

utilisation et conservation de la biosphère



unesco

Dans cette collection :

- I. *Enquête sur les ressources naturelles du continent africain*
- I. *A review of the natural resources of the African continent*
- II. *Bibliography of African hydrology / Bibliographie hydrologique africaine*, by/par J. Rodier
- III. *Carte géologique de l'Afrique (1/5 000 000). Notice explicative / Geological map of Africa (1/5 000 000). Explanatory note*, par/by R. Furon et J. Lombard
- IV. *Compte rendu de recherches sur les latérites*, par R. Maignien
- IV. *Review of research on laterites*, by R. Maignien
- V. *Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. Proceedings of the Copenhagen symposium / Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire. Actes du colloque de Copenhague*. Edited by F. E. Eckardt / Texte mis au point par F. E. Eckardt
- VI. *Aerial surveys and integrated studies. Proceedings of the Toulouse conference / Exploration aérienne et études intégrées. Actes de la conférence de Toulouse*
- VII. *Agroclimatological methods. Proceedings of the Reading symposium / Méthodes agroclimatologiques. Actes du colloque de Reading*
- VIII. *Proceedings of the symposium on the granites of West Africa. Ivory Coast, Nigeria, Cameroun / Compte rendu du colloque sur les granites de l'Ouest africain. Côte-d'Ivoire, Nigéria, Cameroun*
- IX. *Biologie des sols. Comptes rendus de recherches*
- IX. *Soil biology. Reviews of research*
- X. *Utilisation et conservation de la biosphère. Actes de la Conférence intergouvernementale d'experts sur les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère, Paris*
- X. *Use and conservation of the biosphere. Proceedings of the intergovernmental conference of experts on the scientific basis for rational use and conservation of the resources of the biosphère, Paris*

utilisation et conservation de la biosphère

Actes de la Conférence intergouvernementale
d'experts sur les bases scientifiques
de l'utilisation rationnelle et de la conservation
des ressources de la biosphère

Paris, 4-13 septembre 1968

Unesco

Publié en 1970
par l'Organisation des Nations Unies
pour l'éducation, la science et la culture,
place de Fontenoy, 75 Paris-7^e
Imprimé par Firmin-Didot en son Imprimerie alençonnaise

© **Unesco** 1970
SC.69/XII.16/F

Préface

Ce volume, le dixième de la collection « Recherches sur les ressources naturelles » présente les Actes de la Conférence intergouvernementale d'experts sur les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère, qui s'est tenue au siège de l'Unesco, à Paris, du 4 au 13 septembre 1968. Cette conférence a été organisée par l'Unesco avec le concours de l'Organisation des Nations Unies, de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et de l'Organisation mondiale de la santé, et avec la coopération du Programme biologique international et de l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources. Y ont assisté 238 délégués de 63 États membres et 88 représentants de 6 organisations du système des Nations Unies, de 7 autres organisations intergouvernementales, de 11 organisations non gouvernementales et de 3 fondations.

Dans le contexte de cette conférence, la biosphère était définie comme cette partie du monde dans laquelle la vie peut exister; elle comprenait, par conséquent, certaines parties de la lithosphère, de l'hydrosphère et de l'atmosphère. Les travaux ont porté essentiellement sur l'élément terrestre de la biosphère, notamment les eaux intérieures et les régions côtières, mais non sur les ressources océaniques, qui font l'objet d'autres conférences internationales. Les ressources étudiées étaient d'ordre biologique, y compris les sols et les eaux dont elles dépendent; elles ne comprenaient pas les ressources inorganiques, sauf dans la mesure où celles-ci servent à entretenir la vie végétale et animale.

Les délibérations de la conférence se sont fondées sur des rapports soumis par des États membres et sur dix communications qui avaient été rédigées et distribuées à l'avance aux participants. La conférence a adopté une série de recommandations adressées aux États membres et aux organisations internationales sur les domaines de recherche, sur l'éducation à tous les niveaux, ainsi que sur la politique et les structures scientifiques.

Le présent volume comprend les dix communications, dont le texte a été révisé compte tenu des délibérations de la conférence, ainsi que le rapport officiel sur ses travaux, où l'on trouvera un résumé des discussions, les conclusions et les recommandations. Il comprend également les textes des allocutions prononcées à la séance d'ouverture par M. Malcolm S. Adiseshiah, directeur général adjoint de l'Unesco, M. M. G. Candau, directeur général de l'OMS,

Préface

M. A. H. Boerma, directeur général de la FAO, ainsi que par M. Guy Gresford, directeur de l'Office de la science et de la technique (Département des affaires économiques et sociales), qui représentait le Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

Les recommandations adoptées lors de cette conférence ont été examinées par la Conférence générale de l'Unesco à sa quinzième session; la Conférence générale a invité le Directeur général à lui soumettre, à sa seizième session (octobre 1970), un programme intergouvernemental et interdisciplinaire à long terme sur l'utilisation rationnelle et la conservation du milieu naturel et de ses ressources. Ce programme sera établi sur la base des délibérations, des conclusions et des recommandations qui figurent dans le présent volume.

Table des matières

Conceptions scientifiques contemporaines de la biosphère	13
La biosphère terrestre et ses caractéristiques.	14
La matière vivante, sa composition et ses fonctions.	18
Les échanges gazeux	21
Les processus d'oxydation	21
Les processus de réduction	21
La concentration et la sécrétion de sels de calcium	22
La concentration des éléments dispersés	22
La synthèse et la décomposition de matières organiques.	22
Productivité biologique des principaux écosystèmes de la Terre	25
Quelques conséquences d'une augmentation de la productivité	29
Bibliographie	30
L'impact de l'homme sur la biosphère	33
Introduction.	33
L'impact de l'homme sur la biosphère, autrefois et aujourd'hui	35
La recherche de nourriture	35
La chasse aux animaux par le feu	35
L'agriculture sédentaire.	35
L'agriculture itinérante.	35
L'irrigation	36
Surpâturage et surbroutage des animaux domestiques	37
Le nomadisme d'origine pastorale	37
Appauvrissement actif des ressources naturelles vivantes renouvelables . .	39
Le déboisement	39
Le drainage des terres humides	41
Chasse excessive de certaines espèces animales méritant d'être préservées	42
Extinction ou élimination intentionnelle de certaines espèces.	42
Conséquences de l'extraction de minéraux et autres activités industrielles. .	43
Émanations et déchets toxiques	43
Perturbation du drainage naturel	43
Le déversement de déchets dans les cours d'eau	44
Conséquences du surpeuplement humain	44
Gains et pertes en ce qui concerne la flore et la faune	44
Pollution de l'air, de l'eau et du sol.	46

Table des matières

Problèmes posés par un développement accéléré	47
Les « effets secondaires » (side-effects) de la modification à grande échelle des écosystèmes tropicaux	48
Les conséquences biologiques, psychologiques et sociales de l'urbanisation accélérée et anarchique en milieu tropical	48
Les conséquences biologiques, psychologiques et sociales des migrations. . .	48
Influences humaines tendant à maintenir la qualité de l'environnement. . . .	49
Plaisir direct que donnent à des hommes de niveaux très divers les formes organiques et la diversité de l'environnement.	49
Création de parcs nationaux	49
Constitution de zones vierges et de zones naturelles.	50
L'agriculture selon les règles de la conservation.	50
Le goût du sport	50
Changements dans l'industrie	50
Conclusions	51

Les sols et le maintien de leur fertilité en tant que facteurs affectant le choix de l'utilisation des terres.	53
Introduction.	53
Le sol et son utilisation	54
Différentes possibilités d'utilisation des sols.	54
Conditions de choix	56
Le maintien de la fertilité des sols	57
La notion de fertilité.	57
Les bases de la fertilité	58
L'eau	58
Les propriétés physiques	59
Les propriétés physico-chimiques	60
Les propriétés chimiques	60
L'évolution de la fertilité du sol au cours de son utilisation.	61
Effets de la mise en culture	61
Évolution de l'épaisseur du sol	62
Évolution des propriétés physiques du sol	63
Évolution des propriétés physico-chimiques du sol	65
Propriétés chimiques	67
Développement de la vie microbienne	69
Évolution de la fertilité des sols dans le cas d'aménagements globaux. . . .	69
Forêt	69
Prairie	70
Mise en valeur agricole.	71
Expression des caractères de fertilité des sols.	72
Conclusion : Le choix entre les divers types possibles de mise en valeur. . . .	74

Les problèmes des ressources en eau : besoins biologiques présents et futurs	77
Le cycle hydrologique	77
L'eau et la biosphère.	78
L'intervention de l'homme	79
Les besoins de l'humanité	80
Quantité d'eau.	80
Qualité de l'eau.	81

Les mesures nécessaires pour la conservation et l'utilisation rationnelle des ressources en eau du monde.	81
Nécessité de la planification.	81
Rassemblement des données, recherche et formation de personnel.	81
Planification de l'utilisation des terres.	82
Les modifications de la végétation et les ressources en eau	83
Développement des retenues d'eau en surface.	84
Emmagasinement des eaux souterraines	86
Préservation de la qualité de l'eau	87
Amélioration de la qualité de l'eau	89
Actions à entreprendre pour favoriser la vulgarisation, la formation, la recherche et le développement dans le domaine hydrologique.	90
Aspects internationaux de l'aménagement des ressources en eau	92
Bibliographie	93
Fondements scientifiques de la conservation des ressources aquatiques vivantes non océaniques.	95
Introduction.	95
Processus de production en milieux aquatiques	97
Utilisation des ressources aquatiques.	98
Fondements scientifiques de la conservation	101
Bases écologiques et biologiques	101
Intervention sur les aspects physico-chimiques du milieu	103
Intervention sur les aspects biologiques du milieu	107
Peuplement artificiel des stocks	109
Réglementation des pêches	110
Base économique et sociologique.	111
Difficultés et perspectives de la conservation scientifique.	112
Bibliographie.	115
La végétation naturelle et ses modifications en vue de l'utilisation rationnelle des terres	117
Introduction : Les paysages végétaux dans la nature	117
La diversité des paysages végétaux	117
Signification biotique des types de végétation	118
L'impact de l'homme sur les paysages végétaux	118
Nomadisme et semi-nomadisme	119
L'organisation des terroirs	121
La révolution industrielle et l'agriculture « moderne »	122
Conclusions	124
L'utilisation et la modification des végétations naturelles	124
Remarques préliminaires	124
Causes de déséquilibre	125
La dégradation du sol	125
Altération des cycles géochimiques.	126
Modification du bilan de l'eau.	127
Salinisation	127
Changement des rapports biotiques	127
Amélioration du potentiel productif	128
Amélioration des terres.	128
Capacité biotique de transformation	128
Amélioration de la productivité primaire	129
Organisation de la phytocénose	130

Table des matières

Modification rationnelle de l'assiette des végétations.	130
Rotation, assolement et complexes culturels	130
Les aménagements	131
Conservation de témoins des végétations naturelles	134
Conclusions	134
 L'écologie animale, l'élevage et l'aménagement efficace de la faune sauvage et de son habitat	137
Introduction.	137
Élevage et mise en valeur des terres	139
Écologie des animaux domestiques.	140
Élevage	141
Production animale et mise en valeur des terres	145
Aménagement efficace de la faune sauvage	147
Exploitation rationnelle des grands herbivores	147
La chasse commerciale ou sportive dans les régions à faune sauvage et la chasse pratiquée par les populations locales.	154
La chasse commerciale et sportive.	155
La chasse pratiquée par la population locale	155
Conclusions	156
Annexe : Caractéristiques et besoins correspondant aux différents stades de l'élevage	158
 La préservation des régions et des écosystèmes naturels : la protection des espèces rares et menacées	161
Introduction.	161
Les régions naturelles	161
Les écosystèmes	163
Préservation des régions naturelles et des écosystèmes.	164
Protection des espèces rares et menacées.	167
 Les problèmes posés par la détérioration de l'environnement	175
Pollution de l'eau	176
Nature du problème	176
Constituants des déchets	177
Législation	179
Pratiques administratives	180
Critères de qualité	181
Considérations économiques	182
Pollution de l'air.	183
Nature et sources de la pollution atmosphérique	183
Effets sur la santé	184
Dommages à la végétation et aux matériaux.	186
Problèmes actuels et mesures prises	187
Pollution du sol	189
Pollution du sol par les agents biologiques pathogènes	189
Lutte générale contre l'ankylostomiase	191
Lutte chimique.	191
Hygiène préventive	191
Contamination des terres cultivables et des cultures.	192
Maladies animales transmissibles à l'homme	193
Pollution du sol par les produits chimiques et les matières radio-actives. .	193

Pollution du sol et élimination des déchets solides	195
Pollution des terres agricoles	195
Évacuation hygiénique des déchets solides	196
Relations entre la pollution de l'air, de l'eau et du sol	196
Conclusions	197

L'homme et ses écosystèmes; l'objectif d'un équilibre dynamique avec le milieu satisfaisant les besoins physiques, économiques, sociaux et spirituels	201
---	-----

La stabilité biologique de l' <i>Homo sapiens</i>	201
La puissance créatrice de la vie humaine	203
Exigences biologiques et besoins sociaux	204
Nécessité d'un milieu diversifié	205
Le but des politiques de conservation	207
Interaction de l'homme et de la nature	208
Le vaisseau spatial « Terre »	210
La vision du milieu futur	213

Rapport final.	217
Introduction.	217
Conceptions scientifiques de la biosphère	220
L'impact de l'homme sur la biosphère	221
Examen des rapports présentés par les États membres	222
Le rôle des connaissances scientifiques dans la planification de l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère	224
Problèmes de recherche.	234
Problèmes d'éducation	247
Problèmes relatifs aux politiques et aux structures	253
Développement des activités internationales	260
Conclusion générale.	265

<i>Allocutions prononcées à la séance d'ouverture</i>	269
---	-----

<i>Liste des participants</i>	293
---	-----

Conceptions scientifiques contemporaines de la biosphère

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet présenté par V. Kovda et ses collaborateurs (URSS), commenté et complété par Frederick Smith (États-Unis d'Amérique), F. E. Eckardt (Danemark), M. Hadley (Royaume-Uni), E. Bernard (Belgique) et par les secrétariats de l'Unesco et de la FAO.

Les besoins et les exigences de la société humaine augmentent à un rythme qui s'accélère à chaque décennie. La population de la planète s'accroît exponentiellement. L'industrialisation s'accompagne d'une énorme exploitation des ressources naturelles et d'une modification profonde du milieu naturel. La mise en culture de vastes étendues de terre (11 % environ), l'utilisation de certaines d'entre elles comme pâturages (17 %), l'abattage des forêts, la construction de barrages et de canaux, l'exploitation des mines, la fertilisation du sol, l'irrigation, l'érosion du sol et maints autres effets de l'activité de l'homme sont autant d'éléments qui contribuent à le modifier profondément. Ces modifications ont souvent un caractère destructeur — les explosions nucléaires en particulier — et, ce qui est particulièrement inquiétant pour l'avenir de l'humanité, irréversible, car elles provoquent à l'intérieur même de la biosphère une rupture des systèmes écologiques et des équilibres naturels.

De manière générale, la biosphère est caractérisée par une grande stabilité vis-à-vis d'influences extérieures, ce qui se reflète dans le fait qu'elle peut supporter, sans que des processus essentiels s'en trouvent entravés, des modifications profondes de sa structure. Autrement dit, elle est dotée d'une grande plasticité structurale. Cette plasticité constitue un atout important pour l'homme, car elle lui permet, dans une large mesure, de transformer la biosphère et d'exploiter certains de ses éléments selon ses besoins. Cependant, la transformation ne peut dépasser certaines limites — qui dépendent du mode d'intervention et du type de système écologique considéré — sans menacer l'équilibre dynamique de la biosphère. Dans de vastes régions du monde, ces limites ont déjà été dépassées, ce qui a eu pour effet de détériorer une partie importante de la biosphère, d'entraîner l'épuisement des sols et des ressources d'eau

douce, et de faire disparaître de nombreuses espèces végétales et animales.

L'homme et la société humaine font partie intégrante de la biosphère et dépendent étroitement de ses ressources. La protection de la biosphère est d'une importance capitale pour l'humanité. Il est donc urgent que les pays établissent des programmes d'action concertée ayant pour objectif :

1. De préserver ou rétablir l'équilibre dynamique de la biosphère;
2. De développer des techniques permettant une utilisation plus rationnelle de ses ressources.

Toute recommandation dans ce sens doit reposer avant tout sur une connaissance de la genèse et de la structure de la biosphère, de ses éléments constitutifs et de son mécanisme de fonctionnement.

LA BIOSPHERE TERRESTRE ET SES CARACTÉRISTIQUES

La surface de la planète Terre est continuellement exposée à des flux d'énergie provenant de l'espace. Depuis des milliards d'années, cet afflux d'énergie engendre à la surface de la terre des processus d'une intensité gigantesque et des modifications très complexes de la structure de la matière. Ainsi, le « règne minéral » s'est diversifié et l'on a vu apparaître une très large variété de formes d'organismes vivants liées entre elles et avec le milieu physique ambiant par des relations de la plus grande complexité.

Notre planète existe depuis quatre milliards et demi à cinq milliards d'années (six milliards au maximum, selon toutes probabilités). Une manifestation distincte de vie s'est produite il y a deux et demi à trois milliards d'années, encore qu'elle ait peut-être existé avant sous des formes rudimentaires, et la conquête de la terre ferme par la vie a débuté il y a 500 millions d'années environ. Dès lors, la Terre a subi des modifications radicales, qui ont porté aussi bien sur sa structure que sur les processus qui lui sont liés. Les structures complexes des organismes vivants, si différentes de celles de la matière inerte, ont fait leur apparition sur la Terre. Environ trois millions d'espèces d'animaux, de plantes et de micro-organismes ont vu le jour au cours du processus d'évolution. Les végétaux chlorophylliens, capables d'édifier des substances organiques complexes grâce à la photosynthèse, ont occupé une place spéciale parmi les organismes vivants.

L'apparition de la vie sur la Terre a abouti à la formation d'une nouvelle entité structurale connue sous le nom de « biosphère ». La biosphère est la couche extérieure du globe, où la vie a pris naissance et où se trouvent actuellement cette multitude d'organismes différents qui peuplent les couches inférieures de l'atmosphère, l'hydrosphère et les terres émergées. Elle résulte essentiellement d'une interaction entre des substances biotiques et des substances abiotiques de la Terre. Grâce à l'action des plantes, la biosphère met en réserve et redistribue sur la Terre de l'énergie provenant de l'espace.

Les organismes vivants sont de puissants agents biogéochimiques qui transforment l'écorce terrestre. La migration et la différenciation des éléments chimiques, qu'elles aient lieu à la surface de la Terre, à l'intérieur du sol, dans les formations sédimentaires, dans l'atmosphère ou l'hydrosphère, se produisent soit avec l'intervention directe de la matière vivante (migration biogène), soit dans les milieux dont les caractéristiques géochimiques (pH, potentiel d'oxydo-

réduction, O_2 , CO_2 , H_2S , H_2O , etc.) sont influencés ou l'ont été par la matière vivante.

Depuis des milliards d'années que la vie existe sur notre Terre, la matière vivante a transformé en énergie chimique et mécanique une quantité immense d'énergie rayonnante provenant du Soleil. Les atomes de presque tous les éléments chimiques ont, au cours de cycles complexes, traversé la matière vivante à d'innombrables reprises. L'aspect général de notre planète s'est profondément modifié, et il faut admettre que c'est bien la matière vivante qui a déterminé la composition de l'atmosphère, des roches sédimentaires, du sol, et, dans une grande mesure, celle de l'hydrosphère.

A cet égard, il convient d'observer que, pour Vernadsky, la définition de la biosphère comme la partie du globe qui contient des organismes vivants est à la fois incomplète et insuffisante. Selon lui, la biosphère se compose de trois grands éléments : le premier est la « matière vivante », c'est-à-dire la totalité des organismes constituant la biomasse; le deuxième est la « matière biogène », qui groupe les substances organo-minérales et organiques produites par la matière vivante, tels la houille, le bitume, les gaz combustibles, le pétrole probablement et, en particulier, la tourbe, le sapropel, l'humus et la litière; le troisième élément de la biosphère est la « matière biocosmique », c'est-à-dire les substances résultant de l'association d'organismes vivants et de matière inerte et comprenant, par exemple, les roches sédimentaires, les minéraux argileux, l'eau et la basse atmosphère pour ce qui concerne sa composition gazeuse (Vernadsky, 1926, 1934).

Les végétaux chlorophylliens fixent l'énergie d'origine solaire et l'utilisent pour élaborer des substances chimiques complexes qui par la suite sont stockées pour des périodes très longues et plus ou moins modifiées sous la forme de substances biotiques et biocosmiques. Du point de vue géochimique, ces substances sont depuis longtemps à l'échelle géologique entraînées par les eaux vers des dépressions de terres et vers les mers et les océans, au fond desquels se forment d'épaisses couches de roches sédimentaires contenant des substances biocosmiques et biogéniques, et des déchets organiques. Tous ces phénomènes ont donné lieu à un vaste processus de « biologisation » de la planète, de sa lithosphère, de son atmosphère et de son hydrosphère.

En se fondant sur ces faits, on peut donc considérer la biosphère terrestre comme un système de matière vivante et de substance morte très ancien, extrêmement complexe, multiple, planétaire, thermodynamiquement ouvert et autorégulé, accumulant et redistribuant d'immenses ressources d'énergie qui par la suite déterminent la composition de l'écorce terrestre, de l'atmosphère et de l'hydrosphère et les divers processus dont elle est le siège. Stabilité et plasticité sont ainsi deux caractéristiques importantes de la biosphère, comme cela a été indiqué plus haut.

L'une des caractéristiques marquantes de la biosphère est la diversité extrême des organismes vivants qu'elle enferme, diversité qui est elle-même l'aboutissement d'une longue évolution et à laquelle la biosphère doit sa stabilité et son dynamisme dans le temps. L'interaction des organismes vivants entre eux et avec l'environnement est un phénomène que l'on retrouve constamment aussi bien au niveau de la population qu'au niveau de la biocénose.

La biosphère se caractérise aussi par sa structure irrégulière en forme de mosaïque et, pour ainsi dire, par son asymétrie totale : asymétrie dans la distribution et la proportion des continents et des océans, asymétrie égale-

ment dans la distribution des chaînes de montagnes, des grandes plaines alluviales et du réseau hydrographique du monde. Sur terre et dans les mers, la vie et la matière vivante sont inégalement réparties. C'est dans les eaux peu profondes et dans les couches superficielles des mers et des océans (où est localisé le plancton) que l'on rencontre les plus fortes concentrations de matière vivante. La concentration de matière vivante est grande également dans les sols des zones terrestres à climat tempéré humide, subtropical et tropical, alors que les plus faibles se trouvent dans les régions froides polaires et subpolaires, les zones arides et désertiques, les hautes montagnes et les grands fonds marins. Dans l'atmosphère, la concentration de matière vivante est en général très faible. Sur les continents, la matière vivante et biogène se trouve concentrée particulièrement dans les plaines fluviales, les deltas, les lacs peu profonds, les forêts humides, les prés et les prairies.

La biosphère considérée du point de vue historique — c'est-à-dire du point de vue de son évolution depuis sa création jusqu'à son état actuel — se présente comme le résultat de la conjonction de causes astronomiques, géophysiques, géochimiques et biologiques, souvent reliées entre elles par des rapports d'interdépendance. La composition gazeuse et la densité favorable de l'atmosphère retenue du fait de la masse considérable de la planète, associées à la faible excentricité de l'orbite et à l'inclinaison de l'axe terrestre ont permis la création, avec la puissance rayonnante du Soleil, des conditions thermiques et radiatives compatibles avec la vie.

Les grands éléments constitutifs de la surface du globe terrestre sont les océans (qui en recouvrent les deux tiers), les continents, les réservoirs d'eau douce, les glaciers arctiques et antarctiques et les hautes montagnes. Les continents n'ont pas tous la même structure et diffèrent par les zones climatiques et leur faciès géochimique. Sur chaque continent, on trouve des régions exposées à l'érosion et à des pertes géochimiques, avec la croûte rocheuse en voie de décomposition et les sols pauvres et acides (eluvium). Ces régions sont bordées de zones de migration et d'accumulation : contreforts des chaînes montagneuses, plaines et plateaux, plaines intérieures ou côtières, au sol riche et fertile.

C'est dans ces zones de migration et d'accumulation, lorsque le degré d'humidité est suffisamment élevé, ainsi que sur les plateaux continentaux, que se trouvent réunies les conditions les plus propices à l'activité des organismes vivants et à la formation de matière vivante (par exemple, certaines prairies steppiques de la plaine russe, la Puszta hongroise, les prairies d'Amérique, l'Extrême-Orient, les pampas d'Argentine, les plaines basses de l'Amazonie, etc.). Du point de vue géochimique, ces vastes régions se caractérisent par une stabilité très nette des substances qui s'y déposent et y transmigrent, stabilité dont le niveau peut être inférieur ou supérieur à ce qui est biologiquement le niveau optimal pour certains organismes, y compris celui de l'homme. Ces milieux, qui se caractérisent par un niveau inhabituel de concentration d'éléments chimiques, ont été désignés par Vinogradov sous le nom de « provinces biogéochimiques » (Vinogradov, 1938, 1946). En Asie, en Europe, en Afrique, en Amérique du Nord et du Sud, on trouve par exemple des provinces caractérisées par l'accumulation contemporaine ou ancienne de chlorures, de sulfates ou de sels sodiques ou par exemple de bore (Kovda, 1953). Certaines de ces provinces à sols podzoliques acides de l'Eurasie se caractérisent par une carence d'iode, de magnésium, de calcium, de cuivre et de sulfate. L'excès

ou une carence d'éléments biophiles importants sont souvent à l'origine de maladies spécifiques chez l'homme, du nanisme et d'une productivité faible chez les animaux et les plantes.

La biogéocénose est l'unité structurale de base de la biosphère et désigne un ensemble de caractéristiques locales reliées entre elles génétiquement, géographiquement et du point de vue trophique, telles que la végétation, les animaux, les sols, les reliefs, le climat et l'hydrologie (Suckachev, 1948, 1964). Dans certains pays, le mot « biogéocénose » est utilisé pour désigner des unités similaires. La biogéocénose (écosystèmes)¹ est une partie des terres émergées ou une partie d'une étendue d'eau qui présente un caractère d'homogénéité du point de vue topographique, microclimatique, botanique, zoologique, pédologique, hydrologique et géochimique. A l'intérieur de ce système, les échanges de matière et d'énergie, dont le processus de photosynthèse par les plantes est le point de départ, se font avec une intensité caractéristique. Les dimensions de ces biocénoses peuvent aller de quelques mètres carrés (microdépressions dans les steppes, les régions semi-désertiques, les dunes de sables, etc.) à plusieurs kilomètres carrés (salines, takyr, parties homogènes des steppes, forêts, etc.); en hauteur, elles peuvent varier entre quelques centimètres (sur des roches) et des dizaines de mètres (taïga ou forêt tropicale).

L'écosystème (biogéocénose) est un système relativement stable dans le temps et ouvert du point de vue thermodynamique en ce qui concerne les échanges en énergie et en masse. Les entrants du système sont l'énergie solaire, les éléments minéraux des roches, l'atmosphère, les eaux souterraines; les sortants sont la chaleur, l'oxygène, le CO₂ et autres gaz libérés dans l'atmosphère, les composés humiques, minéraux, roches sédimentaires dans la lithosphère, et les substances biogènes en solution dans les eaux souterraines, les rivières, les lacs, etc., dans l'hydrosphère.

L'autorégulation de la biosphère résulte des propriétés autocatalytiques de la matière vivante, de sa capacité d'absorber des substances, de croître et de se reproduire. Les organismes cherchent activement les substances dont ils ont besoin et les absorbent. C'est ainsi que la quantité d'énergie et de substances transmises des végétaux aux herbivores dépend pour une très large part du nombre et de la biomasse des herbivores présents. Par contre, le passage de la matière organique de l'état vivant à l'état mort n'est guère fonction de la quantité de matière organique morte présente, puisque le rythme auquel cette matière, par définition passive, reçoit des apports est déterminé par d'autres facteurs.

A l'heure actuelle, les biologistes distinguent plusieurs niveaux dans l'organisation de la matière vivante sur la terre. Le premier de ces niveaux est celui des macromolécules biologiquement actives (niveau macromoléculaire); le deuxième celui de la cellule (niveau cellulaire); le troisième, l'organisme (niveau de l'espèce); le quatrième, la population. L'écosystème se situe, lui, à un niveau encore plus élevé de l'organisation des processus de la vie en vue de parfaire sa stabilité dans le temps à l'échelle géologique. Quant à la biosphère,

1. Les auteurs n'accordent malheureusement pas tous le même sens à ces deux termes. Pour les auteurs russes, les écosystèmes sont des subdivisions des biogéocénoses, ce dernier terme recouvrant une notion plus large; mais cette interprétation n'est pas universellement admise. Au colloque de l'Unesco sur le « fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire », qui a eu lieu à Copenhague en 1965 et dont l'Organisation a publié les travaux en 1968, les deux termes ont été considérés comme synonymes. Cette interprétation a été retenue dans le présent document.

qui englobe la totalité des écosystèmes, elle est le niveau d'organisation le plus élevé de la matière vivante et inerte sur la planète.

Les écosystèmes se sont formés au cours d'une longue évolution et résultent d'un long processus d'adaptation de ces espèces ainsi que de ces populations aussi bien à leur milieu ambiant que les uns aux autres. Ce sont des mécanismes stables et ajustés, capables de résister par autorégulation à la fois aux modifications du milieu ambiant et aux brusques variations dans la taille des populations.

Mais il y a des limites à ce pouvoir d'autorégulation des populations, des écosystèmes et de l'ensemble de la biosphère. Dès lors que le milieu ambiant (sol, eaux souterraines, atmosphère, conditions tectoniques, climat) subit des changements d'une ampleur plus grande que les oscillations périodiques auxquelles les organismes sont adaptés, l'harmonie des écosystèmes se trouve rompue de manière irréversible. Plus profondes encore sont les conséquences sur le paysage lorsque sous l'influence de phénomènes naturels (incendies de forêts, déplacement des rivières et des deltas, etc.) ou par la faute de l'homme (usure des sols, emploi immodéré des pesticides), un ou plusieurs éléments de l'ensemble du système disparaissent, en particulier au sein de certaines chaînes trophiques. L'écosystème subit des altérations catastrophiques entraînant un bouleversement radical.

On sait que le rayonnement ionisant est un facteur écologique normal auquel presque tous les organismes peuplant la planète sont adaptés. Qu'il soit local ou général, un accroissement de cette radiation causée par les essais nucléaires ou d'autres activités similaires risque de provoquer un nombre accru de mutations nouvelles dans les organismes vivants (monstruosités, maladies héréditaires, perte de caractères génétiques utiles, etc.).

La connaissance des relations existant entre les populations d'organismes de types différents d'un même écosystème (symbiose, parasitisme, allélopatie, compétition, prédatisme, etc.) permet de manipuler cet écosystème par l'emploi de méthodes biologiques, tant pour exterminer certains groupes d'organismes tels que les insectes prédateurs, que pour favoriser la prolifération d'autres organismes comme, par exemp. , les insectes transporteurs de pollen. L'emploi de substances chimiques toxiques devrait, en règle générale, être non seulement strictement contrôlé, mais aussi réduit au maximum.

Dans une société industrielle moderne fondée sur une planification scientifique permettant l'exploitation judicieuse des lois de la nature, des connaissances scientifiques et technologiques ainsi que des moyens de production, l'homme peut intervenir directement sur la composition de la biosphère afin de créer les conditions les plus favorables au bien-être de ses semblables. Toute intervention de ce genre devra évidemment tenir compte des limites de tolérance et de plasticité de la biosphère.

LA MATIÈRE VIVANTE, SA COMPOSITION ET SES FONCTIONS

La notion de « matière vivante » a été développée en détail par Vernadsky. Elle recouvre l'ensemble des organismes peuplant notre planète à un moment donné. La matière vivante des terres émergées est déterminée quantitativement par la biomasse végétale — celle-ci englobant les plantes vivantes et les

plantes mortes (y compris les éléments situés sur le sol et à l'intérieur du sol) — par la biomasse animale (y compris les insectes) et par la biomasse des bactéries et des champignons. D'après des calculs effectués récemment, la biomasse pour l'ensemble des terres émergées est d'environ 3×10^{12} tonnes et ne dépasse pas 1×10^{13} tonnes. La biomasse animale dans ce cas est généralement inférieure à 1. % de la biomasse végétale. Les invertébrés représentent la majeure partie de la biomasse animale (95-99,5 %). La proportion d'invertébrés est particulièrement élevée dans les terres tchernozioms les plus fertiles, dans les prairies et dans les terres des vieilles exploitations agricoles hautement développées (99,8 % de la biomasse animale).

La biomasse des formations arborescentes constitue la majeure partie de la biomasse totale des terres émergées. C'est cependant la végétation herbacée, et non pas la végétation arborescente, qui contribue le plus à accroître la fertilité du sol. La biomasse de la végétation herbacée et des invertébrés, jointe à l'action des micro-organismes, active la synthèse de quantités considérables d'humus dans les tchernozioms les plus fertiles, les sols des prés et des prairies et les sols alluvionnaires.

La fixation et l'accumulation d'énormes quantités d'énergie dans la matière organique constitue le phénomène le plus important qui ait accompagné l'apparition de la vie sur la planète. Cette énergie potentielle est ensuite utilisée par d'innombrables organismes et entraîne une infinité de réactions biochimiques et chimiques.

Grâce à la photosynthèse, les plantes vertes peuvent convertir de l'énergie rayonnante en énergie chimique potentielle, qui permet l'élaboration de la matière sèche végétale. D'après Duvigneaud (1967), la quantité d'énergie fixée annuellement sur les terres émergées est énorme et s'élèverait à $21,3 \times 10^{16}$ calories environ. Une quantité presque identique est fixée par les organismes chlorophylliens des océans. L'énergie accumulée par la matière végétale influe sur l'activité des animaux et des bactéries. Les déchets organiques dans le sol et dans l'humus constituent une source d'énergie dont les réserves sont constamment renouvelées tout en étant utilisées en permanence avec un bon rendement par des micro-organismes dans des réactions biochimiques liées à la pédogenèse.

Pour évaluer le rôle de la matière vivante, il importe de distinguer avec Vernadsky les formes suivantes d'influence exercée par les organismes sur le milieu ambiant :

1. La vie sur terre évolue selon un processus graduel mais continu, avec apparition et disparition d'espèces nouvelles; en moyenne, chaque espèce indépendante, par exemple une plante, subsiste pendant environ une période géologique, soit environ 30 millions d'années.
2. Les types d'écosystème se modifient en fonction de la multiplication des organismes et des surfaces occupées. Ce changement est lié à des phénomènes tectoniques et à des modifications du relief, du climat et des sols. On en trouve des exemples dans les relations réciproques entre forêts et toundras, steppes et forêts, déserts et steppes, plaines d'inondation et anciennes terrasses, etc. Ces changements durent de 3 000 à 5 000 années et revêtent souvent un caractère périodique reflétant des rythmes tectoniques.
3. Il existe des générations consécutives de certaines espèces végétales et animales, ainsi que des cycles de migration de substance, causés par la naissance et la mort de chaque individu vivant.

4. Des échanges de matière ont lieu entre l'organisme et le milieu ambiant au cours de la vie de cet organisme. Ce type d'échange comporte des phases solides, liquides et gazeuses, et il en résulte de très importantes répercussions sur la géologie, l'hydrologie et la pédogenèse.
5. Il existe des relations trophiques et symbiotiques entre divers organismes, telles que les chaînes alimentaires, la redistribution de l'énergie, la formation de composés minéraux et organiques.
6. Les produits de biolyse et ceux de la minéralisation des substances organiques exercent après leur mort une influence considérable sur la formation et la transformation des minéraux.
7. Au cours de leur vie, les organismes influencent les processus de désintégration des roches et interviennent dans la formation et les métamorphoses des particules les plus fines du sol.

Le rôle de la matière vivante dans les processus de désintégration des roches, de sédimentation et de pédogenèse n'a cessé de s'accroître, et cela en raison de l'augmentation progressive du nombre des espèces dotées de fonctions biogéochimiques différentes. Les limites supérieure et inférieure de la biosphère ont reculé. L'énergie solaire joue un rôle de plus en plus important dans les processus terrestres, et une partie toujours croissante de la croûte terrestre, de l'hydrosphère et de l'atmosphère s'est trouvée incluse dans les cycles biologiques.

A tout instant, la matière vivante comprend des milliards de tonnes de matière minérale sous forme de composés organiques. Les organismes rejettent des milliards de tonnes de substance vers le milieu ambiant (sol, atmosphère, eaux naturelles) pour les reprendre ultérieurement. L'étroite interdépendance des différents organismes animaux et végétaux et des organismes inférieurs qui leur sont associés provient du fait que les composés minéraux retirés des cycles géologiques, au cours du processus de nutrition et de croissance, tendent à être retenus dans les cycles biologiques, ce qui les empêche d'être entraînés de la terre vers l'océan par les eaux naturelles.

Dans la composition de la matière vivante, les pourcentages les plus élevés appartiennent à l'oxygène (65-70 %) et à l'hydrogène (10 % environ). Le reste (20-25 %) est représenté par plus de 70 éléments différents. Entrent également dans la composition de la matière vivante jusqu'à 15 éléments rares qu'on trouve à l'état de traces éparses.

Certains organismes sont capables d'emmagasiner des éléments chimiques dans des proportions supérieures à 10 %. Actuellement, on connaît bien cette capacité spécifique d'emmagasiner les éléments suivants : Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ba, Mn, S, Sr et P. Quant à la composition des organismes végétaux, leur teneur moyenne en certains groupes d'éléments est beaucoup plus élevée que celle de la croûte terrestre et de la lithosphère. On constate, par exemple, un accroissement de plusieurs dixièmes pour l'hydrogène et pour l'oxygène, tandis que dans le cas de l'azote et du carbone la teneur moyenne est respectivement 30 fois et 180 fois supérieure.

La teneur en Na, Ca, P, N, S, F, Cl, Zn est beaucoup plus élevée dans la composition des organismes animaux que dans celle des organismes végétaux. Mais, dans le cas des organismes animaux, la teneur en O, Si, Al, Mn, B, Pb et As est moins élevée que dans les organismes végétaux.

Il y a donc lieu de définir les processus géochimiques provoqués par les organismes vivants et qui jouent un rôle si exceptionnel et si grand dans

certaines réactions dont l'atmosphère, l'hydrosphère et le sol sont le siège. Ces processus géochimiques comprennent :

LES ÉCHANGES GAZEUX

Le métabolisme des organismes, leur respiration et leurs échanges avec le milieu ambiant donnent lieu à des réactions diverses aboutissant à l'absorption et à la libération d'oxygène, de CO_2 , NH_3 , CH_4 , de vapeur d'eau, etc. En définitive, l'atmosphère, l'air confiné dans le sol, l'air dissous dans les eaux fluviales et marines ont été profondément modifiés les uns et les autres par suite des échanges gazeux des organismes qui ont eu lieu au cours de l'histoire de la biosphère.

Le gaz carbonique de l'atmosphère pourrait être intégralement consommé en une dizaine d'années dans le processus de la photosynthèse des végétaux terrestres. Vernadsky admet qu'en une seule année les organismes mettent en circulation, sous diverses formes, des quantités de gaz plusieurs fois supérieures à la masse totale des gaz existant dans l'atmosphère. Il se peut qu'au cours de leur histoire, l'oxygène, l'azote et le gaz carbonique contenus dans l'atmosphère et l'air du sol soient tous passés un grand nombre de fois à travers la matière vivante.

Les échanges gazeux comprennent des processus d'oxydation d'organismes et sont une combinaison de réactions photosynthétiques grâce auxquelles de l'oxygène libre est produit et accumulé dans l'atmosphère.

LES PROCESSUS D'OXYDATION

Les processus d'oxydation liés à l'activité des organismes vivants jouent un rôle important dans la désintégration des roches, dans le transport et la sédimentation des substances, dans la détermination de la composition chimique de l'eau et de l'atmosphère, et dans la pédogenèse.

L'apparition de micro-organismes autotrophes à côté de végétaux chlorophylliens a profondément modifié les conditions d'oxydation et de réduction à la surface de la croûte terrestre. Au régime de réduction dont la prédominance était due à un pourcentage relativement élevé de gaz carbonique et à la teneur relativement faible de l'atmosphère terrestre en oxygène au cours des ères géologiques des périodes les plus reculées de l'histoire du globe terrestre, s'est substituée l'influence prédominante d'un régime d'oxydation attribuable aux activités des bactéries aérobies et à l'accroissement de la teneur en oxygène de l'atmosphère.

Le rôle d'éléments tels que Fe, Cu et Mn, ainsi que des composés de C, N, S et P s'est trouvé fondamentalement modifié après l'apparition des bactéries, des algues et, surtout, des plantes et des animaux supérieurs.

LES PROCESSUS DE RÉDUCTION

L'apparition de micro-organismes pouvant subsister et se développer en milieu anaérobie a provoqué d'importants changements en déclenchant des réactions qui ont abouti à la production de composés minéraux et organiques. Les réactions réductrices sont le résultat principalement de l'activité des bactéries et des champignons, qui provoquent des réactions de désulfuration et de

dénitrification accompagnées de formation d'hydrogène sulfureux, d'oxydes azotés, de métaux sulfureux, de méthane et d'hydrogène. Dans la formation de roches sédimentaires sous l'eau et au cours de la pédogenèse en milieu anaérobie, le rôle des micro-organismes à action réductrice est particulièrement grand.

LA CONCENTRATION ET LA SÉCRÉTION DE SELS DE CALCIUM

Les processus conduisant à la concentration et à la sécrétion des sels de calcium peu solubles, sous forme de carbonates, de phosphates et de certains sels organiques (oxalates et autres) revêtent une importance particulière dans la biogéochimie et la pédogenèse. De nombreuses espèces de bactéries, de protozoaires, d'algues, de mousses, de plantes et d'animaux supérieurs sont capables de concentrer et de sécréter des sels de calcium sous forme de précipités insolubles. D'énormes quantités de calcium sont accumulées par les organismes vivants dans les calcaires et la craie.

Au cours des ères géologiques les plus reculées, seuls se déroulaient des processus comportant une migration et une accumulation de sels de calcium; mais parallèlement à l'évolution des organismes vivants ils ont cédé la place à des formes biogènes de circulation et d'accumulation de sels de calcium dans l'hydrosphère et dans les sols. La même chose est vraie pour le fer et pour le manganèse.

LA CONCENTRATION DES ÉLÉMENTS DISPERSÉS

La présence permanente de nombreux éléments chimiques dans les tissus animaux et végétaux et, en particulier, l'absorption sélective de plusieurs d'entre eux par certains types d'organisme entraînent une accumulation nettement décelable de ces éléments dans les couches sédimentaires biogènes et les horizons humiques.

Du point de vue chimique, la fertilité des sols est liée à la présence des éléments entrant dans la nutrition minérale des plantes (P, K, B, S, Ca, Zn, etc.). Ce phénomène tient à l'aptitude que possèdent les organismes de stocker ces éléments dans leurs tissus et de les transmettre au sol. L'apparition de manifestations de vie sur la Terre contribue à l'accroissement permanent de la concentration d'éléments biogènes dans les divers horizons des sols, dans les limons, les sapropels et les roches sédimentaires.

LA SYNTHÈSE ET LA DÉCOMPOSITION DE MATIÈRES ORGANIQUES

La circulation permanente de substances biotiques est liée à l'incessante succession des phénomènes de synthèse et de décomposition des matières organiques. La quantité de matières organiques végétales qui se forment et se décomposent chaque année sur les terres émergées atteint 55 milliards de tonnes.

Ce travail gigantesque et perpétuel de décomposition, de resynthèse et de minéralisation des matières organiques est accompli par des herbivores, des carnivores, des champignons, des bactéries et des invertébrés, notamment des vers et des insectes. Finalement, plus de 90 % de la masse de matière organique passe peu à peu à l'état gazeux, tandis que le restant se transforme en composés minéraux ou organiques intermédiaires.

Au cours de l'histoire géologique, de grandes quantités de tourbe, de charbon, de bitume, de pétrole et de matières organiques éparses ont été enfouies sous forme de dépôts de sédiments. Le carbone et l'hydrogène qui font partie intégrante de ces substances constituent des « accumulateurs géochimiques » de l'énergie solaire fixée au niveau de la surface du globe.

Lorsqu'ils sont oxydés dans les profondeurs, ces « accumulateurs » se déchargent et libèrent l'énergie emmagasinée. Les processus d'oxydation peuvent être réalisés par des micro-organismes vivant dans les eaux souterraines.

On peut supposer que, dans les eaux souterraines, la création de conditions hautement réductrices, l'apparition de H_2S et la sédimentation de sulfures métalliques sont les résultats de l'action photosynthétique et de l'apparition de conditions fortement oxydantes à la surface du globe terrestre. Il se peut que les minerais sulfurés de la biosphère (grès cuprifères, etc.) soient apparus à un certain stade de l'évolution de la croûte terrestre, en liaison avec l'apparition de la vie (Perleman, 1968).

Les roches sédimentaires, produits de la biosphère, ont été peu à peu enfouies à des profondeurs de plus en plus grandes dans les géosynclinaux et transformées par fusion en roches métamorphiques et en granite. Ces derniers, remontés par orogénèse à la surface de la terre, ont été détruits et ont produit à leur tour la matière de nouvelles roches sédimentaires. C'est ainsi que s'effectue la grande circulation de matière et d'énergie dans la croûte terrestre, et de nombreux chercheurs considèrent pour cette raison que la couche granitique de la croûte terrestre est née de la fusion de roches sédimentaires d'une « biosphère antérieure ». Cette théorie selon laquelle il y aurait une « grande circulation géologique de la matière » reliant les processus magmatiques aux processus qui se déroulent à la surface de la Terre retient de plus en plus l'attention. L'examen détaillé de toutes ces questions complexes ne fait que commencer et l'on en est encore au stade des hypothèses. Néanmoins, la thèse est assez séduisante. Peut-être permettra-t-elle de définir le rôle gigantesque que joue le rayonnement solaire en tant que source d'énergie non seulement dans les processus superficiels, mais aussi dans les cycles magmatiques et techniques.

Jusqu'à une période encore récente, il y avait un certain cloisonnement entre les sciences de la Terre et les sciences de la vie. C'est ainsi qu'on n'établissait pratiquement aucun lien entre les processus magmatiques et l'évolution tectonique de la croûte terrestre, d'une part, et l'étude de l'évolution biologique ou de l'activité géologique des organismes vivants de la biosphère, d'autre part. Pour élaborer une théorie d'ensemble de la géologie et de la biologie, il est nécessaire de tenir compte de l'existence possible de liens profonds et réversibles entre l'évolution des organismes vivants sur Terre, la sédimentation, les phénomènes tectoniques et le magmatisme.

L'influence de la matière vivante sur le déroulement des processus géochimiques, atmosphériques, hydrologiques et pédologiques se manifeste sous la forme d'une circulation de matière, mais ce cycle n'est ni fermé ni réversible. Certes, quelques petits cycles biologiques de la matière liés à l'action d'organismes à courte durée de vie semblent fermés et réversibles : tel est particulièrement le cas des cycles où entrent O, C, N, P, S ou H. Toutefois, lorsque des éléments chimiques qui sont en circulation perpétuelle dans la matière vivante et dans le milieu ambiant entrent dans les cycles grâce au processus

de nutrition et de minéralisation lié à l'activité des nouveaux organismes, une partie de ces éléments se trouve retirée de la circulation biologique et entraînée par des processus géochimiques vers les dépôts sédimentaires et les océans. C'est le cas par exemple de Cl, Na, et, pour une part considérable, de C, Si, P, K, S, Mg et Ca. L'accumulation progressive d'oxygène dans l'atmosphère et la diminution lente mais nette de la teneur de l'air en gaz carbonique dans le passé ont un caractère irréversible, de même que la formation de dépôts biogènes de chaux, de silicium et de phosphates au cours de l'évolution de la matière vivante.

Les conditions oxydantes au sein de la croûte terrestre sont devenues prépondérantes après l'apparition des végétaux chlorophylliens. Par voie de conséquence, les conditions dans lesquelles se faisaient la migration et l'accumulation des composés de Fe, Mn, S et P se sont également modifiées. Des dépôts de charbon, de pétrole, de bitume, de tourbe, de schistes bitumeux et de sapropels se sont formés à l'intérieur de la croûte terrestre par suite de la modification du cycle du carbone. La proportion d'isotopes d'oxygène, de carbone et de soufre a été elle aussi modifiée.

La couche de sol qui recouvre la Terre est le produit de l'action des organismes vivants sur la lithosphère. La formation d'une couche d'humus plus ou moins continue sur les terres émergées (que l'on peut désigner sous le terme d'« humosphère ») est le résultat le plus universel et le plus caractéristique de la transformation biogénique des roches en sols. Quelle que soit son épaisseur, cette humosphère représente la partie la plus active de la couche de sol naturel et c'est elle qui en détermine le niveau de fertilité, réel ou potentiel.

L'accumulation de matières organiques spécifiques à l'intérieur des horizons superficiels de la croûte terrestre et la formation d'une couche humique marquent une étape bien précise dans l'histoire de la circulation du carbone et de l'azote sur la Terre. Si l'on considère que la biomasse totale des terres est de 10^{12} à 10^{13} tonnes, comme il ressort des calculs récents, et qu'il y a chaque année formation par synthèse de $1,5$ à $5,5 \times 10^{10}$ tonnes environ de biomasse végétale terrestre, on peut évaluer la durée du cycle de circulation du carbone, qui intervient ensuite dans la formation de la biomasse végétale, de la biomasse animale, de la biomasse microbienne et des sols (y compris la minéralisation de l'humus des sols) entre 200 et 600 ans en moyenne et à mille ans au maximum.

Une certaine portion des matières organiques n'entre pas dans le processus pédogénétique, car elle est entraînée dans les roches sédimentaires et sert à la formation de sapropel, de tourbe, etc. On peut donc dire que la formation de la couche d'humus n'est que l'un des aspects d'un phénomène plus général : celui de la circulation planétaire du carbone, auquel se rattachent les phénomènes de photosynthèse, les chaînes alimentaires, la pédogenèse et la minéralisation de la matière organique aboutissant à la formation de gaz carbonique.

La synthèse de la biomasse végétale n'entraîne pas uniquement la combinaison du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène en matière organique : elle s'accompagne aussi de l'incorporation dans cette matière organique d'un très grand nombre d'éléments minéraux.

La teneur moyenne des plantes en éléments minéraux est de 5 à 8 % du poids total de matière sèche, mais le taux peut varier de 1 à 40-45 % (chez les halophytes). La biomasse végétale terrestre fixe des quantités énormes de substances minérales diverses — au total 10^8 à 10^9 tonnes chaque année. La destination finale des substances minérales et des composés azotés de la

biomasse est entièrement différente de celle du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène. Au cours de la décomposition des matières organiques, les éléments minéraux pénètrent dans le sol et s'accumulent avec l'humus dans les horizons supérieurs. Cette accumulation biogène des éléments par pédogenèse est le deuxième aspect que revêt la transformation des roches en sols sous l'action des organismes. La quantité d'éléments minéraux entrant dans le cycle biologique est loin d'être la même pour toutes les formations végétales. Les steppes à graminées et les herbages mettent en circulation jusqu'à 500-700 kg d'éléments minéraux par hectare et par an; pour les forêts de conifères, ce n'est que 70 à 200 kg d'éléments minéraux qui entrent dans le cycle biologique; cette quantité est encore plus faible pour la végétation des régions semi-désertiques ou désertiques. Mais l'homme peut modifier la circulation biologique des substances minérales en transformant la structure des cultures et en y apportant des engrais.

Le tableau 1 fournit des données permettant la comparaison entre la biomasse terrestre en présence, le cycle des éléments minéraux, et la décharge de matière dissoute et solide par les rivières et les fleuves.

TABEAU 1. Rôle des agents biogéochimiques dans la biosphère

Biomasse terrestre en présence	$3 \times 10^{12} - 10^{13}$ tonnes
Photosynthèse annuelle sur les terres émergées	$1,5 \times 10^{10} - 5,5 \cdot 10^{10}$ tonnes
Éléments minéraux et azotés retournés annuellement par la litière	$2 \times 10^8 - 10^9$ tonnes
Décharge totale par les rivières et les fleuves de matière dissoute	3×10^8 tonnes
Décharge totale par les rivières et les fleuves de matière solide	$1,6 \times 10^{10}$ tonnes

Les matières vivantes aussi bien que l'humus du sol accumulent de l'énergie d'origine solaire, la redistribuent et déclenchent ainsi une série d'activités mécaniques et des réactions chimiques et biochimiques qui constituent l'essence même de la pédogenèse. Sans cette énergie, l'action des organismes du sol est inconcevable et la pédogenèse et la production même sont impossibles.

PRODUCTIVITÉ BIOLOGIQUE DES PRINCIPAUX ÉCOSYSTÈMES DE LA TERRE

Le processus le plus important de la biosphère est la production continue de matière vivante (biomasse). L'importance de ce processus dans le fonctionnement de la biosphère et le renouvellement des ressources naturelles de l'homme s'accroît avec le temps.

L'étude aussi bien quantitative que qualitative de la masse de matière organique effectivement synthétisée dans la biosphère permet non seulement de mieux évaluer la productivité biologique qui peut être réalisée, mais aussi de comprendre la nature et les lois qui régissent les processus de la biosphère, ses échanges énergétiques et sa géochimie. Une telle estimation constituera

donc la base scientifique de la conservation et du développement des ressources de la biosphère, c'est-à-dire de l'accroissement de sa productivité en général.

Dans le processus de la photosynthèse, aboutissant à la formation de biomasse végétale, une quantité d'énergie solaire très faible est nécessaire, de l'ordre de 0,2 à 0,5 % en moyenne et de 1 % au maximum (jusqu'à 3-4 % dans les meilleures cultures).

La quantité totale d'énergie solaire que la terre reçoit est de l'ordre de 5×10^{20} kcal par an. Les surfaces émergées reçoivent environ $1,1 \times 10^{20}$ - $1,7 \times 10^{20}$ kcal par an, le reste, c'est-à-dire $3,3 \times 10^{20}$ - $3,9 \times 10^{20}$ kcal par an va aux océans.

Selon Duvigneaud, la photosynthèse des plantes permet l'élaboration de substances organiques pouvant s'élever à 3×10^{10} tonnes par an dans les océans et de $5,3 \times 10^{10}$ tonnes sur les terres émergées. Au total, pour le globe terrestre, la photosynthèse permet une production de $8,3 \times 10^{10}$ tonnes de substances organiques. Sur les $5,3 \times 10^{10}$ tonnes sur la terre ferme, $2,84 \times 10^{10}$ tonnes le sont grâce aux forêts, le reste étant élaboré essentiellement par la végétation herbacée et les cultures.

Duvigneaud distingue les niveaux de productivité suivants :

1. Les déserts et les grands fonds marins sont caractérisés par une productivité faible s'élevant à 0,1 gramme de carbone au mètre carré par jour.
2. Les prés les steppes, et les eaux peu profondes produisent quotidiennement de 0,5 à 3 grammes de carbone au mètre carré.
3. Les prairies, les forêts et les champs cultivés produisent quotidiennement de 3 à 10 grammes de carbone au mètre carré.
4. Les forêts tropicales, les champs cultivés intensivement, les terrains mis en valeur dans les plaines d'inondation et les estuaires produisent quotidiennement de 10 à 20 grammes de carbone au mètre carré.

L'évaluation de la productivité des phytogéocénoses en général est difficile, mais devrait néanmoins être entreprise. Elle impliquerait l'évaluation des paramètres suivants : a) biomasse végétale totale sur pied comprenant à la fois les parties aériennes et souterraines de la phytocénose; b) production annuelle totale de matière sèche (parties aérienne et souterraine); c) composition chimique et masse des éléments nutritifs entrant dans les cycles biologiques (éléments minéraux et azote); d) teneur moyenne en éléments minéraux de la production annuelle de biomasse végétale; e) spécification des métabolites (par l'analyse des éléments de la nutrition) entrant en jeu annuellement dans le processus d'élaboration de la biomasse végétale; f) intensité de la décomposition des déchets végétaux calculée d'après le rapport entre la litière et la chute de litière (parties vertes).

En tenant compte de données récentes obtenues en Union soviétique, considérons maintenant la répartition de la biomasse végétale sur la terre. Les quantités les plus faibles se trouvent dans les déserts subtropicaux et tropicaux (moins de 2,5 tonnes à l'hectare). Viennent ensuite les déserts polaires, les phytocénoses subpolaires, les déserts subboréaux et les sols salins (de 2,5 à 5 tonnes à l'hectare).

Dans la toundra, la biomasse végétale sur pied est de 12,5 à 25 tonnes environ à l'hectare, tandis que dans la toundra forestière elle atteint 50 tonnes à l'hectare; dans la taïga, elle atteint 300-400 tonnes à l'hectare.

Dans les forêts subtropicales et les forêts latifoliées, la biomasse végétale est encore plus importante (400 à 500 tonnes à l'hectare).

Les plus grandes quantités de biomasse végétale se rencontrent dans les forêts tropicales humides sempervirentes (plus de 500 tonnes à l'hectare). Dans les forêts brésiliennes, par exemple, on a observé de 1500 à 1700 tonnes à l'hectare. Les steppes, les prés montagneux, les pampas, les forêts-parcs et les savanes xérophytiques, ainsi que les mangroves, comptent de 12,5 à 150 tonnes de biomasse végétale à l'hectare.

En se fondant sur les données de Basilevič et Rodin (1967), on peut tirer des conclusions importantes concernant la production des phytocénoses terrestres. Il n'existe cependant que peu de renseignements sur cette production et beaucoup de travail reste à faire, les valeurs disponibles et les calculs effectués n'étant qu'approximatifs.

La biomasse végétale sur pied la plus importante se rencontre dans les forêts, mais une forte production annuelle est caractéristique non seulement des forêts, mais aussi des formations végétales à base de graminées, telles que les savanes, les prairies, les pampas, les steppes et les formations installées sur des terrains dérivés des plaines d'inondation. Il est intéressant de noter que des phytocénoses entièrement différentes et éloignées les unes des autres peuvent produire la même quantité de biomasse végétale (toundras et steppes sèches, par exemple). L'ordre de grandeur de la production annuelle est le même pour les forêts latifoliées et les pampas, les taïgas septentrionales, les steppes sèches, etc. Toutefois, la composition chimique de la matière organique de la biomasse végétale varient beaucoup selon les phytocénoses.

La teneur en éléments minéraux la plus faible (de 1,5 à 2,5 %) est caractéristique de toutes les toundras, toundras boisées, forêts de conifères et forêts de conifères et latifoliés; un pourcentage moyen (2,5 à 5 %) est caractéristique des pâturages alpins et subalpins, des steppes, de certains déserts subboréaux, des forêts subtropicales et tropicales, des terrasses fluviales boisées, des herbages du type « tugaï », des terrains boisés et des savanes; un taux élevé (5 à 8 %) est typique des déserts subtropicaux et subboréaux, ainsi que des mangroves; un pourcentage très élevé (20-30 %) caractérise la végétation sur solontchak. A production annuelle égale de matière sèche, la consommation et la libération de composés minéraux et d'azote sont toujours plus élevées dans les phytocénoses herbacées que dans les forêts latifoliées, et dans les forêts latifoliées que dans les forêts de conifères. La composition chimique des plantes peut varier, bien entendu, en raison de taux de productivités différents, d'une capacité d'absorption sélective des éléments minéraux et de la composition géochimique inégale du milieu ambiant.

Le rapport exprimé en masse de matière sèche entre la litière du sol et la chute de litière (partie verte) peut servir comme mesure de la rapidité de décomposition de la litière du sol et de libération des éléments chimiques, et permet au chercheur de se faire une idée de l'intensité de la circulation biologique. Dans un écosystème considéré, cette intensité est d'autant moins grande que le rapport ou l'indice est plus élevé (Basilevič et Rodin, 1967).

L'indice en question atteint sa valeur maximale dans les forêts marécageuses (plus de 50) et dans la toundra à chamaephytes (20-50). La circulation biologique à l'intérieur de ces formations peut être considérée comme à peu près nulle (d'après l'échelle à dix degrés). L'indice est nettement plus faible (10-17) dans les forêts sombres de conifères du type taïga, où la circulation

biologique est lente. Dans les forêts de latifoliés il est de 3 à 4. Dans les steppes la décomposition des matières organiques de la litière du sol est très rapide, l'indice y est proche de 1-1,5 et la circulation biologique peut être considérée comme intense. L'indice est encore plus faible dans les forêts subtropicales (0,7 environ) et ne dépasse pas 0,2 dans les savanes. L'accumulation de matière végétale morte est presque nulle dans les forêts tropicales des basses terres humides. L'indice n y dépasse pas 0,1; on peut considérer que la circulation biologique y est particulièrement intensive.

Lors du passage d'un niveau trophique à un autre, la biomasse en présence peut varier dans le rapport de 100 à 1 000 (voir tableau 2). Le rapport entre la biomasse végétale et la biomasse des herbivores (au sens large) est le suivant : toundra : $n \times 10^4$; taïga : $n \times 10^5$; forêts de conifères et latifoliés : $n \times 10^6$; steppes boisées : $n \times 10^3$; steppes : $n \times 10^2$; déserts : $n \times 10^2$.

TABLEAU 2. Biomasse totale (exprimée en poids sec par kilogramme et par hectare) du couvert végétal et des populations de vertébrés

Niveau trophique	Toundra	Taïga	Forêts latifoliées	Steppes
Couvert végétal au-dessus du sol (d'après Rodin et Basilevič)	$n \times 10^3$	$n \times 10^5$	$n \times 10^5$	$n \times 10^2$
Herbivores	$n \times 10^{-1}$	$n \times 10^0$	$n \times 10^0$	$n \times 10^0$
Prédateurs	$n \times 10^{-3}$	$n \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-2}$

Le tableau 2 permet de distinguer trois types de rapport correspondant respectivement à la toundra, à la forêt et aux steppes. Toutefois, dans ces biogéocénoses, à chaque kilogramme de biomasse d'herbivores en présence correspond une production annuelle de biomasse végétale de plusieurs centaines de kilogrammes à plusieurs tonnes. Ce chiffre est beaucoup plus élevé que celui de la consommation annuelle de nourriture.

De toute évidence, les herbivores sauvages n'utilisent donc qu'une petite partie des ressources végétales, mais on connaît mal les causes de ce phénomène et les mécanismes qui règlent le système des interactions mentionnées plus haut. Un des principaux problèmes que pose l'augmentation de la productivité consiste à modifier ce rapport, c'est-à-dire à augmenter le pourcentage d'utilisation des ressources végétales par les animaux.

Il convient de signaler que dans la littérature récente un courant s'est manifesté en faveur d'une réévaluation de la part des organismes autotrophes des mers et des océans dans la production totale de la biosphère. Pendant de nombreuses années on admettait volontiers que l'énergie solaire était mieux exploitée par les organismes autotrophes aquatiques que par le couvert végétal terrestre. Il semble toutefois que la production annuelle en carbone des océans eutrophes les plus producteurs est en moyenne de l'ordre de 645 grammes par mètre carré. Des productions moins élevées de l'ordre de 91 g/m² sont constatées, et dans les parties centrales des océans, qui constituent la partie la plus grande, elle serait seulement de 36,5 g/m².

Ces chiffres correspondent aux pourcentages suivants d'utilisation de l'énergie totale des radiations solaires : 0,33 %, 0,11 % et 0,02 %. Il est intéres-

sant de noter que les chiffres cités par Duvigneaud pour les principaux types d'écosystème terrestre sont très voisins : 0,33 % pour les forêts, 0,25 % pour les cultures, 0,10 % pour les prés et pâturages et 0,01 % pour les déserts et les glaciers. Mais la forêt occupe plus de 40 % de la surface des terres émergées, alors que les eaux eutrophes des océans qui se limitent essentiellement aux zones côtières ne représentent qu'une très faible partie de la surface totale de ces océans. En moyenne, l'utilisation de l'énergie du rayonnement total pour toute la surface des mers est de l'ordre de 0,04 %, compte tenu de la répartition inégale de l'énergie rayonnante et de l'existence des zones maritimes à productivité différente. Pour l'ensemble des terres émergées, le rendement de la conversion de l'énergie solaire serait d'environ 0,1 %, c'est-à-dire 2,5 fois supérieur.

QUELQUES CONSÉQUENCES D'UNE AUGMENTATION DE LA PRODUCTIVITÉ

Dans de nombreux pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine, la plus grande partie de la population vit dans la pauvreté : salaires dérisoires, sous-alimentation, famine ou malnutrition (manque de calories, de protéines). Pour mettre fin à la pénurie mondiale de protéines, la production actuelle de protéines devrait passer du chiffre de 20 millions à environ 42 millions de tonnes.

Une amélioration de la zootechnie, de l'aviculture, de l'aménagement de la faune et de son habitat, de l'agriculture, des pêcheries et de la pisciculture devrait permettre de résoudre le problème des protéines dans l'alimentation humaine. A cet égard, une meilleure connaissance des processus entrant en jeu dans la production secondaire (production de biomasse animale) offrira de gigantesques possibilités.

La production de protéines varie considérablement selon les espèces animales. Il faut donner au bétail 7 calories en glucides d'origine végétale pour obtenir une calorie en protéine animale. En revanche, il suffit de 3,5 calories en glucides d'origine végétale, soit moitié moins, pour obtenir une calorie en protéines quand il s'agit de chair de poulet. L'aviculture est donc l'un des moyens les plus efficaces et les plus économiques de fournir à l'homme les protéines qui lui sont indispensables. Il semble toutefois qu'une production en protéines à un rendement encore plus élevé peut être envisagée dans le futur grâce à la pisciculture.

Des installations de production de protéines animales par synthèse microbiologique, utilisant des produits dérivés du pétrole, des sels d'azote, de phosphore et de potasse, ont été récemment créées dans divers pays.

Par l'emploi de méthodes phytogénétiques permettant la sélection de nouvelles variétés de plantes cultivées et par une optimisation de la densité des végétaux, il sera possible un jour d'assurer une augmentation considérable du rendement photosynthétique des cultures. Le rendement du processus de conversion de l'énergie solaire en énergie chimique par les plantes cultivées est en général très faible : 0,2-1,0 %. Il semble possible de porter ce chiffre à 5 % ou même 10 %. Les généticiens, les physiologistes et les agronomes (en particulier les spécialistes en irrigation et en amélioration des plantes) s'y emploient actuellement.

L'humanité dans son ensemble pourrait mieux utiliser les ressources

végétales de la planète en planifiant de manière scientifique la production de denrées alimentaires et de matières premières industrielles.

Des données approximatives sur la synthèse globale de substances organiques montrent que l'homme n'utilise à l'heure actuelle directement ou indirectement pour son alimentation qu'une fraction négligeable (2-3 %) de la biomasse végétale produite par photosynthèse sur les terres émergées. La majeure partie de la biomasse végétale terrestre reste inutilisée par l'homme pour son alimentation. Sur la production totale du globe en biomasse végétale, 25 % seulement proviennent de cultures alimentaires ou des pâturages et, sur les 25 %, 9 % (soit 360 millions de tonnes) sont utilisés par l'homme.

Les pertes de substances organiques produites par photosynthèse sont donc très élevées dans l'industrie alimentaire et la zootechnie (80-93 %), ce qui est absolument irrationnel. En outre, l'homme n'utilise presque pas les matières organiques pélagiques, bien que celles-ci semblent offrir de très grandes possibilités à l'industrie alimentaire de l'avenir.

L'homme pourrait assurer une bien meilleure utilisation de l'énergie solaire par la culture de micro-organismes ayant une forte production de protéines. Dans les conditions optimales, les cultures de micro-algues (*Chlorella*, *Ocenedesmus*) sont caractérisées par un rendement photosynthétique de 5-6 %, et une biomasse contenant 50 % de protéines.

L'utilisation de systèmes écologiques « fermés » permettant le cyclage complet des substances pourrait grandement contribuer, et de manière efficace, à résoudre le problème alimentaire. L'analyse de ce problème montre qu'il devra être résolu en partie grâce à l'emploi de méthodes biologiques telles que celles de resynthèse et de régénération des gaz, de l'eau et des substances nutritives dans des systèmes écologiques fermés, et non pas uniquement grâce à des méthodes physico-chimiques.

Les progrès techniques, économiques et sociaux sans précédent que l'humanité accomplit au cours de ce xx^e siècle s'accompagnent de changements profonds dans la composition, la structure et les ressources énergétiques de la biosphère : ces changements tendent eux-mêmes à créer une situation entièrement nouvelle et de nouveaux rapports entre l'homme et le milieu. Il est non seulement parfaitement naturel, mais absolument essentiel, que l'homme agisse, et rationnellement, sur ce processus qui joue un rôle si capital dans l'histoire géologique moderne de la planète, en utilisant toutes les méthodes réellement scientifiques qui lui sont offertes et en exploitant les ressources de la biosphère avec la plus grande prudence.

Bibliographie

- BASILEVIČ, N. I.; RODIN, L. E. 1967. Map-schemes of productivity and of biological cycling of the main types of vegetation of dry land of Earth. *Izvestiya vsesoyuznogo geograficheskogo obchestva*, vol. 99.
- BELOV, N. V., LEBEDEV, V. I. 1957. The energy sources of geochemical processes. *Priroda*, n° 5.
- DUVIGNEAUD P. 1967. *Écosystèmes et biosphère*, 2^e éd. Bruxelles.

- ECKARDT, F. E. 1968. Remarques préliminaires concernant la structure et le fonctionnement des écosystèmes, et l'organisation du colloque de Copenhague. In: *Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. Proceedings of the Copenhagen symposium/Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire. Actes du colloque de Copenhague*, p. 21-30. Paris, Unesco. (Natural resources research/Recherches sur les ressources naturelles, V.)
- KOVDA, V. A. 1944. Biological cycles of movement and accumulation of salts. *Pochvovedenie*, n° 4-5.
- 1954. *La géochimie des déserts d'URSS*. Moscou.
- 1956. Mineral composition of vegetation and soil-forming. *Pochvovedenie*, n° 1.
- 1966. Problem of biological and economic productivity of the dry land. *Selskokhozyaistvennaya biologiya*, vol. I, n° 2.
- ; YAKUSHEVSKAYA, I. V. 1967. Experimental evaluation of biomass of the dry land. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR*. (Seriya biologicheskaya, 3.)
- NICHIPOROVICH, A. A. 1966. Photosynthesis and the question of increasing of plants productivity. *Vesnik Selskokhozyaistvennoi Nauki*, Moscou, Izdatelstvo «Kolos».
- PERELMAN, A. I. 1968. *Geochemistry of epigenetical processes*. Moscou, Izdatelstvo «Nedra».
- SUKACHEV, V. N. 1948. Phytocenology, biogeocenology and geography. *Trudy-2 Vsesoyuznogo geograficheskogo s'ezda*, vyp. I. Moscou, «Geografiz».
- ; DYLLIS, N. V. (eds.). 1964. *Foundations of forest biogeocenology*. Moscou, Izdatelstvo «Nauka».
- VERNADSKY, V. I. 1926 *Biosphere*. Leningrad, Nauchnoe khimiko-tekhnicheskoe izdatelstvo.
- 1934. *Problems of biogeochemistry*. Part. I : *Significance of biogeochemistry for studying the biosphere*. Leningrad, Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR.
- VINOGRADOV, A. P. 1938. Biogeochemical provinces and endemies. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, vol. 18, n° 4-5.
- 1946. *Biogeochemical provinces*. Trudy yubileinoy sessii V. V. Dokuchaeva. Moscou, Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR.

L'impact de l'homme sur la biosphère

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet présenté par M. F. Fraser Darling (Royaume-Uni), commenté et complété par Vladimir Sokolov (URSS), Frederick Smith (États-Unis d'Amérique), François Bourlière (France) et par les secrétariats de l'Unesco et de la FAO.

INTRODUCTION

Les effets multiples que la présence physique et l'activité de l'homme ont eus sur la surface de la planète Terre au cours de la relativement brève histoire humaine tendent à prendre un caractère dynamique et à réagir les uns sur les autres; il est néanmoins utile d'essayer de les classer pour mieux comprendre les facteurs temporels et spatiaux en cause. Le monde qui existait avant que l'homme connaisse l'outil et le feu était un immense réservoir de ressources naturelles, organiques et minérales. Mais s'exprimer ainsi, c'est mettre la charrue devant les bœufs : les richesses naturelles ne sont devenues des ressources que depuis que l'homme non seulement existe, mais est devenu capable de les utiliser. L'aptitude à reconnaître, à mettre en exploitation et à utiliser des ressources naturelles est un processus continu, et nous avons aujourd'hui une assez bonne connaissance archéologique et historique des rythmes d'exploitation qui ont prévalu dans différentes régions du monde, des brusques changements de rythme et de style qui ont résulté des mutations de la condition humaine, et de l'accélération prodigieuse de la vitesse à laquelle s'opèrent les changements depuis une centaine d'années. Nous sommes convaincus que l'ingéniosité de l'homme a pris le pas sur sa sagesse — c'est l'une des raisons pour lesquelles cette conférence nous réunit aujourd'hui — mais nous ne devons pas commettre l'erreur de croire qu'il serait sage d'exprimer nos idées en agitant constamment un doigt réprobateur et en secouant négativement la tête à la façon du prophète Jérémie. La civilisation est la fleur de l'évolution, mais elle n'aurait pu s'épanouir si l'homme ne s'était procuré les loisirs nécessaires à la réflexion et n'avait acquis une certaine liberté d'action en réussissant à utiliser pour ses besoins une part plus grande des richesses naturelles que ne l'exigeait sa simple subsistance.

Depuis les débuts de la civilisation, l'homme a modifié les processus naturels de son milieu en puisant dans les réserves organiques des écosystèmes de la planète. Allumer un feu de branches mortes pour avoir chaud, c'est déjà modifier un processus naturel de décomposition, qui aurait reconstitué de l'humus, pour produire des cendres inorganiques. Pendant longtemps, l'homme est sans doute resté comparable à un animal indigène dont l'activité ne peut provoquer que des changements limités; mais, au moment où s'est produite la grande poussée de la révolution néolithique, l'homme, qui vivait de chasse et de cueillette, avait déjà modifié plus ou moins involontairement certaines parties de son univers par l'usage du feu. Il importe d'avoir présent à l'esprit, lorsqu'on analyse l'influence de l'homme sur la biosphère, le fait que l'impact de l'espèce humaine dépasse de beaucoup le contact immédiat : un incendie se propage et modifie un complexe de végétation ou bien le feu sert à rabattre un troupeau de gros gibier, ce qui entraîne un gaspillage énorme de matières organiques pour l'obtention d'un avantage momentané, ou encore on brûle l'herbe saisonnièrement pour pousser les animaux vers de nouveaux pâturages, ce qui appauvrit inévitablement l'habitat. L'homme agissait dans une certaine mesure sur le comportement des animaux sauvages grâce à ces expédients, qui modifiaient lentement son propre habitat comme le leur.

Les hommes étaient si peu nombreux et le monde était apparemment si vaste qu'il aurait alors été étrange de s'interroger sur le sort des richesses naturelles. Même au siècle actuel, des hommes ont estimé que leur devoir était de faire reculer le désert et se sont enorgueillis d'y être parvenus. A celui qui étudie la condition humaine, le principe de la protection de la nature peut paraître évident; mais il admet que la civilisation se paye par le sacrifice d'importantes richesses naturelles. A quelle époque se place le moment critique où l'homme devrait prendre plus clairement conscience de la situation, ce qui l'amènerait à cesser l'exploitation pure et simple de la nature et à combiner l'exploitation et la reconstitution des ressources? Il est possible que ce moment soit maintenant venu, bien que dans l'ensemble la planète continue de s'appauvrir. On peut même se demander si une reconstitution est encore possible, ou bien si l'enchaînement des causes et des conséquences, prenant une ampleur croissante, est arrivé à un point qui échappe à notre contrôle.

Il vaut la peine d'essayer de classer les effets de l'action de l'homme sur la biosphère, peut-être dans un ordre évolutif et qualitatif qui pourrait rester souple et permettre, après révision, d'établir un diagramme écologique de facteurs interdépendants. On pourrait ainsi le développer largement et en modifier l'économie. L'impact de l'homme ne doit pas être considéré comme étant nécessairement préjudiciable à son bien-être final, même si c'est le plus souvent le cas. Certains habitats modifiés par l'homme peuvent constituer des écosystèmes égaux ou supérieurs aux systèmes naturels du point de vue de la productivité et de l'« enrichissement ». Par « enrichissement », il faut entendre ici le stockage de capital organique dans un sol de forêt tropicale ou de « prairie » (tchernoziom).

Nous nous sommes efforcés aussi de définir les nouveaux problèmes posés par l'accélération du développement, et d'énumérer les diverses mesures prises jusqu'à ce jour par l'homme pour éviter la détérioration du milieu.

L'IMPACT DE L'HOMME SUR LA BIOSPHÈRE, AUTREFOIS ET AUJOURD'HUI

LA RECHERCHE DE NOURRITURE

La chasse aux animaux par le feu. Le feu a été utilisé pour la chasse aux animaux, provoquant incidemment la destruction de forêts et empêchant leur reconstitution dans une large mesure. Certes, les savanes ainsi créées, comme dans certaines régions d'Afrique peuplées d'une riche faune d'ongulés, peuvent donner naissance à un milieu écologique très productif en matières organiques. Mais les savanes du Brésil et de la Guyane semblent très nettement perdre de leur valeur qualitative. Est-ce parce qu'elles ne portent qu'un ensemble limité d'ongulés par comparaison avec celles d'Afrique? En Amérique du Nord, les Indiens avaient étendu les terrains de parcours des bisons en incendiant la forêt; les prairies humides ainsi créées conservaient une productivité extrêmement élevée, et il s'y accumulait d'immenses réserves de sols fertiles.

Parfois, le terrain est également brûlé volontairement pour obtenir de l'herbe fraîche; ce procédé appauvrit la flore originelle et bouleverse en conséquence les possibilités d'adaptation du pâturage aux variations saisonnières du climat. On peut citer comme exemple la production de pelouses à *Molinia* et à *Scirpus* dans les hautes terres d'Écosse et l'élimination progressive de l'herbe, remplacée par une brousse à acacia et à lanturier dans certaines régions d'Afrique, et à « mesquite » (*Prosopis*) dans le sud-ouest de l'Amérique du Nord. De nombreuses et importantes variantes se produisent, selon la fréquence de l'écobuage et, notamment dans les pays tropicaux, selon le moment où se pratique cette opération par rapport à la saison sèche et à la saison humide.

L'agriculture sédentaire. L'agriculture sédentaire, par opposition à l'agriculture itinérante, tend à épuiser le sol quand on néglige sa reconstitution ou que celle-ci est impossible, ou à le rendre aride si d'énergiques mesures de compensation ne sont pas prises. En Angleterre, les terres épuisées dites « brecks » résulteraient de leur mise en culture à l'époque néolithique. La « cuvette de poussière » (Dust Bowl) des États-Unis entre 1930 et 1940 a montré à quoi pouvait aboutir une exploitation continue sans reconstitution appropriée, quand plusieurs années de sécheresse se succèdent. D'une façon générale, l'agriculture doit maintenir le taux de matières organiques du sol, sinon celui-ci se durcit ou est emporté par le vent. Mais on peut donner de nombreux exemples d'une agriculture sédentaire qui s'est poursuivie avec succès pendant des siècles dans des conditions écologiques différentes, notamment en Extrême-Orient, dans le Proche-Orient, dans le bassin Méditerranéen et en Amérique centrale. L'exemple de l'ancien Néguev prouve l'efficacité des mesures de conservation de l'eau; leur abandon avait provoqué une détérioration presque complète de l'habitat.

L'agriculture itinérante. Les partisans de la conservation de la nature ont généralement tendance à condamner sans appel l'agriculture itinérante comme toujours préjudiciable à l'habitat. On peut cependant citer des cas où cette pratique accentue la variété et produit d'utiles effets marginaux (création d'écotones), pourvu que la population humaine soit peu nombreuse. Le sys-

tème « chitemene » utilisé en Afrique centrale en est un bon exemple : les jardins ne dépassent pas une quarantaine d'ares et, comme ils sont entourés par la brousse et situés sur un terrain relativement plat, ils retournent bientôt à la brousse après trois à cinq ans d'exploitation; ils restent ensuite incultes pendant une quarantaine d'années. Dès leur abandon, les jardins sont envahis par des colonies de rats *Tatera* alors que le sol est encore meuble et friable. Pendant une année ou deux, ces rats, que capturent les jeunes garçons, constituent un apport secondaire de protéines. Ensuite, la brousse se rétablit progressivement et reconstitue le sol. Les méthodes agricoles des Henounoos aux Philippines fournissent un autre bon exemple de culture itinérante perfectionnée qui assure la conservation du sol.

Quand la population humaine augmente, la brousse doit être remise en culture trop tôt, ce qui entraîne une détérioration de l'habitat. Les cultures itinérantes pratiquées sur de fortes pentes sont presque toujours condamnables; sur certaines formations géologiques, comme les calcaires, la pratique du « milpa » peut aboutir rapidement à des résultats désastreux. La culture itinérante est le fléau de l'Amérique centrale et du nord de l'Amérique du Sud, où la pénurie de terres que provoque l'accroissement rapide de la population crée un enchaînement difficile à rompre. L'érosion a des effets à long terme sur de bien plus grandes étendues de pays parce qu'elle compromet l'équilibre hydrologique.

L'irrigation. L'irrigation est un procédé de mise en valeur très ancien et encore très répandu; mais lorsqu'il s'agit de travaux à grande échelle, l'amélioration ou le maintien de la fertilité du sol sur une longue période pose de nombreux problèmes. Comme l'irrigation intéresse souvent des régions arides où une forte évaporation a favorisé la concentration de sels dans le sol, elle tend à dissoudre ces sels et à les redéposer ensuite sous forme d'une croûte cristalline. Le réemploi de l'eau d'irrigation, comme dans le cas des eaux du Colorado, peut transformer des sols fertiles en sols salins et les rendre inutilisables aux niveaux inférieurs. C'est ce qui s'est également produit pour la Bear River (Utah), ainsi que dans le cas du vaste programme du Sind. Une irrigation judicieuse, ou bénéficiant peut-être de circonstances favorables, utilise l'eau de pluie et, lorsque celle-ci est assez abondante, elle parvient à lessiver les sols particulièrement salins des régions arides où elle est employée. Les travaux de la Gezireh, au Soudan, constituent un excellent exemple de ce cas : l'économie du pays a été considérablement améliorée par l'emploi des eaux non salines du Nil bleu (qui coule à une altitude plus élevée que le Nil blanc) captées pour être distribuées dans le triangle de la Gezireh. L'eau utilisée s'écoule dans le Nil blanc du côté le plus bas du triangle; le débit de ce fleuve est suffisant pour que ses eaux ne soient pas sensiblement salinisées par celles du Nil bleu qui traversent la Gezireh.

Un fait de plus en plus néfaste en irrigation africaine est l'extension des bilharzies, qui causent la maladie débilitante de la schistosomiase. L'escargot vecteur de la maladie est très répandu et les ouvrages d'irrigation lui procurent de nouveaux habitats. Le ver a été répandu par les êtres humains, qui maintenant voyagent en plus grand nombre et plus fréquemment.

L'irrigation par des eaux douces fossiles s'est beaucoup accrue. Au Texas, le pétrole peut durer plus longtemps que l'eau, mais la fourniture d'eau douce à partir de la mer peut rendre cette remarque erronée. Même en Grande-

Bretagne tempérée, où la pluie et l'humidité sont traditionnelles, l'irrigation de l'herbe par aspersion d'eau douce fossile produit une augmentation des rendements sans conséquences nuisibles apparentes, sauf, comme en toute irrigation, une consommation extrêmement élevée d'eau. La Grande-Bretagne également développe encore son industrie et son niveau de vie. Ce dernier fait à lui seul se traduit par une demande accrue d'eau. Le gaspillage des eaux fossiles est donc une chose que la Grande-Bretagne ne peut se permettre.

Surpâturage et surbroutage des animaux domestiques. Lorsque le bétail est domestiqué, la sédentarisation limite ses mouvements, ce qui aboutit souvent à un surpâturage inévitable, sinon constamment au moins en période de sécheresse. Un choix judicieux de différentes espèces d'animaux domestiques selon les conditions climatiques contribue au maintien de l'habitat; mais un équilibre judicieux peut être facilement bouleversé par les fluctuations des conditions naturelles. Il faut apprendre à utiliser rationnellement les pâturages; mais il peut arriver que les méthodes apprises ne soient pas généralement appliquées. Même les méthodes perfectionnées d'une station de recherches modernes peuvent se révéler insuffisantes, comme cela s'est produit pour le renne, en Alaska, où la dégradation a progressé plus vite que la recherche et a provoqué à la fois l'épuisement des pâturages et la diminution brutale du troupeau. A l'époque moderne, l'exploitation abusive des pâturages dans les pays d'Afrique aux mains des Européens et dans certaines parties de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, ainsi que des prairies à herbe courte d'Amérique du Nord, a provoqué une détérioration du sol plus rapide que celle qui est survenue lors de la longue occupation qui a précédé, par des communautés purement nomades.

Le nomadisme d'origine pastorale. Ce nomadisme mérite de retenir l'attention, car il est très facile à bouleverser ou à interrompre, au détriment de l'habitat. Il se pratique sous sa forme idéale dans les régions steppiques du globe et est alors le moins dommageable. Pour que la conservation de l'habitat soit assurée, le nomadisme doit être essentiellement mouvement. En effet, dès que le nomade s'attache à l'excès, il met à rude épreuve le complexe floral, en l'appauvrissant par réduction du nombre des espèces. Les plus belles régions de nomadisme du monde furent les plaines de chernozem, comme celles du Kouban, que parcouraient les Scythes au temps d'Hérodote. La mobilité de ce peuple, qui ne vivait qu'en perpétuels déplacements, exaspérait Darius. Les nomades étaient tributaires des produits animaux, dont ils tiraient leur nourriture et leurs vêtements; comme consommateurs de protéines, ils constituaient une élite écologique, située au sommet de la pyramide ou chaîne alimentaire. Lorsque leur nombre s'accroissait, des familles, des clans ou des tribus entières étaient contraints d'essaimer. Nous connaissons par l'histoire certaines de ces effrayantes migrations de nomades. Ils utilisaient alors des steppes de moins bonne qualité, des lisières forestières sur les chaînes de montagnes, ce qui modifiait lentement mais inévitablement le milieu, d'ordinaire dans le sens d'une détérioration.

La transformation des steppes de chernozem, de productrices de protéines (bétail domestique en Ukraine et au Kouban, bisons dans la « prairie » américaine) en productrices essentiellement de glucides (blé et maïs) a correspondu à un abandon par l'homme de sa position aristocratique sur le plan écologique.

L'homme a remplacé désormais une communauté complexe de graminées par la monoculture d'une céréale annuelle, blé ou maïs, dont il peut consommer la graine. Ainsi la riche steppe peut-elle nourrir une population beaucoup plus nombreuse, grâce au fait que des bouches humaines remplacent celles des chevaux, du gros bétail et des moutons; mais l'équilibre antérieur du système se trouve rompu. Le grain prélevé n'étant pas consommé sur place, comme autrefois les produits animaux, il en est résulté une perte considérable de matières organiques. Le même phénomène s'est produit en Amérique du Nord, quand la culture a remplacé l'association Indien-bison. Les chernozems d'Amérique et d'Europe ont bien résisté à l'agriculture « extractive », à laquelle ils ont été soumis, et il est probable que de judicieuses méthodes de culture permettront de les conserver en bon état; mais une « révolution de la charrue » de ce genre s'étend toujours à d'autres terres que celles qui peuvent le mieux la supporter. La culture sèche du blé a été pratiquée sur des steppes plus hautes, plus pauvres et plus arides, avec des conséquences désastreuses.

Partout où des populations sédentaires ont empiété sur les pâturages de nomades, il y a eu une dégradation de l'habitat, ce dont on a toujours fait grief aux nomades parce que les cultures sédentaires sont le fait d'une civilisation plus évoluée. Pourtant le nomadisme, système pastoral rigoureusement équilibré, est la moins traumatisante de toutes les influences humaines et constitue une forme d'exploitation qui permet de tirer profit de régions que l'homme ne pourrait utiliser d'aucune autre façon. C'est un système de structure essentiellement écologique, fondé sur le mouvement et l'exploitation saisonnière au moyen d'une large gamme d'animaux pâturants, dont l'adaptation à des habitats aux caractéristiques bien connues permet de produire beaucoup d'énergie sans perte de matière organique.

Le nomadisme a toujours un caractère fragile : les changements politiques apparemment peu importants le dépouillent des habitats nécessaires. Les Masaïs d'Afrique orientale sont une tribu nilotique qui occupait primitivement des terres humides et qui a été transplantée dans un pays de hautes steppes sèches. Cependant, disposant de connaissances exactes et précises, elles n'ont pas détérioré son habitat jusqu'au moment où l'homme blanc a réduit par sa magie vétérinaire la mortalité qui maintenait autrefois l'effectif des troupeaux à un niveau compatible avec les ressources du sol. Les Masaïs et leur pays sont un bon exemple de parfaite harmonie entre le nomadisme et la population animale indigène. La faune sauvage, tolérée et respectée, continuait d'exister à côté des troupeaux d'animaux domestiques. Cette harmonie a probablement été réalisée d'abord dans le pays d'origine des nilotiques, au Bahr-el-Ghazal, par exemple, où les Dinka admettent la présence de girafes dans leurs troupeaux de gros bétail. Les nilotiques pratiquent un nomadisme saisonnier restreint entre la toich (plaine herbeuse inondable) et la brousse légèrement plus élevée où se rendent leurs troupeaux pendant la saison humide. Les connaissances pratiques et empiriques des Dinka, et leur disposition à vivre dans leur riche pays en respectant l'écosystème existant, sont illustrées en outre par le fait qu'ils tolèrent dans leurs toits de chaume la présence d'un petit serpent venimeux qui empêche les insectes de se multiplier à l'excès. Même dans ce paradis de l'élevage en symbiose, le progrès moderne et les bouches affamées d'autres régions imposent la culture du riz, l'élimination du gibier et entraînent l'apparition des consommateurs de glucides au ventre gonflé, mais inassouvi.

Nous terminerons cette section en citant un exemple de nomadisme allié au pouvoir politique et rendu juridiquement assez puissant pour dévaster presque tout un pays. Il s'agit du cas de la Mesta, association d'éleveurs de moutons transhumants qui existait en Espagne. Ferdinand et Isabelle conclurent avec elle une alliance avantageuse pour la couronne. Les troupeaux de moutons mérinos traversaient les terres cultivées et il devint même illégal d'élever des clôtures pour les en écarter. Il a fallu près de deux cents ans au peuple espagnol pour vaincre la Mesta, mais les montagnes de Castille sont restées jusqu'à ce jour dénudées.

Cette discussion sur le nomadisme constitue un commentaire de plus à propos de cette attitude du monde en regard du nombre des humains, qui consiste à subir la loi des nombres et à laisser les habitats se dégrader, ce qui entraîne une diminution de la production de nourriture, alors que le nombre de bouches à nourrir croît plus vite. Quand donc aborderons-nous les problèmes de la conservation de l'homme et de l'habitat d'une autre manière?

APPAUVRISSMENT ACTIF DES RESSOURCES NATURELLES VIVANTES RENOUVELABLES

Le déboisement

Le déboisement existe depuis les temps les plus reculés et c'est probablement le type de changement d'habitat sur lequel on est le mieux renseigné. Le premier effet d'un déboisement limité est d'enrichir l'habitat en faisant intervenir un changement dans une situation où le changement était rare ou inexistant. Une clairière est recherchée par nombre d'animaux pâturants. Aux époques primitives et ultérieures, l'homme que la forêt encerclait complètement finissait par se trouver dans un état psychologique qui le contraignait à repousser la forêt et à en desserrer l'étau. L'*horror sylvanum* médiévale était très réelle et l'homme moderne, qui vit dans un monde où les forêts sont devenues rares, ne doit pas l'oublier s'il veut comprendre l'histoire.

Les Anglo-Saxons qui colonisaient une Grande-Bretagne formée d'« îles » de terres cultivées et de pâturages que reliaient des routes traversant un véritable océan de forêts ne savaient pas seulement manier des outils et travailler le bois; ils avaient en outre un remarquable sens de l'écologie. Pour créer à long terme de nouvelles terres arables, ils utilisaient, dans les forêts de chênes et de hêtres, ce qui équivalait sur le plan biologique à la charrue ou à une machine à essarter : le groin de troupeaux de porcs, descendants du sanglier d'Europe. Ces animaux récoltaient la glandée et, par un effet de concentration, empêchaient la régénération de la forêt. Lorsque les arbres étaient enfin abattus, l'herbe poussait sur la terre que les porcs avaient « cultivée »; des clairières ou des pelouses étaient ainsi créées, prêtes pour le laboureur. En Angleterre, pays tempéré et humide, l'évolution du système biologique forestier au système de l'herbage, avec quelques arbres çà et là, se fit sans grande perte de matières organiques, l'énergie libre produite étant vraisemblablement presque égale à celle de la forêt; de toute façon, elle était certainement mieux utilisée pour l'alimentation humaine.

Le fait que l'exportation des ressources naturelles tend à épuiser celles-ci a été l'objet de nombreuses études. Les forêts de chênes d'Angleterre n'ont pas toutes été abattues par la hache des premiers Anglo-

Saxons. L'essor de l'Angleterre comme puissance maritime a entraîné le sacrifice de nombreux arbres; de même l'utilisation du fer a nécessité beaucoup de bois pour fondre le métal. Au début du XVII^e siècle, l'abattage des arbres fit en Angleterre l'objet de mesures restrictives. Les maîtres de forges se tournèrent alors vers les forêts d'Écosse occidentale, où les « lochs » permettaient aux vaisseaux chargés de minerai de fer de pénétrer profondément dans les forêts de pins d'Écosse, où les vallées étaient riches en chênes. La dégradation fut rapide en raison des fortes précipitations, de l'acidité des sols et de la raideur des pentes. La Forestry Commission s'efforce aujourd'hui de réparer ces dégâts, mais cette opération se révèle très coûteuse, étant donné que l'humus actif a disparu depuis longtemps des pentes jadis boisées.

L'abattage intensif des forêts d'Amérique du Nord est peut-être à l'origine des idées sur la conservation. Fairfield Osborn a déclaré en 1948 au sujet des États-Unis : « La manière dont notre nation a utilisé au cours du siècle dernier les forêts, les herbages, la faune sauvage et les ressources en eaux constitue le cas le plus radical de destruction que l'on connaisse dans la longue histoire de la civilisation. La rapidité des événements a été sans égale... » Un pareil exemple de destruction trouve peut-être sa contrepartie dans l'apparition aux États-Unis de la théorie et de la pratique de la conservation. De même, l'Afrique prend conscience, souvent à la suite de cas de destruction des ressources ou de dénudation du sol, de la nécessité de mesures de conservation.

Sur un mode plus optimiste, signalons que le projet spécial pour l'Afrique exécuté conjointement par l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources et par la FAO a peut-être entraîné, comme d'ailleurs la conférence tenue à Arusha en 1961, un changement d'attitude à l'égard de la conservation dans les autres pays d'Afrique.

L'abattage des forêts tropicales est un exemple d'exploitation purement « extractive ». Les quantités massives et impressionnantes de matières organiques qu'accumule cette forme de vie, la plus ancienne de la planète, tendent à en masquer la fragilité. Comme la plupart des formes de végétation forestière, la sylvie tropicale est essentiellement une usine de photosynthèse de la cellulose, les protéines ne constituant qu'un produit très secondaire. Le sol de la forêt tropicale est à l'abri du soleil depuis des millénaires; les niches écologiques où les matières se décomposent et se transforment sont si bien pourvues que la nutrition des arbres est largement assurée et la vie des frondaisons luxuriante. Quand on abat la forêt, le sol fragile s'oxyde rapidement à la lumière du soleil et disparaît :

« Comme la neige, tombée sur la face poussiéreuse du désert,
Brille une heure ou deux avant de disparaître. »

Les forêts d'acajous d'Hispaniola ont disparu, celles du Honduras sont en voie de disparition; le résultat est bien connu.

Dans beaucoup de pays, notamment dans la zone tropicale, les ressources forestières ont été exploitées sans que rien ait été prévu pour assurer une production continue. On peut soutenir que, l'économie locale et les structures politiques étant ce qu'elles sont, il n'y avait pas d'autre solution et que bon nombre de ces pays auront recours à de tels expédients dans l'avenir. Leur survie dépend en effet de rentrées d'argent qui leur permettent d'agir politiquement. La politique est particulièrement dépendante de solutions de ce genre. Nous devons comprendre que des décisions politiques sont (et ont été) l'un des principaux facteurs dont dépend le milieu naturel.

Le drainage des terres humides. En règle générale, les terres humides sont très productives en protéines animales — mammifères, oiseaux, poissons et invertébrés — mais non toujours sous une forme convenant pour l'alimentation humaine. Tout au long de l'histoire, on a eu recours au drainage en divers points du monde pour créer des canaux navigables et augmenter la surface des terres cultivables ou, parfois, mettre en culture des terres particulièrement fertiles. La Hollande et le « Fen Country » d'Angleterre constituent d'excellents exemples de ces travaux, et l'on pourrait également citer de nombreuses régions des États-Unis d'Amérique. Un sol constitué de tourbe alcaline devient très fertile si on peut l'assécher suffisamment pour le cultiver, mais la contraction (en volume) est telle que la construction de digues et de systèmes de pompage devient nécessaire, les terres reconquises se trouvant alors au-dessous du niveau de la mer. La situation reste précaire et le sol même est si friable qu'il a tendance à être emporté par le vent. Il faut toujours se demander, dans ce cas, si on a la possibilité d'assurer la perpétuation des grands travaux nécessaires et si la fertilité potentielle des sols humides permettra d'amortir ces travaux. Là encore, l'écosystème se transforme, passant de la production de protéines à une production essentiellement céréalière (glucides). Certes, ce produit « dévalué » permet de nourrir plus de bouches; mais la perte — sur le plan esthétique — d'espèces animales admirables, notamment d'oiseaux, qu'entraîne le drainage des terres humides est considérable. Les États-Unis ont modifié dans une certaine mesure leur politique antérieure en permettant aux terres humides de se remplir à nouveau d'eau et de reprendre leur forme ancienne, comme c'est le cas par exemple pour les marais Klamath de la Californie du Nord. Il faut dire qu'une telle politique n'est concevable que dans un pays assez riche pour produire des excédents de céréales et où la faune sauvage (protéines) commence à avoir une valeur extrinsèque sur le plan récréatif.

L'Everglades National Park de la Floride illustre magnifiquement la complexité des habitats des terres humides, ainsi que les conséquences d'un assèchement de régions de ce type. Il s'agit essentiellement d'une zone inhabitée réservée à la faune sauvage; elle est constituée par un socle oolithique uniforme situé légèrement au-dessus du niveau de la mer et doucement incliné vers le sud. L'existence de cette réserve dépend de l'écoulement saisonnier et très lent vers le sud de grandes quantités d'eau. Pendant la saison humide, les animaux se dispersent dans toute la région; puis ils se rapprochent des trous d'alligators pendant la saison sèche. Ces trous servent alors de réservoir de survie. Des travaux de drainage entrepris au nord de la réserve ont détourné une grande partie de l'eau qui aurait dû la traverser et ont abaissé le niveau de la nappe aquifère. En outre, une ponction a été faite à la sortie de ce système sous la forme d'un canal creusé entre la mer et l'Everglades National Park pour permettre le passage des bateaux de plaisance. Ce canal accélère l'écoulement de l'eau et laisse parfois pénétrer de l'eau salée. Enfin, des braconniers ont pendant longtemps capturé des alligators. Si ces animaux ne sont pas mieux protégés, il faudra pratiquer artificiellement des trous d'alligators pour assurer la survie de nombreuses autres espèces végétales et animales. Le parc des Everglades est une grande réserve nationale, mais il prouve à l'évidence qu'une enclave de plusieurs milliers de kilomètres carrés n'est pas assez vaste pour être indépendante du point de vue écologique. Rien n'est simple quand on modifie l'équilibre hydrique des terres humides.

Il ne semble pas que la prudence soit encore de règle quand il s'agit de

modifier la nature de terres humides. Tous les travaux hydrauliques exercent une sorte de fascination, et la transformation d'un système producteur de protéines en un système producteur de glucides semble être une justification d'ordre pratique largement suffisante pour aller de l'avant. Les terres humides sont nombreuses à l'intérieur de l'Afrique et une meilleure exploitation ou mise en valeur des ressources piscicoles de ces régions est apparue depuis quelques années comme l'une des formes de développement les plus intéressantes. La Zambie fournit un excellent exemple d'amélioration des conditions alimentaires d'une population industrielle récente grâce aux pêches en eau douce dans les nombreux marais du pays. Néanmoins, pour faire face à l'accroissement démographique prévu, on envisage sérieusement de drainer des régions comme les plaines de Kafue et de Chambeshi afin de les transformer en terres à blé. Or ces travaux auraient pour effet non seulement de réduire le volume des pêches, mais de chasser le gibier, bien que le lechwe rouge, antilope vivant en vastes troupeaux, puisse paître sur des terres gorgées d'eau et être élevé en vue de l'alimentation humaine.

Chasse excessive de certaines espèces animales méritant d'être préservées. Il s'agit là d'une question bien connue, que nous aborderons ici pour autant que la disparition ou la raréfaction de certaines espèces a modifié l'écosystème et l'habitat. Nos connaissances sur ce point sont assez limitées; si nous comprenons mieux le rôle des microhabitats (niches), il nous reste beaucoup à apprendre sur les habitats où l'occupant d'une niche a été chassé. L'éléphant se prêterait bien à une étude comparative, car il existe, d'une part, nombre d'habitats d'où il a disparu à une date récente par suite de chasses excessives et, d'autre part, des habitats où il s'est multiplié grâce à des mesures de protection. Nous avons une idée assez précise de ce qui se passe dans ce dernier cas : formation d'herbages et élimination de la brousse accompagnée d'un recul de la mouche tsé-tsé. L'éléphant est l'agent de ce changement, mais c'est l'homme qui le provoque en modifiant les conditions de vie de l'animal. Les effets de l'appauvrissement de la faune de plaine dans la savane africaine n'ont pas été étudiés avec assez d'attention. Au bison des prairies nord-américaines a succédé la charrue, de sorte que nous savons peu de chose sur les changements que la réduction du nombre de ces animaux aurait provoqués, si ce n'est qu'on assiste, à la limite de la prairie (dans le Wisconsin, par exemple), à l'apparition concomitante d'une forêt de même âge.

Extinction ou élimination intentionnelle de certaines espèces. Le loup constitue peut-être ici le meilleur exemple, en raison de la menace directe qu'il fait peser sur une activité pastorale extensive. Le comportement supposé du loup est devenu un mythe qui peut encore influencer sur le sort de l'habitat. Naguère encore, dans l'Alaska arctique, une prime était versée pour chaque loup tué, alors que l'homme était lui-même loin de détruire assez de caribous pour assurer la sauvegarde des pâturages qui, une fois épuisés, risquaient de ne pouvoir se reconstituer qu'en un siècle peut-être; le caribou aurait alors eu le temps de disparaître! La diminution spectaculaire du nombre des rennes sur la côte ouest après trente ans de surpâturage a fourni pourtant une excellente illustration de ce danger; mais la légende du loup empêchait de discerner la cause véritable, pourtant évidente. Ces pâturages épuisés se distinguent encore des terres avoisinantes quand on les survole d'une altitude de 6 000 mètres.

La nécessité de déplacements fréquents ou continuels — la malédiction d'Ismaël — a été signalée dans les études sur le nomadisme pastoral. Les animaux sauvages se déplacent, mais non entièrement de leur propre initiative. Plusieurs cervidés ont une curieuse habitude appelée « yarding » : au cœur de l'hiver, un vaste troupeau se met à tourner en rond dans un tout petit espace. La nourriture existe un peu plus loin, mais il ne se dirige pas vers elle, à moins que des loups ou d'autres prédateurs ne les y contraignent. Nous ne saurons probablement jamais dans quelle mesure la diminution brutale du nombre des cerfs d'Amérique septentrionale (mule deer, ou *Odocoileus hemionus*) survenue en 1916 sur le plateau de Kaibab s'expliquait par le fait que cette fonction particulière du prédateur faisait défaut, ou simplement parce que le moment était venu d'une diminution absolue du troupeau; mais la signification de l'absence de prédateurs a été immédiatement comprise. On tuait encore des lions de montagne dans le parc national du Grand Canyon en 1950, si profonde est la haine qu'inspirent les grands prédateurs. Nous n'avons pas à nous occuper, dans la présente conférence, des variations des hordes de cerfs; ce qui nous intéresse ce sont les répercussions que peuvent avoir sur l'habitat de brutales fluctuations dues à la destruction par l'homme de prédateurs qui remplissent la double fonction de limiter la multiplication de leurs proies et de forcer les troupeaux à se déplacer. Un travail récent de Mech sur le rapport élans-loups et l'équilibre qui existe entre ces deux espèces dans l'Isle Royale du lac Supérieur a montré comment un habitat boisé peuplé de troupeaux de ces grands cervidés peut se perpétuer lorsque l'homme laisse au loup le soin de faire tout l'« émondage » nécessaire.

CONSÉQUENCES DE L'EXTRACTION DE MINÉRAUX ET AUTRES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES

Émanations et déchets toxiques. Le traitement de certains minerais s'accompagne d'émanations toxiques qui tuent les plantes et parfois les animaux. La stérilisation de certaines zones du Tennessee par le traitement de minerais de cuivre est bien connue. La fonderie d'aluminium installée au pied du Great Glen d'Écosse produisait des vapeurs fluorées que les vents dominants du sud-ouest chassaient vers le nord-est, en remontant la vallée. Ces vapeurs abîmaient les pâturages, et les jeunes animaux en souffraient. Il fallut un très long procès avant que des épurateurs soient mis en place pour remédier à cette situation.

Les mines de plomb du Derbyshire et les usines de feldspath ont laissé des zones de déblais qui ont été recouvertes d'herbages si imprégnés de plomb qu'il était impossible d'y faire paître de jeunes animaux. Le sol est resté ainsi plusieurs siècles après la fermeture des mines.

Perturbation du drainage naturel. L'extraction du charbon et des schistes ne provoque pas seulement des subsidences; elle produit aussi de grandes quantités de débris qui sont généralement rejetés à la surface, au voisinage du puits de mine. Ces grands terrils enlaidissent le paysage et bouleversent souvent le drainage superficiel dans leur voisinage. Dans les cas les plus graves, ils constituent un danger pour les communautés humaines, comme l'a montré la tragédie d'Aberfan. Nous entrons progressivement dans une ère de valeurs nouvelles, où l'espace se raréfie au point de rendre intolérables ces paysages abandonnés. Le mariage récent de l'écologie et de l'aménagement des paysages

ouvre les plus grands espoirs. Les comtés britanniques de Durham et du Northumberland ont entrepris de boiser les terrils; les résultats obtenus garantissent l'enrichissement et l'embellissement des paysages dégradés. Le National Coal Board of Britain a entrepris beaucoup de travaux miniers à ciel ouvert dans le nord de l'Angleterre, en mettant tout en œuvre pour assurer la reconstitution ultérieure du paysage (cette activité absorbe jusqu'à 11 % du budget de cet organisme). Des résultats tout aussi spectaculaires ont été obtenus dans plusieurs régions d'Allemagne.

Les travaux d'extraction minière par excavateurs ou par foreuses dans les collines du Kentucky laissent aux flancs de celles-ci des marques hideuses, et l'érosion des pentes qui en résulte a de graves répercussions sur les bonnes terres du bassin de l'Ohio qui s'étendent au pied de ces collines. Il est d'autant plus navrant d'apprendre que le charbon est ainsi extrait pour être vendu au prix le plus bas à la Tennessee Valley Authority, administration qui est donnée en exemple pour sa politique de restauration des terres. L'une des difficultés auxquelles nous nous heurtons très souvent en matière de conservation consiste à empêcher différents organismes d'un même pays de se nuire (pour ne pas parler d'organismes de pays différents). Là encore, nous manquons d'une bonne législation : le droit étant en grande partie affaire de précédents, il lui est difficile de s'adapter à des situations nouvelles que personne ne prévoyait dans le passé.

Le déversement de déchets dans les cours d'eau. Il s'agit là d'une cause évidente et bien connue de transformation de la biosphère. Le mal vient de l'idée fort ancienne qu'un cours d'eau est un égout naturel. La fabrication du papier est une industrie moderne — si l'on compte en siècles — que l'on peut accuser d'avoir pollué de nombreux cours d'eau des pays forestiers. Aux États-Unis d'Amérique, les cours d'eau de l'État du Maine, relativement peu peuplé, sont si pollués que les saumons ne peuvent s'aventurer dans la plupart d'entre eux. Dans les régions à forte densité humaine, le grand problème est celui des eaux d'égout. Nous en apprenons chaque jour davantage sur l'élimination des déchets industriels, mais les règlements sont en retard sur les faits. On a déjà à déplorer quelques accidents graves — empoisonnement de cours d'eau et de l'eau de fossés — résultant de l'emploi des pesticides, produits récents. En comparaison, la négligence des bergers qui rejettent sans précaution les bains parasitocides dont ils se servent pour leurs moutons est peut-être une faute vénielle; elle n'en est pas moins l'indice d'un type de conduite irréfêchie qui aboutit à diffuser l'influence néfaste de l'homme au-delà de son habitat immédiat. On n'a pas encore suffisamment pris conscience du fait qu'une grande partie de la productivité marine du plateau continental dépend des estuaires.

CONSÉQUENCES DU SURPEUPLEMENT HUMAIN

Gains et pertes en ce qui concerne la flore et la faune. De toute évidence, et sans qu'il soit besoin d'insister sur ce fait, il doit nécessairement y avoir appauvrissement quand le gréganisme humain dépasse le cadre de la famille vivant de chasse et de cueillette. C'est une modification des écosystèmes dans le sens de la consommation directe d'une plus grande partie des produits naturels qui a permis la concentration démographique et l'essor de la civilisation.

Certains animaux timides se tiennent à l'écart des collectivités humaines; d'autres s'y adaptent, sans perdre de leur caractère farouche : tel le renard des banlieues londoniennes. Les plantes, peu mobiles, ont moins de latitude et beaucoup d'espèces disparaissent. Le pied humain, socle de notre corps vertical, est beaucoup plus destructeur pour l'herbe que bien des gens ne se l'imaginent. Cette évidence s'impose même à un point presque critique dans certains grands parcs nationaux, comme ceux d'Amérique du Nord, où l'on doit tracer de plus en plus d'allées goudronnées pour sauvegarder de fragiles associations floristiques dans des régions alpines, désertiques ou forestières. Les empreintes de pas peuvent rester visibles pendant des années dans un sol spongieux de forêt; les toundras de l'Alaska sont zébrées par les traces des véhicules à chenilles et des jeeps, dont certaines semblent indélébiles. On pourrait croire que les arbres des forêts sont insensibles aux piétinements humains; mais tel n'est pas le cas. Les Français sont obligés de protéger par une clôture individuelle les plus gros chênes de la forêt de Fontainebleau, car le tassement du sol que produisent les pique-niqueurs finit par tuer les arbres.

L'accroissement démographique rapide de l'Inde, pays où alternent saisons humides et saisons sèches, illustre bien à quel point le pied de l'homme est capable de détruire la végétation. Dans certains villages, une croûte de boue séchée étale sa nudité là où se trouvait il y a trois ans une jungle secondaire. Dans ces pays à constructions très légères — consistant parfois même en un simple assemblage de poteaux, de grosse toile et de tôle ondulée — ce n'est pas une urbanisation planifiée et précise qui dénude la surface de la terre, mais c'est bien le passage des hommes et des animaux domestiques. Ceux-ci accélèrent la destruction générale de toute végétation, soit en la broutant, soit parce que la nécessité de les nourrir oblige leurs propriétaires à couper des branches d'arbres.

Certaines tribus vivant dans des habitats propices comprennent l'avantage immédiat que peuvent leur procurer des cultures pratiquées dans la zone marginale des forêts. Les Kikuyu du Kenya en fournissent un excellent exemple : ces peuplades ont repoussé la forêt à un point dangereux, notamment au cours des dernières années par suite du décuplement de la tribu à la faveur de la Pax Britannica.

En modifiant volontairement ou involontairement les écosystèmes, l'homme les simplifie généralement et rend possible l'invasion de végétaux et d'animaux représentant des étapes plus primitives de la série évolutive. Les graines des plantes annuelles et bisannuelles illustrent bien ce point. Le monde animal compte des envahisseurs toujours prêts, comme le rat brun ou le moineau commun, qui a suivi l'homme partout où celui-ci a cultivé le blé. Nous n'avons pas ici à examiner la question des espèces exotiques; mais leur influence sur l'habitat mériterait une étude spéciale en relation avec les changements que l'homme a produits dans la biosphère. Nous trouvons au moins un sujet de satisfaction relative dans l'existence de ces agréables quartiers résidentiels de banlieue, entourés de beaux jardins où la variété des oiseaux est plus grande que dans la campagne voisine. En fait, inconsciemment ou non, l'homme a ainsi créé une diversité, et la nature l'a aussitôt récompensé par la manifestation de son charme multiforme.

Pollution de l'air, de l'eau et du sol. Nous avons choisi de traiter en dernier lieu le problème de la pollution, le plus grave de notre temps. L'époque est révolue où l'on pouvait considérer le nord industriel de l'Angleterre, la Ruhr allemande, le Jaroslavl et le Gorki russes et quelques autres lieux comme des zones polluées où l'on gagne de l'argent, mais où il faut si possible éviter de vivre; au cours des vingt-cinq dernières années, l'homme a pollué la planète entière, à tel point qu'on trouve dans les réserves adipeuses des pingouins et des phoques de la lointaine Antarctique des quantités appréciables de composés halogénés organiques; or ces produits, généralement appelés pesticides, n'ont pu être utilisés à moins de plusieurs centaines de kilomètres de ce continent. On sait maintenant que certaines espèces d'oiseaux que l'homme ne considère pas comme nuisibles, mais qu'il protège pour son plaisir, ont virtuellement cessé de se reproduire. Nous portons ces produits polluants dans la graisse de notre organisme, et nous ignorons encore quels effets — bons ou mauvais — ils peuvent avoir sur nous; mais la plupart des gens qui réfléchissent s'inquiètent des conséquences possibles d'une accumulation de ces produits au cours des années. Certains pays développés ont réglementé l'utilisation des pesticides et réduit les doses permises; mais le contre-coup économique de ces mesures a été l'acheminement de grandes quantités de ces produits vers les pays tropicaux, où les animaux nuisibles pullulent et où l'utilisation des pesticides n'est guère réglementée. Les personnes informées savent qu'on ne peut empêcher la pollution de la biosphère en se bornant à contrôler l'utilisation de ces produits dans certains pays et en négligeant le reste du monde. Nous sommes aujourd'hui des citoyens du monde, que cela nous plaise ou non.

Il y aurait aussi beaucoup à dire sur la radio-activité. Au cours des dernières années, la radio-activité de l'atmosphère, du sol, de l'eau et des organismes vivants s'est accrue dans de vastes régions du globe. Les explosions expérimentales de bombes A et de bombes H, ainsi que d'autres travaux concernant les radio-éléments, constituent l'un des plus grands dangers qui menacent la vie sur toute l'étendue de la planète.

Quel peut être, à l'échelle mondiale, le compte profits et pertes en ce qui concerne l'oxygène? Nous croyons que la teneur actuelle de l'atmosphère en oxygène (20 %) résulte de l'activité photosynthétique des végétaux au cours de l'évolution, et de la lente sédimentation des matières organiques au fond des océans. Le développement de la vie animale peut avoir stabilisé la proportion croissante d'oxygène. Or étant donné qu'un avion à réaction brûle 35 tonnes d'oxygène pour traverser l'Atlantique, nous pouvons nous demander si la consommation d'oxygène à des fins industrielles ne dépasse pas aujourd'hui la production d'oxygène, surtout si l'on songe à la rapidité avec laquelle l'homme détruit les forêts et les autres formes de vie végétale? La consommation d'oxygène et la production de gaz carbonique sont liées dans une certaine mesure; nous savons que la teneur de l'atmosphère en gaz carbonique ne cesse de s'élever et que cette augmentation peut finalement provoquer une hausse telle de la température de l'atmosphère et des océans qu'il en résulterait une fonte considérable des glaces, laquelle élèverait de façon sensible le niveau des océans. Ainsi la pollution, la combustion et la destruction tendent ici, en dernière analyse, à modifier la biosphère.

Le déversement des eaux d'égouts dans les cours d'eau est une pratique très ancienne. Les lacs reçoivent ces effluents, et l'on signale des conditions eutrophiques en des points aussi distants que le lac Érié et le lac Baïkal. Dans

certains lacs, les espèces vivantes sont asphyxiées par le manque d'oxygène et l'accumulation excessive des matières organiques. Les berges de nos rivières, de nos fleuves et de nos lacs commencent à être surpeuplées. Pour assurer l'existence de populations à forte densité, il faut traiter toutes les eaux d'égouts et les matières usées. Un réel effort est déployé dans ce sens, mais trop lentement. A Londres, une action civique a permis de commencer à épurer la Tamise, et il faut être reconnaissant aux amateurs de pêche à la truite d'avoir empêché la pollution de nombreux affluents de ce fleuve et d'autres rivières britanniques.

Le naufrage du *Torrey Canyon* a attiré l'attention du monde entier sur le risque grandissant de pollution de la mer par le pétrole brut et sur la menace secondaire que constitue l'utilisation, pour lutter contre ce fléau, de produits détergents plus nocifs pour la flore et la faune marines que le pétrole lui-même. Les compagnies pétrolières responsables ont décidé d'entreprendre d'importants travaux de recherche pour lutter contre les risques du transport du pétrole par mer. Ce produit représente la moitié du fret maritime mondial — soit 700 millions de tonnes transportées par 3 218 pétroliers l'année dernière. Diverses inventions — séparateurs de conception améliorée dans les ports, pannes de barrage en matière plastique autour des ports pétroliers, produits provoquant la floculation en cas d'épanchement en mer, agents de gélification permettant de solidifier le pétrole dans les navires en détresse — ainsi que les nouvelles méthodes de chargement et de lestage des pétroliers géants, sont la preuve de la bonne volonté des compagnies pétrolières, dont on aimerait trouver plus fréquemment l'équivalent dans les industries terriennes qui présentent un danger de pollution pour le milieu environnant.

La fumée, le brouillard industriel (smog), les eaux d'égouts et les détergents, tels sont les polluants que produit l'homme moderne. Nous pourrions aussi ajouter le bruit. Celui-ci vient aggraver la nocivité du milieu et engendre des maladies psychosomatiques, cette « cinquième colonne » des fléaux que l'homme a déchaînés sur le monde. Combien de temps l'individu devra-t-il attendre avant qu'on lui reconnaisse le droit de jouir du milieu naturel et de demander des dommages et intérêts à ceux qui y porteraient atteinte?

PROBLÈMES POSÉS PAR UN DÉVELOPPEMENT ACCÉLÉRÉ

Ce qui vient d'être dit s'applique pour une bonne part au long et lent processus d'évolution des civilisations qui a caractérisé le passé et qui a produit les nations développées actuelles, ainsi que les nations sous-développées de la génération précédente. Les progrès très rapides que font aujourd'hui les pays en voie de développement sont la cause de nouvelles formes spectaculaires d'interactions avec l'environnement, qui étaient moins apparentes aux siècles précédents. Le problème d'un développement accéléré et de ses conséquences dévastatrices n'apparaît nulle part plus clairement que dans de nombreuses régions tropicales ou subtropicales, où sont actuellement concentrés les deux tiers de l'humanité. Dans ces régions, la rapidité avec laquelle se transforment les rapports entre l'homme et son milieu est si grande qu'elle compromet sérieusement la possibilité d'un développement équilibré et, dans certains cas extrêmes, peut même aller jusqu'à menacer des populations entières d'extinction, comme quelques exemples actuels le prouvent.

Les « effets secondaires » (side-effects) de la modification à grande échelle des écosystèmes tropicaux. Les diverses biocénoses tropicales (tropical biotic communities) sont actuellement soumises à des modifications brutales et extensives, du fait de la mise en valeur de superficies chaque jour plus étendues et de l'emploi généralisé de moyens techniques puissants. La déforestation, l'irrigation, l'introduction de plantes et d'animaux exotiques, l'utilisation massive d'herbicides, l'éradication de certains agents pathogènes, etc., ont plus profondément transformé les paysages tropicaux en dix ans que l'action des agriculteurs ou des éleveurs traditionnels en dix siècles. À côté d'indéniables avantages économiques immédiats, ce « remodelage » des écosystèmes tropicaux a parfois entraîné une rupture brusque d'équilibres généralement millénaires entre l'homme et son milieu et créé des problèmes inattendus. L'introduction de bétail dans les savanes tropicales américaines a favorisé la multiplication des vampires hématophages, vecteurs de rage. Les progrès de l'irrigation dans les savanes sahéliennes de l'Afrique ont entraîné l'extension de la bilharziose. La déforestation systématique a souvent permis la transmission à l'homme ou aux animaux domestiques de certains arbovirus normalement limités au cycle pathogène de la voûte forestière; quelques-uns de ceux-ci n'étaient capables que de causer des affections peu graves aux singes ou rongeurs arboricoles, alors qu'ils peuvent être beaucoup plus dangereux dans l'espèce humaine (fièvre jaune, dengue, Kyasanur forest disease, etc.). L'abandon de certains aliments végétaux et animaux traditionnels, ou leur remplacement par des espèces introduites de culture plus facile, a souvent aggravé certaines carences nutritionnelles. Il n'est pas jusqu'à l'éradication de quelques maladies tropicales qui ne puisse poser des problèmes à long terme. En Afrique de l'Ouest, un certain nombre de populations paraissaient protégées contre les effets de la malaria par la possession à l'état hétérozygote de certaines hémoglobines anormales. Le parasite disparu, il ne subsistera plus de cette adaptation génétique au milieu que les effets défavorables.

Les conséquences biologiques, psychologiques et sociales de l'urbanisation accélérée et anarchique en milieu tropical. En Afrique comme en Asie et en Amérique tropicales, ces vingt dernières années ont vu la prolifération explosive des bidonvilles, shantytowns, barrios et favellas de toutes sortes, où s'entassent des populations trop souvent mal nourries et illettrées, ayant souvent brutalement rompu avec leurs valeurs traditionnelles. Il en résulte toute une pathologie encore mal connue où les effets de la malnutrition et de la pauvreté viennent se superposer aux conséquences somatiques et psychiques de stress multiples. Le résultat en est la création d'un sous-prolétariat en mauvais état physique, qui prive de bras et de cerveaux l'agriculture, sans fournir pour autant une main-d'œuvre qualifiée à l'industrie. Sur le plan de la santé publique, l'état sanitaire de ces bidonvilles constitue une menace perpétuelle pour les grandes agglomérations dont ils font partie.

Les conséquences biologiques, psychologiques et sociales des migrations. Cet attrait des villes neuves et des centres industriels entraîne des mouvements de population sans précédent, qui déterminent des déséquilibres démographiques hautement préjudiciables au développement de nombreux pays tropicaux. Ces migrations sont, de plus, souvent sélectives; elles tendent à laisser dans les campagnes les groupes ou les individus les moins dynamiques et à condamner

au chômage chronique la majorité des meilleurs éléments. Certaines de ces migrations entraînent parfois dans des zones qui leur sont climatiquement défavorables des populations biologiquement bien adaptées à des milieux spéciaux (hauts plateaux andins par exemple).

Il est urgent que de tels problèmes — et il y en a beaucoup de ce type — soient étudiés par des équipes polydisciplinaires comprenant à la fois des écologistes, des médecins, des psychosociologues et des économistes, afin que des solutions satisfaisantes leur soient trouvées le plus rapidement possible. Les écosystèmes tropicaux sont à la fois si nombreux, si complexes et si fragiles que rien ne serait plus préjudiciable aux intérêts des populations humaines qui y vivent que la pure et simple « transplantation » sous les tropiques de techniques (et parfois même de concepts) qui ont fait la preuve de leur utilité sous les latitudes tempérées. Ce n'est pas parce que l'avion a fait disparaître les distances — ou parce que l'on peut maintenant prévenir et guérir la plupart des maladies tropicales — que les différences écologiques essentielles entre les grands biomes ont disparu pour autant. Vouloir généraliser à l'ensemble de la planète le mode de vie des nations industrialisées des latitudes tempérées est une utopie dangereuse. Les « normes » occidentales doivent être adaptées aux milieux et aux civilisations, et non être importées telles quelles. Et cela est aussi valable dans les domaines de l'économie et de la technique que dans ceux de la nutrition, du vêtement ou de l'habitat.

INFLUENCES HUMAINES TENDANT A MAINTENIR LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

Quelles que soient les erreurs commises dans le passé et aujourd'hui encore, et les nouveaux problèmes que suscite un développement accéléré résultant de la croissance démographique, économique et sociale, l'homme a déjà essayé de résoudre ces problèmes de la détérioration de l'habitat; les mentalités nouvelles et l'évolution des techniques lui donnent le désir et la possibilité de construire ou de reconstruire un environnement favorable au maintien de sa santé mentale et pouvant également lui assurer les biens et services nécessaires. En voici quelques exemples.

Plaisir direct que donnent à des hommes de niveaux très divers les formes organiques et la diversité de l'environnement. Nous avons de bonnes raisons d'y croire. En témoignent les grandes villas de l'antiquité, leurs jardins et leurs aménagements hydrauliques ayant pour fin le plaisir esthétique. Nous pensons à la Chine, à Rome, à la Perse et à l'Italie de la Renaissance, aux parcs à la française et aux « jardins intimes » à l'anglaise. Les parcs de Capability Brown, en Angleterre, n'ont pu procurer à leurs propriétaires le plaisir que nous en tirons, aujourd'hui que les arbres ont atteint leur plein développement. L'art des jardins devient extrêmement populaire, et les municipalités osent de plus en plus affecter des crédits à l'entretien de leurs jardins publics. Une fréquentation accrue crée une demande pour l'aménagement de l'environnement.

Création de parcs nationaux. Il s'agit là d'une contribution capitale à la civilisation, due à des hommes soucieux de protéger la nature et ayant l'intuition des aspirations futures de l'humanité.

Les meilleurs résultats en matière de sauvegarde et d'étude de la nature sauvage ont été obtenus par la création de réserves et de parcs nationaux, où un personnel d'hommes de science travaille en permanence.

Constitution de zones vierges et de zones naturelles. Les mesures prises sont inspirées ici par un souci esthétique et spirituel et par un besoin biologique. Il existe chez l'homme un sentiment très répandu qui lui fait désirer l'existence de zones sauvages, même si nombreux sont ceux qui ne les connaîtront jamais. Savoir qu'elles existent est un motif de satisfaction et un réconfort. Du point de vue biologique, les zones naturelles sont d'indispensables réservoirs; leur étude fournira des bases de repère qui nous permettront d'étudier plus efficacement d'autres environnements.

L'agriculture selon les règles de la conservation. Certaines tribus vivant dans des habitats limités ou restreints sont parvenues empiriquement à des pratiques de conservation; mais la science de la conservation appliquée à l'agriculture, à l'utilisation de l'eau et à l'art du forestier est née d'un changement radical de mentalité après une exploitation effrénée. On pourrait dire, sous certaines réserves, que l'agriculture selon les règles de la conservation était assez solidement implantée dans les pays développés, mais que ces mêmes pays ont commis des erreurs grossières dans les pays sous-développés. Il est désormais possible d'y mettre un terme, si l'on procède à des études préliminaires sur les possibilités et les limites des sites et si l'on fait les investissements que nécessite leur protection. Nous disposons des outils, et nous devons les utiliser correctement.

Le goût du sport. Dans les pays développés, de nombreuses sortes de sports de plein air conduisent à un souci de l'environnement. Nous avons déjà mentionné l'entretien des rivières dans l'intérêt de la pêche; dans les pays occidentaux, une politique de diversification de l'agriculture et de protection des bois et couverts naturels a été appliquée dans l'intérêt du sport. La chasse a parfois entraîné la disparition des animaux sur de vastes étendues, mais une meilleure compréhension du rôle écologique des prédateurs est génératrice d'une plus grande tolérance. Dans l'ensemble, les exploitations agricoles dirigées par des hommes qui s'intéressent à la chasse présentent une plus grande variété que les autres dans toutes les formes de la vie animale et végétale. L'exploitant agricole en vient parfois ainsi à être un véritable naturaliste, épris de la vie naturelle même lorsqu'elle ne présente aucun intérêt pour la chasse.

Changements dans l'industrie. Le mieux ici est de donner des exemples. Aux États-Unis, l'agriculture s'est déplacée du littoral oriental vers le Middle West. Les forêts, qui n'avaient jamais disparu, se reconstituèrent. Il y a soixante ans, ces forêts orientales fournissaient beaucoup de bois de chauffage. Aujourd'hui, le chauffage central au mazout est à peu près général, et les forêts ont repris de leur beauté. Bien plus, de nouvelles perspectives brillantes s'ouvrent à elles, car elles deviennent les lieux de détente des populations urbaines du littoral. L'opinion publique est maintenant fermement en faveur de la protection de cette agréable région de l'est du pays.

De même, en Europe, la concentration de l'agriculture sur les meilleurs sols, en entraînant l'abandon des terres marginales, a ouvert la voie au déve-

loppement rural fondé sur le reboisement pour la protection du sol, l'aménagement des forêts pour la production du bois de charpente et les loisirs, la création de parcs nationaux et, de façon générale, la conservation, la récréation et un large aménagement des ressources naturelles.

CONCLUSIONS

Pour conclure : cette dernière partie autorise-t-elle l'optimisme ? Les écologistes peuvent difficilement se permettre d'être optimistes. Mais un pessimisme absolu conduit au défaitisme, qui n'est pas plus indiqué. Nous constatons qu'un désastre complet n'est pas inévitable et, si notre attention est suffisamment en éveil, dans le monde entier, nous pourrions faire beaucoup pour améliorer la situation. Le plus grand danger de tous est le fait que nous n'arrivons pas à dominer l'accroissement accéléré de la population humaine. Un sérieux coup de frein dans ce domaine éviterait le recours trop fréquent à une politique d'expédients, aggravée par une technologie ayant perdu le contact avec la philosophie de la science. En tant que corps social, les hommes de science doivent s'efforcer de faire admettre la nécessité d'aborder les problèmes mondiaux sous l'angle de l'écosystème, car c'est ainsi que l'on évitera une action technologique déséquilibrée. Nous n'avons pas encore compris que l'orientation et le frein politiques sont loin d'être aussi efficaces dans le cas de la technologie que dans celui d'autres grands domaines de l'activité humaine.

Les sols et le maintien de leur fertilité en tant que facteurs affectant le choix de l'utilisation des terres

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet présenté par G. Aubert (France), commenté et complété par Fournier (France), Rozanov (URSS) et par les secrétariats de la FAO et de l'Unesco.

INTRODUCTION

Le sol est un élément du milieu qui résulte de l'action, pendant un temps donné, de l'atmosphère et des biocénoses sur la lithosphère. Sa formation résulte d'une succession de processus de destruction ou de simplification, de réarrangements plus ou moins complexes et, pratiquement toujours, de réorganisations. Ces processus découlent de l'échange ou de l'absorption d'énergie issue de l'énergie solaire et de l'intervention d'agents atmosphériques, principalement des précipitations qui commandent l'humidité du sol.

Le sol est normalement un élément friable et agrégé. Grâce à son caractère de milieu perméable, pénétrable et oxydé, susceptible de s'hydrater et de s'échauffer, il permet à la vie microbienne de se développer et à la végétation de s'établir et de croître.

Les éléments minéraux des roches sont ainsi mis à la disposition des êtres vivants grâce à des processus divers où l'hydrolyse prend une importance particulière. L'intensité de celle-ci dépend essentiellement de la température à laquelle est porté le milieu, et du degré de circulation de la solution qui l'imbibe plus ou moins profondément.

La naissance du sol entraîne le développement des végétaux, qui permet celui des animaux à ses dépens, et de l'homme, dernier élément de cette chaîne.

Le sol joue ainsi un rôle essentiel dans tous les écosystèmes à la surface du globe terrestre.

Il exerce une action modératrice sur les variations des conditions de température et d'humidité dans le milieu biotique, alors que celles-ci, dans l'atmosphère, sont souvent irrégulières et brutales.

En pratique, le sol est indispensable à la vie de l'homme; celle-ci, pour des activités diverses, dépend de celle des animaux et des végétaux, qui, eux, ne peuvent se développer que grâce au sol lui-même. Les cas de vie prolongée

de l'homme, en dehors d'une utilisation plus ou moins directe du sol, sont rares. Cependant, les caractéristiques des sols ne leur permettent pas toujours de jouer pleinement, dans l'écosystème général, le rôle qu'on peut en attendre et ne les prédisposent parfois qu'à certaines utilisations à l'exclusion d'autres.

LE SOL ET SON UTILISATION

DIFFÉRENTES POSSIBILITÉS D'UTILISATION DES SOLS

Comme il a été indiqué ci-dessus, le rôle du sol dans le développement de l'écosystème général est primordial, puisqu'il permet la vie de l'homme, des animaux et des végétaux à la surface de la Terre, mais il varie considérablement selon l'utilisation qu'on peut en faire et suivant l'angle selon lequel on le considère. Sur un sol plus ou moins développé, une végétation prend place si les conditions climatiques le permettent. Elle peut procurer à l'homme des aliments, directement, ou indirectement après avoir servi à assurer l'alimentation d'animaux utilisés ensuite eux-mêmes par l'homme pour sa propre subsistance.

Sous sa forme la plus élémentaire, cette utilisation du sol consiste en la cueillette des produits de la végétation naturelle ou en la récolte, plus ou moins régularisée, de la faune sauvage.

Sous une forme plus évoluée, elle comporte la mise en place puis la récolte d'une végétation et d'une faune artificielles plus ou moins adaptées au but recherché et qui procurent à l'homme une masse alimentaire plus importante et de meilleure qualité que la végétation et la faune naturelles et, également, plus homogène et plus accessible.

Si l'on considère d'autre part l'utilisation indirecte du sol par l'intermédiaire des animaux, deux niveaux d'intervention sont possibles : utilisation de pâturages naturels à peine améliorés par des animaux domestiques de variétés peu sélectionnées ou des espèces sauvages, comme c'est encore trop souvent le cas en pays tropical, ou, à un niveau supérieur, mise en place d'un bétail aux performances très poussées sur des pâturages constitués d'espèces très productives.

Le sol peut également porter et nourrir une végétation dont les produits ont avant tout un intérêt industriel, soit direct comme les plantes à fibres pour les textiles, le chêne pour son liège ou l'hévéa pour le caoutchouc, soit indirect comme tant de végétaux dont les éléments cellulosiques peuvent être transformés en fibres synthétiques ou en pâte à papier, ou dont les produits peuvent procurer des éléments utiles si divers, selon les procédés les plus modernes de la chimie.

Sur de grandes étendues, l'utilisation du sol peut être de type forestier. Elle peut conduire à l'exploitation soit d'arbres de valeur pour donner des bois d'œuvre, d'industrie ou de pâte à bois, soit d'arbres sans propriétés particulières comme combustible ou pour la fabrication de panneaux de bois reconstitués. En ce qui concerne les bois d'œuvre et d'industrie dans la forêt dense (le plus souvent non aménagée) de la zone tropicale humide ou équatoriale, on se limite à la récolte des arbres de certaines essences et ayant atteint certaines dimensions. En conséquence, le rendement n'est que d'un arbre ou

tout au plus, dans les meilleurs cas, de quelques arbres par hectare, mais chaque unité est caractérisée par sa grande valeur. Dans la forêt tempérée aménagée, le nombre et le volume des arbres utilisables et abattus par hectare sont beaucoup plus importants. Dans l'un et l'autre cas, le sol qui porterait une plantation forestière entièrement constituée par l'homme donnerait une « récolte » plus abondante, plus homogène et plus accessible; et c'est la tendance actuellement suivie, notamment dans les zones tropicales. L'utilisation forestière des terres peut aussi conduire à la production d'arbres ou d'arbustes dont le bois, de moins bonne qualité, peut être plus ou moins transformé par divers procédés pour constituer des panneaux de fibres ou de particules très utilisés en construction. Ces mêmes arbres peuvent aussi fournir du bois de chauffage. On ne saurait trop insister sur l'importance primordiale de ce type d'exploitation du sol, par l'utilisation d'une végétation arborée ou arbustive de médiocre venue, comme en zone de savane tropicale. On peut citer des exemples de secteurs de mise en valeur agricole par culture irriguée où l'oubli du maintien de zones en végétation arbustive ou arborée, pour la fourniture du bois de feu, a été l'une des causes d'un demi-échec, les cultivateurs ayant trop longtemps utilisé le bois pour leurs besoins domestiques.

Il est indispensable que l'ensemble des végétations auxquelles le sol peut donner naissance soit équilibré, ce qui nécessite une certaine proportion de surfaces vouées à la forêt, à la culture et aux prairies ou pâturages. Cet équilibre est à rechercher pour diverses raisons :

1. Maintien des conditions climatiques et écologiques locales, qui paraissent dépendre en particulier de l'extension des surfaces boisées par rapport à la surface globale du secteur envisagé;
2. Action sur le bilan d'eau dans chaque bassin versant, bien qu'il soit difficile actuellement de préciser et de chiffrer l'effet exact que peut avoir sur ce cycle le maintien ou la disparition d'une surface boisée;
3. Protection du sol lui-même contre sa dégradation sous l'action d'agents atmosphériques (érosion par l'eau et le vent, influences thermiques intenses de l'atmosphère sur le sol).

Les bases mêmes de cet équilibre agro-sylvo-pastoral, qui peut d'ailleurs changer selon l'évolution des techniques et des investissements consentis, ne sont pas connues avec assez de précision, et de nouvelles études sont indispensables pour permettre de mieux les définir.

Le sol joue également un rôle important comme support d'une végétation et élément d'un paysage dont la valeur peut être grande pour l'homme sur un plan psychique, culturel, esthétique, récréatif ou touristique. Sous tous les climats, cette considération permet souvent d'apporter une solution raisonnable à l'utilisation de sols de trop faible fertilité pour pouvoir économiquement produire des récoltes utiles.

Le sol peut aussi dans certains cas constituer une source de certains matériaux, soit au même titre que les roches dont il dérive : sable, graviers, argile; soit à un titre plus spécial, si la pédogenèse a permis une concentration ou une apparition d'éléments utiles : terre à briques, cuirasses latéritiques servant comme minerais de fer, d'aluminium, de manganèse, etc.

Enfin, sur de grandes étendues, le sol est le support de bâtiments, d'établissements industriels, d'usines et de villes.

CONDITIONS DE CHOIX

Devant des possibilités d'utilisation si variées, l'homme doit sans cesse faire un choix en respectant les limitations dues aux conditions climatiques du lieu. Les bases de ce choix sont assez difficiles à préciser. On peut cependant conserver dans ce cas les critères de priorité qu'on admet souvent pour l'utilisation de toute ressource naturelle, et qui sont rappelés dans un rapport présenté par l'Unesco et la FAO au Conseil économique et social des Nations Unies (« Conservation et utilisation rationnelle du milieu », doc. E/4458, 12 mars 1968) : a) degré et urgence du besoin auquel correspond l'utilisation de la ressource envisagée, qu'il s'agisse de biens ou de services; b) satisfaction des besoins généraux d'un groupe de population; c) résultats à obtenir et efficacité probable des opérations à réaliser; d) permanence de ces résultats à long terme; e) coût de l'opération; f) effet probable sur d'autres activités de la population concernée, ou de pays voisins; possibilité d'extension ou d'extrapolation en d'autres pays.

Dans le choix entre les diverses utilisations possibles du sol en un secteur déterminé, il y a lieu de distinguer plusieurs cas.

Certaines utilisations sont très strictes et les qualités requises du sol font que les limites du choix sont très précises. Les produits recherchés sont indispensables et le type d'utilisation correspondant est prioritaire, même si une évolution peut se produire dans l'importance des surfaces à retenir à cette fin.

Tel est le cas de la production des aliments. Les rendements obtenus grâce à de meilleures méthodes culturales, à l'utilisation d'engrais, d'insecticides, d'herbicides ainsi que de variétés très sélectionnées ont considérablement augmenté durant ces dernières décennies, mais les quantités de nourriture nécessaires pour une population sans cesse croissante se sont accrues également. Si, dans les pays évolués, certaines zones autrefois cultivées sont maintenant réservées au tourisme ou à d'autres buts non alimentaires, ailleurs les surfaces utilisées pour produire des aliments s'accroissent sans cesse. Les nouvelles méthodes culturales ou l'extension de certaines méthodes déjà connues comme l'irrigation, en particulier avec des eaux plus ou moins salées, et l'obtention de nouvelles variétés mieux adaptées aux conditions écologiques locales peuvent permettre cet accroissement, mais ne doivent pas faire négliger l'intensification dans les zones plus favorisées. Cette ouverture de nouvelles terres doit être fondée sur des recherches préalables garantissant leur utilisation à long terme.

Ce qui précède s'applique également à l'établissement de cultures industrielles procurant des produits indispensables tels que coton, fibres de sisal ou d'autres plantes textiles, caoutchouc, etc. Cependant, les recherches entreprises un peu partout depuis des années permettent de remplacer ces produits provenant de la transformation de produits végétaux de cultures riches par ceux tirés d'espèces beaucoup moins exigeantes quant aux qualités des sols, ou encore par des produits tirés d'éléments dont l'origine n'est pas agricole (pétrole, huiles minérales, ou certaines roches). Leur caractère prioritaire tend donc à s'estomper.

L'utilisation du sol pour la production d'arbres de diverses espèces en vue d'obtenir des bois de construction, de menuiserie et d'ébénisterie, de mine ou de feu a pu longtemps être aussi considérée, quoique à un moindre degré, comme prioritaire. Si dans certains pays le bois a pu être remplacé par des

métaux, du béton, du pétrole, du gas-oil ou beaucoup d'autres produits, les perspectives de consommation sont encore nettement en augmentation, notamment pour les bois de pâtes à papier et les panneaux.

D'un point de vue économique, la production du bois reste encore prioritaire en beaucoup de pays en voie de développement soit pour l'obtention des devises nécessaires à l'importation de produits extérieurs, soit pour le ravitaillement des foyers domestiques. Reste prioritaire également, dans une certaine mesure — du moins pour certains pays — la production du bois de mine, qui n'a pu encore être remplacé par aucun autre matériau présentant les mêmes propriétés de rupture progressive et sonore.

Il faut reconnaître cependant qu'en dehors de toute préoccupation purement économique, qui fait que chaque pays doit tirer de son propre sol au moins une partie des produits alimentaires et industriels qu'il peut fournir et qui lui sont indispensables, le caractère prioritaire de ces utilisations du sol peut n'apparaître qu'à l'échelon mondial et non local, par suite des échanges possibles de pays à pays.

Dans d'autres cas d'utilisation du sol, le caractère prioritaire disparaît en chaque point pour être jugé à un échelon plus régional; les qualités mêmes des sols sont alors moins importantes, et l'extension des surfaces utilisées peut être très variable. Tel est le cas de l'établissement d'un système agrosylvopastoral équilibré, dans lequel la répartition entre chacune des soles peut varier assez largement.

Il en est de même pour ce qui est de l'utilisation des sols en vue de l'établissement de « paysages » nécessaires sur le plan spirituel, esthétique, touristique.

Des observations similaires s'appliquent enfin à l'utilisation du sol comme support des activités urbaines ou industrielles. La surface utilisée en fonction de celles qui sont disponibles peut être très variable. Les emplacements devraient être choisis, par exemple, de façon à n'empiéter qu'au minimum sur les meilleures terres de culture de la région.

LE MAINTIEN DE LA FERTILITÉ DES SOLS

LA NOTION DE FERTILITÉ

Un sol est fertile dès qu'il peut porter une végétation et, d'une façon plus pratique, dès qu'il peut produire des récoltes. Un sol véritablement infertile est très rare : sols à cuirasse latéritique ou croûte calcaire ou gypseuse très proche de la surface, sols très salés à alcali, certains sols podzoliques ou ferrallitiques chimiquement très déséquilibrés, etc. La notion de fertilité est donc essentiellement relative. En pratique la fertilité d'un sol est définie par l'ensemble des caractères et propriétés qui lui permettent de produire de façon continue des récoltes si les autres conditions nécessaires (climat, espèces végétales adaptées, pratiques culturales, etc.) sont prises en considération.

La productivité ne s'entend que pour l'ensemble complexe représenté par le sol dans son milieu naturel et utilisé selon les méthodes habituelles.

Pour être fertile et productif le sol doit permettre un bon développement des plantes. Il doit donc constituer un milieu suffisamment oxydé et ouvert au système racinaire et par conséquent être pénétrable, poreux, structuré,

sa structure restant stable. Dans un volume donné pénétré par le système racinaire, il doit fournir, en quantité suffisante pour assurer le développement des plantes et des cultures envisagées, l'eau et l'air en même temps que les éléments chimiques nutritifs dans une proportion correspondant, au moins pour certains d'entre eux, aux équilibres qui permettent une bonne dynamique des éléments et auxquels les micro-organismes indispensables et les cultures sont adaptés.

LES BASES DE LA FERTILITÉ

La fertilité des sols ne peut être définie que par un ensemble de caractères, l'influence de chacun d'eux sur la fertilité et les possibilités de production du sol dépendant de la valeur même des autres; en d'autres termes, il peut y avoir compensation.

Ainsi, en zone tropicale humide ou équatoriale, la production des cultures de caféiers ou de cacaoyers peut être la même sur deux sols présentant l'un une somme de bases échangeables inférieure à celle de l'autre si le premier possède une porosité supérieure permettant une meilleure circulation de la solution du sol. De même, pour conserver un degré donné de fertilité, le sol doit avoir une teneur en matière organique d'autant plus élevée que sa teneur en argile est plus forte. De tels exemples sont nombreux en toute zone climatique.

Par ailleurs, la répercussion des diverses propriétés du sol sur sa production dépend très largement des conditions écologiques du lieu où il se trouve. Ainsi, en pays tropical semi-humide comme dans le centre du Sénégal, le meilleur sol à arachides sera un sol ferrugineux tropical peu lessivé, très sableux (teneur en argile ≤ 6 à 7 %); en région un peu plus humide, comme au Tchad (pluviométrie annuelle : 800-900 mm) une teneur en argile de 10 à 12 % sera préférable; enfin, en région tropicale humide, un sol ferrallitique peu désaturé, faiblement appauvri en argile à sa surface, donnera les meilleurs résultats s'il présente 12 à 15 % d'argile dans l'horizon supérieur et 18 à 20 % en profondeur.

Chaque espèce cultivée possède aussi ses propres exigences. La canne à sucre, par exemple, nécessitera de fortes quantités de potasse utilisable dans le sol, alors que le caféier devra y trouver surtout, en plus de l'azote, de l'acide phosphorique et certains oligo-éléments.

L'eau

L'élément essentiel que doit pouvoir trouver dans le sol la plante cultivée est l'eau provenant des pluies, des inondations, des irrigations, ou même d'une nappe phréatique qui remonte. Cette eau doit pouvoir, le cas échéant, être mise en réserve dans le sol quand elle y parvient, pour être utilisée par le système racinaire des plantes au moment où elle sera nécessaire à ces dernières.

La possibilité globale de rétention d'eau par un sol dépend de la valeur de l'« eau utile » en chaque point des divers horizons, c'est-à-dire de la différence entre la quantité d'eau retenue au maximum d'humidité possible « au champ » et celle dite « du point de flétrissement », pratiquement constante pour un échantillon de sol, quelle que soit la plante qui y est cultivée. Elle

dépend en même temps des épaisseurs du sol affectées par les valeurs d'eau utile calculées.

L'évaluation de cette possibilité globale de rétention d'eau depuis la surface du sol jusqu'à sa base, au contact du matériau originel, ne présente pas de grosses difficultés. Deux éléments peuvent cependant, dans certains cas, rendre difficile la prévision de la quantité d'eau utilisable par les cultures au cours de l'année, même en présence des précipitations pluviales régulières d'une année à l'autre : a) le matériau sous-jacent au sol lui-même peut souvent servir de « réservoir » d'eau s'il est poreux et s'il n'y a aucune solution de continuité entre les deux : loess sous un chernozem d'Ukraine, craie sous la rendzine de Champagne en France; b) il est d'autre part indispensable que le système racinaire de la culture puisse atteindre, au moment voulu, le niveau où l'eau s'accumule (ou est retenue), ce développement du système racinaire dépendant largement des conditions thermiques du lieu.

Les études déjà en cours dans certains pays sur l'évolution du profil hydrique du sol et sur le développement du système racinaire des principales cultures au cours de l'année doivent donc être très largement développées. Elles sont à la base de toute recherche d'une meilleure adaptation des cultures (chaque espèce, chaque variété, sinon même chaque lignée ayant des besoins différents) aux conditions d'alimentation en eau qu'offrent les divers types de sol dans chaque zone écologique.

Si les valeurs d'eau utile varient assez largement en fonction des divers types d'argile, elles sont assez peu influencées par la teneur du sol en cet élément (entre 15 et 55 % d'argile). Par contre, elles dépendent très largement de la richesse en matière organique suffisamment décomposée et surtout en corps organiques intermédiaires entre la matière végétale proprement dite et l'humus stable. Encore faut-il que les conditions climatiques permettent au sol d'atteindre rapidement et de conserver un taux d'humidité supérieur au point de flétrissement : en pays semi-aride par exemple, un sol très humifère peut être un sol physiologiquement sec, et en zone tropicale aride, comme au Mali, les sols sableux sont les seuls à être adaptés à une culture pluviale parce qu'ils sont plus longtemps « agronomiquement » humides que les sols argileux voisins.

L'eau du sol ne sert pas seulement à l'alimentation de la plante en eau. Elle sert aussi à véhiculer, d'un point à un autre du sol, les éléments nutritifs nécessaires à la plante, processus qui facilite l'alimentation minérale de celle-ci. Aussi le sol, pour être fertile, doit-il être poreux et bien structuré. La richesse du sol en matière organique bien évoluée a une influence particulière sur ces caractères. Dans ce cas, en outre, les produits intermédiaires d'évolution de la matière végétale sont plus « actifs » que l'humus stable lui-même.

Les propriétés physiques

Structure nettement définie (moyenne à fine, et aux formes arrondies) et porosité sont aussi deux propriétés fort importantes pour la fertilité du sol, parce qu'elles y assurent une bonne circulation des gaz, en particulier O et CO₂. Si certaines cultures, comme le riz irrigué ou le riz d'inondation, peuvent pousser en milieu réducteur, la très grande majorité des plantes ne se développent bien qu'en milieu oxydant et aéré.

Les propriétés physico-chimiques

Les conditions physico-chimiques du sol (oxydo-réduction et réaction) exercent une très grande influence, non seulement de façon directe sur la croissance des cultures, mais aussi sur le développement de certains processus microbiens ou chimiques essentiels pour le développement des végétaux, en particulier l'évolution des produits organiques azotés, la solubilisation et la circulation des oligo-éléments, etc.

Les propriétés chimiques

Enfin, parmi les bases de la fertilité des sols interviennent leur teneur en divers éléments tels qu'azote, acide phosphorique, potassium, calcium, magnésium, sodium, soufre, oligo-éléments, etc., et la forme sous laquelle ils se trouvent. Il n'est d'ailleurs pas suffisant que ces divers éléments soient dans le sol sous une forme utilisable par les plantes, et en qualité telle que la culture puisse facilement absorber celle qui intervient dans la constitution de ses tissus, mais il est indispensable aussi, du moins pour certains d'entre eux, que divers équilibres soient respectés. Les équilibres entre anions et cations du sol sont très mal connus. Celui qui doit exister entre K et Mg sous une forme assimilable ou échangeable a été souvent observé, en particulier à propos de la nutrition des bananiers. Un autre équilibre s'est révélé très important : celui entre N et P, comme l'ont montré de nombreux agronomes et physiologistes, et il paraît indispensable de préciser dans quelle mesure — en fonction des conditions écologiques, des types de sol et des cultures envisagées — cet équilibre entre N et P ne doit pas être étendu également à S. En ce qui concerne les forêts, des épandages d'urée par voie aérienne, sur des peuplements de pins sylvestres en Suède, de phosphates sur pins en Australie ont nettement stimulé l'accroissement au cours de la période qui les a suivis. Des études plus poussées sur ces relations entre les caractères et propriétés des sols et la nutrition des végétaux, surtout des végétaux cultivés, sont indispensables. L'utilisation d'éléments marqués peut les faciliter. Celles qui ont été réalisées en diverses stations de recherches de la République fédérale en sont de bons exemples.

La connaissance que nous avons de l'influence des oligo-éléments contenus dans le sol sur le développement des végétaux cultivés est actuellement trop limitée. Cette action est pourtant, sans aucun doute, fort importante. On peut signaler, en particulier, parmi beaucoup d'autres, les effets spectaculaires observés dans certains cas par l'apport des corps suivants sur diverses cultures : Mn (céréales, en particulier avoine); Cu (maïs et hévéa); Zn (agrumes); Al (théier); Mo (légumineuses); Bo (betterave); Co (prairies).

Les relations entre oligo-éléments et cultures dépendent du type de sol utilisé et des conditions écologiques du lieu. De nombreuses recherches sont en cours sur ce point; elles doivent être encore très développées en particulier sur la dynamique de ces éléments dans les divers types de sol et en conditions écologiques différentes; l'importance pratique de leurs résultats peut être considérable.

L'ÉVOLUTION DE LA FERTILITÉ DU SOL AU COURS DE SON UTILISATION

Effets de la mise en culture

Trop souvent l'idée règne qu'un sol ayant un certain niveau de fertilité le garde naturellement tout au long de sa mise en valeur et de son évolution. Il n'en est rien et, même en culture pluviale, le remplacement d'une végétation naturelle par une végétation cultivée, accompagné de l'indispensable travail du sol, de l'apport de matière organique, d'amendements minéraux, d'engrais, de l'enlèvement des récoltes, etc., modifie nombre de processus d'évolution du sol. Cette transformation est encore plus nette en cas de culture irriguée où, en outre, la quantité d'eau qui imprègne le sol et qui percole à travers lui est très fortement accrue en des périodes où le sol est sec dans les conditions naturelles.

En règle générale, il faut, à partir du sol, fabriquer une terre cultivable. Un ou deux ans de culture en sol nu ou de travail du sol avec culture d'une plante de couverture sont nécessaires pour permettre la destruction des repousses, du système racinaire ou des plus grosses souches de la végétation précédente, et le tassement du sol ainsi que sa restructuration. En cas de sol très peu évolué (sur alluvions très récentes, sur fonds de marécage, etc.), une à trois années de culture d'une plante de couverture graminéenne (ou d'un mélange graminées-légumineuses) à système racinaire très profond, très dense et fin sont également nécessaires pour donner au sol la structure souhaitable et permettre à la vie microbienne de s'installer.

La première modification résultant de la mise en culture d'un sol précédemment occupé par une végétation naturelle est due à la mise en place d'un nouveau système racinaire. Celui de la culture n'occupe le sol que de façon temporaire. Il ne se développe que progressivement dans un sol en général dénudé lors des premiers stades de pousse des végétaux. Il pénètre presque toujours moins profondément, mais est parfois plus dense que celui de la végétation naturelle. Il en résulte une modification dans la masse et la répartition des résidus issus de la mort des systèmes de racines, ainsi que dans l'influence exercée sur les propriétés physiques du sol. De très fortes modifications interviennent également dans le cycle de remontée biotique des éléments minéraux; leur lixiviation par les eaux qui percolent peut devenir considérable (lorsque le sol est nu, en particulier). Ce phénomène est très net en région tropicale très humide, en sol ferrallitique cultivé, par exemple, en maïs, arachides et plantes à tubercules, où cette simple substitution d'un système racinaire par un autre provoque une perturbation considérable dans le cycle hydrique, dans le cycle organique et dans le cycle minéral du sol sur au moins un mètre de profondeur. En comparaison, l'exportation minérale par les cultures n'a qu'une importance limitée, au moins en pays suffisamment pluvieux et en sol bien drainant.

L'apport d'engrais vient en général compenser tout ou partie des exportations dues aux récoltes et normalement ne modifie que peu le sol, sauf parfois pour l'acidifier (emploi excessif d'engrais ammoniacaux). L'apport d'amendements minéraux ou organiques peut provoquer une transformation profonde et assez durable du sol, surtout s'il est renouvelé assez souvent au cours des siècles : l'emploi répété de fumier a par exemple donné naissance, dans de nombreux pays de vieille culture, à des horizons supérieurs très spé-

ciaux, « anthropiques », à humus abondant, bien évolué et lié, et riches en acide phosphorique.

Les pratiques culturales — retournement, labour, pulvérisation du sol — peuvent aussi modifier son évolution et sa dynamique. Accompagnant le remplacement de la lande par la prairie, elles ont, par exemple, transformé en Bretagne (ouest de la France) un sol podzolique ou un sol ocre podzolique en un sol dont la morphologie et la plupart des caractères sont ceux d'un sol brun acide.

Trop souvent, aussi, la mise en culture du sol est la cause du développement très rapide d'une érosion catastrophique. On ne saurait trop insister sur ce point sur lequel nous reviendrons plus loin.

Enfin, l'introduction de la culture irriguée provoque surtout les modifications les plus brutales : diminution — ou, dans quelques cas, accroissement — de la teneur en matière organique, dégradation de la structure et diminution de la perméabilité, lixiviation des éléments minéraux et acidification du sol, comme à l'Office du Niger, près de Bamako (Mali), où, en quelques années de riziculture irriguée, le pH de l'horizon supérieur du sol est passé de 6,2 à 4,7.

Évolution de l'épaisseur du sol

Dans tout écosystème, pour que le sol puisse jouer son rôle, il faut qu'il ait une épaisseur suffisante. Cette épaisseur critique est variable selon les zones écologiques et résulte de deux phénomènes opposés : l'approfondissement du sol par processus de pédogenèse et son amincissement par érosion naturelle.

Le premier ne peut se poursuivre indéfiniment. Il est fonction des conditions climatiques, biotiques, édaphiques et topographiques. Il peut aussi être bloqué par des « obstacles » tels que la formation d'une cuirasse latéritique ou même d'une croûte calcaire, ou par la présence dans la roche même d'un filon particulièrement résistant et plus ou moins horizontal : quartz, aplite, etc.

Le deuxième phénomène est lent lorsqu'il est normal, ce qui se réalise surtout sous une couverture végétale dense qui intercepte les gouttes de pluie et diminue leur énergie cinétique, amenuise et ralentit le ruissellement, accroît la percolation en maintenant une bonne porosité et une structure stable dans les horizons supérieurs du sol et peut « armer » la masse du sol, sur des profondeurs variables, par ses fortes racines.

La mise en culture provoque très souvent, malheureusement, une accélération de l'érosion. En 1956, la forêt secondaire de Côte-d'Ivoire, à Adiopodoumé, a perdu 2,4 t/ha de terre alors qu'au même lieu, sur une zone défrichée et cultivée en manioc, la perte en terre s'est élevée à 92,8 t/ha. En 1957, ces valeurs ont été respectivement 0,03 t/ha et 28,7 t/ha. En 1955, à Sefa (Sénégal), l'érosion sous forêt sèche s'est chiffrée à 0,02 t/ha alors que les terres ouvertes à la culture de l'arachide ont perdu 14,9 t/ha.

Les nombreuses études effectuées sur ce problème ont permis d'estimer assez exactement l'influence de chacun des facteurs du phénomène. La formule de Wischemeyer l'exprime bien et paraît très applicable non seulement aux États-Unis ou en Europe occidentale, mais aussi en Afrique tropicale et à Madagascar. Elle paraît moins exacte en Afrique du Nord. L'étude de cette question devra être poursuivie sur des parcelles expérimentales dont le type est maintenant très classique; elle se fera surtout grâce à des simulateurs de pluie, qui, s'ils ne sont pas encore parfaits, rendent cependant déjà de très grands services.

La lutte contre l'érosion et la conservation du sol reposent sur l'emploi de deux séries de moyens : a) des moyens « mécaniques », qui réalisent un contrôle du ruissellement, donc de l'érosion; b) des moyens biologiques, qui confèrent au sol une résistance accrue à l'attaque hydrique par l'entrée en jeu de la végétation et des pratiques culturales. Ces derniers sont fréquemment les plus importants.

Le contrôle du ruissellement s'effectue par la modification de la topographie au moyen de méthodes culturales adaptées (type et direction des labours) ou d'ouvrages dont le type est fonction de l'inclinaison de la pente : terrasses à large base de rétention (pentes $< 3\%$) et de diversion (pentes $< 12\%$), banquettes et gradins (pentes $< 12\%$), fossés d'infiltration, etc. Il peut également être réalisé par la disposition particulière de la végétation dans l'espace : cultures en bandes alternées, haies et bandes d'arrêt, enherbement des berges, clayonnages, forêts de protection. Il peut enfin résulter de l'amélioration des propriétés hydrodynamiques des sols (rôle de la matière organique, saturation calcique ou ferrique du complexe, stabilisation de la structure, etc.).

Mais l'homme, qui exploite le sol en produisant des végétaux, dispose également de moyens biologiques pour lutter contre l'érosion. Il peut en effet produire des végétaux de manière telle qu'ils protègent efficacement le sol contre l'attaque hydrique, et d'autre part utiliser les végétaux pour améliorer les propriétés du sol et lui conférer une résistance accrue. Il réalise alors une agriculture rationnelle en prenant en considération l'effet de la fertilisation des cultures, leur densité, l'époque des semis et des récoltes, les cultures associées et dérobées pour laisser le sol dénudé le moins longtemps possible, les plantes de couverture, les engrais verts, etc., et finalement les rotations. La mesure et l'étude de l'érosion éolienne ainsi que des moyens propres à s'en protéger posent encore de réels problèmes qu'il est pourtant indispensable de résoudre.

On doit garder à l'esprit que la méthode la plus efficace de conservation du sol repose surtout sur l'utilisation de pratiques agricoles rationnelles quant à leur nature, leur intensité et leur date d'exécution. Les opérations particulières de lutte contre l'érosion doivent parfaitement être intégrées à l'ensemble des opérations agrotechniques qui constituent le système cultural rationnel et conservateur adopté. La conservation des sols doit être réalisée aussi bien à l'échelle du champ et de l'exploitation qu'à celle du bassin versant.

Évolution des propriétés physiques du sol

La mise en culture d'un sol provoque très souvent la transformation de ses propriétés physiques. Il peut s'agir d'une dégradation par destruction des agrégats ou affaiblissement de la structure provoquant un tassement des éléments en un empilement compact. Ainsi apparaît et se développe la « semelle du labour ». Parfois, en particulier en pays tropical, à longue saison sèche, et surtout sur sols ferrugineux tropicaux lessivés, la dégradation est poussée plus loin, et tout l'horizon supérieur devient très dur, très compact et très cohérent dès qu'il est sec, et plus ou moins boueux quand il est humide.

La dégradation de la structure peut d'autre part être due à l'action de certains ions tel que Na et plus rarement K (le rôle de Mg dans ce sens n'est pas encore tout à fait élucidé, malgré les travaux faits au Canada, aux États-

Unis par le Salinity Laboratory, en France par l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer). Ils provoquent l'apparition d'une structure diffuse lorsqu'ils sont en quantité suffisante dans le complexe absorbant du sol. C'est en général pour une valeur de Na/T voisine de 15 % que cette modification de structure se produit, assez brutalement, comme cela a été montré aux États-Unis, aux Pays-Bas, etc. En pratique, elle peut apparaître pour des valeurs plus basses (jusqu'à 8 %) lorsque le complexe absorbant a une faible capacité d'échange (Mali, Australie), mais d'autres fois elle n'apparaît que pour des valeurs un peu plus élevées (18 à 20 %).

En sens presque inverse, la mise en culture peut provoquer, par dessiccation sous l'action directe de l'atmosphère, souvent après érosion de l'horizon de surface, un durcissement de composés du fer ou du manganèse préexistant dans le sol ou libérés lors d'une acidification culturale de celui-ci (vallée du Niari au Congo). L'horizon superficiel du sol peut alors se transformer en couches d'agrégats durcis (pseudo-concrétions) ou en une véritable carapace latéritique.

Une autre transformation, très fréquente en zone aride sous culture irriguée (par exemple au Maroc) ou en zone tropicale humide comme en Afrique occidentale, est l'« appauvrissement » en argile, limon, et parfois sable très fin, des horizons supérieurs du sol par érosion préférentielle en nappe et lessivage oblique subsuperficiel, après destruction des agrégats par la culture, puis semi-homogénéisation jusqu'à moyenne profondeur sous l'action de la faune du sol. Ce phénomène se traduit par un gradient textural progressif très important sur les 50 ou 60 premiers centimètres, sans accumulation d'argile en profondeur. Pratiquement connu depuis longtemps, il apparaît de plus en plus, depuis quelques années, comme étant très fréquent. Il peut se compliquer, semble-t-il — mais des études plus approfondies sont encore nécessaires — d'une dégradation des argiles des horizons supérieurs, soit par des produits organiques en pays tropical, soit par hydromorphie, ces deux phénomènes pouvant être accélérés par la modification culturale de la couverture végétale.

Tous ces phénomènes correspondent à une diminution de la fertilité du sol. Il est possible de lutter contre eux et souvent de les empêcher d'apparaître. La méthode la plus habituelle consiste en un bon travail du sol, parfois assez superficiel, sans pulvérisation trop forte de la couche supérieure. Une surface un peu motteuse est souvent préférable si la cohésion des mottes n'est pas trop élevée en saison sèche et si la taille des mottes n'est pas excessive.

Dans le cas de culture de vergers irrigués ou en région très pluvieuse, des méthodes de non-culture peuvent donner de très bons résultats. Elles comportent alors la coupe fréquente et la décomposition sur place de la végétation naturelle ou améliorée (légumineuses) entre les rangées d'arbres, et le nettoyage du sol seulement autour des arbres.

Parfois, à l'opposé, pour améliorer les propriétés physiques du sol, on est amené à faire un retournement complet du sol comme dans le cas des sols marrons, isohumiques, argileux ensablés de la région des Doukkalas au Maroc. Une telle opération, sous irrigation par gravité, accroît les rendements de betteraves de 100 % et des autres cultures dans des proportions également très élevées.

Enfin, la dégradation des propriétés physiques du sol par la culture est souvent causée par un développement d'engorgements hydriques ou une remontée de la nappe phréatique, en particulier en culture irriguée. Les méthodes d'assainissement ou de drainage, utilisées aussi bien aux États-

Unis et en URSS qu'aux Pays-Bas ou ailleurs, permettent de les éviter. Une condition essentielle pour limiter certains de ces processus est le maintien de l'état calcique du complexe absorbant contre un excès aussi bien de H que de Na.

Depuis des temps immémoriaux, les cultivateurs connaissent l'importance de la matière organique des sols : l'utilisation du fumier a permis de maintenir pendant des siècles leur fertilité en de nombreux pays, tant en Europe occidentale qu'en diverses régions d'Asie. Plus récemment, l'introduction d'une sole d'engrais vert enfoui — luzerne par exemple — a donné, dans un grand nombre de cas, d'excellents résultats agricoles. De nombreux travaux ont mis en lumière la très grande importance du maintien de la teneur en matière organique du sol au-dessus d'un certain seuil pour des raisons très variées, mais en particulier pour éviter la dégradation de ses propriétés physiques (structure, rétention de l'eau, etc.). Il est donc indispensable que, saison de culture après saison de culture, de la matière végétale, essentiellement cellulosique, puisse être décomposée dans le sol par voie microbienne. Si celui-ci est en bon état, la simple utilisation des résidus de culture permet de retourner au sol une quantité de matière végétale suffisante pour assurer le maintien de sa richesse organique. S'il est, au contraire, dégradé ou s'il possède de mauvaises propriétés physiques, il est indispensable d'améliorer d'abord ces dernières, soit par l'apport de fumier, soit par l'utilisation d'une prairie temporaire — l'ensemble « agriculture-élevage » constitue souvent une solution efficace au problème du maintien de la fertilité du sol, comme cela se voit par exemple en pays sérère, au Sénégal — soit par l'introduction d'une jachère de plus ou moins longue durée, comme cela a été expérimenté avec précision en de nombreuses stations agronomiques, telle celle de Yangambi, dans la République démocratique du Congo. La jachère comme l'emploi du fumier ont d'ailleurs aussi un rôle efficace en ce qui concerne les propriétés chimiques du sol.

Le problème du maintien de la matière organique est particulièrement important en culture irriguée. Cette dernière tend très souvent à provoquer une diminution de la porosité et une dégradation de la structure du sol. En favorisant le développement de la vie microbienne, elle tend aussi à assurer une plus forte décomposition de la matière organique du sol, ce qui accroît la dégradation physique de ce dernier.

Dans certains cas cependant, la teneur en matière organique du sol peut au contraire s'accroître par la simple culture irriguée. Les raisons de cette contradiction apparente relèvent non seulement du type de pratiques culturales utilisées, mais aussi de la richesse organique initiale du sol et des conditions climatiques de son évolution. L'essentiel à retenir est que le rôle de la matière organique sur le plan du maintien des propriétés physiques du sol au cours de son utilisation (aussi bien agricole que pastorale ou forestière) doit être envisagé comme dynamique et non comme statique.

Évolution des propriétés physico-chimiques du sol

Les conditions d'oxydo-réduction peuvent se détériorer dans le sol lors de sa mise en valeur, soit par suite de la diminution de sa porosité, soit par le développement des engorgements hydriques ou par une remontée de nappe phréatique, en particulier en cas d'utilisation par irrigation. Tout particulièrement sous ce dernier type de culture, il peut même apparaître des taches noires

de sulfures, plus ou moins étendues, notamment en riziculture inondée. Il peut aussi se produire une migration de composés réduits de fer ou de manganèse qui s'accumulent à moyenne profondeur, ce qui diminue la fertilité, comme en certaines zones d'Extrême-Orient. Maintien des propriétés physiques, drainage et assainissement, comme indiqué plus haut, permettent d'éviter ces phénomènes qui conduiraient à un abaissement très sensible de la productivité.

La réaction du sol varie très fréquemment au cours de sa mise en culture. Il peut se produire une alcalinisation, surtout en culture irriguée. Ce fait a été observé aux États-Unis (à Riverside), en Inde, au Pakistan, au Mali, en Algérie. Parfois, s'il se forme du carbonate de soude, le pH du sol peut s'élever à 10 et plus. Pour éviter de pareils inconvénients, là encore assainissement et drainage sont les premiers procédés à mettre en œuvre. Souvent on est amené à faire également des apports de gypse, de pyrite, de soufre ou même d'acide sulfurique très dilué, comme cela a été réalisé efficacement en Europe centrale et en URSS.

Une neutralisation de la réaction est un résultat classique et positif de bonnes pratiques culturales en pays de climat suffisamment tempéré.

La mise en culture peut provoquer en d'autres cas une certaine acidification du sol. En culture pluviale, en pays tropical humide, la remontée biotique des éléments minéraux étant très souvent plus faible sous culture que sous végétation naturelle, le complexe absorbant a tendance à se désaturer et le sol à s'acidifier. En République centrafricaine, de même que dans le Cameroun oriental ou au Congo (Brazzaville) sur sol ferrallitique, on a observé en quelques années de culture assez extensive une baisse du pH d'environ une unité. En zone équatoriale, le phénomène inverse peut se produire, le pH remontant de 3,5-3,8 sous forêt à 4,5-5 sous culture de caféiers, par exemple. La baisse du pH peut être plus rapide et plus forte en culture irriguée avec une eau très peu minéralisée. Quelquefois aussi le phénomène peut être accéléré, s'il se combine soit avec l'usage d'engrais ammoniacaux à haute dose comme ce fut le cas en Rhodésie ou au Kenya, soit avec une transformation des propriétés physiques permettant une percolation plus poussée. Ce dernier phénomène a été observé sur sol ferrallitique très argileux et très riche en manganèse, sous culture d'arachides dans la vallée du Niari, au Congo (Brazzaville). En quelques années le pH des 15 premiers centimètres du sol a baissé de 6-6,4 à 4,5-5. Cette acidification est d'autant plus grave qu'à ces valeurs 4,5-5 du pH des quantités importantes de Mn ou de Al deviennent solubles, qui sont rapidement toxiques pour les cultures. Ce fait a été observé en divers pays de l'Asie du Sud-Est. Un cas particulièrement grave d'acidification excessive du sol est celui des sols hydromorphes organiques salés, riches en sulfures, dont le pH s'effondre jusqu'à des valeurs de l'ordre de 2 lorsqu'ils sont drainés et s'oxydent. Ils sont alors pratiquement stérilisés, à moins que l'acide sulfurique et les sulfates acides formés ne puissent être lessivés par submersion ou neutralisés par un apport d'amendements calcaire ou calcique.

Une légère acidification peut, surtout en pays tropical, ne pas être nocive. Il faut cependant éviter une baisse trop forte du pH du sol : on y parvient grâce à diverses méthodes de chaulage et à un choix judicieux des engrais. Souvent l'utilisation de calcaires dolomitiques broyés peut être très efficace.

Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques qui règlent la fertilité du sol sont modifiées par tous les modes d'utilisation de celui-ci. L'enlèvement des récoltes exporte chaque année une certaine quantité de matières minérales essentiellement prises au sol. Ainsi 3 tonnes d'arachides-coques contiennent plus de 200 kg d'azote, 100 kg de chaux, 70 kg de potasse; 225 tonnes de feuilles de sisal, près de 250 kg d'azote, 100 kg d'acide phosphorique, 500 kg de potasse et plus de 860 kg de chaux. Cependant, dans les cas précédents, la plus grosse partie de ces éléments minéraux ne se trouve pas dans la récolte elle-même, mais dans les résidus qu'elle peut laisser : tourteaux ou produits de défibrage. De tels « résidus » peuvent et doivent être retournés au sol. Dans d'autres cas, les éléments minéraux enlevés au sol font essentiellement partie de la récolte utilisée. Tel est le cas du blé dont 50 quintaux exportent au moins 130 kg d'azote, 65 kg de P_2O_5 , près de 80 kg de potasse et à peine 65 kg de chaux; ou du riz qui, pour la même quantité de paddy, contient environ 100 kg d'azote, 50 kg de P_2O_5 , un peu plus de potasse et 50 kg de chaux.

De toute façon, tant sur le plan de la richesse organique du sol, comme cela a été indiqué plus haut, que sur celui de sa teneur en éléments minéraux nutritifs pour les plantes, il est indispensable que la plus grande proportion possible des résidus de culture et des résidus de récolte soient retournés au sol. Cette règle devra être absolue s'il s'agit de sols assez faiblement pourvus en matière organique (ou la « brûlant » rapidement) et chimiquement pauvres, comme le sont beaucoup de sols évolués des régions tropicales.

A cet appauvrissement chimique des sols s'ajoute celui qui correspond à la lixiviation des éléments minéraux par les eaux qui percolent à travers eux jusqu'en dessous de la zone travaillée par les racines. En zone tempérée, ces exportations sont limitées sous culture. Dans un sol brun lessivé sur lœss en région parisienne, il ne s'agit que de traces d'acide phosphorique et de très faibles quantités de potasse et de magnésie; elles peuvent atteindre 25 à 30 kg/ha de soufre et d'azote chaque année; elles dépassent annuellement, suivant les cultures, 100 à 200 kg/ha de chaux, mais elles sont beaucoup plus importantes en même zone sur sol nu. Sous des climats plus humides, ou en zone irriguée, elles peuvent atteindre des valeurs très élevées, même sous culture.

En pays tropical semi-humide, comme le centre du Sénégal, en milieu sableux, elles sont notables sous jachère ou en sol nu. Elles restent faibles en milieu plus argileux. Elles deviennent importantes sous de plus fortes précipitations. En Casamance (sud du Sénégal) les quantités de chaux ou de magnésie ainsi entraînées sont, pendant les premières années suivant un défrichement, de 12 à 20 fois plus fortes que celles exportées par les récoltes d'arachides qui y sont cultivées, de deux à cinq fois ensuite. La potasse y est proportionnellement moins entraînée.

En zone équatoriale cette lixiviation, très importante sous culture annuelle ou de faible durée, ou possédant un système racinaire peu profond ou moyennement profond (maïs, arachide, plantes à tubercules), est plus faible sous culture arborée pérenne (cacaoyère) et très limitée sous végétation forestière. Elle porte surtout sur la chaux, la magnésie, la potasse, etc. (exemple du Congo-Brazzaville).

Cet appauvrissement peut être très fort en cas de surirrigation, par suite de l'utilisation d'une eau salée ou d'un sol initialement salé.

En face de ces « exportations », il faut faire figurer les éléments rapportés lors de la culture. La décomposition de la matière végétale supplémentaire dans un sol normalement cultivé (débris de culture, résidus de récoltes, apport de fumier et de pailis, enfouissement d'engrais vert et de plantes de couverture, etc.) peut se substituer largement à celle de la végétation naturelle; elle libère des éléments azotés, phosphatés ou phosphorés, ou riches en soufre, et des cations tels que K, Ca, Mg, Na, etc. C'est là d'ailleurs un des rôles importants que joue l'apport de matière végétale dans le sol au cours de la culture.

L'apport d'engrais et d'amendements minéraux aide également à maintenir la richesse chimique du sol malgré son utilisation.

Lorsque le sol est très largement dépourvu d'un élément, on peut penser, pour améliorer sa fertilité, à faire des apports minéraux très importants, comme un véritable investissement pour « redresser » la constitution chimique du sol. En certains cas — zones peu arrosées, ou sols fixant les éléments (sols à hydroxydes pour ce qui est de l'acide phosphorique, sols à vermiculite dans le cas de la potasse) — l'opération est souhaitable; elle a été réalisée en de nombreux pays. En zones très humides et dans un sol fixant mal certains éléments, comme la potasse dans un sol ferrallitique peu humifère, surtout s'il est assez sableux, une telle opération paraît coûteuse et de faible efficacité.

Un autre enrichissement souvent important peut être dû aux éléments en solution, ou en suspension apportés par les eaux d'irrigation. Ceux contenus dans les sédiments ne peuvent pratiquement intervenir que si ceux-ci sont fréquemment (annuellement ou plus souvent) soumis à dessiccation et réhumidification, surtout en pays chaud. L'altération de ces dépôts peut alors être rapide, libérant les éléments nutritifs qui font partie de leurs minéraux. En zone irriguée, l'eau du Nil apporte 15 t/ha de sédiments par an; celle de l'Amou Darya 36 tonnes contenant plus d'une demi-tonne de potasse totale et 50 kg de P_2O_5 . Quant aux éléments nutritifs contenus en solution dans les eaux d'irrigation, leurs doses sont souvent très élevées (Ca, Mg, K), mais leur absorption par les cultures est fréquemment limitée par des doses beaucoup plus fortes de sodium. Parfois des éléments toxiques — borates, fluorures — sont apportés en excès au sol et aux cultures par cette même voie.

Enfin si, en pays tempéré, l'altération des minéraux originels contenus dans les sols n'enrichit ceux-ci que très lentement et très faiblement pendant le cours de leur utilisation agricole (encore que, dans certaines expérimentations agricoles de longue durée comme à Rothamsted en Grande-Bretagne ou à Grignon en France, ou dans certains cas de culture très intensive, ce phénomène paraisse jouer un rôle important pour le maintien des rendements) par contre, elle joue un rôle essentiel dans l'alimentation des cultures sur les sols des pays tropicaux humides, comme cela a pu être montré pour les cacaoyères sur les sols ferrallitiques du nord du Gabon.

Un cas particulier en matière de fertilité est celui de l'azote. Il est avant tout fourni au sol (puis par lui aux cultures) par la décomposition de la matière végétale. L'absorption de cet élément par certains micro-organismes — bactéries, algues — qui fixent directement celui de l'atmosphère, en constitue une autre source. L'azote est également transféré au sol par l'intermédiaire des légumineuses grâce au *Rhizobium* qu'elles contiennent dans les nodosités de leurs racines. L'utilisation, en grand, de ce processus permet dans certains pays (Nouvelle-Zélande) d'assurer l'alimentation azotée des cultures, presque sans emploi d'engrais azotés. Cependant l'azote libéré dans le sol peut aussi

être bloqué par des processus de réorganisation. Il est indispensable d'effectuer des études approfondies sur ce cycle de l'azote dans les divers types de sol et dans les diverses conditions de pédoclimats créées dans les différentes zones écologiques par des opérations de mise en valeur.

Développement de la vie microbienne

C'est surtout indirectement, en y provoquant des modifications dans les conditions physiques et physico-chimiques, que la mise en valeur d'un sol y modifie le développement de la vie microbienne dont l'influence est grande sur sa fertilité. Normalement, s'il est possible de régulariser ces caractères du sol comme il a été indiqué ci-dessus, les actions microbiennes doivent se développer dans le sens d'un maintien ou de l'amélioration de sa fertilité. Cependant, les études déjà entreprises doivent être poussées plus profondément et plus activement pour rechercher le moyen pratique d'activer ou de réduire, suivant les types de sol, des fonctions microbiennes essentielles comme la biodégradation du carbone organique ou la nitrification. Il en est de même pour les travaux qui concernent les différents organismes fixateurs, symbiotiquement ou non, de l'azote atmosphérique et en particulier les cyanophycées, si facilement utilisables en riziculture inondée.

Sur le plan des applications, d'ailleurs, une utilisation beaucoup plus étendue des procédés d'inoculation des graines des diverses espèces et variétés de légumineuses par des souches actives et adaptées de *Rhizobium* permettrait dès maintenant une amélioration très sensible de la productivité des sols sur de grandes étendues.

ÉVOLUTION DE LA FERTILITÉ DES SOLS DANS LE CAS D'AMÉNAGEMENTS GLOBAUX

Au cours de la mise en valeur agricole d'une zone, l'évolution de la fertilité de ses sols dépend, dans chacun de ses aspects, du type d'aménagement réalisé. On peut cependant en juger globalement.

Forêt

L'un des avantages de la forêt est qu'elle permet l'utilisation de certaines zones de sols très peu fertiles, trop sableux, trop acides, qui ne pourraient porter des cultures, ni même des prairies, de façon économique. En ce cas, l'intérêt de la forêt est qu'elle assure sa propre préservation en provoquant le cycle d'éléments chimiques qui lui est nécessaire.

Il ne peut s'agir là, le plus souvent, que de forêts de protection mises en place une fois pour toutes et qui ne fournissent directement que très peu de produits utilisables. Indirectement, ce type de végétation « rapporte » cependant beaucoup en supprimant ou en limitant l'érosion, dont les produits infertiles entraînés par ruissellement à partir de sols peu épais ou squelettiques risqueraient de recouvrir les sols des bas-fonds au pied des pentes, empêchant leur utilisation agricole (rizières en de nombreux pays tropicaux), ou compromettraient le fonctionnement des ouvrages situés à l'aval. Le système racinaire de la végétation forestière peut souvent pénétrer à travers les roches en désagrégation des sols peu épais, activant leur décomposition et approfondissant le sol lui-même.

Il faut également rappeler le rôle fréquent et important des forêts comme élément esthétique ou comme refuge de la faune. Cela est particulièrement vrai dans de nombreux parcs nationaux ou réserves de flore et de faune.

La forêt de production doit recouvrir des sols plus profonds, et suffisamment drainés, exception faite de certaines zones pouvant porter des forêts malgré un mauvais drainage (mangroves par exemple). Mêmes pauvres chimiquement, ces sols peuvent convenir s'ils sont assez profonds et pénétrables. Grâce à la protection contre l'érosion qu'elle assure par elle-même et par le sous-bois qu'elle laisse croître, et grâce à l'importance du cycle biotique de remontée des éléments minéraux auquel elle donne lieu, surtout en pays chaud et humide, la forêt parvient souvent à provoquer l'établissement progressif d'un équilibre assez stable entre elle et le sol. Son exploitation, surtout si elle se fait « à blanc », nécessite des précautions pour éviter l'apparition d'une hydromorphie néfaste, un appauvrissement chimique du sol et parfois une érosion brutale qui risque de gêner sa reconstitution ultérieure. Lors de son développement il faut éviter toute opération de « soutrage » qui consiste à retirer du sol sa litière forestière, car le « mulch » forestier joue un rôle important pour le maintien de la fertilité.

Au cours de l'évolution du sol forestier, sa fertilité risque cependant de diminuer par suite d'une lixiviation et d'une acidification excessives des horizons supérieurs, puis d'une dégradation des minéraux et argiles qu'il contient (podzolisation), sous l'influence des corps organiques acides d'évolution de l'humus grossier dû à une trop lente décomposition de la litière. Ce fait est particulièrement fréquent en pays de climat boréal ou tempéré humide sur roche acide ou en pays équatorial sur sable assez grossier ou gravier quartzeux. Cette perte de fertilité peut être très rapide et très accentuée sous végétation de conifères ou d'arbres dont les débris sont très riches en lignine et en tanin. Aussi une composition mixte de la forêt — feuillus, conifères — est-elle souvent à rechercher, quand elle est possible, malgré un rendement économique immédiat généralement un peu moins élevé.

Dans le cas des forêts fruitières (châtaigniers, noyers, noisetiers, etc.) il est nécessaire également de prêter attention à l'appauvrissement chimique consécutif à l'exportation d'éléments qui doivent être compensés.

En pays tropical humide, la forêt dense laisse une certaine érosion se produire par suite d'un ruissellement ralenti mais encore actif entre la litière végétale et le sol lui-même. Elle n'empêche pas non plus la perte de fertilité qui provient du phénomène de ferrallitisation, mais ce dernier est lent. La forêt représente dans ces régions la forme d'utilisation du sol qui en conserve le mieux les caractères de fertilité et en déséquilibre le moins l'évolution.

Enfin, il faut signaler le développement des plantations d'arbres, sur terres agricoles, le plus souvent fixées en rangées ou en rideaux et combinées avec des cultures vivrières ou industrielles. Les arbres bénéficient des engrais, du travail du sol et de l'irrigation destinés aux cultures et apportent à ces dernières une protection assurant une augmentation des récoltes. Certaines précautions sont cependant à prendre quant à leur espacement.

Prairie

La prairie, comme la forêt, assure une utilisation efficace des sols peu épais et souvent en pente, au moins si le climat est assez humide. Elle peut, à plus forte

raison, donner d'excellents résultats, sur sol profond et fertile. Il en est de même de la steppe en pays de climat continental semi-aride à subhumide. En climat aride elle est peu productive.

La prairie permet aussi, et peut-être surtout, d'utiliser efficacement des sols trop humides présentant des conditions réductrices plus ou moins poussées.

Bien développée, et dans des conditions climatiques appropriées, elle constitue la meilleure protection du sol contre l'érosion, sauf contre les sapelements et les mouvements en masse (glissements en loupes ou en écailles) et, dans certains cas, les grands ravinements. Bien entretenue, sur un sol dont le pH n'est pas trop bas (habituellement $\text{pH} > 5.5$) et dont le complexe n'est pas trop sodique ($\text{Na}/\text{T} < 12-15\%$), elle permet en deux à quatre ans une amélioration très sensible de la structure de sols dégradés. Elle peut aussi, en fonction de sa richesse en espèces de la famille des légumineuses, enrichir le sol en azote.

Cependant, sous les climats chauds et très humides (plus de 3 000 mm de pluie annuelle, cas de nombreuses régions de l'Amérique tropicale), la prairie, quand elle n'est pas établie sur des sols particulièrement fertiles (alluvions, sols volcaniques récents), est généralement incapable de lutter contre l'envahissement par des plantes arbustives. Son établissement devient onéreux, sinon impossible, surtout si on ne peut recourir aux feux périodiques, difficiles d'ailleurs à utiliser rationnellement.

L'effet de la prairie sur la remontée biotique des bases est assez limité par suite d'un enracinement souvent insuffisamment profond. L'emploi d'une fumure minérale « de compensation » ou « d'entretien » n'en est que plus nécessaire.

Mise en valeur agricole

L'influence de la culture du sol dépend très largement du mode de mise en valeur adopté.

La culture pérenne d'arbres tels qu'hévéas, cacaoyers et palmiers ou arbres fruitiers peut être très conservatrice. Sauf dans le cas de l'établissement d'une cacaoyère en forêt dense par la méthode des layons, elle nécessite, au moins dans les premières années, une protection efficace du sol contre l'érosion : plantes de couverture ou par exemple culture « légumière » continue (y compris celle du bananier plantain en pays tropical) sont le plus souvent utilisées. Il faut cependant que le sol soit chimiquement assez riche et que l'alimentation en eau soit convenablement assurée soit par des pluies abondantes et pas trop irrégulières, soit par l'irrigation.

Un autre mode de mise en valeur agricole permettant d'atteindre assez sûrement un certain équilibre est le système des rotations. Bien comprise, la culture des plantes en rotation permet une utilisation rationnelle du sol, chimiquement plus complète, plus diversifiée, et s'étendant sur une plus grande épaisseur; elle rend possibles une semi-homogénéisation de celui-ci par les travaux culturaux à diverses profondeurs, une certaine remontée biotique des éléments minéraux nutritifs, et un maintien — parfois une amélioration — des conditions physico-chimiques d'oxydo-réduction et de réaction. Cette utilisation équilibrée du sol ne peut être atteinte que grâce à des apports importants d'engrais et, parfois, par l'addition de quantités limitées d'amendements.

La rotation doit être aménagée de façon à permettre l'intégration des procédés cultureux nécessaires pour conserver le sol contre l'érosion.

En pays tropical une méthode souvent employée est celle des cultures en mélange, préférée traditionnellement à la succession de cultures pures en rotation. Elle peut assurer une utilisation équilibrée du sol sur un mode assez extensif. Elle se comprend surtout en pays de pluviométrie irrégulière. Les différentes cultures mélangées ayant des besoins en eau différents, elle permet d'obtenir au moins un minimum de récolte chaque année. En pays très pluvieux, elle assure une meilleure lutte contre la lixiviation des éléments minéraux par une utilisation régulière, chaque année, d'une plus grande épaisseur de sol. Pour des raisons purement agrotechniques, cette méthode ne convient pas à la culture intensive, qui nécessite une certaine mécanisation, la défense des cultures contre leurs ennemis, insectes, champignons, etc., et l'emploi d'engrais adaptés à chaque espèce cultivée.

Les cultures industrielles hors rotation (fibres, fruits, légumes, etc.) posent des problèmes très différents. Dans certains cas, culture de sisal par exemple, elles occupent le sol de façon assez longue — huit ans et plus — mais elles ne le protègent pas toujours pour autant contre l'érosion; des procédés cultureux tels que terrasses à large base, n'empêchant pas le passage d'outils tractés, sont alors nécessaires. Ce type de culture semi-permanente leur est bien adapté. Habituellement de telles cultures ne sont possibles que sur un mode très intensif et ne sont rentables que si tout le système cultural permet une amélioration ou tout au moins le maintien des propriétés physiques et physico-chimiques du sol. Chimiquement, elles laissent souvent le sol un peu déséquilibré. Les études faites à ce sujet ne tiennent compte trop souvent que des besoins alimentaires de la plante et, sauf quelques exceptions remarquables, n'envisagent pas assez l'ensemble plante cultivée - sol. Plus qu'ailleurs il est indispensable de tenir compte aussi de la dynamique des oligo-éléments, exportés ou apportés par les traitements pesticides ou herbicides. Les recherches doivent aussi être activement poursuivies sur le devenir des produits organiques complexes répandus sur le sol par ces mêmes traitements.

Un dernier cas est celui des cultures irriguées. L'évolution des caractères de fertilité du sol y est d'abord soumise aux mêmes conditions que celles des cultures pluviales étudiées ci-dessus. Elle se complique cependant, en fonction du mode d'irrigation retenu (alimentation totale en eau ou alimentation de complément, aspersion ou gravité et ses variations) et des caractéristiques de l'eau d'irrigation quant aux éléments apportés en suspension ou en solution, ainsi que des volumes d'eau utilisés et de la cadence de leur emploi. Cette eau qui s'ajoute à celle due aux conditions naturelles du lieu a des effets variés, suivant les cas, sur la porosité et la perméabilité du sol, sur sa richesse en sels solubles — par rapport direct ou réaction des éléments contenus dans l'eau d'irrigation sur le sol — sur sa teneur en éléments minéraux nutritifs et en matière organique.

EXPRESSION DES CARACTÈRES DE FERTILITÉ DES SOLS

Les caractères de fertilité des sols, tels qu'ils ont été discutés ci-dessus, peuvent être connus et estimés de façon plus ou moins précise par les méthodes habituelles d'observation et de mesure sur le terrain, puis d'analyse d'échantillons des divers horizons de sols ou de végétaux s'y développant.

Ils peuvent être indiqués et interprétés pratiquement dans les notices des cartes pédologiques. Il est indispensable qu'ils le soient alors en fonction des diverses séries ou, au minimum, des différentes familles de sols définies par le type et le degré d'évolution (souvent type complexe dû à l'effet combiné de deux ou trois processus simultanés ou successifs) ainsi que par les caractères pétrographiques du matériau originel. Ils peuvent l'être aussi dans les notices des études régionales suivant les autres méthodes, plus ou moins complètement intégrées, fondées sur la reconnaissance des « unités de terrains » ou « unités de paysages » utilisées par divers écologistes en Australie, au Pakistan, etc., ou par les experts de la FAO en des pays aux terrains particulièrement complexes comme le Liban.

Des essais souvent fructueux ont été réalisés pour tenter de chiffrer le degré de fertilité des sols grâce à des indices se rapportant à divers caractères qui sont à la base de cette fertilité. Parmi les plus utilisés se trouvent celui de Storey, utilisé en Australie, et celui, plus complexe mais plus expressif, peut-être, de la réalité, mis au point par la FAO. Ce dernier fait intervenir huit facteurs édaphiques. Il tient compte, dans l'évaluation de chacun à l'intérieur d'une formule multiplicative unique, de l'influence qu'il peut avoir sur la fertilité et la productivité du sol en fonction des principales catégories de conditions écologiques et de grands groupes de types de culture. Les liaisons entre sols, climats et cultures étant encore assez mal définies et de toute façon très complexes, de tels indices ne peuvent rendre compte de cette complexité s'ils restent eux-mêmes trop simples mais, s'ils sont compliqués, ils deviennent alors difficiles à utiliser. Par ailleurs, quelle que soit la méthode de calcul retenue, elle peut permettre effectivement des compensations numériques qui ne correspondent pas à la réalité et qui peuvent donner une idée fausse de la fertilité d'un type de sol.

Il paraît souvent utile de reporter géographiquement, sur une carte, les résultats de ces études. Les cartes des familles ou des séries de sols, et celles des « systèmes de terrains ou de paysages » en sont déjà, comme indiqué ci-dessus, une première représentation. Il est aussi possible de cartographier les valeurs obtenues par le calcul des indices. Quoi qu'il en ait été souvent dit ou écrit, de pareilles représentations n'ont guère de valeur à petites échelles, telles que le 1/200 000 ou au-dessous. Elles prennent une réelle signification surtout au 1/20 000 et au-dessus. Pour une cartographie assez détaillée d'utilisation des sols on peut aussi définir des « classes de fertilité », comme celles utilisées par le Department of Agriculture des États-Unis. En Afrique, des cartes « d'utilisation optimale » des sols, à assez grande échelle, ont été dressées en de nombreuses régions, montrant la répartition des diverses classes de fertilité des sols et leurs subdivisions en fonction des travaux à réaliser pour maintenir ou améliorer cette fertilité, ou la répartition des types de sol en fonction de leur mode et degré d'évolution, de leur matériau originel et de leur profondeur, ou encore en fonction du type de leur recouvrement végétal, de leur pente et de leur degré actuel d'érosion.

Des divers renseignements ainsi portés sur ces cartes il est facile de déduire, en fonction des conditions climatiques, les aptitudes culturales les plus nettes de chaque région.

Il est aussi possible de dresser directement, à partir des cartes pédologiques elles-mêmes, des cartes d'aptitudes culturales des secteurs étudiés, en vue d'une culture pluviale ou d'une culture irriguée, les deux types d'aptitudes

différant très largement. Le second nécessite surtout de très bonnes propriétés physiques permettant une circulation facile de l'eau d'irrigation, mais le plus souvent pas trop rapide (sauf en cas d'utilisation d'une eau salée). Quelquefois on emploie l'expression « carte de vocation agricole — ou culturale — des sols ». Elle est erronée, car les possibilités d'utilisation des sols dépendent très largement des progrès réalisés dans la connaissance des sols et de la technique. Ainsi certains sols sableux, ou sablo-argileux, souvent podzologiques, ont été regardés longtemps comme inutilisables, sauf pour une forêt de conifères — et même pas toujours — en France, en Grande-Bretagne, en Australie, en Nouvelle-Zélande. Il n'en est plus de même depuis qu'a pu être découverte une carence en acide phosphorique ou en oligo-éléments : Cu, Mo, Zn, etc. Depuis, des remèdes ont pu être apportés, et l'utilisation culturale a été entièrement modifiée. Un tel fait est assez fréquent. Il n'empêche que de tels défauts sont toujours coûteux et souvent difficiles à corriger, et que les aptitudes ou limitations culturales de chaque sol sont bien dues à ses caractéristiques propres. Aussi les cartes pratiquement les plus utiles et les plus sûres présentent-elles la répartition des zones d'aptitudes ou de limitations pour des cultures déterminées.

CONCLUSION: LE CHOIX ENTRE LES DIVERS TYPES POSSIBLES DE MISE EN VALEUR

Une « autorité » qui cherche à utiliser toute parcelle de terre de façon à assurer le maximum de développement heureux pour la population et qui veut en même temps préserver les possibilités d'une telle utilisation dans l'avenir doit établir un choix quant au type de mise en valeur à réaliser.

Les remarquables facilités de communications que nous connaissons aujourd'hui permettent des échanges actifs et réguliers d'un pays à un autre et donnent à chacun la possibilité de ne pas produire directement les aliments, végétaux ou animaux dont il peut avoir besoin, mais de se les procurer en d'autres régions.

Néanmoins, il apparaît qu'un minimum d'aliments devrait être produit sur une partie du sol national, ou dans le cadre de l'activité nationale, tandis que, selon les possibilités, des produits destinés à l'exportation devraient être fournis soit directement soit indirectement par la mise en valeur du sol d'une autre partie du pays. C'est en tout cas très souhaitable sur le plan du développement économique et de l'indépendance économique de la nation.

Les choix effectués doivent préserver certaines zones ou certains secteurs dans leur état le plus naturel possible, pour maintenir les berceaux originels des espèces et variétés des divers végétaux et animaux existants, ou les représentants les plus typiques des divers groupements végétaux et animaux, complexes écologiques ou écosystèmes particuliers. Plus nombreux seront ceux qui pourront être ainsi conservés, plus faible sera la crainte de voir disparaître accidentellement des valeurs végétales ou animales naturelles, importantes et fructueuses pour l'humanité.

L'ensemble de ces réserves, intégrales ou autres, peut représenter au total une proportion non négligeable des terres. Mêmes augmentées de toutes les surfaces qui, par suite de la trop faible fertilité des sols, ne peuvent être utilisées sur le plan agricole et qui, pour d'autres raisons, ne sont pas retenues pour des

activités urbaines ou industrielles, elles ne représentent encore, le plus souvent, que des superficies de végétation naturelle insuffisante pour assurer l'équilibre agro-sylvo-pastoral nécessaire à chaque pays et la couverture végétale équilibrée de chaque bassin versant. Des zones plus étendues doivent être réservées à la forêt ou à la savane, à partir, normalement, des sols les moins fertiles. Dans de nombreux cas, les surfaces ainsi maintenues sous végétation naturelle, exception faite des réserves intégrales qui ne peuvent servir à de pareils buts, sont suffisantes pour satisfaire aux besoins touristiques, esthétiques et culturels des populations. Elles revêtent une particulière importance dans les régions de montagne ou de forte pluviosité, où elles jouent, en outre, un rôle régulateur dans l'écoulement de l'eau. Parfois, certaines zones doivent leur être consacrées, à cause de leur aspect, ou en raison des événements qui ont pu s'y dérouler ou encore parce qu'elles sont situées à proximité de grandes agglomérations urbaines.

Les types d'utilisation qui visent des cultures destinées à la consommation nationale ou à l'exportation nécessitent des sols suffisamment fertiles, ou faciles à fertiliser et dont le degré de fertilité peut être maintenu ou amélioré au cours de la mise en valeur. Aussi sont-ils normalement à choisir en priorité. A la base de ce choix, il existe bien entendu une décision politique faisant intervenir des considérations économiques et sociales. Parmi les considérations économiques figurent notamment la balance des paiements et les besoins en devises nécessaires à l'importation de biens d'équipement. Parmi les considérations sociales figurent les nécessités de l'emploi et l'alimentation des populations dans les zones surpeuplées ou difficilement accessibles.

D'autres facteurs de décision doivent être le coût réel de chaque opération et son incidence sur les autres secteurs d'activité du pays — petites ou moyennes industries de transformation par exemple — ainsi que la possibilité pratique et suffisamment aisée pour les populations de la région de s'adapter à chaque type de mise en valeur.

Il ne faut pas oublier cependant qu'en bien des cas la nature même des sols et leurs caractères de fertilité orienteront plus ou moins définitivement le choix vers telle ou telle utilisation agricole. Ainsi en région tropicale humide ou subéquatoriale, l'existence des sols ferrallitiques très désaturés, sableux ou sablo-argileux, très acides, conduira au développement d'une forêt de protection en topographie accidentée, ou à celui d'une forêt de production, ou à de grandes plantations de palmiers à huile, d'hévéas ou à l'établissement de certaines cultures fruitières pour l'exportation (ananas) plutôt qu'à celui de cultures alimentaires en rotation ou même de cacaoyères ou caféières.

Il est rare que, dans un pays donné, toutes les zones utilisables puissent être mises en valeur en même temps. Le choix entre zones fait intervenir les mêmes éléments de base que le choix des types de mise en valeur pour chaque secteur. Un élément de plus doit cependant intervenir. Il faut éviter les distorsions régionales, avec leurs conséquences politico-sociales, et maintenir un équilibre relatif dans le développement de chacune des régions en exceptant cependant, le cas échéant, celles qui sont trop peu peuplées.

Il est bien certain aussi que chaque gouvernement est obligé de faire entrer en ligne de compte le coût de la mise en valeur de chaque zone par rapport à la valeur des résultats à en attendre à longue échéance et la facilité plus

ou moins grande qu'il peut avoir à se procurer les crédits nécessaires pour les études préliminaires, puis pour la réalisation de ces aménagements, par exemple auprès des sources internationales de financement.

Les autres types de mise en valeur qui ne nécessitent pas les mêmes qualités de sols correspondent parfois à des implantations obligatoires : secteurs de mise en défend, de sous-végétation naturelle (forestière par exemple ou de savane), de protection, ou d'équilibres hydrologiques pour des bassins versants. Il en est parfois de même lors de la mise en réserve d'un berceau originel d'espèce, ou d'un groupement végétal donné, si la dégradation de la végétation naturelle est déjà très poussée dans la région. Un cas analogue sera celui de l'utilisation des terres pour les villes ou les établissements industriels ou pour les « espaces verts » qui doivent les accompagner. Cependant, en règle générale, le caractère prioritaire de ces types d'utilisation est moins strict que dans les premiers cas ou ne s'applique qu'à des surfaces beaucoup plus limitées.

Enfin, malgré toutes les difficultés que présente déjà, à un moment donné, le choix entre les diverses utilisations possibles des sols d'un secteur ou d'une zone, ce choix ne peut que se modifier dans le temps, par suite de l'évolution du marché des produits qui peuvent en être obtenus, par suite de l'évolution des besoins des populations concernées, par suite enfin des changements consécutifs aux transformations et aux progrès de la technique pédologique et agronomique, qui peuvent affecter les procédés employés pour l'utilisation agricole des sols, le maintien de leur fertilité et le développement de leur productivité.

Les problèmes des ressources en eau : besoins biologiques présents et futurs

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet présenté par H. C. Pereira (Royaume-Uni), commenté et complété par S. Dimitrescu (Roumanie), H. L. Penman (Royaume-Uni), K. Szesztay (Hongrie), J. Nemeč (Tchécoslovaquie), R. L. Nace (États-Unis d'Amérique) et par les secrétariats de l'Unesco, de l'OMS et de la FAO.

L'eau est indispensable à toutes les formes de la vie animale et végétale ainsi qu'à la plupart des activités humaines. Elle est en même temps très sensible aux modifications du milieu résultant de ces activités, ce qui ne va pas sans poser des problèmes aigus et permanents à l'humanité.

Ces problèmes résultent à la fois de l'accroissement constant des besoins en eau de l'humanité et des conséquences que de nombreuses activités humaines ont sur le cycle de l'eau et par conséquent sur la biosphère elle-même. Cette interrelation subtile et mouvante entre l'eau, l'homme et la biosphère, qui existe depuis les origines de l'humanité, aboutit aujourd'hui à des conséquences critiques parce que l'homme dispose de connaissances et de moyens qui lui permettent d'influencer puissamment le cycle de l'eau dans la biosphère. Or les expériences passées et présentes montrent que ces interventions peuvent être tout aussi néfastes qu'utiles. Dans la situation actuelle du monde l'importance d'intervenir correctement et d'éviter toute erreur, dont les conséquences à long terme peuvent être catastrophiques, ne fait que s'accroître.

LE CYCLE HYDROLOGIQUE

De vastes quantités d'eau circulent continuellement à la surface du globe, mais aussi au-dessus et en dessous. Sous l'influence de la radiation solaire, l'eau s'évapore des océans et des continents et est transpirée par les plantes et les êtres vivants. L'atmosphère se charge d'humidité. Son échauffement différentiel entraîne les grands mouvements qui redistribuent les masses d'air humide au-dessus du globe. Sous l'effet de la condensation, l'eau retourne

au globe sous forme de rosée ou, si elle est précipitée, sous forme de pluie, de grêle ou de neige.

Il est estimé que $\frac{2}{3}$ à $\frac{3}{4}$ de l'eau retournent directement aux océans. Le reste tombe sur les 146 millions de km² de la surface terrestre où il peut soit s'évaporer, soit s'infiltrer, soit ruisseler.

Une partie de l'eau s'évapore directement du sol et de la végétation après sa chute. Une autre partie s'infiltré dans le sol et elle pourra, soit être retenue par lui et devenir ainsi utilisable par les plantes, qui l'absorberont et la transpireront, soit pénétrer plus profondément et rejoindre les écoulements souterrains, puis finalement les écoulements de surface et les océans. Une troisième partie des précipitations ruisselle à la surface du sol lorsque la vitesse de pénétration est inférieure à la vitesse d'apport d'eau. Elle alimente alors les eaux de surface.

L'eau existant dans la biosphère n'entre pas en totalité dans la dynamique rappelée ci-dessus. Une certaine quantité est bloquée pour des périodes plus ou moins longues dans les tissus végétaux et animaux, sous forme de glace autour des pôles, sous forme de « neiges éternelles » au sommet des montagnes, ou bien reste chimiquement ou physiquement liée aux éléments constitutifs du sol.

L'ensemble de ce cycle peut être approximativement décrit par un inventaire.

L'une de ces tentatives a conduit aux valeurs suivantes :

	Volume (en miles cubes)	Pourcentage du total global
Eaux de surface :		
Lacs d'eau douce	30 000	0,009
Lacs salés et mers intérieures	25 000	0,008
Lits des cours d'eau	300	0,0001
Eaux souterraines :		
Humidité du sol et eau vadose	16 000	0,005
Eaux souterraines jusqu'à une profondeur d'un demi-mile	1 000 000	0,31
Eaux souterraines profondes	1 000 000	0,31
Glaciers et calottes glaciaires	7 000 000	2,15
Atmosphère	3 100	0,001
Océans	317 000 000	97,2
TOTAL (arrondi)	326 000 000	100

L'EAU ET LA BIOSPHÈRE

Au cours de son cycle dans la biosphère, l'eau exerce une série d'actions fondamentales dont la première est à l'origine même de la naissance du sol, qui fournit à l'homme la plus grande partie de ses moyens de subsistance.

L'altération chimique et la désagrégation mécanique des roches est en effet commandée par l'eau des précipitations et la température du milieu : les phénomènes d'hydrolyse, de dissolution et d'hydratation constituent les

principaux processus de transformation des roches géologiques, de formation des sols et d'évolution ultérieure de ceux-ci.

Après cette formation, la quantité d'eau qui traverse le sol devient un facteur de continuation de la pédogenèse et de l'évolution pédologique.

Lorsque le sol est formé, ses propriétés physiques lui permettent de devenir un réservoir pour l'eau issue des précipitations, qui devient alors disponible pour la vie des plantes.

Avant l'apparition de l'homme moderne sur terre, avant ses interventions, une végétation naturelle a occupé les terres. Elle a été, dans la plus grande partie des temps géologiques, dense et exubérante, car pendant de longues périodes le climat du globe a été plus chaud et plus humide que le climat actuel, les climats froids ayant été des exceptions. Une telle végétation permettait une altération rapide des roches et une protection contre l'érosion accélérée. Après la dernière glaciation, au moment du réchauffement général du climat, la végétation forestière a colonisé, à la faveur d'une grande humidité, les terres devenues libres, la forêt tropicale occupant par ailleurs d'immenses étendues.

L'INTERVENTION DE L'HOMME

Lorsque l'homme est apparu sur terre, il a commencé à modifier les équilibres primitifs. Cependant, jusqu'en un passé récent, le cycle hydrologique s'est trouvé peu affecté sauf dans des régions de longue occupation humaine, comme les zones méditerranéennes, le Moyen-Orient, l'Inde et la Chine. On rappelle souvent que sous Philippe-Auguste on puisait l'eau de Seine pour la boisson et qu'au XVIII^e siècle on pêchait le saumon à Londres, sous les fenêtres du Parlement.

C'est avec la durée de l'occupation humaine, l'accroissement de la population et l'avènement d'une industrialisation poussée que la pression sur les éléments du milieu s'est fortement accentuée pour faire face à des besoins toujours croissants, surtout pour l'industrie et l'agriculture. Le cycle hydrologique s'est trouvé alors plus profondément affecté et ce d'autant plus quand le climat était peu favorable.

Une déforestation massive réduit la régulation de l'écoulement et conduit à l'apparition de crues plus importantes et plus fréquentes. L'irrigation sans drainage sur les plaines alluviales peut engendrer une hydromorphie et une salure des terres, causes probables de la ruine de Babylone.

Une mauvaise exploitation du couvert végétal déclenche l'érosion du sol par suite de la prédominance du ruissellement sur l'infiltration. Le contrôle des eaux par les réservoirs est un remède coûteux. Les réservoirs aussi bien que la végétation sont des sources d'évaporation.

Ces quelques exemples montrent combien l'exploitation des éléments du milieu pose un problème complexe. L'utilisation irrationnelle de l'eau peut conduire à des pertes en sol et en végétation comme l'utilisation irrationnelle de ces éléments peut engendrer des pertes d'eau.

Lorsque l'ingénieur essaie de résoudre certains problèmes hydrauliques, comme par exemple ceux de navigation, de production d'électricité ou même d'irrigation, il effectue des interventions sur le cycle de l'eau, mais il doit se préoccuper alors de leurs conséquences dans leur totalité, aussi bien sur le

plan des équilibres biologiques que sur celui des équilibres hydriques. En d'autres termes toute intervention de l'homme sur le cycle hydrologique doit être étudiée sous l'angle de toutes ses conséquences et toute mise en valeur doit être effectuée sous forme intégrée.

LES BESOINS DE L'HUMANITÉ

Les domaines qui requièrent les plus grandes quantités d'eau sont les suivants : usages domestiques et industriels, évacuation des déchets, agriculture y compris irrigation, navigation, production hydro-électrique, objectifs récréatifs et esthétiques. Les besoins biologiques humains et ceux des animaux se chiffrent à 10 tonnes d'eau par tonne de tissu vivant, à 250 tonnes d'eau pour produire une tonne de papier, à 600 tonnes d'eau pour fabriquer une tonne d'engrais azoté et à 1 000 tonnes d'eau évaporée et transpirée pour irriguer une surface produisant une tonne de sucre ou de maïs. Dans les pays industrialisés, c'est la dilution et le transport des déchets qui nécessitent la plus grande partie de l'eau douce utilisée.

Si l'on veut faire le meilleur usage de l'eau actuellement disponible, on doit se pencher sur deux catégories de problèmes : d'un côté, quantité; de l'autre, qualité.

QUANTITÉ D'EAU

L'homme ne peut espérer influencer les grands termes de l'équation du bilan hydrique. Son action sur le volume des précipitations à la surface des continents est minime : 90 % des précipitations sont d'origine marine et 10 % seulement proviennent de la transpiration des végétaux et de l'évaporation des nappes d'eau douce.

Une modification de la couverture végétale ne peut donc permettre d'accroître le total des précipitations que dans des proportions négligeables, malgré les prévisions optimistes qui ont été faites dans le passé en vue d'encourager le reboisement. Penman (1963) l'a prouvé de façon convaincante.

Le déclenchement local des précipitations par l'insémination des nuages a donné certains résultats, mais cette technique est subordonnée à un ensemble de conditions favorables qui limitent son application. Cette possibilité théorique n'ouvre aucune perspective d'augmentation générale de l'approvisionnement annuel en eau des régions arides ou semi-arides. Dans une étude récente le directeur général de l'Office météorologique du Royaume-Uni parvient à la conclusion suivante (Mason, 1967) : « Il nous faudra... améliorer considérablement nos techniques d'intervention et d'évaluation pour prouver que la modification du climat est possible, ne serait-ce qu'à une échelle modeste. La maîtrise du climat est encore dans une très grande mesure du domaine de la science-fiction. »

L'homme ne peut donc encore contrôler la météorologie et le climat, mais il peut intervenir lors de la réception de la pluie par la surface terrestre et surtout sur la distribution de l'eau après sa chute.

En modifiant la végétation, en façonnant et en labourant la surface du sol, en drainant, en emmagasinant l'eau dans des réservoirs et en irriguant, en effectuant des pompes massifs ou en réalimentant à dessein les couches

aquifères souterraines, l'homme peut exercer une influence capitale, qui peut équivaloir dans certaines régions à une maîtrise complète des précipitations reçues. Dans ce secteur, la question qui est sérieusement mise à l'étude dans de nombreux pays du monde est celle des moyens d'évaluer les besoins d'une population croissante et de pourvoir à ces besoins dans l'avenir immédiat aussi bien qu'à long terme.

QUALITÉ DE L'EAU

La conséquence fréquente de l'utilisation de l'eau est la modification de ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Cette modification peut entraîner une diminution de sa qualité, en d'autres termes une diminution des potentialités qu'elle offrait auparavant. Il faut intervenir alors pour la traiter et la rendre à nouveau utilisable à des fins données. L'homme peut donc aussi bien dégrader que restaurer la qualité de l'eau.

LES MESURES NÉCESSAIRES POUR LA CONSERVATION ET L'UTILISATION RATIONNELLE DES RESSOURCES EN EAU DU MONDE

NÉCESSITÉ DE LA PLANIFICATION

Lorsque l'homme est confronté avec le problème de l'emploi des ressources en eau, toute son action doit s'inscrire dans le cadre d'une planification visant à l'utilisation de l'eau disponible, de la façon la plus efficace possible pour que soient satisfaits les besoins à court terme, à moyen terme et à long terme.

Cette planification suppose tout d'abord une évaluation des besoins et des ressources, puis leur comparaison dans le cadre des perspectives futures. Elle implique ensuite la détermination des priorités et la coordination entre les différents usages de l'eau. Elle commande enfin le choix d'unités de planification, l'unité la plus appropriée étant généralement le bassin versant, car c'est à l'intérieur de celui-ci que peuvent être le plus facilement tirés les bénéfices des usages multiples, réglés les conflits d'utilisation et que peut être établie la meilleure coordination des efforts.

Elle suppose également une analyse économique des problèmes et des solutions.

Enfin elle ne doit pas négliger le double aspect des problèmes : l'aspect quantitatif et l'aspect qualitatif. En fait, dans bien des pays, ce n'est pas le manque d'eau qui se fait sentir, mais l'absence d'une eau ayant les qualités requises pour satisfaire des besoins donnés, en particulier des besoins vitaux. Une très grande attention doit être apportée aux changements de qualité des eaux au cours du cycle hydrologique : il est bien connu qu'une goutte d'eau peut être utilisée de nombreuses fois avant de parvenir à la mer ou d'être évaporée.

RASSEMBLEMENT DES DONNÉES, RECHERCHE ET FORMATION DE PERSONNEL

La première condition de toute mise en valeur des ressources en eau est l'existence de relevés hydrologiques. Des renseignements sur la répartition, la hauteur et l'intensité des précipitations, sur le volume et la qualité des eaux qui

s'écoulent ou sont emmagasinées dans les rivières, les fleuves, les lacs et les réservoirs, sur le volume, la qualité et les régimes d'alimentation des eaux souterraines, sur les taux d'évaporation et de transpiration, sur les caractéristiques des bassins hydrographiques (topographie, sols, géologie, végétation) sont autant d'éléments nécessaires au progrès de toutes les collectivités, quel que soit leur stade de développement. La collecte et l'interprétation de ces observations nécessitent des équipes de spécialistes, non seulement en hydrologie, mais aussi en agriculture, en pêches, en salubrité du milieu, et autres disciplines directement intéressées. Pour tous les sujets qui sont traités dans la présente section, les besoins fondamentaux sont les mêmes en ce qui concerne la formation de personnel, le rassemblement de données et la recherche.

PLANIFICATION DE L'UTILISATION DES TERRES

Du point de vue économique, la mise en valeur des ressources écologiques et leur utilisation sous forme de terres arables, de pâturages, de terrains de parcours ou de forêts restent nécessairement subordonnées aux exigences de la réception et de la régulation de l'eau. En matière d'aménagement des ressources hydrauliques, le facteur le plus difficile est constitué par la nature éminemment variable de l'approvisionnement, aussi bien dans les limites d'une saison que d'une année à l'autre. C'est pourquoi il faut mettre en place des canaux de drainage et des ouvrages de régularisation de l'écoulement des eaux dont la capacité soit suffisante pour faire face aux plus forts débits prévus et éviter ainsi des inondations destructrices. La capacité d'emmagasinement doit être portée à un niveau supérieur aux besoins moyens de la collectivité, afin de pouvoir remédier aux plus graves sécheresses prévisibles. Pour que les ouvrages ainsi réalisés, et qui exigent de gros investissements, soient efficaces, il faut que les relevés hydrologiques adéquats aient été au préalable recueillis par la collectivité pendant de nombreuses années. Malheureusement, les régions semi-arides, où les fluctuations climatiques sont précisément les plus grandes, sont aussi les plus pauvres en données de ce genre. Langbein (1962) a résumé ainsi cette situation dans son étude sur l'hydrologie des eaux de surface de la zone aride : « En hydrologie, les faits sont là où il y a de l'eau. » C'est généralement dans les pays où l'hydraulicien se trouve placé devant les problèmes les plus difficiles que les données sont les plus rares. L'établissement et l'entretien de réseaux d'observations hydrologiques doivent donc être considérés comme des tâches hautement prioritaires dans les pays en voie de développement.

Dans les pays relativement plus développés, où la demande d'eau est élevée et ne cesse de s'accroître, la variabilité des apports doit être compensée par la mise en place de dispositifs toujours plus puissants et plus coûteux d'emmagasinement ou de réutilisation de l'eau. Dans les pays semi-arides, où tous les cours d'eau ont des crues annuelles, il suffit, pour obtenir, sans grands investissements, de bons rendements agricoles, d'aménager des canaux de dérivation ou des digues d'irrigation par submersion. Les eaux de crue chargées de matériaux en suspension s'épandent ainsi sur des zones d'alluvions, restituant au sol son humidité et reconstituant la nappe souterraine. Des cultures sont alors possibles grâce à cette réserve d'humidité, que complète souvent une irrigation alimentée par des forages. On trouve d'excellents exemples de cette pratique sur le littoral de la mer Rouge, dans la province

éthiopienne d'Érythrée, où deux jours de travail avec un seul bulldozer suffisent pour refaire chaque année les digues d'irrigation par submersion qui permettent de réalimenter en eau des surfaces hautement productives de 60 hectares ou plus. Le delta intérieur du Gash au Soudan et de nombreux systèmes organisés sur le littoral sud de la Méditerranée sont aussi de bons exemples de cette méthode souple qui permet de tirer parti de ressources hydrauliques éminemment variables.

LES MODIFICATIONS DE LA VÉGÉTATION ET LES RESSOURCES EN EAU

La végétation naturelle qui recouvre la plupart des régions de forte pluviosité où naissent les cours d'eau a un caractère plus ou moins forestier ou broussaillieux. Dans de nombreuses régions semi-arides, l'augmentation de populations vivant d'une agriculture primitive ou d'activités pastorales a provoqué la destruction de la végétation protectrice par l'incendie et le surpâturage. Il en résulte immédiatement l'érosion du sol et la présence d'importants transports solides dans les eaux en crue des rivières. Plus le climat est sec, plus la couverture végétale est fragile et, bien que le volume total de l'eau capable d'éroder le sol soit moindre, plus les précipitations se caractérisent par leur intensité. Selon Langbein et Schumm (1958), les charges solides maximales s'observent dans les régions où la hauteur annuelle des précipitations est de l'ordre de 375 mm. On comprend maintenant sur le plan théorique comment la végétation favorise l'infiltration à la surface du sol et régularise le débit des cours d'eau en retardant le ruissellement, et comment ces avantages sont partiellement compensés par l'évapotranspiration (Penman, 1963). Mais du fait de la complexité des phénomènes géologiques et climatiques, il est difficile de faire des prévisions quantitatives en ce qui concerne les effets hydrologiques que la modification de l'utilisation des terres peut avoir dans les régions où naissent les cours d'eau. Il est donc nécessaire de recourir à des expériences pilotes pour préciser les changements qui peuvent être ainsi apportés au régime des eaux.

Sous les climats tempérés, de telles études ont été associées à la coupe ou à la plantation de forêts. De nombreuses études de bassins versants ont été faites sur la base d'observations annuelles et n'ont été concluantes qu'au bout de dix à vingt ans. Sous les tropiques, des méthodes plus rapides sont quelquefois applicables. Au Kenya, des études approfondies ont été entreprises pour mesurer les effets qu'aurait le remplacement de la forêt de bambous de montagne par des plantations de pins dans le bassin de réception qui alimente la ville de Nairobi; le remplacement de la haute forêt ombrophile par des plantations d'arbres à thé est aussi à l'étude. L'utilisation combinée d'un bilan hydrique et d'un bilan énergétique suivant les méthodes de Penman a permis d'obtenir en cinq ans une première série de renseignements intéressants (Pereira, Mc Culloch, Bagg *et al.* 1962). Les plantations de pins, abattus après une courte rotation, ont fourni un rendement accru d'une eau dont la très bonne qualité est restée inchangée. Des plantations d'arbres à thé, bien aménagées suivant les méthodes les plus modernes de protection du sol, ont fait quadrupler le débit de pointe, mais sans perte de sol. Dans beaucoup de pays en voie de développement, on dispose encore du temps et de l'espace nécessaires pour étudier ainsi directement les effets hydrologiques des modifications que l'on se propose d'apporter à l'utilisation des terres. Ces études

permettront de fonder sur des faits et non sur des opinions des décisions capitales dont dépendra la prospérité de collectivités entières pendant des générations.

DÉVELOPPEMENT DES RETENUES D'EAU EN SURFACE

Dès l'aube de la civilisation, l'homme a emmagasiné de l'eau pour l'irrigation. En fait, les vestiges les plus durables des anciennes civilisations sont souvent constitués par les restes de barrages et de canaux d'irrigation. Avec l'essor de l'énergie hydro-électrique et la mise en place de vastes systèmes d'irrigation, les ouvrages de retenue mobilisent des capitaux sans cesse accrus et créent des lacs artificiels toujours plus grands. Le Boulder Dam aux États-Unis, le barrage de Kariba en Afrique centrale, le barrage de la Volta au Ghana et le haut barrage d'Assouan sur le Nil, témoignent de l'augmentation continue de la capacité de retenue d'eau et de production d'énergie hydro-électrique. Chaque grand réservoir permet une régularisation partielle des variations saisonnières qui affectent le débit des cours d'eau et facilite la construction et le fonctionnement d'autres ouvrages en aval. La Tennessee Valley Authority aux États-Unis et le Snowy Mountains Scheme en Australie ont montré l'efficacité des réservoirs construits en série. L'exploitation, qui doit tenir compte de calendriers contradictoires pour la production d'énergie électrique, la défense contre les inondations et l'alimentation des réseaux d'irrigation, suppose des calculs complexes où l'ordinateur électronique joue aujourd'hui un rôle important.

Depuis l'abreuvoir peu profond qui retient un peu des eaux apportées par la crue soudaine d'un cours d'eau éphémère jusqu'au barrage qui crée un vaste lac artificiel, tous les réservoirs doivent répondre à trois critères essentiels. Le premier est l'efficacité de l'emmagasinement, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'eau qui est utilement emmagasinée et celle qui est perdue par évaporation et infiltration. Le deuxième est le coût unitaire de l'eau ainsi efficacement emmagasinée, par rapport à sa valeur du point de vue de la production d'énergie, de l'irrigation ou d'autres utilisations. Le troisième est la vie effective du réservoir, attendu que la sédimentation en réduit progressivement la capacité et que le nettoyage par dragage est rarement économique. Dans certains cas, un quatrième critère, à savoir les effets hydrologiques sur la régulation des crues et sur le maintien d'un débit d'étiage minimal en saison sèche, peut avoir une importance capitale. Beaucoup de petits barrages construits dans la région des sources de grands systèmes fluviaux sont surtout destinés à lutter contre les crues en retardant les débits de pointe dans les différents affluents et en les empêchant ainsi de parvenir en même temps au cours d'eau principal.

On a beaucoup discuté des avantages respectifs que présentent, d'une part, le stockage et l'utilisation des eaux pour l'agriculture vers l'amont des bassins de réception, dans des réservoirs nécessairement petits, et, d'autre part, la retenue des eaux de ruissellement au moyen d'ouvrages plus grands et plus efficaces, vers l'aval. Dans les pays à population dense, le manque de sites de stockage et leur coût social élevé appellent des solutions nouvelles. C'est pourquoi l'on a envisagé d'utiliser à cette fin les estuaires en y construisant des barrages. Indépendamment du coût de la distribution de l'eau à partir du point le plus bas du bassin d'alimentation cette solution risque de soule-

ver des problèmes difficiles liés à l'alluvionnement, aux droits de navigation, au drainage des terres et à l'évacuation des eaux résiduaires. Il faut aussi tenir compte de la migration des poissons, lorsqu'elle constitue un facteur important. Toutefois, l'emmagasinement des eaux dans les estuaires est une solution possible qu'il faut étudier sérieusement dans plusieurs pays.

Dans les conditions toutes différentes des terres de parcours semi-arides, on a largement recours à des étangs peu profonds, d'une contenance de moins de 10 000 mètres cubes, pour les besoins domestiques et pour ceux du bétail. Dans de nombreux cas, ces étangs permettent d'utiliser pour l'élevage de bons pâturages, mais ils subissent de grosses pertes par évaporation. D'après Langbein (1962), ces pertes atteignent jusqu'à 20 % du débit total du bassin de la Cheyenne, rivière intermittente, dont ces étangs absorbent déjà la moitié.

Au cours de la dernière décennie, la possibilité de réduire l'évaporation en faisant flotter une pellicule monomoléculaire d'un alcool lourd, l'hexadécanol, à la surface des réservoirs a fait l'objet de recherches importantes, mais qui ont donné des résultats limités. La présence de cette pellicule réduit la perte d'eau d'environ 50 % pour les bacs d'évaporation, de 30 % pour les petits réservoirs d'une superficie ne dépassant pas une cinquantaine d'hectares et d'environ 10 % pour les lacs plus étendus, à condition que la pellicule puisse être maintenue en place malgré l'action des vents et des vagues. Les études très poussées qui ont été faites sur le lac Hefner, aux États-Unis, de 1956 à 1958 ont donné une économie de près de 10 %. Dans ce domaine, les espoirs sont maintenant surtout fondés sur la production par les chimistes d'une pellicule plus résistante. En Australie et en Afrique du Sud, on a expérimenté un procédé pratique plus prometteur qui consiste à utiliser des plaques flottantes d'environ un mètre carré de surface et 2 ou 3 cm d'épaisseur, formées d'un bloc de polystyrolène dilaté dont les cellules sont rendues imperméables à l'eau. Cette méthode est actuellement coûteuse, mais semble justifier une expérimentation plus poussée.

L'alluvionnement des réservoirs et le maintien de leur capacité constituent de graves problèmes dans les pays semi-arides. Le seul remède consiste à entretenir sur les pentes une végétation protectrice. Mais l'évapotranspiration est si intense que, même lorsque des mesures de protection parfaitement efficaces sont prises, une chute de pluie de 500 mm qui pénètre dans le sol à l'endroit où elle tombe peut être entièrement absorbée par la rhizosphère et perdue par évapotranspiration (Pereira, Hosegood, Dagg, 1967). Dans les pays en voie de développement, il arrive que des réservoirs construits pour retenir l'eau qui ruisselle de régions semi-arides mal utilisées n'arrivent pas à se remplir, alors que les services de protection du sol progressent dans leurs travaux. Une solution pourra consister alors à imperméabiliser la surface du sol de certaines aires de réception en y appliquant des résines de silicones ou en y pulvérisant des émulsions d'asphalte, ce qui permettra de recueillir presque toutes les eaux de pluie (Myers, 1964). Après plusieurs années d'essais sur le terrain, le Laboratoire de conservation des eaux, aux États-Unis, a mis au point des techniques très prometteuses. Des feuilles de matière plastique protégées par du gravier ou collées à des plaques d'asphalte ou d'aluminium adhérent elles-mêmes à une surface sur laquelle on a pulvérisé de l'asphalte sont à l'essai. Aux îles Hawaii, des aires de réception atteignant jusqu'à 7 hectares ont été recouvertes de plaques de caoutchouc artificiel. Le coût de ces méthodes a été évalué à moins de 0,20 dollar des États-Unis

par mètre carré (Myers, 1967). En Afrique du Sud, des essais prometteurs ont consisté à répandre des roches concassées sur de petits bassins de réception complets et à y interdire toute végétation au moyen d'herbicides. Comme une forte pluviosité coïncide souvent avec l'altitude, des emplacements bien choisis permettent de recueillir par gravité l'eau de pluie dans des réservoirs de retenue. La collecte de l'eau sur des surfaces imperméabilisées est l'une des solutions pratiques qui peuvent être apportées aux problèmes des régions semi-arides; mais elle n'a pas encore fait l'objet de recherches suffisantes et les conséquences esthétiques et biologiques de ce procédé ne sont pas encore bien élucidées.

EMMACASINEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

Bien que l'homme creuse des puits depuis une époque très reculée de son histoire, la connaissance quantitative de la géologie et de l'hydrologie des eaux souterraines reste très incomplète, même dans les pays hautement développés. Dans une grande partie des régions tropicales, notamment dans les zones arides et semi-arides peu peuplées, les nappes d'eaux souterraines demeurent encore inexplorées. Cela tient au fait que les méthodes d'étude ont été, dans le passé, coûteuses et pénibles. L'établissement de cartes géologiques, complété par des mesures de la résistivité effectuées en surface, permet de délimiter des zones en vue d'une étude plus approfondie. Des forages sont ensuite pratiqués systématiquement de façon à circonscrire les surfaces phréatiques et à déduire la direction et la vitesse de l'écoulement. Pour les estimations relatives au débit et à la réalimentation, on a recours aux essais de pompage. Heureusement, les recherches pétrolières fournissent un grand nombre de renseignements utiles. Au cours des cinq années écoulées, de nouveaux et puissants moyens d'étude des eaux souterraines, basés sur la mesure de la radio-activité, ont été mis au point. Des solutions radio-actives sont, par exemple, versées dans des sections de forage isolées par des joints en caoutchouc gonflables. En mesurant à la fois le taux d'atténuation et la direction de la dérive de la radio-activité, il est possible de calculer la direction et le débit des eaux au moyen d'un seul forage. Cet équipement a déjà permis d'obtenir d'intéressants résultats pratiques en Afrique du Sud (Wurzel, Ward, 1967).

Un autre grand problème que pose l'exploration des eaux souterraines consiste à distinguer les masses d'eaux « fossiles » (c'est-à-dire celles qui sont emprisonnées depuis des périodes d'abondance très anciennes) de l'eau qui se renouvelle par infiltration d'apports nouveaux. Cette dernière peut être exploitée dans les limites qu'impose le réapprovisionnement, tandis que les premières s'épuisent après un certain temps d'exploitation. Les taux connus de décroissance du radiocarbonate et du tritium (hydrogène radio-actif) permettent de « dater » l'eau découverte par forage. Les « retombées » de tritium provenant des explosions atomiques dans l'atmosphère ont provoqué des concentrations maximales à des dates connues, ce qui apporte un nouvel élément d'information utile. La préparation chimique des échantillons en laboratoire est lente et délicate, mais les renseignements qu'elle fournit sont extrêmement précieux.

L'alimentation artificielle des nappes d'eaux souterraines taries par un pompage excessif a été entreprise à grande échelle aux États-Unis, en France, en Allemagne, en Suède, etc. La difficulté de réalisation de cette opération

réside dans la charge solide des cours d'eau, qui peut entraîner un colmatage. Elle disparaît lorsque l'eau est peu chargée en particules solides.

Lorsque l'exploration géologique et hydrologique a délimité la couche aquifère et a donné une garantie suffisante qu'elle n'est pas contaminée, de l'eau pure peut être pompée ou acheminée vers des zones d'infiltration pour réalimenter la nappe. L'eau est ainsi emmagasinée sans perte par évaporation; elle est ensuite puisée au moyen de forages, selon les besoins. Cette méthode est largement employée depuis une dizaine d'années par le California Water Board.

Parmi les principaux problèmes que pose l'emmagasinement d'eaux souterraines figure la salinité de nombreuses couches rocheuses, au contact desquelles l'eau devient impropre à la consommation. Ce problème revêt une importance cruciale dans les régions arides, comme le Koweït, et les régions semi-arides, comme Israël. L'eau de pluie qui s'infiltre dans les collines environnant le lac de Tibériade traverse des formations salines et ressort sous forme de sources fortement salines, le long du rivage de Capharnaüm ou au fond du lac. La contamination par les déchets industriels peut, elle aussi, être grave lorsque ces déchets sont trop concentrés pour être déversés dans les cours d'eau et le sont, par conséquent, dans des forages. Thomas et Leopold (1964) rapportent que, de 1943 à 1961, le bassin d'une usine de Denver (Colorado) a contaminé sur 13 km² une nappe d'eau souterraine. Un grave risque de contamination existe lorsque d'importantes masses d'eau douce s'étendent au-dessus d'eaux salines ou se trouvent à proximité immédiate de celles-ci, comme c'est le cas au voisinage de la mer. Un pompage excessif peut alors provoquer l'intrusion de l'eau salée dans la nappe d'eau douce. Le fait s'est produit sur les côtes de la Californie du Sud et sur celles d'Israël à la suite de pompages excessifs effectués à des fins d'irrigation.

PRÉSERVATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

L'effet cumulatif qui résulte de l'utilisation abusive par l'homme de son milieu naturel se mesure, en climat sec, par l'érosion du sol et, en climat humide, par la pollution de l'eau. Le fait que la terre et l'eau aient constitué autrefois une ressource abondante a favorisé leur gaspillage. Le déversement des eaux d'égouts dans les cours d'eau, où elles se diluaient au point d'atteindre un taux de concentration sans danger, pour se perdre ensuite dans la mer, était sans doute admissible lorsque les hommes étaient peu nombreux. La pollution par des effluents industriels se justifie moins aisément; mais le public n'a pris conscience que très lentement de la gravité du problème ainsi créé. Certains grands fleuves qui traversent des villes importantes sont d'ores et déjà transformés en égouts à ciel ouvert. Ce n'est que depuis peu que l'on reconnaît, aux États-Unis et en Europe, qu'il s'agit là d'un problème social et économique de dimensions nationales.

S'il est vrai que l'élimination des eaux urbaines pose un problème, en revanche ces eaux constituent une importante ressource lorsqu'elles sont traitées en vue de leur réutilisation. Aux États-Unis, 80 % de l'ensemble des ressources en eau douce servent actuellement à la dilution et au transport des eaux résiduaires. Les villes sont désormais contraintes de faire appel à des réserves d'eau éloignées : New York, par exemple, va chercher de l'eau à 225 km en amont, tandis que Los Angeles capte des sources situées à 320 km

au nord et à 400 km à l'est de la ville. D'après Peters et Rose (1967), des études effectuées dans une station expérimentale de l'État de New York ont montré que de l'eau potable pouvait être récupérée à partir d'eaux urbaines résiduaires pour un coût « compétitif par rapport à celui qu'entraîneraient l'exploitation de nouvelles ressources et leur acheminement sur de longues distances ».

On procède en Israël (Amramy, 1967) et en Californie (Stoyer, 1967) à d'importantes expériences fondées sur l'utilisation d'eaux résiduaires, après traitement par emmagasinement successif en milieu anaérobie et aérobie, pour alimenter des nappes souterraines. En effectuant des pompages en des points éloignés de la zone d'alimentation directe, on obtient la dilution de l'eau traitée, tandis qu'un emmagasinement souterrain prolongé entre l'alimentation et la réutilisation réduit encore les populations bactériennes. En combinant les dernières étapes du traitement en bassin aérobie avec l'emmagasinement dans des lacs artificiels, on a créé à Santee (Californie) des installations pour le canotage, la pêche et la natation, ce qui valorise la récupération de l'eau par des avantages sur le plan récréatif (Stoyer, 1967).

Une réutilisation plus directe à des fins limitées, par l'irrigation de pâturages, de plantations forestières ou de cultures industrielles comme celle du cotonnier, réduit le coût du traitement. De nombreux usages industriels, tels que les opérations de refroidissement, ou le lavage, le triage et le transport des minerais, nécessitent une purification encore moins rigoureuse, bien que l'utilisation d'eaux de qualités différentes puisse exiger l'installation coûteuse de plusieurs systèmes d'adduction. Plus de 150 systèmes d'utilisation d'eaux résiduaires fonctionneraient actuellement en Israël.

La réutilisation des eaux usées pose des problèmes sanitaires particuliers (ces eaux se prêteraient souvent mieux à des usages agricoles ou industriels); mais l'eau prélevée directement dans des cours d'eau en bon état peut, elle aussi, contenir de dangereux germes pathogènes, bien que le problème ne soit pas le même. Pour les usages domestiques, les traitements classiques par précipitation, filtrage et verdunisation sont satisfaisants lorsqu'ils sont contrôlés convenablement. Dans nombre de pays tropicaux ou subtropicaux en voie de développement, les systèmes d'irrigation infestés de bilharzies constituent pour la santé humaine un sérieux danger, qui ne cesse de s'aggraver. La bilharziose est très difficile à vaincre, car l'escargot hôte du parasite passe des cours d'eau dans les canaux d'irrigation, où il est contaminé par l'urine et les matières fécales de travailleurs aux habitudes d'hygiène primitives. La rapide extension des zones d'irrigation favorise même actuellement la diffusion de la maladie, que l'on n'a pas encore réussi à juguler. L'Organisation mondiale de la santé fournit une aide à plusieurs services ou centres nationaux de recherche pour l'étude de ce problème; mais à l'heure actuelle, les succès remportés localement par les programmes de lutte contre cette maladie sont éclipsés par sa propagation dans de nouvelles zones.

Depuis une vingtaine d'années, les résidus organochlorés des insecticides constituent une nouvelle cause de pollution. Les moyens actuels de lutte contre les insectes nuisibles aux cultures qui doivent assurer l'alimentation d'une population mondiale croissante aboutissent à l'accumulation de résidus toxiques. Bien que l'emploi de l'aldrine et de la dieldrine soit interdit dans les îles Britanniques depuis 1964, on a constaté en 1966 dans le corps de divers prédateurs — oiseaux des cours d'eau, des lacs et des rivages maritimes —

une accumulation de résidus organochlorés; il ne semble pas, toutefois, que le nombre de ces oiseaux ait diminué (Moore, 1967). Il y a là une forme de pollution des écosystèmes aquatiques dont tous les pays devraient se préoccuper et contre laquelle ils devraient prendre des mesures.

AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU

L'exemple le plus frappant qu'on puisse donner ici est celui du dessalement des eaux saumâtres ou salines. L'eau est généralement considérée comme « saumâtre » lorsqu'elle contient un total de matières solides dissoutes supérieur à 1 000 parties par million mais inférieur à 10 000. Elle est saline à des valeurs supérieures à 10 000 parties par million (l'eau de mer en contient environ 35 000). A mesure que les techniques de dessalement se perfectionnent, les zones littorales peuvent bénéficier du fait qu'elles ont accès à des ressources illimitées en eau de mer; d'autre part, de nombreuses zones intérieures renferment de vastes ressources souterraines en eaux saumâtres ou salines. Thomas et Leopold (1964) estiment qu'il existe probablement, pour chaque habitant du globe, plus de 300 millions de litres d'eau souterraine, située à portée de la surface, dans des nappes d'où elle pourrait être pompée. Toutefois, une proportion élevée, mais indéterminée, de cette eau est saumâtre ou saline, et une large part des plaines alluviales susceptibles d'être irriguées possèdent un sous-sol salin. Ce sous-sol nécessite un drainage adéquat et une quantité suffisante d'eau d'irrigation pour empêcher la remontée des sels. Lorsque le drainage est négligé, le niveau de la nappe s'élève, et lorsque l'irrigation est insuffisante, les sels s'accumulent. L'histoire ancienne des vallées de l'Indus, de l'Euphrate et du Tigre montre que de vastes zones d'irrigation furent abandonnées par suite de la montée de l'eau souterraine saline. Le problème se pose encore aujourd'hui avec acuité dans ces bassins fluviaux.

Les techniques de dessalement destinées à rendre utilisables les ressources en eaux salines sont employées depuis plus de dix ans pour les besoins domestiques; mais elles sont trop coûteuses pour l'agriculture. L'étude des Nations Unies sur le dessalement de l'eau dans les pays en voie de développement (1964), financée par la Fondation Ford, a relevé neuf grandes installations de distillation d'une capacité supérieure à 1 000 m³ par jour. Toutes ces installations appliquaient le procédé de distillation instantanée mis au point en Grande-Bretagne. Deux autres procédés intéressants sont employés dans des installations produisant 900 m³ par jour : l'électrodialyse dans une usine du Koweït, et la technique de congélation sous vide dans une usine d'Israël. Étant donné les variations saisonnières de la demande, qui sont la règle dans ces pays, de telles installations nécessitent soit un stockage, soit une capacité excédentaire.

Une certaine quantité d'eau saumâtre est généralement mélangée à l'eau distillée, tant par économie que pour rendre le produit plus potable. En 1962 (date à laquelle fut faite l'étude des Nations Unies), les coûts de conversion de l'eau saline n'étaient plus que de 0,25 à 0,34 dollar des États-Unis par mètre cube pour les très grandes installations d'une production supérieure à 4 000 m³ par jour. Il est très important de comparer ces coûts, non à ceux des installations existantes, mais à ceux des installations nouvelles qui pourraient être réalisées en vue d'accroître l'approvisionnement en eau. En 1967, le

Metropolitan Water Board de la Californie du Sud évaluait à 0,05 dollar le coût du mètre cube produit par une installation fonctionnant à l'énergie nucléaire.

Avec l'apparition de l'énergie nucléaire, de nouvelles possibilités de dessalement sont apparues, encore que les usines à énergie nucléaire produisent une plus grande quantité de polluants que les usines à énergie thermique. Selon Ramey (1967) l'énergie nucléaire est déjà économiquement rentable aux États-Unis. En 1966, il était décidé de construire 27 centrales nucléaires d'une capacité totale de 22 millions de kilowatts. Le Metropolitan Water District de Californie a entrepris la réalisation d'une installation nucléaire mixte, qui produira 600 millions de litres par jour d'eau de mer dessalée. Le gouvernement des États-Unis entreprend la construction d'installations du même genre conjointement avec le Mexique et avec Israël.

À l'heure actuelle, de puissantes installations s'imposent donc; mais dans les pays en voie de développement, la principale difficulté est de trouver des capitaux.

L'océan étant à proximité immédiate de nombreux déserts irrigables, l'énergie nucléaire serait tout indiquée pour y permettre la production de denrées alimentaires (Meig, 1966), à condition toutefois que le dessalement fournisse une solution rentable pour l'irrigation, ce qui ne paraît pas être le cas dans un avenir prochain. Mais les perspectives que la science et la technique offrent à l'homme ne cessent de se développer. Les résultats obtenus récemment en ce qui concerne le réacteur surrégénérateur permettent d'espérer que l'on disposera effectivement de ressources énergétiques illimitées, lesquelles, par le dessalement, assureraient un approvisionnement illimité en eau. Ce progrès doit encore plus inciter l'homme à utiliser ses connaissances pour améliorer son milieu naturel plutôt que pour le détruire.

Il est probable que le dessalement deviendra la règle pour les grandes conurbations et peut-être pour certaines zones irriguées à haute productivité mais, malgré ces possibilités nouvelles, les ressources locales n'en resteront pas moins, dans un avenir prévisible, le principal moyen pour l'homme de s'approvisionner en eau.

ACTIONS A ENTREPRENDRE POUR FAVORISER LA VULGARISATION, LA FORMATION, LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT DANS LE DOMAINE HYDROLOGIQUE

Il est regrettable de noter que l'intérêt des populations pour les problèmes de l'eau ne s'éveille qu'à l'occasion de phénomènes exceptionnels d'inondation ou de sécheresse, qui entraînent des catastrophes.

Les solutions d'urgence sont loin d'être satisfaisantes.

Il est donc nécessaire de sensibiliser les populations et les gouvernements aux problèmes de l'eau.

En hydrologie, il y a intérêt à ce que la recherche porte sur des problèmes pratiques et soit menée en coopération par les divers organismes spécialisés généralement intéressés. Le projet du lac Hefner, étude multidisciplinaire entreprise par plusieurs organismes en vue de réduire l'évaporation par application d'une pellicule monomoléculaire sur un lac de 1 000 hectares, illustre excellemment cette règle. Quatre grands services techniques de trois minis-

tères des États-Unis ont travaillé en coopération étroite avec des hommes de science et des administrateurs de l'État et de la ville d'Oklahoma. Les institutions techniques des Nations Unies, appuyées par le Fonds spécial des Nations Unies, ont entrepris ou financent un grand nombre d'études de ce genre, parmi lesquelles figurent divers projets de l'Unesco : recherches concernant le bassin du Tchad (4 pays) et le bassin supérieur du Paraguay (4 pays), études hydrologiques dans le delta du Mékong et recherches en matière d'irrigation au moyen d'eaux salines en Tunisie. Il est essentiel que les études de bassins hydrographiques ne soient pas confiées exclusivement à des ingénieurs et à des météorologistes. Bien qu'il soit nécessaire de créer des réseaux hydrologiques et météorologiques pour mesurer le régime actuel des bassins hydrographiques, l'utilisation des terres constitue un facteur si important du régime des cours d'eau que les agronomes, les forestiers et les administrateurs doivent évaluer les possibilités futures. Lorsque celles-ci impliquent d'importantes modifications de l'utilisation des terres, des études pilotes (à petite échelle) portant sur des bassins versants expérimentaux devront être entreprises sans délai afin d'obtenir des données quantitatives. Ces considérations font apparaître combien l'utilisation rationnelle de l'eau nécessite une approche intégrée des problèmes et une action multidisciplinaire.

Tous ces grands projets de recherche doivent être financés, administrés et trouver un appui politique au sein des parlements. Sur un plan général, l'utilisation rationnelle de l'eau nécessite une intervention multilatérale, les aspects économiques, sociaux et politiques ne devant pas être dissociés des aspects techniques. Ces grands projets dépendent donc directement d'une éducation du public, qui doit prendre conscience des besoins en eau de la collectivité.

Le caractère multidisciplinaire des recherches sur les ressources en eau et de la mise en valeur de ces ressources soulève des difficultés particulières dues à la pénurie mondiale actuelle de personnel scientifique qualifié. Géologues, hydrologues, ingénieurs constructeurs, ingénieurs des constructions mécaniques ou électriques, physiciens et chimistes de l'agriculture, spécialistes des sols, géomètres, économistes, biométriciens et démographes, hygiénistes, botanistes, zoologistes et microbiologistes, toutes ces professions interviennent à un stade ou à un autre. Dans la plupart de ces domaines spécialisés, le personnel technique de niveau moyen est d'une importance capitale, mais reste trop peu nombreux. Pour assurer l'entretien des moyens de formation actuels et leur développement futur dans de nombreux pays en voie de développement, l'appui de l'opinion est indispensable. La pénurie provient en partie des difficultés qu'éprouvent tous les pays à recruter un nombre suffisant de bons professeurs de mathématiques, et en partie des systèmes d'examens publics qui tendent à favoriser l'accès aux universités de candidats se consacrant à des disciplines plus faciles à étudier (ou plus difficiles à évaluer) que les mathématiques et les sciences.

Dans tous les pays, quel que soit leur niveau de développement, il faut faire prendre vigoureusement conscience à l'opinion des problèmes qui se poseront dans le domaine de l'eau au cours des deux prochaines décennies. Une réforme nécessaire examinée par Batisse consisterait à unifier toutes les branches de l'hydrologie dans un même programme d'études supérieures sanctionnées par un grade universitaire, dont la valeur professionnelle serait reconnue dans le domaine du génie civil.

ASPECTS INTERNATIONAUX DE L'AMÉNAGEMENT DES RESSOURCES EN EAU

Les grands services techniques des pays développés ont souvent besoin de faire appel à des groupes commerciaux d'experts-conseils en matière d'aménagement des ressources en eau, et les services plus restreints des pays en voie de développement ont très souvent recours à l'aide des institutions techniques des Nations Unies, et à l'assistance financière de la BIRD, de l'AID et du Fonds spécial des Nations Unies. Il n'est pas rare que plusieurs institutions des Nations Unies (Unesco, FAO, OMN, OMS, CEA, etc.) participent à des projets exécutés en coopération. Les activités régionales des commissions économiques des Nations Unies jouent un rôle croissant dans l'utilisation rationnelle des ressources en eau.

La formation de personnel local constitue probablement la forme d'aide la plus répandue et, à long terme, la plus importante; des stages d'une durée de quelques mois sont organisés à l'échelon régional dans les pays en voie de développement, en vue de compléter, mais non de remplacer, les moyens nationaux de formation.

La plus vaste opération qui ait jamais été entreprise pour établir sur une base scientifique l'utilisation rationnelle des ressources en eau est la Décennie hydrologique internationale, inaugurée par l'Unesco en 1965. Des comités nationaux existent maintenant dans près de cent pays. Ils font rapport à un conseil de coordination composé de représentants de 21 pays, élus tous les deux ans par la Conférence générale de l'Unesco et auquel participent l'Organisation des Nations Unies, la FAO, l'OMS, l'OMM, l'AIEA et le CIUS. La création des comités nationaux pour la DHI a constitué pour la première fois dans certains pays un terrain de rencontre pour tous les grands spécialistes des questions hydrologiques. Dans les pays plus développés, cette coordination était déjà assurée par des conseils ou des commissions; mais leur participation au programme international a encouragé l'aide bilatérale et la diffusion des connaissances techniques. L'inventaire mondial des travaux en cours et leur localisation contribuent dans une mesure non négligeable à déterminer les lacunes des réseaux mondiaux d'observations hydrologiques et à coordonner les méthodes. Tel est notamment le cas en ce qui concerne les bassins expérimentaux, où les modifications de l'utilisation des terres sont à l'étude. Les techniques sont encore en évolution, les expériences sont coûteuses, et un rapide échange d'informations sur les méthodes et les résultats permettrait de réaliser des économies considérables de temps et d'efforts. Les bassins hydrologiques — généralement des bassins fluviaux, mais parfois aussi des bassins d'eaux souterraines — constituent une unité de base pour l'aménagement des ressources en eau. Nombre de ces bassins ont un caractère international et les populations qui vivent sur un même bassin versant sont, en fait, interdépendantes. Elles ont tout intérêt à ce que leurs ressources communes soient préservées et exploitées en pleine coopération, compte dûment tenu des besoins à long terme de tous ceux qui vivent sur le bassin, en amont et en aval. La création de commissions internationales ou de comités inter-États s'est rapidement développée, souvent avec l'aide d'institutions des Nations Unies; un cadre approprié a été ainsi constitué pour l'aménagement rationnel des bassins internationaux.

Il est essentiel que ces organismes techniques et politiques accordent

une pleine considération aux problèmes de l'environnement y compris aux problèmes biologiques. Si l'on tient compte de l'évolution démographique actuelle, on peut affirmer que, dans vingt ou trente ans seulement, la condition de l'homme dépendra en grande partie, pour ce qui est des ressources hydrauliques, du succès des programmes nationaux et internationaux de développement de la recherche, de formation du personnel et d'éducation du public, tels que ceux qui sont réalisés dans le cadre de la présente Décennie hydrologique.

Bibliographie

- AMRAMY, A. 1967. Re-use of municipal waste water. *Proc. Int. Conf. on Water for Peace*. Washington, D.C. (Paper P. 54.)
- LANGBEIN, W. B. 1962. Surface water, including sedimentation. In : *The problems of the aride zone. Proceedings of the Paris Symposium*, p. 3-22. Paris, Unesco.
- LANGBEIN, W. B.; SCHUMM, S.A. 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Trans. Amer. Geophys. Un.*, vol. 39, p. 1076-1084.
- MASON, B. J. 1967. Weather modification. *Proc. Int. Conf. on Water for Peace*. Washington, D.C. (Paper A. 143.)
- MEIG, P. 1966. *The geography of coastal deserts*. Paris, Unesco. (Arid Zone Research, 26.)
- MOORE, N. W. 1967. Contamination of aquatic ecosystems in the British Isles by organochlorine insecticides. *Proc. Int. Conf. on Water for Peace*. Washington, D.C. (Paper A. 77.)
- MYERS, L.E. 1964. Harvesting precipitation. *Pub. n° 65*, p. 343-351. Berkeley (Calif.), Int. Ass. Sci. Hydrol.
- 1967. New water supplies from precipitation harvesting. *Prod. Int. Conf. on Water for Peace*. Washington, D.C. (Paper. P. 391.)
- PENMAN, H.L. 1963. *Vegetation and hydrology*. Harpenden, Common. Bur. Soils. (Tech. Comm., 53.)
- PEREIRA, H. C.; HOSEGOOD, P.H.; DAGG, M. 1967. Effects of tied ridges, terraces and grass leys on a lateritic soil in Kenya. *Expl. Agric.*, vol. 3, p. 89-98.
- PETERS, J. H.; ROSE, J. L. 1967. Renovation and re-use of sewage treatment-plant affluent. *Proc. int. Conf. on Water for Peace*. Washington, D.C. (Paper P. 442.)
- RAMEY, J. T. 1967. Policy considerations in desalting and energy development and use. *Proc. Int. Conf. on Water for Peace*. Washington, D.C. (Paper P. 710.)
- STOYER, R. L. 1967. The development of total use water management at Santee, California. *Proc. Int. Conf. on Water for Peace*. Washington, D.C. (Paper P. 380.)
- THOMAS, H. E.; LEOPOLD, L.B. 1964. *Science*, vol. 143, 1001-1006.
- United Nations Survey of Water Desalination in Developing Countries*. 1964. New York, Economic and Social Council.
- WURZEL, P.; WARD, P. R. B. 1967. *Annual report of the agricultural Research Council of Central Africa*.
- ; Mc CULLOCH, J. S. G.; DAGG, M. D., et al. 1962. *East African Agric. For. J.*, vol. 27, March 1962 (numéro spécial).

Fondements scientifiques de la conservation des ressources aquatiques vivantes non océaniques

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet présenté par le Département des pêches de la FAO (William A. Dill et T.V.R. Pillay), commenté par A.E. Bonetto (Argentine), K. Kuronuma (Japon), J. Lemasson (France), H. Sioli (République fédérale d'Allemagne), R. H. Stroud (États-Unis), G. Svarson (Suède), E. B. Worthington (Royaume-Uni) et par les secrétariats de la FAO, de l'OMS et de l'Unesco.

INTRODUCTION

Même le Dr Samuel Johnson, ce lexicographe hardi, nous a prévenus que « toute définition est une entreprise hasardeuse ». C'est tout particulièrement vrai des termes qui, employés dans des contextes divers et dans des pays différents, en sont venus à couvrir des concepts imprécis. C'est ainsi que, pour le terme « conservation », la plupart des dictionnaires insistent sur l'aspect « protection », « préservation », « prévention de l'exploitation », et « maintien dans un état propre ou entier ». Pour les biologistes modernes, ce terme se définit toutefois en général par « l'aménagement et l'utilisation rationnels des ressources naturelles pour le plus grand profit du plus grand nombre ». Nous nous efforcerons de nous en tenir à cette définition pendant la présente discussion. En ce qui concerne plus particulièrement les ressources aquatiques vivantes, la « conservation » comprendra l'aménagement des pêches, c'est-à-dire l'application de connaissances théoriques et pratiques afin d'améliorer la production de poissons destinés à la consommation humaine; elle couvrira également, dans le cas des ressources halieutiques, le maintien de la valeur intrinsèque, biologique et éducationnelle des espèces en tant que telles. Les ressources aquatiques vivantes comprennent, bien entendu, plusieurs plantes utiles, des animaux invertébrés et vertébrés autres que les poissons; le présent rapport s'attachera néanmoins tout spécialement aux poissons, mollusques et crustacés essentiellement utilisés par l'homme pour son alimentation et ses activités sportives.

Aux fins du présent rapport, les ressources aquatiques non océaniques sont définies en tant que ressources vivantes des eaux continentales — zones

aquatiques situées à l'intérieur des terres — et qui sont utilisées directement ou indirectement par l'homme. Il peut s'agir d'eau douce, saumâtre ou salée, selon la nature du sous-sol, du bassin de réception ou des communications avec la mer. Leur vie peut également être soumise à l'influence de la mer; les espèces euryhalines peuvent passer une partie de leur vie dans la mer et une autre dans les eaux continentales. Il n'est donc pas facile de faire une distinction entre la production dans ces deux types de milieux différents, en particulier dans le cas des ressources en espèces migratoires.

L'histoire de l'utilisation des ressources aquatiques non océaniques remonte aussi loin que celle de l'homme lui-même. Au début, l'exploitation par l'homme n'atteignait probablement pas le niveau auquel elle provoque des dégâts dans les ressources aquatiques et elle était parfois caractérisée par un soin extrêmement vif, confinant à la vénération, des dons de la nature et par le souci de les perpétuer. Nombre de coutumes anciennes sont encore considérées de nos jours comme des méthodes d'aménagement rationnelles. Dès l'an 2000 avant J.-C., le repeuplement artificiel était pratiqué en Chine. La réglementation de la pêche de la carpe sur ses frayères pendant les périodes de nouvelle et de pleine lune, périodes pendant lesquelles on avait observé que le frai atteignait son maximum, était prescrite par la tradition en Inde dès l'an 246 avant notre ère. Les restrictions de pêche observées volontairement encore de nos jours par des communautés tribales dans les régions du Naga et du Khasi Hill (Inde) sont largement aussi rationnelles que les mesures imposées actuellement par les pêcheries des communautés modernes. En Écosse, la capture du saumon pendant la saison de fermeture faisait encourir au pêcheur la peine de mort en 1411 de notre ère et d'autres restrictions concernant la pêche (avec des sanctions généralement moins sévères !) étaient pratiquées dans de nombreux pays au XVI^e siècle.

La plupart de ces restrictions destinées à conserver les ressources, bien que justifiées dans certains cas, n'étaient pas basées sur une connaissance approfondie des facteurs biologiques régissant leur maintien. Il semble que le problème de la conservation des ressources aquatiques n'ait été abordé de manière scientifique qu'à la fin du XIX^e siècle.

L'étude et l'aménagement de ces ressources semble avoir suivi à peu près la même évolution dans la plupart des pays. Lorsque des institutions responsables de l'aménagement ou de la conservation des pêches intérieures furent créées, il devint évident que les ressources des eaux continentales n'étaient pas inépuisables et qu'elles nécessitaient tout autant de soins que l'accroissement et l'aménagement des ressources terrestres. Malgré cela, on ne disposait malheureusement pas de données scientifiques suffisantes pour établir des directives générales au sujet de la conservation et, quel que fût l'intérêt qu'elles présentaient pour les savants, la plupart des études consacrées à la faune ou à l'histoire naturelle n'étaient en elles-mêmes applicables que dans une mesure limitée à l'aménagement des ressources. La plupart des institutions eurent alors recours à la méthode des « essais par tâtonnements » — avec beaucoup d'erreurs ainsi que l'a fait remarquer Stroud en 1963 — en utilisant ce qu'on a appelé les « faits indiscutables ».

Comme on pouvait s'y attendre, cette méthode a abouti à deux principaux types de mesures conservatives : restrictions de pêche et empoisonnement. Ces restrictions, qui ont souvent été imposées avant que leur nécessité n'ait été prouvée, et qui sont pour une bonne part de nature arbitraire, ne

sont généralement pas parvenues à améliorer la pêche. En outre, la mise en œuvre de ces restrictions était rarement aisée, surtout lorsque leur utilité ne pouvait être démontrée de façon convaincante au public. Les opérations d'empoissonnement, mieux accueillies, ont eu pour origine la croyance erronée que les mauvais résultats dus à une utilisation et un aménagement irrationnels peuvent être contrebalancés efficacement par l'empoissonnement artificiel avec des alevins d'espèces indigènes (ou par l'introduction d'espèces exotiques). Elles étaient souvent pratiquées tout simplement comme « mesures politiques » destinées à encourager la bonne volonté. Ces mesures ne sont généralement pas parvenues, elles non plus, à améliorer la pêche.

Les circonstances ont heureusement changé à l'heure actuelle. La biologie et l'aménagement des pêches ont été formulées en tant que sciences comportant diverses disciplines et la nécessité s'est imposée de mettre au point des techniques d'aménagement établies sur la base de recherches et d'expériences détaillées. Des progrès considérables ont été réalisés dans ce domaine : certaines conceptions et méthodes autrefois considérées comme rationnelles sont rejetées aujourd'hui, d'autres ont été modifiées, et de toutes nouvelles ont été mises au point. De nombreux problèmes posés par la conservation des ressources aquatiques sont encore sans réponse, mais des progrès appréciables peuvent être réalisés par l'application des mesures dont le bien fondé est prouvé.

Durant la dernière décennie, diverses conférences et colloques ont donné le jour à des tentatives louables de discuter les fondements scientifiques et l'état des connaissances sur la conservation des ressources aquatiques. Mentionnons spécialement le colloque UICN/FAO sur l'influence de la conservation du sol et de l'eau sur les ressources aquatiques naturelles (Athènes, Grèce, 1958); la Conférence sur les estuaires (Jekyll Island, Georgie, États-Unis, 1964); le colloque sur la pêche en estuaires (Atlantic City, États-Unis, 1964); le colloque sur les lacs artificiels (Londres, 1965); le colloque sur les ressources piscicoles des réservoirs (Athens, Georgie, États-Unis, 1967); le colloque mondial de la FAO sur la pisciculture en étangs tropicaux (Rome, 1966) et les colloques du Programme biologique international sur la production primaire en milieux aquatiques (Pallanza, Italie, 1965) et sur les bases biologiques de la production de poissons d'eau douce (Reading, Royaume-Uni, 1966).

Les rapports présentés lors de ces réunions couvrent la plupart des principes présentant un intérêt pour le sujet considéré.

PROCESSUS DE PRODUCTION EN MILIEUX AQUATIQUES

La récolte du poisson ou de tout autre organisme aquatique, effectuée par l'homme, est l'aboutissement d'une série complexe d'activités des plantes et des animaux qui vivent en milieu aquatique. Il est donc évident que la récolte rationnelle des ressources aquatiques doit être basée sur des considérations requérant la compréhension des processus biologiques et de l'interdépendance de la faune et de la flore dans ce milieu.

Les processus de production en milieux aquatiques se décomposent généralement en trois phases : la production primaire, la production secondaire ou intermédiaire, et la production tertiaire ou terminale. Dans la pratique, la production primaire équivaut à la photosynthèse — synthèse par les plantes

vertes de matières organiques complexes à partir de constituants simples. Dans ce cas particulier, pour des fins pratiques, nous pouvons considérer que les plantes participant à la production primaire en milieu aquatique sont les algues. La phase suivante, qualifiée de production secondaire, est celle de la production d'organismes qui se nourrissent de plantes vertes, mais comme il est difficile de séparer ces organismes de ceux qui se nourrissent de détritus et de bactéries, on utilise (Ricker, 1968) le terme plus général de « production intermédiaire » pour se référer à la production d'invertébrés, en particulier des plus petits. La phase finale est constituée par la production tertiaire, qui aboutit à la production de poissons ou d'autres animaux qui tirent généralement leur subsistance de la production secondaire ou intermédiaire. Il convient de souligner toutefois que de nombreux poissons (ou autres animaux participant à la production tertiaire) peuvent tirer leur subsistance en totalité ou en partie de la production primaire. De nombreux auteurs préfèrent par conséquent utiliser des termes plus spécifiques tels que « production de poissons » pour ne définir qu'une catégorie d'animaux particulière. La « production terminale » peut être un concept plus général, se définissant en tant que production d'organismes utilisés directement par l'homme (par exemple, outre les poissons, les écrevisses, les grenouilles, les tortues, les crocodiles et le gibier d'eau).

Les processus de production comportent un aspect très important : la diminution considérable de la masse totale au cours des phases successives et en même temps une augmentation de la taille de chacun des composants. Du point de vue pratique, les chaînes (ou pyramides) alimentaires aquatiques sont souvent trop complexes et inefficaces. Souvent la conversion de la production primaire en production secondaire et tertiaire n'est pas très efficace, et la plus grande partie des aliments produits pendant une de ces phases peut ne jamais parvenir à la suivante et retourner à l'état de détritus au niveau le plus bas de la pyramide alimentaire. L'expérience acquise grâce à la pisciculture en étang a clairement prouvé que les plus grands rendements (récoltes) sont obtenus avec les espèces herbivores. Les carnivores sont les utilisateurs les moins efficaces de la production organique et sont par conséquent ceux qui conviennent le moins du point de vue biologique. Pour des raisons d'ordre économique ou sociologique, leur production peut cependant être très indiquée. Pour réaliser une production terminale maximale, il peut être nécessaire d'intervenir sur les chaînes ou pyramides alimentaires et de les maintenir dans les proportions souhaitées. Une bonne connaissance de l'influence des conditions du milieu et des méthodes permettant de les diriger est indispensable pour ce processus. Ce dernier requiert un contrôle des milieux « naturels » et « artificiels » à la fois; on en traitera plus loin.

UTILISATION DES RESSOURCES AQUATIQUES

Utilisation des eaux. De toutes les ressources naturelles dont nous disposons, l'eau est probablement celle qui a le plus d'utilisations différentes, depuis la consommation domestique, la production de poissons, l'agriculture, les besoins industriels, y compris la production d'énergie hydro-électrique, la navigation, le transport des déchets à évacuer, jusqu'à la pratique du sport et les activités récréatives et distractives. La production de poissons, qui est l'une des plus importantes de ces utilisations, est aussi l'une de celles qui exigent le moins

d'eau. En outre, l'expérience acquise dans un grand nombre de pays a révélé qu'il est possible d'associer avec succès la production de poissons avec de nombreuses autres formes d'utilisation des eaux.

La récolte dans les eaux continentales. On ne dispose pas de statistiques absolument sûres portant sur la récolte totale provenant de la production de poissons dans les eaux continentales, mais, d'après les chiffres fournis à la FAO, qui représentent principalement les excédents commercialisables provenant des eaux naturelles sans tenir compte des quantités très appréciables de poissons capturés pour la subsistance personnelle ou à des fins récréatives, elle s'élèverait à environ 7 millions de tonnes par an. Il faut ajouter à cela la production, estimée à 1 million de tonnes, des étangs de pisciculture (non compris la Chine continentale, où la production aquicole serait d'environ 2,4 millions de tonnes). Il s'agit là d'une contribution substantielle à l'approvisionnement mondial en aliments protéiques, puisque cette production est presque entièrement consommée par l'homme et qu'elle a une grande valeur économique.

Pourtant, malgré l'importance des pêcheries intérieures, le vif intérêt apporté à leur développement et l'accroissement notable de la production dans certaines régions, la production mondiale totale de poissons d'eaux continentales n'a pas augmenté autant que celle des poissons de mer pendant les dix dernières années. Cela pourrait porter à croire que la plus grande partie des ressources naturelles en poissons d'eaux continentales sont exploitées de façon assez satisfaisante; néanmoins, de vastes régions demeurent sous-utilisées, en particulier dans certains pays en voie de développement. Et, bien qu'il puisse paraître plus facile de pêcher dans des eaux continentales, les cas d'épuisement de grands stocks de poissons par une pêche excessive y sont relativement plus rares qu'en eau de mer. Dans la plupart des cas, le principal facteur qui s'oppose à une expansion rapide et parfois même diminue les rendements semble être la détérioration du milieu. Et cette détérioration est due dans une large mesure aux prélèvements que l'homme, poussé par des besoins contradictoires, effectue sans discernement et sans méthode sur les ressources aquatiques totales et sur le milieu.

Si, comme il a été déjà énoncé, une compréhension des processus biologiques doit gouverner l'évaluation des récoltes autorisées, il faut aussi noter que l'adoption de meilleures méthodes en matière de pêche, de traitement et de préservation, accroîtra notablement la production mondiale de protéines.

Effets des changements intervenus dans les modes d'utilisation des eaux. Autrefois, l'utilisation des ressources aquatiques — tant vivantes que non vivantes — était pratiquée selon un processus relativement simple. Les ressources en eau étaient généralement abondantes; elles suffisaient à tous les besoins et un choix entre les diverses utilisations ne s'imposait qu'incidemment. Mais, avec l'apparition de la technologie industrielle, de l'urbanisation et de la pression démographique, les modes d'utilisation des ressources provenant des eaux continentales se sont modifiés de façon appréciable et l'on s'est rendu compte que ces ressources ne sont pas inépuisables, et que l'exploitation d'un type de ressources peut avoir des effets extrêmement nuisibles sur les autres¹. Dans les pays industriellement développés, les utilisations concu-

1. La synthèse de Dill et Kesteven (1960) a été largement utilisée pour établir le présent document.

rentes des ressources en eau, l'aménagement des terres marécageuses et la pollution des eaux ont eu des effets de grande portée sur le milieu aquatique, sa production et enfin, par voie de conséquence, sur l'utilisation de cette production. Les mêmes processus font maintenant leur apparition dans les pays en voie de développement, en particulier là où l'agriculture et l'industrie sont facilitées par l'aménagement de bassins hydrologiques.

Pour aménager les bassins hydrologiques on a généralement tout d'abord recours à la construction de digues ou de barrages. Ces ouvrages d'art et leur fonctionnement peuvent avoir les conséquences suivantes sur les ressources aquatiques vivantes. Les barrages empêchent ou entravent souvent la migration des poissons. Ils modifient l'ampleur, la chronologie et la qualité des courants en aval, et peuvent donc affecter les stocks aquatiques en diminuant ou augmentant l'espace disponible ainsi que l'ampleur et la qualité des zones de frai, d'alevinage ou de production d'aliments, et en modifiant la rapidité, la température, la chimie, la turbidité de l'eau et les possibilités d'auto-épuration des cours d'eau. Les dérivations ou conduites partant des barrages causent souvent la perte des poissons qui y pénètrent et, dans certains cas, elles peuvent entraîner des organismes aquatiques dans des bassins de drainage d'où ils ne sont pas originaires.

Les « pêcheries de zones d'inondation » — pêcheries implantées dans les zones inondées par les fleuves pendant les saisons de crue — apportent une contribution considérable à la production de poissons d'eaux continentales dans les pays tropicaux, mais les projets de lutte contre les inondations et d'irrigation font rapidement disparaître ce type de pêche. Il a déjà presque entièrement disparu dans les pays tempérés industrialisés.

La pollution et la mise en valeur affectent également les ressources aquatiques continentales. L'emploi généralisé d'insecticides et autres pesticides, dans le cadre de mesures sanitaires, agricoles et forestières, est particulièrement dangereux pour la vie aquatique.

Par exemple, la pisciculture en rizière est pratiquée depuis longtemps dans de nombreux pays de l'Asie du Sud-Est, et elle apporte une contribution substantielle à la production si nécessaire d'aliments protéiques. Mais à mesure que se répand l'emploi des pesticides dans les rizières, cette forme de production aquatique s'achemine vers une disparition rapide. L'aménagement à grande échelle des estuaires, lagunes et marais, destiné à favoriser l'expansion de l'industrie, de l'agriculture ou de la construction, a aussi détruit d'utiles milieux de reproduction et de développement des poissons et autres animaux aquatiques.

Bien que de nombreuses formes de mise en valeur des terres et des eaux aient eu une influence néfaste sur la production de poissons, d'autres ont créé des zones aquatiques nouvelles et plus vastes, potentiellement utilisables pour accroître cette production. Quatre des principaux barrages construits rien qu'en Afrique ces dernières années ont créé des lacs artificiels d'une surface totale d'environ 19 000 km². Le projet de la vallée du Tennessee (TVA), aux États-Unis, qui a fait passer la surface aquatique de tous les affluents du Tennessee ainsi que de ce fleuve d'environ 45 600 ha à presque 240 000 ha a eu pour résultat une production de poissons bien supérieure à celle que l'on obtenait auparavant. De nombreux autres réservoirs de ce type seront créés à l'avenir et, s'ils sont installés comme il convient, ils permettront d'obtenir des rendements de poissons considérables.

FONDEMENTS SCIENTIFIQUES DE LA CONSERVATION

La conservation n'étant autre que l'emploi rationnel des ressources, elle doit nécessairement se baser sur des données et des expériences scientifiques. Comme les ressources aquatiques vivantes, le poisson essentiellement, sont de nature biologique, on a naturellement tendance pour sa conservation ou son aménagement à ne considérer que la base biologique. Sans aucun doute, une connaissance approfondie de la biologie des ressources et du milieu devrait être à la base de toute politique de conservation. Cependant, une politique réaliste doit également se fonder sur des méthodes judicieuses de récolte, de traitement et de préservation, ainsi que sur les besoins économiques et sociologiques en jeu. Par exemple, aux États-Unis — où environ 25 % de la population se livre déjà à la pêche récréative et dépense presque 3 milliards de dollars par an pour les engins de pêche et les services afférents à ce sport, et où le nombre de pêcheurs devrait augmenter de 50 % en 1975 et de 150 % en l'an 2 000 — on a jugé que l'adoption de mesures destinées à préserver et à accroître les stocks de poissons servant à ce sport (même en diminuant le nombre de certaines espèces concurrentes de « poissons communs » n'ayant qu'une valeur alimentaire) constituait la politique la plus appropriée pour la plus grande partie des eaux continentales.

Les sociétés riches — ou tout au moins certaines couches de ces sociétés — exposées à des pressions démographiques relativement moindres et disposant davantage de loisirs et de temps à consacrer aux distractions peuvent souhaiter conserver la nature dans sa pureté primitive pour des raisons esthétiques et la recherche scientifique; à l'opposé, les pays économiquement en retard, qui se trouvent confrontés avec les problèmes que posent une augmentation démographique rapide et une production alimentaire insuffisante, devront naturellement mettre au point une politique de conservation permettant d'améliorer la production alimentaire, l'emploi et le bien-être de leurs populations. Indiscutablement, les besoins immédiats ne devraient pas constituer les seuls éléments de base pour l'aménagement des ressources; il faudrait aussi tenir soigneusement compte des effets à long terme et reconnaître la responsabilité morale de l'homme à l'égard de la nature dont il fait partie. Il ressort donc clairement qu'une politique uniforme de conservation basée uniquement sur des principes biologiques et des considérations techniques reconnus ne saurait être recommandée dans tous les cas. Il est indispensable d'aborder scientifiquement la question de l'utilisation rationnelle et de l'aménagement des ressources aquatiques en se fondant sur toutes les disciplines concernées.

BASES ÉCOLOGIQUES ET BIOLOGIQUES

La base biologique de la conservation est constituée par une connaissance solide de la biologie et de l'écologie des ressources.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, les « ressources » ou production terminale, principalement de poissons, sont habituellement le résultat de : a) la production primaire de plantes; b) la conversion de la matière organique produite par les plantes en aliments convenant aux poissons, généralement par l'intermédiaire d'une « chaîne alimentaire » d'animaux; c) l'absorption des aliments par le poisson et leur transformation en chair. Le poisson

ainsi produit est alors récolté par l'homme et le stock est reconstitué par la reproduction (voir Le Gren, 1958). L'aménagement scientifique pour obtenir un rendement optimal devrait porter sur chacune de ces phases ainsi que sur les conditions du milieu dans lequel elles se déroulent. Il convient de maintenir à son niveau optimal la production primaire. La perte de matière organique qui se produit lors de la transformation des aliments en chair de poissons devrait être abaissée au minimum. Il faudrait s'assurer que la mortalité des poissons, due à des causes naturelles et à la pêche, est compensée par une reproduction et un recrutement adéquats. Enfin, il faudrait ne récolter que la production de poissons permettant le rendement soutenu le plus élevé possible. La plupart de ces phases se prêtent à un contrôle de l'homme, à des degrés divers. Ce contrôle peut s'exercer tout d'abord sur le milieu, ou bien sur les stocks eux-mêmes.

En premier lieu, il est souhaitable, en ce qui concerne le milieu physique, de le préserver dans des conditions telles que : a) l'eau soit suffisamment abondante pour assurer un espace vital adéquat avec une température et une vitesse d'écoulement appropriées; b) l'eau soit suffisamment oxygénée et d'une qualité chimique appropriée (comportant des quantités adéquates de sels nutritifs et dépourvue de substances toxiques ou nocives); c) le substrat soit approprié (pour la fixation, l'abri, le frai et l'éclosion); d) la circulation, les migrations, etc., n'y soient pas entravées. Tous ces facteurs étant réunis dans un milieu idéal, il peut cependant arriver que les ressources ne se développent pas autant que le souhaite l'homme. La mise en valeur de ces ressources dépend également de la composition et des densités relatives de la faune et de la flore, deux éléments sur lesquels l'homme peut également intervenir. Pour finir, les prédateurs exercées par l'homme lui-même (que nous préférons appeler la pêche) sur les stocks aquatiques constitue un fait très important.

Il s'ensuit par conséquent que toute discussion relative à la préservation ou à l'altération du milieu non océanique et à la conservation de ses ressources doit considérer l'homme comme une composante de première importance dans un écosystème qu'il a déjà nettement modifié, soit volontairement, soit par inadvertance. Pour être tout à fait réaliste, il faut convenir que, dans le monde actuel, il y a de moins en moins d'eaux continentales que l'on peut qualifier de « naturelles » et que nombre d'entre elles perdront bientôt leurs caractéristiques originelles. Peut-on vraiment qualifier aujourd'hui de « naturels » les cours régularisés du fleuve Colombia ou du Danube, les grands réservoirs du Zambèze, de la Volta et du Nil, ou le Rhin pollué, le lac eutrophisé de Genève ou le lac Érié, ou même les petits lacs montagnards ou alpins dans lesquels les truites, de mêmes que les carpes de la plaine du Gange, contiennent des quantités mesurables de pesticides?

Cela nous amène donc au thème principal de notre discussion : a) comment peut-on conserver au mieux les eaux continentales pour la production de ressources aquatiques, et b) ayant obtenu cette production, comment peut-on l'aménager au mieux sur une base rationnelle pour le meilleur profit de l'humanité. Nous indiquons brièvement ci-dessous les principales méthodes de préservation et d'aménagement de ces ressources, considérées tout d'abord du point de vue biologique.

Intervention sur les aspects physico-chimiques du milieu

Approvisionnement adéquat en eau. Il importe essentiellement que les lacs, cours d'eaux et réservoirs soient suffisamment approvisionnés en eau tout le long de l'année. Dans les lacs ou cours d'eau entièrement naturels, l'approvisionnement en eau dépend dans une large mesure du cycle hydrologique naturel, mais ce cycle peut évidemment être modifié (par le reboisement par exemple) pour que l'approvisionnement soit plus important ou amélioré.

Dans les eaux artificielles ou dans celles qui sont affectées par des barrages ou d'autres ouvrages d'art, le réglage de ces barrages, les conduites d'arrivée et de sortie des réservoirs et la surveillance des niveaux d'eau sont des éléments importants en ce qui concerne cet approvisionnement en eau. Ce réglage fournit de l'espace vital, mais en outre il a des répercussions profondes sur l'approvisionnement en aliments, les mouvements et la réussite du frai.

Température de l'eau. La température de l'eau constitue un facteur déterminant pendant toutes les phases de la production. Bien qu'elle dépende en partie du cycle hydrologique ou saisonnier naturel, l'homme peut la modifier. Il peut intervenir sur la température des cours d'eau ou des lacs en créant de l'ombre ou en la diminuant ou bien en augmentant la profondeur des bassins. En libérant sélectivement de l'eau de la surface ou des couches inférieures des réservoirs situés en amont des barrages, il est possible d'envoyer de l'eau à la température requise en aval. L'utilisation de grandes quantités d'eau chauffée venant des tours de refroidissement des centrales thermo-électriques et autres semble constituer dans certaines localités un moyen efficace pour élever la température de certains milieux aquatiques tempérés, et obtenir ainsi une production biologique supérieure (voir toutefois le chapitre suivant). La destratification des lacs et des réservoirs par des moyens mécaniques peut également permettre d'obtenir une production supérieure dans certaines conditions.

Qualité de l'eau et pollution. Pour maintenir une production optimale à tous les stades, il importe tout spécialement de fournir de l'eau chimiquement de bonne qualité. La définition de cette qualité dépend toutefois des ressources particulières considérées. Les salmonidés exigent par exemple une eau fortement oxygénée; pour les poissons tropicaux, la teneur en oxygène est moins importante. Quoi qu'il en soit, pour satisfaire aux critères le plus généralement importants, il faut assurer un approvisionnement en eau contenant une proportion adéquate d'oxygène dissous, un pH et une alcalinité appropriés, et une proportion raisonnablement faible de solides en suspension, de substances toxiques, d'organismes pathogènes et de contaminants susceptibles de donner un goût et une odeur désagréables. Pour cela, il va sans dire qu'il faut éviter toute pollution de l'eau et, pour atteindre ce but, il faut commencer, entre autres choses, par établir des critères de qualité pour l'eau servant à la production de poissons et d'autres organismes aquatiques. Dans les pays développés, de nombreux comités ou commissions, gouvernements provinciaux et nationaux, et institutions intergouvernementales s'emploient activement de nos jours à étudier et à recommander des spécifications de qualité particulières pour l'eau destinée à tous les types d'utilisation, y compris celle qui sert à la production de poissons et d'animaux aquatiques. Des

travaux de ce type, qui sont d'une importance fondamentale pour l'aménagement des ressources aquatiques, devraient être effectués dans le monde entier, de préférence avant de procéder à la mise en valeur.

La pollution de l'eau qui affecte la production en milieu aquatique à tous les stades peut être provoquée par des déchets domestiques ou industriels, des pesticides ou herbicides, des substances radio-actives, des hydrocarbures, d'autres substances déversées à dessein ou par inadvertance (par exemple par l'intermédiaire de l'atmosphère ou par le drainage des terres) et qui finissent par se retrouver dans les lacs et les cours d'eau. Les biologistes spécialistes de l'eau s'intéressent tout particulièrement de nos jours aux effets des pesticides, que l'on semble trouver partout, de l'eutrophisation (ou vieillissement) des eaux provoquée par l'apport de quantités excessives d'éléments nutritifs, ainsi que des nouveaux agents inscrits à la liste des polluants tels que l'eau chauffée (de refroidissement) produite essentiellement par les usines à vapeur fabriquant de l'énergie et qui peut avoir des effets nocifs sur certaines espèces vivant en eau froide.

Du point de vue des stocks aquatiques, l'effet le plus grave de la pollution est constitué par la lente dégradation du milieu physique et biologique, dégradation qui en général n'est pas détectée avant d'avoir atteint une phase assez avancée, à la différence de la mortalité massive des poissons et autres organismes aquatiques, qui se remarque rapidement et attire de ce fait davantage l'attention. Quand des institutions s'occupant de la conservation peuvent travailler en collaboration étroite avec les administrations industrielles et urbaines, il est possible de mettre au point des méthodes adéquates de lutte contre la pollution telles que le traitement préventif des effluents et le réglage de leur déversement, l'enfouissement des polluants dans le sol et la modification des procédés utilisés pour changer la qualité et la quantité des effluents.

Fertilisation. L'eau doit être « fertile », c'est-à-dire contenir des éléments nutritifs pour pouvoir produire une récolte aquatique. On semble actuellement souhaiter vivement diminuer la fertilité de certaines eaux naturelles — en particulier, lorsqu'une surabondance d'éléments nutritifs a entraîné une eutrophisation, a altéré l'aspect de l'eau et modifié la composition du stock halieutique, le faisant passer, par exemple, d'une population de corégonidés, espèce recherchée, à une population de cyprinidés, qui l'est moins.

D'autre part, on peut souhaiter accroître la fertilité de nombreuses eaux naturelles pour obtenir des productions supérieures. Il semble actuellement que la fertilisation la meilleure, c'est-à-dire la plus économique, se fasse en étangs artificiels petits ou contrôlés (ceux que l'on utilise pour la pisciculture). La mesure dans laquelle on peut intervenir ou avoir une influence dans ce domaine s'accroît avec nos connaissances scientifiques. Certaines expériences ont révélé une augmentation considérable des taux de photosynthèse à la suite de l'adjonction d'oligo-éléments. Il semble qu'à l'aide de telles méthodes, il soit possible de mettre au point des moyens économiques permettant de fertiliser de vastes étendues d'eau.

Il faudrait aussi mentionner la grande quantité d'aliments qui se trouvent au fond de lacs tropicaux; ces aliments pourraient être remis en circulation et ainsi accroître la production.

Protection et amélioration de l'habitat. De nombreuses autres méthodes d'aménagement, généralement décrites comme améliorations de l'habitat, contribuent à obtenir une production optimale à tous les stades. Le traitement des terres et les mesures de contrôle des eaux — tels le reboisement, les plantes de couverture, le terrassement, la culture en courbes de niveau et le drainage — préviennent l'érosion et stabilisent le sol. On empêche ainsi l'apparition d'une turbidité excessive retardant la photosynthèse et, par conséquent, la production primaire, de même que l'envasement des radiers des cours d'eau, qui a pour résultat d'étouffer la flore et les insectes, ainsi que l'amoncellement des graviers qui endommagent le frai. Un entretien soigneux et l'amélioration des bassins versants ont une importance vitale pour la conservation des ressources aquatiques continentales, mais ce type de mise en valeur dépasse souvent les possibilités des institutions chargées de s'occuper des ressources aquatiques et dépend de l'application généralisée de méthodes appropriées de conservation des sols et des forêts. La mise en œuvre de telles mesures exige une éducation du public et une coordination avec les autres institutions concernées.

En plus de ces méthodes générales, certains « instruments d'amélioration » ont été utilisés pendant de nombreuses années pour les cours d'eau et les lacs, par exemple en Grande-Bretagne, dans les eaux à truites, et en Amérique du Nord, où l'on a proclamé pendant quelque temps qu'ils représentaient le meilleur moyen d'assurer une bonne production de poissons destinés à la pêche sportive. Certains de ces instruments ou méthodes (par exemple les déflecteurs servant à utiliser la force excavatrice d'un cours d'eau pour séparer la vase du gravier utilisable, à accélérer le courant et à créer des trous d'eau) ont paru utiles. Mais, dans bien des cas, leurs effets sont de courte durée et ils ne sont guère économiques. En revanche de petits barrages servant à maintenir le courant sur les lacs naturels ont donné d'excellents résultats en augmentant le courant et en assurant un habitat permanent dans les cours d'eau qui en dérivent, et qui autrement se tarissent plus ou moins complètement pendant la saison sèche.

Des abris constitués d'arbrisseaux implantés sur les rives représentent un autre instrument d'« aménagement ». On en a placé beaucoup pour servir ostensiblement d'abris aux jeunes poissons et pour fournir des substratums pour les organismes alimentaires périphtiques. Leur rôle dans la production tertiaire (de poissons) n'a pas été clairement établi, et l'on pourrait très bien, dans certains cas, les appeler plutôt des « appâts », car ils attirent les poissons adultes, qui peuvent ainsi être capturés plus facilement. Ils peuvent, bien entendu, se révéler avantageux puisqu'ils facilitent l'utilisation générale des ressources. Leur emploi à cet effet est devenu classique dans les pêcheries commerciales et de subsistance, en certaines eaux de l'Europe orientale, de l'Asie et de l'Afrique occidentale, et on les utilise pour la pêche récréative de certains centrarchidés aux États-Unis.

Mesures pour la circulation libre et sûre des poissons. La création de passages à travers les obstructions constitue une forme très spécifique d'aménagement des cours d'eau. Dans certains cas, il peut être avantageux d'agrandir l'espace dans lequel évolue un stock en supprimant des barrières naturelles (telles que les cascades) ou des obstacles tels que les masses de troncs d'arbres sur les cours d'eau de flottage. Mais, dans la plupart des cas, la difficulté consiste

à faciliter le passage vers l'aval et vers l'amont des poissons migratoires tels que les saumons du Pacifique (*Oncorhynchus*), les saumons de l'Atlantique (*Salmo salar*) ou l'alse indienne (*Hilsa*), au moyen de barrages ou de déversoirs artificiels. Les moyens employés pour assurer un passage vers l'aval sont nombreux : passes simples ou complexes, ascenseurs, écluses, transport par camions, etc. Le choix de la méthode dépend de la nature du barrage et de son fonctionnement, de la biologie de l'espèce et — comme ces installations sont souvent très coûteuses — des incidences économiques. De même que pour les autres problèmes que pose la circulation des poissons et dont nous parlerons plus loin, la libre circulation des poissons aux barrages est une question très complexe qui exige une collaboration étroite entre les biologistes experts des poissons et les ingénieurs des pêches. (La brièveté avec laquelle cette question est traitée ici ne doit pas cacher au lecteur sa complexité.)

Le passage des migrants venant de l'amont à travers les barrages n'a été étudié avec l'attention voulue que depuis quelques années. Bien que cela ne pose pas de problèmes trop difficiles dans le cas de barrages bas avec un courant intense, on se heurte à des difficultés considérables quand ce passage doit être assuré à travers de hauts barrages formant de grands endiguements. Comme la plupart des jeunes poissons migrent près de la surface, leur passage à travers un barrage peut être possible si on aménage des déversoirs appropriés régularisant le courant, ainsi que des bassins au pied des barrages. On peut également recourir à des tunnels de dérivation, à des déviations ou même à des passes à poissons pour y parvenir. Un grand nombre de méthodes, notamment courants artificiels, lumière, rideaux de chaînes, murs de bulles d'air, produits chimiques, vibrations, secousses électriques, sont utilisées pour diriger les poissons vers des issues sans danger ou vers des zones de rassemblement, d'où ils peuvent être capturés par des moyens mécaniques. Aucune de ces méthodes n'a été jugée entièrement satisfaisante jusqu'à présent. En outre, aucun moyen efficace ne semble avoir été mis au point jusqu'à maintenant pour assurer la circulation vers l'amont des poissons jeunes et adultes à travers de vastes zones lacustres d'eaux endiguées¹. A mesure que les cours d'eau sont barrés par des digues, la situation en ce qui concerne les espèces fluviales migratrices se complique et exige une étude approfondie.

Des pertes importantes de poissons, en particulier d'espèces migratrices, peuvent également se produire lorsque des poissons venant de cours d'eau ou de réservoirs pénètrent dans des dérivations (canaux, vannes, etc.). Différents types de grilles à poissons telles que grilles fixes, écrans à barreaux parallèles, grilles tournantes, écrans mobiles à bande, écrans à plaques perforées, etc., ont été conçus pour empêcher les poissons de pénétrer dans de telles dérivations.

On a également utilisé des écrans électriques ou des déflecteurs qui repoussent les poissons et les empêchent de pénétrer dans les dérivations. Ils présentent le grand avantage de ne pas se laisser obstruer par les débris, comme c'est le cas pour les écrans mécaniques. En tout cas, l'efficacité des écrans dépend non seulement de leur conception et de leur emplacement, mais aussi de leur entretien, et chaque installation doit être étudiée individuellement. En outre (et cela a souvent été négligé), il faut s'assurer que les écrans placés

1. Un article de R. F. Raleigh et W. J. Ebel (in Lane, ed., sous presse) décrit une méthode pour assurer le mouvement vers l'aval des jeunes saumons du Pacifique à travers un endiguement large et profond au moyen d'une écluse.

sur des dérivations situées à une certaine distance des travaux principaux soient munis de dégagements pour permettre aux poissons de retourner vers les cours d'eau.

Intervention sur les aspects biologiques du milieu

Mise en place d'organismes servant d'aliments et de « poisson fourrage ». Nombre des techniques d'aménagement décrites ci-dessus sont en rapport avec les phases de la production, notamment la production secondaire ou intermédiaire. On place des organismes alimentaires ou du « poisson fourrage » dans les eaux où l'on estime que la production intermédiaire n'est pas adéquate. Comme de nombreux poissons se nourrissant de plancton semblent capturer des éléments constitutifs du plancton selon un processus sélectif plutôt que par filtrage, la taille des zooplanctons et la densité de leur population ont une importance considérable. Il se peut donc que l'introduction de plus grands crustacés planctoniques, tels que les phyllopoètes et les mysidacés, contribue à accroître la production de poissons. Dans de nombreuses eaux, la principale ressource alimentaire des poissons est constituée par des invertébrés benthiques tels que les vers oligochètes, les larves de chironomidés (moucheron) et les petits mollusques. Dans les endroits où l'on juge que les populations de ces organismes sont rares ou d'une densité insuffisante, il peut être très souhaitable de les y introduire et de faciliter leur croissance. Cela a été réalisé avec le plus grand succès en URSS, où la production de poissons a augmenté de façon spectaculaire dans des réservoirs grâce à la mise en place de mysidacés et de polychètes. L'introduction de « poisson fourrage » pélagique dans des eaux centrales ou éloignées des rives, autrement inutilisées, a également été réalisée avec un succès remarquable, en particulier dans certaines eaux où l'on souhaitait récolter une population carnivore. Il va de soi que ces introductions ne devraient se faire qu'après des expériences antérieures ou des études écologiques poussées, ou des expertises.

Intervention sur la végétation aquatique. Bien que certains invertébrés et poissons utilisent des plantes aquatiques supérieures ou vasculaires, la croissance des plantes est souvent nuisible à la production de ressources aquatiques et à leur récolte, et dans certaines régions leur surabondance entraîne des difficultés considérables. Comme exemple typique, on peut citer la multiplication rapide de la jacinthe d'eau, *Eichhornia* (originale de l'Amérique du Sud), qui a été introduite dans les eaux de plusieurs continents, et de *Salvinia*, fougère aquatique, dans le lac Kariba récemment aménagé. La récolte actuelle de jacinthes d'eau au Pakistan-Oriental à elle seule, qui a récemment été estimée à plus de 25 millions de tonnes, n'est presque pas utilisée et leur présence gêne indiscutablement la production de poisson et ne permet pas d'autres utilisations de l'eau. Parmi les propriétés néfastes de la végétation aquatique, on peut citer le fait qu'elle garde des aliments qui seraient autrement disponibles pour la production primaire par les algues, leur propension à faire de l'ombre, ce qui diminue la photosynthèse, l'augmentation de la déperdition d'eau par transpiration, et le fait qu'elle gêne la pêche.

L'élimination de telles plantes se fait généralement par des moyens mécaniques et chimiques. Des méthodes biologiques (recours aux poissons, escargots et insectes par exemple) ont également été essayées, mais il peut

s'avérer à la longue que la méthode la plus satisfaisante de toutes consiste à récolter et à utiliser les plantes plutôt qu'à les détruire.

Lutte contre la prédation et la concurrence; intervention sur les populations. L'homme s'est efforcé depuis de nombreuses années de lutter contre les animaux qui se nourrissent de poissons. Les martins-pêcheurs ont ainsi été piégés, les brochets foénés dans les réserves de truites, les harles chassés au fusil dans les cours d'eau où vivent les saumons, les cormorans et les crocodiles tués dans les lacs et les marais africains. Les résultats des études sur la prédation ne sont pas toujours concluants et ce sujet prête quelque peu à controverse. Les situations particulières et les buts que l'on vise déterminent s'il convient et s'il est possible de détruire les prédateurs. Par exemple, l'élimination de prédateurs qui autrement demeurent inutilisés peut sans aucun doute être bénéfique dans les régions d'aquaculture intensive où leur suppression permet à un plus grand nombre de poissons de survivre, de se nourrir et de se développer ensuite. En revanche, on a constaté qu'une élimination excessive des prédateurs peut aboutir à un surpeuplement et un rabougrissement de l'espèce recherchée. On peut même introduire des prédateurs pour abaisser la densité des populations d'espèces dont la valeur économique est faible.

Quoi qu'il en soit, ce n'est pas en éliminant un nombre relativement faible de prédateurs, mais en endiguant à grande échelle ou en éliminant totalement par des moyens chimiques des populations de poissons concurrentes que l'homme a sans doute réalisé le progrès principal dans le domaine de la mise en valeur de la pêche continentale, qui lui permet d'intervenir dans la production tertiaire. Le premier produit chimique utilisé avec un succès considérable a été la roténone, qui présente trois avantages principaux : elle tue rapidement les poissons, elle ne détruit pas leurs aliments, et son effet toxique disparaît en peu de temps, de sorte qu'il est ensuite possible de reconstituer le stock avec les espèces que l'on préfère. La roténone ainsi qu'un grand nombre de nouveaux produits ou de préparations chimiques ont été largement utilisés depuis plus de vingt-cinq ans pour la « remise en valeur » des lacs, en particulier aux États-Unis, en vue de favoriser la pêche sportive. Utilisés tout d'abord dans des lacs ou réservoirs déjà existants, ces produits chimiques ont ensuite été employés pour tenter de supprimer des populations entières de poissons depuis le début d'un cours d'eau, puis plus bas jusqu'à l'emplacement d'un nouveau réservoir. Après avoir procédé à cette suppression, on peut repeupler le stock dans le réservoir et dans la partie drainée située en aval en ne plaçant que les espèces que l'on préfère produire. (Ce procédé consistant à éliminer des espèces originaires d'un bassin de drainage s'est heurté dans certains cas à des critiques sévères de la part de ceux qui attachent du prix à la préservation du stock original ou des populations naturelles.)

En dehors de cette utilisation des produits chimiques pour améliorer la pêche sportive, on a démontré avec certitude que, dans certaines petites étendues d'eau, on pouvait multiplier la production de poissons servant d'aliments en éliminant totalement (par des produits chimiques ou par d'autres moyens) les stocks existants de poissons de peu de valeur du point de vue économique et en reconstituant le stock par fertilisation et introduction d'espèces rentables. Dans certains lacs ainsi traités, en URSS, la récolte permanente d'organismes destinés à nourrir les poissons s'est multipliée 500 à 700 fois et la production de poissons a augmenté 6 à 10 fois.

On s'intéresse beaucoup de nos jours à la suppression de certains poissons par des produits chimiques. Les produits chimiques sélectifs — ceux qui n'agissent que sur une seule espèce — permettent d'atteindre un degré élevé de sélection dans la population de poissons. Leur mise en œuvre ainsi que celle de moyens permettant d'intervenir partiellement afin de diminuer plutôt que supprimer complètement certaines populations constituent l'un des instruments les plus puissants pour la mise en valeur des pêches.

Peuplement artificiel des stocks

De nombreuses mesures efficaces d'aménagement des ressources aquatiques concernent surtout la phase terminale de la production de poissons. Ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, l'aménagement scientifique des ressources en poissons devrait être basé sur une connaissance approfondie des populations concernées, de leur biologie et du milieu dans lequel elles vivent. Le repeuplement devrait contrebalancer la diminution de densité des populations de poissons due à des causes naturelles et à la pêche. Il faut s'assurer qu'il y a un nombre minimal de poissons qui fraient dans le stock et qu'un nombre adéquat de jeunes recrues vient s'ajouter au stock. De même que pour nombre d'autres populations animales, il semble que chez les poissons un certain facteur lié à la densité de la population tend à régulariser leurs effectifs. Bien qu'on ne dispose que de peu de données au sujet de la nature du rapport existant entre l'ampleur des populations qui fraient et leur progéniture, il ne fait aucun doute qu'un nombre moyen de poissons qui fraient suffit à assurer une croissance efficace et une production optimale.

D'après ce qui vient d'être dit, des eaux qui sont suffisamment bien aménagées pour que soient réunies les conditions écologiques favorables à la subsistance et à la survie ne nécessitent pas en général une adjonction de poissons ou le réapprovisionnement constant du stock en vue de maintenir artificiellement la population à un certain niveau. Il faut remarquer cependant que dans de nombreux cas particuliers cette opération est utile. Il peut être nécessaire par exemple de maintenir une production de poissons élevée dans les eaux qui subissent l'action destructrice des changements du milieu telles que celles où des frayères ont été perdues. Pour les salmonidés anadromes, le repeuplement du stock par des poissons élevés en alevinières, en particulier pendant la phase de la migration, a donné de bons résultats du point de vue économique. Le repeuplement du stock peut être utile lorsque, par exemple, il faut repeupler en poissons les eaux où le stock a été détruit (par la pollution par exemple), dans les eaux mises en valeur, dans les nouveaux réservoirs et lorsque l'on souhaite introduire une ou plusieurs espèces différentes. Bien entendu, nous n'ignorons pas qu'il est dangereux d'introduire sans discrimination des espèces exotiques. Le peuplement avec des poissons « capturables » pour la pêche sportive, c'est-à-dire la libération de poissons d'une taille telle qu'ils peuvent être capturés immédiatement à la ligne n'entre, dans aucune de ces catégories. La réussite du repeuplement est soumise en premier lieu à des considérations d'ordre économique et ne peut être obtenue que dans des conditions d'opulence.

Réglementation des pêches

Il peut être nécessaire de réglementer convenablement la pêche afin de ne pas détruire les stocks dans les grandes étendues d'eau et, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, la réglementation est l'un des premiers moyens utilisés à cette fin. A l'aide de techniques appropriées pour évaluer l'abondance des populations, leur rythme de transformation et de croissance, les taux de mortalité et de recrutement, on peut déterminer les rapports entre les prises opérées dans un stock et les quantités de poissons pêchés, d'une part, et la dimension des poissons à la première capture, d'autre part. La pêche en milieu naturel doit être basée sur de tels renseignements pour être convenablement aménagée. Les mesures de réglementation ne devraient être prises que lorsque le besoin s'en fait sentir et à condition qu'on soit certain du bénéfice qu'on peut tirer de leur application. La réglementation destinée à modifier la proportion des poissons capturés dans le stock ou à définir la taille des poissons que l'on est autorisé à pêcher peut être appliquée principalement en imposant des restrictions sur : a) la dimension et l'état des poissons que l'on peut capturer; b) les zones et les saisons où la pêche est permise; c) les méthodes de pêche; d) la capture totale et l'effort de pêche.

Ces mesures de réglementation doivent évidemment être évaluées en fonction de considérations économiques et sociales. Quand il est possible de remettre à l'eau vivants les poissons d'une taille inférieure à celle qui est permise, et que l'on peut pratiquer une pêche sélective en ce qui concerne la taille des poissons, les restrictions concernant la taille des poissons que l'on est autorisé à pêcher peuvent se révéler très efficaces. L'interdiction de pêcher dans certaines zones et pendant certaines saisons peut abaisser sensiblement la mortalité par pêche et permettre d'exercer un contrôle sur les tailles des poissons capturés quand des groupes de poissons d'une certaine taille sont concentrés dans certaines régions ou pendant certaines saisons (par exemple dans les frayères et les alevinières pendant et après les saisons du frai). Les restrictions concernant les méthodes de pêche interdisent généralement ou limitent l'emploi de méthodes et d'engins et instruments susceptibles de causer des dégâts, ou portent sur des détails tels que la taille des mailles des filets. De telles restrictions sont particulièrement indiquées lorsque l'accroissement de l'effort de pêche risque d'affecter la reproduction, mais elles ne devraient pas entraîner une perte d'efficacité ou une augmentation des coûts opérationnels. Des méthodes de pêches destructives telles que le recours à des poisons ou des explosifs peuvent être interdites — et elles le sont d'ailleurs presque toujours. La réglementation de la taille des mailles de filets a été très souvent appliquée avec succès, en particulier pour les pêches maritimes, et elle a pour principal avantage de ne pas affecter le coût de la pêche. Toutefois, lorsque la pêche porte sur plusieurs espèces, il peut être très difficile de définir des réglementations appropriées en ce qui concerne les mailles assurant des prises convenables de poissons de tailles différentes. La mise en valeur efficace des pêcheries doit le plus souvent porter sur la réglementation de la mortalité par pêche (la quantité de poissons capturés) en limitant la prise totale et l'effort de pêche. L'attribution de contingents en ce qui concerne l'ampleur de la prise et l'effort de pêche pour chaque stock présente de nombreuses difficultés, en particulier dans les réseaux fluviaux et les lacs importants où plusieurs pays ont des droits de pêche. Même lorsqu'il n'y a qu'un seul pays,

les contingents devraient être fixés sur une base générale ou en fonction des unités de pêche individuelles en tenant compte des situations organisationnelles, économiques et politiques.

BASE ÉCONOMIQUE ET SOCIOLOGIQUE

En discutant précédemment les méthodes de mise en valeur des ressources aquatiques, essentiellement fondées sur la connaissance des données biologiques, on a fait observer que le choix des méthodes à adopter dans chaque cas particulier doit tenir compte pleinement des considérations économiques. Normalement les administrations examinent le rapport coût/bénéfice avant de mettre en œuvre une mesure de conservation. Nombre des techniques de mise en valeur indiquées sont fort coûteuses et doivent être appliquées par un personnel qualifié. Il importe donc tout particulièrement de procéder à des évaluations économiques pertinentes avant de recommander toute mesure de conservation.

De nombreuses mesures de mise en valeur coûteuses pourraient probablement être évitées si l'on n'exécutait pas les projets d'utilisation des eaux et des terres qui sont potentiellement nuisibles pour les ressources aquatiques vivantes. Néanmoins, dans une région donnée, de tels projets peuvent devoir être réalisés d'urgence en raison d'exigences pressantes d'ordre économique ou social, à moins qu'on ne puisse prouver que la valeur des ressources aquatiques dépasse de beaucoup celle des avantages que le projet veut procurer. Pour des raisons d'ordre esthétique ou pour l'étude scientifique, il peut être bien préférable de conserver une certaine région dans son état naturel ou presque naturel, mais au regard des besoins économiques et sociaux, il n'est pas possible de conserver toutes les régions dans cet état. La meilleure façon de procéder avec réalisme, c'est-à-dire de façon scientifique, consiste donc à considérer la situation dans son ensemble et en examiner tous les aspects avant de formuler une politique rationnelle d'aménagement dont l'homme puisse tirer le maximum de profit.

La nature de l'emploi d'un type de ressources, comme par exemple la destination assignée au produit de la pêche — sport ou nutrition — peut jouer un rôle déterminant dans la comparaison des valeurs relatives. La valeur d'une pêcherie commerciale produisant des denrées alimentaires doit être estimée essentiellement sur la base de l'utilité commerciale des opérations concernées et éventuellement sur la contribution qu'elles apportent à l'alimentation d'une population ne disposant pas d'autres sources d'aliments protéiques; les critères à observer pour évaluer une pêcherie sportive peuvent tenir compte également de leur intérêt récréatif, touristique et dans certains cas social.

Nombre de mesures qui ne seraient pas économiques dans une pêcherie commerciale peuvent donc être justifiées pour la pêche sportive.

La mise en valeur à grande échelle des estuaires et des zones marécageuses qui est actuellement en cours dans de nombreuses parties du monde a soulevé beaucoup de critiques et suscité des conflits d'intérêts. Là encore, toute décision appropriée devrait se fonder sur une évaluation économique correcte et sur une estimation des besoins d'ordre social. Les coûts de la mise en valeur pour l'agriculture et l'aquiculture sont relativement faciles à comparer. Mais si une région doit être utilisée (par des moyens naturels) pour l'alevinage et la culture d'aliments pour poissons, la perte réelle causée par leur destruction

peut n'être pas facile à évaluer, bien qu'elle puisse être importante. Si la mise en valeur est destinée à permettre l'établissement des hommes dans des régions à forte densité de population et qu'il n'y ait pas d'autres possibilités, la seule solution peut consister à rechercher les moyens de minimiser les effets nocifs sur les stocks aquatiques en créant au moins des terrains d'alevinage d'une surface minimale ou en pratiquant l'aquiculture pour compenser la perte de production.

DIFFICULTÉS ET PERSPECTIVES DE LA CONSERVATION SCIENTIFIQUE

La connaissance des éléments de base nécessaires pour entreprendre l'aménagement des ressources aquatiques a considérablement évolué. De nombreuses techniques d'aménagement autrefois considérées comme efficaces n'ont cependant pas résisté à l'expérience sur le terrain poursuivie pendant de longues périodes et n'ont pas apporté la preuve de leur efficacité technique ou économique.

Théoriquement, la connaissance des données de base s'acquiert grâce à la recherche. En se fondant sur les données acquises par la recherche, on peut entreprendre des projets d'aménagement expérimentaux, et les résultats obtenus à l'aide de ces études pilotes devraient fournir des directives pour la conservation scientifique. Étant donné que ces travaux sont longs et demandent un effort intensif, il faut reconnaître que nous n'en sommes encore qu'au tout début de l'élaboration d'une base scientifique de la conservation. Il semble que les renseignements les plus généraux dont on dispose sur le cycle biologique concernent moins de 0,5 % des 25 000 espèces de poissons connues dans le monde ! On en sait probablement encore moins sur leurs besoins écologiques.

On reproche fréquemment aux biologistes des pêches de ne pas faire progresser plus rapidement les connaissances dans ce domaine. Cependant, la science halieutique est jeune et il n'y a qu'un nombre relativement faible de « biologistes des pêches » qui s'adonnent réellement à la recherche halieutique. Nombre d'entre eux sont presque entièrement absorbés par des questions touchant plus ou moins aux problèmes d'aménagement, par la solution des difficultés courantes, par des activités administratives et d'autres tâches. Il ne fait aucun doute que ces travaux, bien qu'utiles et nécessaires, sont faits au détriment de la recherche des connaissances fondamentales applicables sur une large échelle à des problèmes urgents.

Il est aussi tout à fait évident que des problèmes qui sont déjà complexes le deviennent encore davantage à mesure que se développent l'agriculture, l'industrie et l'urbanisation. Les institutions qui s'occupent des pêches ou de la conservation ne sont pas toujours en mesure de fournir les données fondamentales nécessaires pour adapter les programmes de mise en valeur des terres et des eaux aux besoins d'aménagement des ressources aquatiques. On ne saurait blâmer le biologiste de cet état de fait. Il arrive le plus souvent que le temps dont on dispose soit trop limité pour permettre d'effectuer les études indispensables à la mise au point de recommandations sensées. Avant de pouvoir déterminer les effets d'un projet sur les ressources, il faut connaître relativement en détail le but poursuivi par le projet et le mode d'opération

adopté pour l'exécuter, et c'est pour cette raison que l'institution chargée de mettre les ressources en valeur ne peut souvent commencer à étudier les effets probables et à indiquer des méthodes assurant la protection des ressources qu'une fois que les études techniques en sont déjà à une phase avancée. Les enquêtes préparatoires à l'endiguement comportant l'inventaire des ressources et l'examen de leur composition, l'étude des sols et de leur répartition dans le bassin, en particulier par rapport aux frayères, l'examen des caractéristiques des étendues d'eau, y compris la charge de sédiments, les zones et les taux d'envasement, l'étendue et le volume d'eau disponible, le régime des eaux et le débit, la situation nutritionnelle, la stratification thermique et chimique et l'évolution de la production de poissons, prennent évidemment beaucoup de temps. Il faut ajouter que nos connaissances en matière de biologie des ressources présentent encore de grandes lacunes ainsi que nous l'avons souligné plus haut.

Même dans les cas où les connaissances de base disponibles sont suffisantes pour permettre de prévoir l'effet de la mise en valeur des terres et des eaux sur les ressources, et où les instruments utilisés pour contrebalancer les effets nuisibles de la mise en valeur sont connus, il faut absolument faire appel à un biologiste des pêches dès les phases initiales de l'exécution d'un projet. Par exemple, lorsque la construction d'un barrage risque sans aucun doute de modifier le débit en aval, une planification effectuée lors de l'étude initiale et des stades de conception peut permettre la mise au point d'un système de libération des eaux et des modalités opérationnelles qui n'affectent pas la production aquatique en aval. De même, les effets nuisibles des fluctuations du niveau d'un lac au-dessus d'un barrage peuvent être minimisés par une planification lors de la conception du projet. Quand on estime qu'il serait nécessaire de placer des passes à poissons, on peut les incorporer dans les plans du barrage à la phase initiale de son élaboration; plus tard, cela devient difficile, plus coûteux et même souvent impossible. L'une des principales difficultés à laquelle se heurte l'exploitation des réservoirs à l'heure actuelle — en particulier en Afrique où certains des récents endiguements sont virtuellement de grandes mers intérieures potentiellement capables de fournir une production de poissons importante — est constituée par la nécessité d'éliminer partiellement ou totalement les arbres et les buissons avant de rendre une région disponible à la pêche. Une évaluation biologique et économique du bénéfice net est indispensable dès la phase initiale dans chaque cas particulier, et elle doit précéder les programmes visant l'élimination des arbres pour que l'on puisse déterminer avec rigueur le type et l'envergure d'un tel programme.

On pourrait multiplier les exemples à ce sujet, mais nous avons déjà insisté plus haut sur le fait que la solution des problèmes posés par la mise en valeur des ressources aquatiques nécessite une approche intégrée. Il faut reconnaître que les différentes institutions concernées agissent rarement selon cette méthode et que leurs travaux ne sont pas souvent coordonnés comme il serait souhaitable. De nombreux conservateurs et biologistes des eaux considèrent les ingénieurs qui s'occupent d'irrigation, de drainage et d'ouvrages hydro-électriques avec méfiance, sinon comme des ennemis, et ces derniers le leur rendent bien. Cette attitude n'est pas la conséquence de l'incompatibilité des devoirs et des objectifs de chacun d'eux; elle provient surtout du fait qu'ils ne conçoivent pas toutes les difficultés qui se posent,

probablement parce que, dans les deux cas, leur formation n'a pas été complète. Il est donc extrêmement réconfortant de constater que, du moins dans quelques pays, des biologistes reçoivent également une formation d'ingénieurs et que des ingénieurs ont des connaissances en écologie. L'aménagement des ressources aquatiques profiterait au plus haut point de l'intervention d'un plus grand nombre de personnes ainsi qualifiées. On peut espérer qu'alors seraient appliquées les mesures de coordination et trouvées les solutions de compromis dont la nécessité se fait sentir à un degré très vif dans la planification et l'aménagement des ressources aquatiques. On ne saurait également trop insister sur le fait qu'une association entre les économistes et les sociologues — sans négliger les aspects écologiques — est indispensable.

La discussion relative aux connaissances des personnes chargées de veiller à la conservation nous amène à examiner un des problèmes fondamentaux posés par la mise en valeur des ressources : la pénurie de personnel qualifié, à tous les niveaux. Bien qu'à cet égard, pendant les vingt ou trente dernières années, la situation se soit améliorée dans quelques pays développés, le problème se pose toujours avec acuité dans la plupart des pays en voie de développement et dans de nombreux pays avancés. L'élaboration et l'exécution des politiques visant la conservation efficace des ressources nécessitent des savants qui se consacrent à la recherche, qui possèdent une formation de base très large et qui disposent d'un personnel très qualifié en matière d'aménagement.

Les problèmes nombreux et complexes que pose la conservation ne peuvent être résolus qu'au moyen d'une planification intégrée, basée sur une politique scientifique rationnelle et moderne, élaborée par les gouvernements et les institutions intergouvernementales. Cela n'est possible que si l'on prévoit sans ambiguïté une planification à fins multiples, et les politiques gouvernementales devraient être orientées en ce sens. Le besoin se fait grandement sentir d'amener l'opinion publique à comprendre toute l'importance de la conservation des ressources aquatiques et à participer à l'élaboration de politiques et de mesures législatives sauvegardant la protection, l'exploitation et le renforcement des ressources aquatiques dans le cadre d'un plan intégré de mise en valeur des eaux.

Les institutions régionales et intergouvernementales ont joué un rôle important lors de la mise en valeur d'autres types de ressources naturelles, mais les institutions s'intéressant en premier lieu aux ressources aquatiques non océaniques sont malheureusement très rares. La coopération sur le plan régional et sur le plan international peut aider énormément à promouvoir les recherches sur de telles ressources ainsi que leur aménagement, en particulier quand il s'agit de ressources internationales. Il serait souhaitable de créer des institutions qui se voueraient à ces tâches.

Cet examen des problèmes posés par la conservation des ressources aquatiques s'est efforcé d'attirer plus particulièrement l'attention sur les nécessités suivantes : a) mieux connaître la biologie des ressources; b) accorder une grande importance aux bonnes méthodes de récolte et de traitement; c) faire participer des biologistes des eaux à la planification et à l'exécution des projets de mise en valeur des terres et des eaux, dès leurs toutes premières phases; d) obtenir que les institutions ainsi que les savants et les techniciens s'occupant de la mise en valeur des ressources coopèrent davantage pour arriver à une meilleure compréhension des problèmes en cause; e) former un plus

grand nombre de personnes qualifiées possédant de larges connaissances sur les principales disciplines concernées. On ne pourra réaliser des progrès sensibles et constants dans le domaine de la conservation des ressources vivantes des eaux continentales de la biosphère que si ces conditions sont réunies et si des politiques et des directives positives sont adoptées à l'échelon national, régional et international.

Bibliographie

- AMERICAN FISHERIES SOCIETY. 1966. *A symposium on estuarine fisheries*. Am. Fish. Soc., 154 p. (Colloque tenu à Atlantic City, États-Unis, 1964.)
- DILL, W. A.; KESTIVEN, G. L. 1960. Methods of minimizing the deleterious effects of water- and land-use practices on aquatic resources. In : IUCN/FAO (1960), p. 271-307.
- FAO. 1967. The management of fishery resources. In: *The state of food and agriculture*. 1967, p. 119-144. Rome, FAO.
- GERKING, S. D. (ed). 1966. *The biological basis of freshwater fish production. A symposium sponsored by Sectional Committee on Productivity of Freshwater Communities of the International Biological Programme, The University, Reading, England, 1-6 September 1966*. Oxford et Edinburgh, Blackwell Scientific Publications. 495 p.
- GOLDMAN, C. R. (ed.). 1966. *Primary productivity in aquatic environments. Proceedings of an IBP PF symposium, Pallanza, Italy, 26 April - 1 May 1965*. Berkeley et Los Angeles, University of California Press. 464 p.
- HICKLING, C. F. 1961. *Tropical inland fisheries*. London, Longmans. 287 p.
- IUCN/FAO. 1960. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, seventh technical meeting, Athens, September 1958*. Vol. IV : Soil and water conservation, natural aquatic resources. 374 p.
- LANE, C. E. (ed.). Sous presse. *Reservoir Fishery Resources Symposium. Presented by the Reservoir Committee of the Southern Division, American Fisheries Society, at the University of Georgia Center for Continuing Education, Athens*. Athens (Georgia), University of Georgia Press.
- LAUFF, G. H. (ed.). 1967. *Estuaries*. Washington, D.C., Am. Ass. Advmt. Sci. 757 p. (Publ. n° 83). (Comptes rendus de la Conference on Estuaries at Jekyll Island, Georgia, USA, 1964.)
- LE CREN, E. D. 1958. *The application of science to inland fisheries. A review of the biological basis of freshwater fisheries*. Rome, FAO. 52 p. (Fish. study 8.)
- LOWE-Mc CONNELL, R. H. (3d.). 1966. *Man-made lakes (Proceedings of a symposium held at the Royal Geographical Society, London, on 30 September and 1 October 1965)*. London, Academic Press. 218 p. (Symposia of the Institute of Biology, 15.)
- PILLAY, T. V. R. (ed.). 1967-68. *Proceedings of the FAO World Symposium on Warm-water Pond Fish Culture, Rome, Italy, 18-25 May 1966*. FAO Fish. Rep. (44), vol. 1 (1967, 55 p.), vol. 2 (1967, 174 p.), vol. 3 (1967, 423 p.), vol. 4 (1968, 492 p.), vol. 5 (1968, 411 p.).
- RICKER, W. E. (ed.). 1968. *Methods for assessment of fish production in fresh waters*. Oxford et Edinburgh, Blackwell Scientific Publications. 313 p. (IBP Handbook n° 3.)
- ROUNSEFELL, G. A.; EVERHART, N. H. 1963. *Fishery science. Its methods and applications*. New York, John Wiley and Sons, 444 p.
- SCHÄPERCLAUS, W. 1961. *Lehrbuch der Teichwirtschaft*, 2^e éd. Berlin et Hambourg, Paul Parey. 582 p.
- STROUD, R. H. 1963. Fish conservation. In: *The fisherman's encyclopedia*, éd. rév., p. 329-413. Harrisburg, Pa., Stockpoole Co.
- VIBERT, R.; LAGLER, K. F. 1961. *Pêches continentales. Biologie et aménagement*. Paris, Dunod. 720 p.

La végétation naturelle et ses modifications en vue de l'utilisation rationnelle des terres

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet soumis par les professeurs H. Ellenberg (République fédérale d'Allemagne) et J. Lebrun (Belgique), commenté et complété par les secrétariats de la FAO et de l'Unesco.

INTRODUCTION : LES PAYSAGES VÉGÉTAUX DANS LA NATURE

LA DIVERSITÉ DES PAYSAGES VÉGÉTAUX

L'étonnante diversité du tapis végétal naturel tient d'abord à ce qu'elle reflète fidèlement la variété des climats et des substrats. Elle apparaît surtout dans la physionomie du peuplement, soumise à des règles de zonation et d'homologies des milieux. Quant aux différences floristiques, elles dépendent principalement de l'évolution historico-génétique des êtres vivants et des biocénoses. Mais le contraste des végétations, qui entraîne d'ailleurs celui des populations biotiques dans leur ensemble, provient aussi du caractère dynamique des phytocénoses. Celles-ci se modifient, se transforment, se développent ou s'ameublissent, répondant à des changements brutaux ou insidieux des facteurs du milieu.

Cette mobilité procède par étapes, qui ne sont en fait que des phases notables, apparentes, dans un processus continu, tantôt fort lent, tantôt au contraire fort rapide. Le peuplement tend à atteindre, par paliers, un état d'équilibre correspondant au potentiel du biotope.

Sous un climat donné, d'autres facteurs du milieu peuvent abaisser le niveau d'apparente stabilité des couvertures végétales, comme de nombreuses propriétés physico-chimiques du substrat déterminant finalement sa fertilité, voire diverses conditions physiographiques ou biotiques. La progression végétale est inhibée et paraît avoir atteint son point d'équilibre, la communauté vivante acquiert un caractère de permanence, dès lors que ces facteurs péjoratifs exercent continuellement ou régulièrement leur effet. Dans la zone intertropicale humide, contrée à vocation forestière évidente, l'extension des savanes herbeuses tient le plus souvent à l'action du feu, qui bloque le phéno-

mène de progression dans ces formations. La permanence de grandes étendues de landes à bruyères en Europe occidentale n'a généralement pas d'autre cause. Enfin, de nombreux animaux font partie de cette communauté végétale et eux aussi se mettent en équilibre dynamique les uns avec les autres, les prédateurs avec les herbivores et ceux-ci avec la végétation qui les nourrit.

En définitive, la variété des paysages naturels reflète la zonation et la diversité des climats et des sols, le dynamisme propre des peuplements, déclenché souvent par des bouleversements exogènes ou des processus internes, l'arrêt temporaire ou permanent de ces successions à divers stades physiologiques sous l'effet de facteurs limitants. Ces causes fondamentales elles-mêmes réagissent les unes sur les autres et confèrent de multiples nuances aux mosaïques de végétations.

SIGNIFICATION BIOTIQUE DES TYPES DE VÉGÉTATION

Or la phytocénose ne représente qu'une face du peuplement biotique, la plus essentielle et la plus fondamentale sans doute. C'est sur elle, sur sa productivité photosynthétique que s'appuient tous les hétérotrophes. Mais ceux-ci ne sont pas sans retentir, à leur tour, sur la masse des autotrophes comme sur leur diversité spécifique.

L'énergie et la matière accumulées par les plantes vertes sont engagées, pour une part, dans une série de chaînes trophiques de complexité croissante avec l'épanouissement des phytocénoses édifiatrices. Mais à chaque étape de consommation et de transformation apparaît un déchet de plus en plus considérable; le rendement énergétique s'abaisse.

A ce lot d'hétérotrophes, producteurs secondaires, s'en ajoute un autre : animaux et végétaux, qui réduisent progressivement à l'état minéral les déchets organiques.

Tout ce circuit biotique dépend d'abord des disponibilités de l'habitat en énergie et en matières métaboliques. Mais ce dernier est façonné, à son tour, par l'activité biocénotique elle-même, qui ordonne et répartit les effets des facteurs exogènes et conditionne la rapidité et le niveau des cycles géochimiques.

Comme on le voit, la végétation au sens courant est l'élément moteur d'un système dynamique où interviennent tous les éléments de la biocénose comme du biotope.

Or tout type de peuplement végétal, naturel ou sauvage, domestiqué ou purement artificiel, est le pavillon d'un écosystème de cette nature. Lorsque le couvert végétal apparaît comme stabilisé, c'est qu'il atteint un état d'équilibre dynamique, bien instable à coup sûr, sujet à de larges fluctuations parfois, révélateur d'un régime énergétique et matériel où l'entropie est à son niveau minimal.

L'IMPACT DE L'HOMME SUR LES PAYSAGES VÉGÉTAUX

On admet actuellement que le peuplement biotique de la planète a débuté il y a plus d'un milliard d'années. L'homme lui-même, qui fait figure de nouveau venu, n'existe que depuis un million d'années.

Au début, la race humaine n'est qu'un élément vivant parmi d'autres. Cueilleur, chasseur ou pêcheur, l'homme s'intègre parfaitement dans les chaînes trophiques des biocénoses dont il est un des commensaux.

Le fait humain ne débute réellement qu'au néolithique, pas tellement plus d'une dizaine de milliers d'années avant l'ère présente. Mais que de chemin parcouru depuis lors, depuis cette époque qui marque réellement l'origine de la stupéfiante expansion de l'humanité dont on analyse aujourd'hui les effets, dont on suppose les conséquences futures!

Le fait humain, c'est d'abord la conquête de la nature, l'asservissement de ses ressources par le fer et par le feu, par le bulldozer et bientôt l'énergie atomique.

S'agissant ici de l'usage des végétations et des terres, plusieurs étapes notables méritent d'être discernées au cours de cette appropriation progressive et de plus en plus généralisée.

L'inégalité spatiale très marquée de cette évolution tient non seulement à des différences ethniques ou démographiques, mais aussi à des écarts sensibles des habitats. D'un continent à l'autre, d'une région à l'autre, apparaît un décalage, fort important parfois, entre les échelles du temps et de la productivité. La plupart des modes et des niveaux d'appropriation se retrouvent toujours actuellement. Davantage même, ils peuvent coexister en une même contrée.

NOMADISME ET SEMI-NOMADISME

Aux diverses formes initiales de protoculture succèdent divers types localisés de nomadisme agricole ou pastoral, reflétant la domestication plus ou moins complète, plus ou moins riche ou heureuse, d'espèces animales et végétales, l'apparition de cultigènes favorables, l'appropriation des paysages naturels et des terroirs.

La sédentarisation vers laquelle tendent les populations en accroissement n'exclut pas nécessairement la transhumance des troupeaux ou l'itinérance de l'agriculture. L'une et l'autre sont encore très largement pratiquées. Leurs effets sur les paysages végétaux sont considérables.

Sous des formes très diverses, avec de très nombreuses nuances locales ou coutumières, l'agriculture itinérante réfléchit déjà une somme de connaissances pragmatiques indéniable, une ouverture philosophique aux faits de la nature qui ne saurait être contestée. Elle réside, essentiellement, dans le transfert rapide de l'énergie potentielle et des matériaux biogènes thésaurisés lentement par des écosystèmes sauvages, à des productions alimentaires, voire économiques. Le sol est défriché sur une étendue qui suffit à l'obtention des récoltes souhaitées; une bonne part de la biomasse abattue est minéralisée par incinération. La terre ameublie estensemencée ou plantée, souvent selon un assolement judicieux et par une rotation adéquate de courte durée. Après la récolte, les emblavures sont abandonnées et les friches connaissent une succession végétale secondaire mais progressive qui aboutit, à très longue échéance souvent, à la reconstitution du biosystème originel. Mais dans le temps même de la rotation culturale, de nouveaux défrichés sont ouverts et le cycle se poursuit.

Ce système culturel — car c'en est un — est éminemment conservateur, ménager des ressources naturelles en son principe. Mais il ne l'est qu'à la condition de revenir sur la même sole en respectant les règles du jeu, c'est-à-dire lorsque la biocénose potentielle est rétablie et a repris sa productivité écologique de régime. Il importe encore qu'aucun des éléments de l'écosystème,

biocénose ou écotope, n'ait subi une dégradation altérant finalement son potentiel. Et c'est ce qui arrive fatalement si les participants biotiques à la succession reconstitutive sont éliminés ou si l'accessibilité du site leur devient par trop aléatoire; c'est ce qui survient lorsque le sol découvert exagérément devient la proie de processus nuisibles irréversibles ou difficilement corrigibles.

En définitive, ce qui importe est de ne pas prolonger le cycle d'exploitation au-delà de l'héritage édaphique et de délaisser le terrain jusqu'au complet rétablissement du couvert; en peu de mots : culture brève, longue jachère.

Plus l'écosystème initialement défriché est de nature complexe et sa productivité écologique élevée, plus la récolte est appréciable et soutenue au cours d'une rotation judicieusement mesurée. C'est pourquoi, d'ailleurs, la culture itinérante est, avant tout, une méthode sylvo-agricole.

Mais ses inconvénients et ses dangers sont grands. Le périmètre des terres à parcourir est considérable, voire tout à fait démesuré parfois, lorsqu'il enferme des sites incultivables. Si le nombre de cultivateurs s'accroît, si les bouches à nourrir augmentent, les terres disponibles font rapidement défaut. Les nouveaux défrichements ne s'adressent plus aux communautés terminales à plus haut potentiel, mais à des stades de végétation qui sont encore en deçà du terme de l'évolution progressive. Et la tentation est d'autant plus forte qu'il s'agit alors de couvertures moins denses, moins pénibles à abattre sur de plus grandes superficies. L'allongement de la période de culture est un autre abus auquel sont portés les agriculteurs qui désirent ajouter à la production de végétaux alimentaires les récoltes bien plus rémunératrices des plantes économiques. Dans l'un ou l'autre cas, les conséquences sont les mêmes et ajoutent éventuellement leurs effets : un déséquilibre est créé; le potentiel même du milieu est diminué tout autant que celui des biocénoses; le terme final de la progression, s'il est encore atteint, ne représente plus qu'un biosystème de capacité productive réduite. Si le processus se poursuit sans harmonie avec les lois écologiques, la dégradation continue d'une manière autocatalytique souvent. En régions tropicales, c'est le prélude à la savanisation de territoires considérables, phénomène accéléré par les feux courants qui entravent la recolonisation forestière.

Chez les pasteurs, le parcours des troupeaux en forêt favorise l'herbage; le feu, à défaut de la dent du bétail ou de la faux, protège l'herbe du retour des végétaux ligneux. Si le potentiel productif des écosystèmes est amoindri, une plus grande proportion du matériel végétal est cependant consommée par les herbivores. Mais, si les consommateurs se multiplient, la repousse se fait plus lente et de moindre qualité, le périmètre soumis au déboisement augmente de plus en plus. Par ailleurs, le refus augmente s'il n'est pas détruit par l'homme et arrive à dévaloriser complètement les pâturages.

En pays de savanes, la surpécoration et le surpiétinement qui l'accompagne font place à la steppe et celle-ci au semi-désert. Partout, d'ailleurs, le pâturage a fait régresser la forêt.

Agriculture et prairie itinérantes, quelquefois combinées, modifient profondément les paysages végétaux. Contenues en des limites ménagères des ressources renouvelables, n'exploitant que les revenus du capital, ou bien acculées à des excès préjudiciables qui amenuisent le fonds, ces pratiques aboutissent à un état étonnamment mosaïqué des types de végétation, même quand une certaine uniformité physionomique cache mal une diversification

écologique réelle. D'immenses contrées à la surface du globe portent l'empreinte de cette exploitation présente ou passée.

L'ORGANISATION DES TERROIRS

La montée des populations, l'instauration de systèmes politiques, un début de diversification des activités ont abouti progressivement à l'organisation des communautés rurales sur la base de la répartition et de la stabilisation des terres exploitées.

Une de ces formes d'affectation, fort en honneur en Europe occidentale et dans le monde méditerranéen — mais qui trouve des équivalents en bien d'autres contrées — est loin d'être complètement délaissée et, presque partout, imprime des traces manifestes dans les coutumes et le façonnage des terroirs. Elle comporte le partage des terres communautaires, souvent judicieux en ce qui touche la fertilité native des sols, en trois lots distincts : la forêt destinée à fournir le bois d'œuvre et de feu (*sylva*), les terrains de parcours du bétail (*saltus*) et les champs labourés (*ager*), les seuls généralement à appartenir en propre à chaque famille.

Au point de vue écologique, il s'agit foncièrement d'un système de transfert favorisé — comme il s'en produit naturellement entre écosystèmes adjacents. Les cendres des foyers retournent à l'*ager*, qui reçoit aussi le fumier produit grâce au *saltus*. Le bétail paît, comme appoint, les jachères des parcelles de labour. Finalement, la fertilité des sols arables est maintenue grâce à l'apport indirect des autres éléments du parcellaire.

Si l'on ne sollicite point ceux-ci au-delà de leur potentiel productif exportable sans germes de déséquilibre, ce mode d'exploitation est conservateur et rationnel. Il peut aboutir à une réelle bonification des terroirs agricoles, soigneusement aménagés par ailleurs grâce à l'érection de terrasses, le maintien de haies ou de brise-vents, l'épierrage, l'irrigation parfois...

Mais les bouches à nourrir de plus en plus nombreuses, la part plus élevée du produit agricole offerte sur les marchés, des raisons politiques aussi, constituent autant d'aiguillons à une exaltation — dangereuse toujours, catastrophique parfois — du système.

Le *saltus* déborde en forêt. Sur les sols siliceux de l'Europe atlantique, la lande finit par confondre les parcours et la sylve ruinée. Il ne suffit plus parfois que les bois alimentent les foyers : le soutrage s'installe au profit direct de l'*ager*. Les parcours des animaux sont eux-mêmes mis à contribution : fauche et étrépage procurent de la litière et du fumier quand ce n'est un placage de matières organiques qui recouvre les sols de culture de plus en plus sollicités. Les crêtes et les pentes, mal protégées, sont érodées et ravinées; la circulation des eaux de surface devient intermittente. Les paysages sont vite ruinés, même si l'*ager* continue à se bien porter.

L'affectation des terroirs ne va d'ailleurs pas nécessairement de pair avec l'abandon définitif de l'itinérance culturale. Elle peut comporter aussi, tantôt sous forme d'appoint, tantôt au titre principal, l'essartage de la forêt en coïncidence avec la révolution des taillis ou des futaies. L'incinération des bois rémanents et des litières permet une ou plusieurs cultures en forêt. Les choses se maintiennent sans grand mal si la révolution est longue et le cycle cultural court, si le genêt ou l'ajonc contribuent à restaurer rapidement la fertilité du sol et favoriser le retour du boisement. Mais, une fois de plus, les abus du

système dégradent inexorablement les végétations surexploitées et ruinent des contrées entières.

L'essartage, allant souvent de pair avec l'écobuage, est aussi largement répandu dans les contrées tropicales où règnent des forêts claires, décidues, sous un climat relativement bien arrosé mais avec une longue période sèche. Il est couramment pratiqué dans les territoires zambéziens de l'Afrique avec ce trait particulier que la masse de bois incinérée provient non seulement de la sole culturale elle-même, mais encore du déboisement d'une large bande périphérique. Ce procédé fait payer à ces forêts un tribut fort lourd et accélère leur dégradation ainsi que la savanisation du paysage.

LA RÉVOLUTION INDUSTRIELLE ET L'AGRICULTURE « MODERNE »

Avec le XIX^e siècle et sa « révolution industrielle », l'impact de l'homme sur les paysages végétaux se durcit et s'étend progressivement à la plupart des contrées du globe. La marée humaine gonfle et son emprise se raffine avec l'utilisation d'outils nouveaux. Communications et contacts s'accroissent entre les peuples; les terres, anciennes comme nouvelles, sont de plus en plus sollicitées. C'est que non seulement les besoins alimentaires s'élèvent mais que les besoins industriels en matières premières se font sentir avec une acuité sans cesse croissante. Toutes les formes de végétation sont de plus en plus mises à contribution pour satisfaire ces besoins. La nature va en se domestiquant ou en faisant place à des formations artificielles.

Dans le domaine agricole, la révolution industrielle se traduit par une pression irrévocable sur la quantité et la diversité des récoltes en même temps que par l'acquisition de connaissances scientifiques et de moyens techniques puissants. L'agriculture scientifique et technologique est née, qui va bousculer ou modifier les usages traditionnels et, faisant tache d'huile à partir de foyers privilégiés, pousser jusque dans les contrées où se maintiennent encore des systèmes primitifs. L'impact est tel qu'un peu partout se posent des problèmes de mutation fort aigus, problèmes qui ne sont pas seulement écologiques ou agronomiques, mais encore économiques et sociaux.

Là où elle a trouvé les conditions favorables à son expansion, l'agriculture moderne a entraîné des conséquences aussi considérables pour le monde rural que pour l'environnement végétal.

Il importe de dégager divers aspects de cette transformation agricole.

1. Le premier aspect a trait à l'écosystème cultural et comporte lui-même plusieurs éléments. Le premier élément est la découverte et l'emploi des engrais utilisés, le cas échéant, conjointement avec les amendements organiques. Il en est résulté une nette diversification des emblavures et l'accroissement des récoltes sur les sols pauvres, une appréciable augmentation de la fertilité et du potentiel productif des terres riches. Ce fut la fin de la jachère.

Le second élément porte sur les espèces cultivées ou domestiquées. Certes, déjà depuis le temps de la protoculture, éleveurs et cultivateurs avaient trié les races ou variétés les plus propices, apparues elles-mêmes sous la pression mutagène ou dans le cadre hybridogène du milieu cultural. Mais le développement des relations et des échanges a permis une singulière diversité des spéculations, le recours à une gamme sensiblement plus étalée de formes intéressantes. Tout le monde connaît des exemples de ces introductions qui ont

modifié le régime alimentaire de tant de populations. Mais, avec l'agriculture contemporaine, c'est le recours à la sélection fondée sur la génétique qui est à l'origine des résultats les plus remarquables sous ce rapport.

Un troisième élément est la tendance à réserver aux seules espèces de la récolte tout le bénéfice de la bonification du milieu. C'est la lutte contre les rongeurs, les prédateurs et les parasites, c'est l'élimination de plus en plus poussée de la concurrence biotique par la destruction des espèces adventices.

Or, sur le plan de l'écosystème culturel, ce sont les deux faces constitutives de l'ensemble qui furent ainsi simultanément touchées et améliorées. L'emploi des engrais, accompagné de tant d'autres pratiques bénéfiques au milieu, augmente la croissance des végétaux producteurs primaires. L'usage des types les mieux adaptés, présentant les caractères agronomiques les plus favorables, avec une efficacité élevée, accroît la récolte ou le pouvoir transformateur s'il s'agit de producteurs secondaires. Simultanément, la part de la biomasse délaissée et qui subsiste, ou fait retour au sol, est elle-même accrue. Sur les deux tableaux — et l'un agit sur l'autre — le progrès est énorme : le circuit énergétique comme le cycle géochimique sont exaltés.

2. Un deuxième aspect est tout aussi lourd de conséquences, tant sur la rentabilité de l'agriculture que sur la physionomie des paysages végétaux. Il porte sur les relations entre les divers écosystèmes cultureux et l'affectation des terroirs.

La concentration des cultures et l'emploi des engrais, comme d'autres techniques améliorantes, sur les parties les plus adéquates du *saltus* — telles les prairies semi-naturelles permanentes — a dégagé d'énormes surfaces antérieurement dévolues aux parcours et a allégé l'hypothèque qui pesait sur les forêts. Les taillis ont été convertis, les périmètres ruinés furent souvent reboisés.

Grâce aux façons nouvelles, une bonne part de l'ancien *saltus* a été incorporée aux terres arables, tandis que ses portions les plus dégradées étaient revalorisées par la plantation d'essences frugales.

L'affouragement du cheptel, dont le nombre allait croissant mais dont les besoins augmentaient à la mesure de sa qualité, a imposé un nouveau genre de culture dans les assolements : les plantes fourragères à haute valeur nutritive, consommables à l'état frais ou sec, ou sous forme d'ensilage. Le rôle joué par l'ancien *saltus* est ainsi repris par les soles culturales elles-mêmes. Ou bien encore — et sans doute est-ce la tendance la plus moderne — les deux formes de culture sont entièrement séparées, spécialisées, indépendantes.

3. Un troisième aspect est en plein développement. Il porte sur la culture intensive de plantes arborescentes. Alors que les systèmes cultureux comportaient traditionnellement des végétaux à cycle saisonnier ou de courte durée, la part actuellement réservée à des peuplements à longue vie dans les paysages ruraux ne cesse de croître, aussi bien en raison de l'abandon des terres agricoles marginales dans certaines régions que par suite de l'emploi de techniques et de matériels génétiques appropriés. Cette extension reflète, pour une bonne part, le souci de mieux tirer parti de tous les types de milieux comme de répondre à la diversité des besoins alimentaires ou industriels.

On a vu déjà que la remise en valeur des terres incultes ou des anciennes terres banales a fait un large appel à la plantation d'essences à bois. Les paysages

cultureaux se sont singulièrement transformés par des plantations d'alignement dont le rôle protecteur à maints égards doit être souligné. D'autres peuplements pleins se sont ajoutés; ils portent sur des brins sélectionnés à croissance rapide et à haute valeur technologique, comme les divers peupliers.

Mais c'est surtout l'arboriculture fruitière, avec ses techniques qui ne cessent encore d'évoluer, qui connaît une grande expansion. Ces écosystèmes cultureaux, souvent mixtes, ont un potentiel productif élevé et un rôle stabilisateur du milieu fort efficace. Le verger, sorti du village, devient une culture industrielle.

C'est surtout dans les contrées intertropicales qu'une forme parfois très intensive de l'agriculture moderne vient au contact de systèmes traditionnels dont elle conquiert progressivement l'assiette: il s'agit d'une arboriculture qui livre des produits alimentaires, économiques ou industriels à haut rendement. Sous des climats généreusement ensoleillés où le circuit énergétique est, dès l'origine, bien alimenté, où l'eau ne fait pas défaut, la percolation photique permet d'envisager de véritables communautés culturelles pluristrates parfois. La productivité de chaque niveau engraisse un circuit enrichi; chacun des étages concourt directement ou indirectement à l'élévation des récoltes.

CONCLUSIONS

L'impact de l'homme moderne sur les paysages végétaux ne se borne point à ses seules activités agricoles, zootechniques ou même sylvicoles dont les modalités ont été à peine effleurées. L'« anthropisation » de la nature résulte encore de l'urbanisation, de l'industrialisation, du développement des voies de communication, tous processus désordonnés parfois ou contenus dans des plans d'aménagement préalablement élaborés.

L'homme engendre ainsi des « déserts de béton » qui empiètent d'aventure sur les terres les plus fertiles et amenuisent d'une manière regrettable le patrimoine de l'agriculture.

A l'origine modeste élément nouvellement arrivé dans le peuplement biotique du monde, l'espèce humaine a rapidement conquis, par sa prolifération et par son génie, la place de premier facteur du milieu, le plus agissant, le plus déterminant, le plus puissant. Qu'on le veuille ou non, qu'on l'estime déplorable ou qu'on le souhaite, les paysages terrestres, qui portent déjà si profondément l'empreinte humaine, sont voués à la domestication ou à la transformation sous cette emprise toujours plus énergique.

Plus encore, l'homme a déjà débordé cette position d'agent prééminent de la nature; il ambitionne de modeler celle-ci à ses convenances, de l'adapter à ses immenses et inassouvissables besoins.

L'UTILISATION ET LA MODIFICATION DES VÉGÉTATIONS NATURELLES

REMARQUES PRÉLIMINAIRES

Aux yeux de l'écologiste, il n'est point de différences fondamentales entre végétations naturelles, sauvages ou modifiées, semi-naturelles ou aménagées, domestiquées ou purement artificielles. Les lois qui régissent ces écosystèmes sont identiques.

La règle d'or de leur utilisation est de ne prélever que la rente. Bonifier c'est donc améliorer le potentiel productif. Mais c'est encore et surtout accroître la part de ce produit qui peut être prélevée, c'est-à-dire la récolte, sans dévaloriser le fonds. La récolte peut concerner une partie — parfois très large — de la productivité primaire s'il s'agit de végétaux, ou d'un produit dérivé si elle se rapporte à une production animale par exemple. Il n'apparaît, en réalité, aucun hiatus dans la séquence des formes d'exploitation des couverts végétaux qui va des moins évoluées aux systèmes agricoles les plus intensifs et les plus perfectionnés, faisant appel à toutes les ressources de la technique, du machinisme lourd à l'emploi des hormones de synthèse. Toutes ces modalités d'application existent de nos jours, bien que certaines ne se rencontrent guère que localement ou sporadiquement. C'est d'ailleurs un des paradoxes des temps modernes : dans un même territoire, des méthodes de mise en valeur violemment contrastées se font parfois concurrence, les unes très raffinées, les autres purement traditionnelles...

Il peut être quelquefois commode de considérer deux types extrêmes d'utilisation des terres : le premier où ne se réalise qu'un simple échange spécifique dans la biocénose naturelle ou semi-naturelle, le second où s'opère une mutation vigoureuse des écosystèmes. Les différences entre ces deux types extrêmes d'utilisation des terres sont d'ailleurs d'autant plus marquées que les conditions écologiques sont plus sévères et les techniques plus évoluées. Les règles essentielles demeurent toutefois, mutadis mutandis, foncièrement les mêmes.

Il convient d'abord d'examiner, ou mieux, de brosser à larges traits les processus générateurs de déséquilibres souvent autocatalytiques, et qui aboutissent d'une manière plus ou moins évidente à la dégradation du potentiel productif des sites exploités. Les phénomènes sont ici tellement nombreux et intriqués qu'on ne peut guère que choisir quelques exemples.

Les pratiques qui ont déjà fait leur preuve ou les idées maîtresses de nature à augurer des voies nouvelles quant à l'augmentation des rendements ou à une meilleure expression des potentiels biotiques feront l'objet des parties ultérieures de l'exposé.

CAUSES DE DÉSÉQUILIBRE

Il faut tenir comme cause de déséquilibre toute action qui, dans un écosystème stable ayant atteint une phase de régime, ou dans un écosystème temporaire, ou encore dans une séquence d'écosystèmes sur le même terrain, est de nature à augmenter l'entropie.

Ces ruptures d'équilibre, ténues ou intenses, légères ou violentes, peuvent aussi bien tenir à la biocénose qu'à l'écotope. Et l'on sait d'ailleurs combien les interactions entre les deux facettes du biosystème sont étroites. Toute altération de l'une, si minime soit-elle, se répercute sur l'autre. Et le plus souvent, l'impulsion nocive s'amplifie en parcourant le circuit énergétique ou trophique.

La dégradation du sol

Parmi les diverses modalités de la dégradation des terres, la mieux connue — la seule qui sera envisagée ici — est l'érosion.

L'érosion est d'abord un phénomène géomorphologique et, comme tel, soumet à ses effets tout modelé physiographique.

Mais c'est la rhizosphère, la couche tout à fait superficielle de la lithosphère, qui constitue l'horizon biodynamiquement actif du substrat. C'est à son niveau que dans les écosystèmes se réalisent les dernières étapes du recyclage de nombre d'éléments minéraux biogènes ou métaboliques. C'est là aussi qu'ils s'accumulent et représentent un des facteurs essentiels de la fertilité. C'est à partir de ce sol encore que se réalisent normalement la nutrition minérale proprement dite et l'alimentation hydrique de la phytocénose. Or les propriétés du substrat, sous ce rapport, dépendent simultanément du matériel parental et de la biocénose. Un état d'équilibre est lent à s'établir et il est rompu, plus ou moins brutalement, par toute forme d'érosion.

Certaines végétations sont connues pour leur pouvoir fixateur des terres et leur opposition au transport éolien des matériaux terreux notamment. Elles sont largement utilisées à cet effet.

L'efficacité protectrice de l'écran végétal vis-à-vis de l'érosion hydrique tient à ses influences sur deux paramètres du phénomène. Un premier aspect concerne le battage du sol, qui entraîne la dégradation de la structure et la destruction des agrégats sous l'effet des pluies violentes. Plus le couvert végétal est dense et mieux stratifié, plus l'interception des pluies est appréciable, plus l'impact des gouttelettes, freinées et éparpillées, est amorti et leur force vive réduite au contact du sol. Plus le terrain est découvert, plus cette dégradation peut être considérable. Cette première forme de l'érosion est, comme on le voit, indépendante de la déclivité des terres.

Un autre aspect se rapporte à l'érosion latérale, qu'elle soit linéaire ou zonale. Ce sont des propriétés différentes du couvert végétal qui interviennent dans ce cas. On citera notamment : la stratification radiculaire et la présence de plantes humifuses, qui assument le rôle d'éponge, la présence d'obstacles au ruissellement ou de chicanes retenant le débit solide.

Cette analyse montre que l'efficacité globale d'une végétation résulte d'une combinaison entre sa fonction d'écran et son rôle fixateur. Cette nuance explique bien des mécomptes et d'apparentes aberrations.

Privant le sol de sa capacité de rétention hydrique et minérale, ramenant le substrat à un état squelettique, cause de translations parfois catastrophiques, l'érosion insidieuse ou accélérée est évidemment une des causes les plus importantes de déséquilibre qui affectent les écosystèmes cultureux, surtout sous les climats ou dans les conditions pédologiques qui la favorisent. Le « dry farming », qui fut tant à l'honneur à certaine époque, est à l'origine de lèpres rurales dont certaines contrées sont lentes à guérir. On connaît assez les remèdes qui existent; mais, ici comme en matière pathologique, il est plus important de prévenir que de guérir.

Altération des cycles géochimiques

Toute cause agissant sur les populations bioréductrices, exaltant temporairement leur action ou modifiant leurs conditions vitales, change le rythme du recyclage minéral. On songera ici aux façons culturales d'ouverture ou d'entretien qui agissent sur le pédoclimat.

Les facteurs édaphiques qui diminuent les échanges ioniques entre sol et racines constituent un goulet d'étranglement dans le circuit des éléments

biogènes : c'est une perte de fertilité même lorsque l'analyse ne révèle aucun déchet. La moindre déviation régressive dans le processus global de l'humification se répercute rapidement dans l'écosystème tout entier.

Indirectement aussi, la mobilité et donc l'absorption minérales sont ralenties si d'autres facteurs du métabolisme deviennent déficients, telle la teneur en eau et en air.

C'est en fait un chapitre important de la pédologie et des rapports entre sol et végétation (édaphologie) que l'on se contente d'évoquer ici.

Modification du bilan de l'eau

Les paramètres externes de l'évapotranspiration sont évidemment très influencés par le bilan énergétique de l'écosystème. Les gradients thermiques de l'air et du sol en constituent un reflet. Le potentiel de l'eau édaphique comme la gamme de l'eau utile sont des propriétés complexes qui découlent de l'ajustement et des interactions de toute une série de fonctions élémentaires.

L'ensemble des caractères pédologiques qui interviennent finalement dans la rétention et la disponibilité hydrique du substrat sont parmi ceux que l'on peut considérer comme des plus délicats, en ce sens que toute modification du couvert végétal comme de la terre elle-même, tout écart du microclimat et du pédoclimat, agissent sur le bilan d'eau. La mise en valeur d'une végétation naturelle, la transformation d'un type en un autre présumé plus productif doivent tenir compte, au premier chef, des effets qu'elles auront sur l'eau du sol en général. Celle-ci est la source essentielle de l'alimentation hydrique du végétal, dont on connaît toute l'importance pour sa constitution, sa physiologie, sa production photosynthétique elle-même. Sous ce rapport, la gamme de tolérance des plantes est souvent étroite, et le moindre malaise affecte tout le biosystème.

Salinisation

Parmi d'autres sources de déséquilibre, on ne peut manquer de citer l'effet de salinisation du substrat par la remontée des nappes et du salant. C'est précisément dans les contrées où il est nécessaire le plus impérieusement de suppléer au manque d'eau par l'irrigation ou l'arrosage, c'est-à-dire dans les régions arides ou semi-arides, que le danger est le plus à craindre.

Par ailleurs, on connaît bien les effets de la salinisation sur les biocénoses comme sur les plantes cultivées, particulièrement sensibles à l'halomorphie édaphique.

Changement des rapports biotiques

Lorsque survient un changement à l'un des niveaux du réseau trophique, l'altération résultante peut être la cause d'un déséquilibre qui finit par affecter toute la biocénose et finalement l'écotopie lui-même. Le fait est évident lorsque le malaise touche les producteurs primaires. L'éclaircie démesurée du couvert, le remplacement d'une espèce par une autre moins bien venante, le prélèvement inconsidéré de matières végétales réduisent sensiblement la masse livrée aux bioréducteurs, et la fertilité édaphique s'abaisse si elle n'est compensée par un apport exogène suffisant. Les choses ne vont pas autrement lorsque les plantes vertes sont sujettes aux atteintes d'épiphyties ou de prédateurs. Si la

prairie est surpâturée, la repousse devient pénible et la quantité produite fléchit. Mais la qualité elle-même de l'herbage diminue, les refus augmentent. Au total, la capacité de charge du parcours décroît et le bétail profite moins.

Dans une biocénose, naturelle ou artificielle d'ailleurs, comme dans un terroir, s'établit un nécessaire rapport de forces entre les commensaux. Une introduction inconsiderée, la destruction d'un des maillons de la chaîne rompent l'équilibre. La littérature abonde en exemples de ce genre, parfois dramatiques dans leurs conséquences.

En fait, et sans entraîner des effets aussi spectaculaires, ce sont des processus de ce genre qui se déclenchent lors de l'introduction dans les assolements de races ou variétés parfois réputées, mais mal adaptées aux conditions du lieu. Leur inadaptation déséquilibre parfois tout un plan de culture.

La lutte contre les parasites, les insectes notamment, accroît les rendements. C'est un impératif agricole. Mais cette lutte généralisée ne va pas non plus sans inconvénients. Un seul cas : beaucoup d'horticulteurs ne sont-ils pas amenés à louer des ruchers, au temps de la floraison, pour obtenir une pollinisation suffisante dans les vergers ? Il est certaines contrées fruitières en Europe où les abeilles bienfaisantes sont amenées de fort loin pour remplir temporairement leur tâche et suppléer les déficiences biotiques locales.

AMÉLIORATION DU POTENTIEL PRODUCTIF

La récolte est donc cette part de la productivité qui peut être prélevée — on dirait volontiers la « potentialité » — selon un rythme propre à chaque biosystème exploité, sans diminuer le potentiel du milieu. Il est clair que le niveau de la récolte dépend de l'importance de la « restitution » et de l'apport exogène complémentaire, sous forme d'engrais par exemple.

Amélioration des terres

Les fumures ou les amendements, sous toutes leurs formes, constituent donc un premier moyen — et combien efficace — de stimulation du cycle géochimique. Il est clair cependant — est-il nécessaire de le rappeler ? — que la réponse dessine une courbe de saturation qui ne doit pas être interprétée du seul point de vue physiologique mais encore du point de vue économique. L'accroissement de la récolte sous l'effet de l'apport adéquat — quantitatif, qualitatif et temporel — de fumure répond à une loi de moindre proportionnalité qui révèle le tamponnement de facteurs progressivement limitants. L'emploi rationnel des engrais minéraux, à toutes les étapes de la valorisation des phytocénoses, implique nécessairement une bonification globale des facteurs de productivité.

Dans ce même ordre d'idées, on choisira de citer d'autres pratiques qui améliorent le fonds en parlant précisément des moyens d'agir sur le comportement biotique lui-même.

Capacité biotique de transformation

Les études zootechniques ou hydrobiologiques ont bien mis en évidence la diversité de la capacité de transformation propre à chaque espèce appartenant

à un même niveau trophique. Il en va de même des races comme des individus.

Dans le circuit des producteurs secondaires, il peut être avantageux de rechercher les types qui sont les meilleurs transformateurs. Il est possible de le faire même dans les biosystèmes qui ne sont pas purement artificiels et ce, à chaque palier du cycle des transformations. C'est fondamentalement une première manière d'améliorer le flux énergétique.

L'ajustement des chaînes trophiques en vue de réaliser un équilibre adapté à la récolte est une pratique qui a déjà fait ses preuves en pisciculture au départ des producteurs primaires que sont les hydrophytes chlorophylliens. Mais le principe lui-même est valable sur un plan plus général.

Amélioration de la productivité primaire

Il était utile de faire allusion aux moyens d'améliorer la transformation. Mais c'est de la végétation qu'il s'agit ici en tout premier lieu, et c'est donc au transfert énergétique initial, à l'acte du passage du minéral à l'organique qu'il convient de s'arrêter.

Deux paramètres éthologiques conditionnent, au premier chef, le rendement photosynthétique : le coefficient spécifique d'efficience nette et la surface foliaire développée à l'unité de surface.

Déjà des résultats encourageants ont été obtenus quant à l'amélioration de l'efficience photosynthétique des espèces. Pour un même flux de rayonnement, les végétaux — quels que soient le type, la race ou l'individu — sont loin de présenter des valeurs semblables.

L'ajustement adéquat de la surface foliaire peut être obtenu par une organisation morphologique de la mosaïque réalisant des conditions optimales d'élaboration chlorophyllienne. Des interventions en ce domaine soulèvent le problème des aspects auto-écologiques et synécologiques relatifs à la notion agronomique de « densité de plantation » et d'« éclaircie sélective ».

A un moindre titre peut-être, la teneur en chlorophylle et le rapport entre chlorophylles *a* et *b* (ou mieux entre systèmes pigmentaires intervenant dans les photophosphorylations) pourraient représenter d'autres paramètres de l'efficience photosynthétique.

Mais il est une autre voie qui, dans l'organisation des végétations substituées ou même dans l'exploitation des phytocénoses quasi naturelles, peut être envisagée : c'est l'ajustement des facteurs limitants de la production photosynthétique.

Si, dans l'ensemble, c'est l'énergie lumineuse qui est généralement le facteur de base, d'autres facteurs du milieu peuvent définir, localement ou temporairement, le taux maximal de la photosynthèse. On se bornera, parmi d'autres encore, à évoquer un exemple.

On sait que l'acte photosynthétique est étroitement lié à la circulation d'eau dans la plante. La valeur très élevée des coefficients de transpiration le montre amplement. C'est souvent le déficit en eau qui, toutes autres conditions favorables étant réalisées, inhibe l'assimilation chlorophyllienne. L'amélioration du bilan d'eau est un des moyens à employer sous ce rapport; il révèle d'excellentes perspectives. La chose est évidente dans les contrées ou les habitats arides ou semi-arides. Mais il serait faux de croire que, même dans les territoires bien arrosés, un bilan d'eau déficient ne puisse être temporairement ou occasionnellement, au cours du cycle végétatif, une cause d'abaissement

notable de la récolte. Dans bon nombre de cas, c'est un supplément d'eau qui est requis de toute évidence.

Ici, on ne songera pas seulement aux techniques de l'irrigation selon toutes ses modalités (qui le plus souvent ne sont applicables qu'à des écosystèmes artificiels ou semi-naturels à haut rendement), mais encore à des pratiques plus simples susceptibles d'agir favorablement dans le même sens. On citera les dispositifs de nature à réduire l'évapotranspiration potentielle : brise-vents, haies, rideaux-abris, ainsi que la méthode des cultures associées.

Organisation de la phytocénose

Il s'agit ici, sans aucun doute, d'une voie particulièrement riche en promesses. Au fond, l'homme ne dispose que d'un petit nombre d'espèces végétales domestiquées; il est loin d'avoir suffisamment exploré les ressources du monde des plantes. Il connaît encore mal les espèces utiles. C'est une tâche urgente que d'achever cette prospection.

On peut songer d'abord à l'échange ou à la transposition, dans un écosystème, d'espèces, de variétés ou d'écotypes en fonction de leur meilleure adaptation et de leur efficacité photosynthétique la plus favorable. Sans modifier sensiblement l'équilibre biocénotique ni les pyramides écologiques, une mutation de cette nature est susceptible d'améliorer la productivité primaire. N'est-ce pas déjà ce que font les sylviculteurs qui cherchent à favoriser par le jardinage ou à introduire des races nobles d'essences à longue vie, ou à développer des essences à croissance rapide? L'aspect quantitatif n'est pas le seul qui doive être pris en considération; il faut tenir compte des propriétés qualitatives, comme les caractères qui accroissent la proportion de la récolte par rapport à la biomasse totale.

Dans cette perspective, c'est évidemment vers la génétique qu'il faut se tourner. La sélection a déjà engendré de tels progrès qu'il serait inconcevable de croire à son épuisement sur le plan écophysiologique, qui est ici en cause. Les recherches à réaliser dans cette voie associent le jardin de sélection au laboratoire comme au phytotron.

Enfin, ce n'est pas la seule efficacité photosynthétique comme telle qu'il faille envisager, mais aussi l'ajustement des écotypes aux conditions dans lesquelles on se propose de les exploiter. On sait déjà combien différent les comportements des races à photopériodisme ou à thermopériodisme variés.

MODIFICATION RATIONNELLE DE L'ASSIETTE DES VÉGÉTATIONS

Modifier les végétations naturelles, c'est non seulement les altérer ou les bonifier, les transformer ou les remplacer par d'autres, c'est encore leur fixer une place déterminée dans l'espace et le temps, en faisant intervenir des considérations économiques et sociales.

Rotation, assolement et complexes cultureux

On l'a vu, les groupements naturels eux-mêmes, au niveau des communautés stables, peuvent connaître au même emplacement, une succession d'espèces différentes. Les successions elles-mêmes correspondent à des vagues différentes d'ensembles spécifiques qui se relaient. De nombreuses relations de dépendance

entre végétaux, d'antagonisme ou de concurrence, voire des phénomènes d'auto-intoxication ou d'auto-stérilisation édaphique interviennent dans ces règles de la vie en commun des êtres vivants.

La rotation proprement dite, au sens cultural, correspond à une succession d'écosystèmes sur le même terrain, chacun d'eux délaissant une partie de sa productivité ou de son capital au profit du suivant. Le dynamisme progressif de la végétation répond précisément à une séquence de ce genre où un enrichissement se réalise à chaque étape jusqu'à l'équilibre terminal.

Dans bien des cas, cependant, ce sont justement les stades de la succession secondaire qui sont généralement plus utiles à l'homme que l'équilibre terminal. L'homme prend alors un risque calculé en arrêtant la succession, mais il y est obligé quand la forêt climacique ne donne pas ou ne donne plus, en qualité et quantité, les produits demandés par l'économie. Une meilleure évaluation des espèces pionnières, mieux adaptées à la croissance rapide, plus capables de réagir favorablement aux interventions et plus résistantes aux variations de sol et de microclimat que les espèces plus voisines du climax, est une acquisition importante de la science forestière actuelle.

Dans les systèmes extensifs d'utilisation des peuplements végétaux, la rotation correspond essentiellement à l'alternance entre un cycle cultural — une seule culture le cas échéant — et une jachère, celle-ci plus ou moins longue selon la fertilité native du substrat, à laquelle revient de reconstituer le potentiel du milieu. Plus les systèmes agricoles s'améliorent par la fertilisation, plus se réduisent le rôle et la durée de la friche, dont l'usage finit par s'éteindre. C'est, dès lors, au sein même du cycle cultural que se raffine la rotation.

L'assolement est le reflet spatial de la rotation imposée par le rythme des récoltes, par la révolution, dirait-on en foresterie.

On se bornera à évoquer un mode d'arrangement des cultures ou des végétations modifiées réalisant des complexes culturaux. Ceux-ci vont de la grosse haie primitive des pays bocagers ou des rideaux forestiers — souvent élagués ou traités en têtards — qui délimitent les casiers agricoles et ne sont que des traces de la forêt primitivement défrichée, aux plantations d'alignement, aux groupements fixateurs des terrasses, des talus et sauts-de-loup, aux bandes alternées et aux cultures associées ou stratifiées. Très souvent, ces dispositifs sont fort caractéristiques d'une aire vouée à telle végétation potentielle et très révélateurs du terroir.

Les aménagements

La notion d'aménagement est inséparable de son soubassement technique, bien que, en réalité, elle varie singulièrement selon les contingences particulières. Son but est d'associer à une rentabilité accrue des ressources la prospérité économique et sociale, le mieux-être des habitants d'une contrée, d'un territoire, d'une nation. L'objectif est la promotion de l'homme comme le maintien ou la restauration de l'harmonie entre ses ressources naturelles et le progrès économique.

Pays anciens ou nations neuves, territoires industrialisés comme contrées purement rurales, régions à haute densité démographique comme d'autres à population dispersée peuvent tirer parti de l'aménagement, s'il est adapté aux circonstances, si son outil technique est mesuré aux dimensions économiques et aux moyens locaux.

L'aménagement se conçoit et se réalise soit au niveau des entreprises et de façon sectorielle, soit pour l'ensemble d'un territoire d'une façon intégrée, aux niveaux national, provincial et local.

1. Au niveau de chaque entreprise agricole, forestière ou pastorale, on doit organiser la production des biens et des services pour atteindre les objectifs fixés par le propriétaire, qu'il s'agisse de l'État, des collectivités ou des particuliers et compte tenu des possibilités et limitations techniques. Une meilleure connaissance des perspectives à long terme de la production et de la consommation sur le plan national permet l'organisation de la production des biens et des services dans chaque entreprise pour une période donnée, dans le cadre d'une politique à plus long terme. Cette organisation de la production des biens et des services est facilitée actuellement par le développement des sciences de l'entreprise. Elle nécessite également une connaissance aussi précise que possible des résultats des différentes interventions (engrais, travail du sol, irrigation, etc.) sur la productivité.

En procédant à des aménagements qui se traduisent par des règlements d'exploitation, on rencontre les problèmes que soulèvent l'échelle des opérations et leur coordination avec les plans régionaux et nationaux. La recherche d'unités viables est plus compliquée actuellement, car on ne peut plus se contenter de rechercher la production qui ait le maximum d'utilité économique. Il faut rechercher un mode d'exploitation qui accroisse au maximum l'écart entre les coûts et les bénéfices. La coordination des plans d'aménagements locaux avec les programmes nationaux nécessite un relais que l'on trouve souvent dans la planification régionale.

Actuellement on parle beaucoup des aménagements à buts multiples. De tels aménagements prennent le nom d'aménagements sylvo-pastoraux, sylvo-touristiques, sylvo-agricoles, etc., et ils visent à tirer parti des différentes utilisations des terres. Il est certain que théoriquement de tels aménagements sont bénéfiques, mais leur contrôle pratiqué sur le terrain est difficile à réaliser. C'est pourquoi on détermine souvent une utilisation prioritaire d'un terroir à partir de laquelle on procède à l'aménagement, tout en acceptant certaines utilisations secondaires. C'est ainsi qu'une forêt aménagée pour la production peut servir de parcours pour le bétail dans des étés particulièrement secs ou être offerte aux touristes moyennant une certaine réglementation.

2. L'aménagement du territoire concerne aussi bien les espaces ruraux, les paysages naturels que les villes ou villages ou même les agglomérations d'usines. Il s'agit d'un effort en vue d'intégrer les différents programmes et de vérifier que les différents secteurs forment un ensemble cohérent. Même s'il s'agit de zones industrielles, il convient que l'aménagiste se préoccupe des « espaces verts », indispensables à la santé et à l'équilibre des hommes.

Organiser la végétation, dans un plan de développement général ou particulier, national ou local, doit toujours demeurer un des objectifs du projet. Mais, à coup sûr, c'est dans l'aménagement des espaces ruraux, des zones encore largement pourvues de leur couverture végétale, que ce souci devient prioritaire.

L'aménagement, le développement agricole, sylvicole ou pastoral de tels périmètres correspond, du point de vue écologique, à une redistribution spatiale des écosystèmes naturels, aménagés ou entièrement artificiels, en vue

d'obtenir la productivité maximale, les plus fortes récoltes qui soient compatibles avec les impératifs sociaux et économiques et en harmonie avec les lois du tapis végétal. Il comporte donc la correction des déséquilibres, la restauration des sites délabrés, l'assainissement des habitats, l'harmonisation du pays en même temps que sa valorisation et que l'accroissement de la rentabilité des projets appropriés dont il est ou deviendra le cadre. C'est, en définitive, le moyen de réaliser un état domestiqué de la nature mais en évitant sa déchéance.

La réussite implique des études préalables et une bonne connaissance du milieu comme des techniques agronomiques à mettre en œuvre. Il faut encore que les spécialistes de l'aménagement disposent du matériel adéquat : plantes et animaux, dont ils connaissent bien les caractéristiques et les possibilités d'adaptation locale dûment éprouvées à l'avance. Tout aménagement comme tout plan de développement agricole, même spécialisé, doivent nécessairement prendre appui sur des résultats expérimentaux comme sur la connaissance de la végétation, du sol et de tous les facteurs du milieu. La meilleure représentation de ces éléments, la plus appropriée aux besoins particuliers, est la cartographie.

Rien n'est plus instructif que d'analyser des plans d'aménagement et de rechercher dans quelle mesure ils se sont soldés par un succès ou par un échec. L'analyse des mésusages dégage un enseignement formel. L'autopsie des insuccès les plus retentissants met toujours en évidence un défaut, une insuffisance des études préparatoires. Souvent aussi, il apparaît qu'une réalisation propice eût été possible, mais dans une voie bien différente. Dans tous les cas, le défaut est de n'avoir pas prêté l'oreille au message de la nature. Les végétations s'expriment clairement pour qui sait déchiffrer leur témoignage.

Une fois qu'on a décidé, sur des bases claires le développement d'un territoire reconnu intéressant, il convient d'en préciser les zones les plus favorables aux diverses cultures que l'on souhaite étendre, à la plantation des vergers ou des essences arborescentes, à la constitution des pâturages naturels, améliorés ou artificiels, à la réservation, à la régularisation ou à l'enrichissement des forêts, à la localisation des villages, centres commerciaux, sociaux ou culturels, ou même des industries de transformation. Il importe de tirer parti des sols et des végétations. Il serait absurde de défricher une forêt si son potentiel économique est supérieur à celui des herbages auxquels elle ferait place et s'il fallait, plus loin, prévoir des reboisements pour livrer le bois nécessaire aux activités des habitants. Malheureusement, c'est ce qui arrive dans de nombreux territoires, surtout dans les zones tropicales, où la population se trouve amenée à de telles méthodes soit par les nécessités de sa subsistance, soit par l'ignorance de solutions économiquement valables, ou par l'absence de structures permettant de les appliquer.

La planification tiendra compte encore des ressources en eau; l'image de la végétation, sous ce rapport, est un guide fort sûr. Il servirait peu de proposer que telle colline soit couverte de pâturages si aucun point d'eau ne permettrait l'abreuvement du bétail, ni de prévoir l'irrigation sans avoir vérifié l'existence de réserves hydriques satisfaisantes en qualité comme en quantité.

Aucune affectation non plus n'est valable sans un plan concerté de protection et de conservation des sols. Même dans les terres entièrement cultivées, la connaissance des végétations naturelles locales guide le choix des espèces ou

des communautés les plus appropriées à toute forme de « couverture », de retenu, d'abri...

L'aménagement agricole implique souvent une redistribution des terres. Le remembrement n'est pas un problème propre à un pays exploité de longue date, aux anciens terroirs. C'est ainsi qu'en bien des régions en voie de développement, l'intensification de l'économie rurale nécessite souvent une répartition plus judicieuse et plus équitable des terrains communautaires.

Enfin, la planification tiendra souvent compte des aspects esthétiques du paysage, de l'intérêt qu'il y a à aménager des espaces verdoyants et accessibles dont la vocation récréative est irremplaçable, d'assurer la permanence de couverts protecteurs vis-à-vis de la pollution des eaux et de l'air. Il n'est pas jusqu'à l'atténuation des bruits grâce à des cordons boisés qu'il ne faille envisager à proximité des grandes voies de communication ou des centres industriels, car il importe de laisser ou de rendre aux campagnes le calme qui est leur apanage.

En conclusion, on peut dire que l'aménagement du territoire est le résultat d'un travail d'équipe où toutes les disciplines doivent être représentées et débouchant sur une solution de synthèse.

Conservation de témoins des végétations naturelles

L'inventaire et l'étude des divers écosystèmes terrestres, menacés à plus ou moins longue échéance, est une tâche scientifique qui doit être activement poussée ne serait-ce que pour ses conséquences utilitaires.

De fort nombreux et excellents plaidoyers ont défendu avec brio et pertinence la portée sociale ou touristique et même la valeur économique des parcs nationaux, des réserves naturelles et des sites protégés.

Même et surtout dans les contrées aménagées, il faut prévoir la conservation de lambeaux d'étendue suffisante où sont représentées les diverses formes des végétations locales. Ces témoins constitueront autant de champs expérimentaux, autant de laboratoires vivants pour l'étude des biocénoses, dont on a amplement souligné la véritable nature et la valeur clé dans maints aspects de la valorisation des terrains.

Mais il y a plus encore : c'est dans ces réserves que se maintiendront les espèces vivantes dont on tirera peut-être avantage plus tard. L'exploration biotique n'est point terminée. Il existe encore un potentiel considérable qui n'a pas révélé toutes ses ressources. Aussi, ces témoins des végétations naturelles, au sens le plus large, seront-ils des conservatoires de gènes, de véritables réservoirs de caractères héréditaires propices où viendront puiser les biologistes de l'avenir.

CONCLUSIONS

La diversité surprenante des formes physionomiques et écologiques des végétations terrestres tient à des facteurs du milieu comme à des conditions historiques-génétiques propres aux différents grands territoires naturels. Elle reflète aussi des lois du dynamisme inhérent aux peuplements végétaux comme aux biocénoses elles-mêmes. Mais l'apparence du couvert dépend dans une mesure considérable de l'influence humaine. De tout temps, avec des moyens divers qui deviennent de plus en plus puissants, selon des méthodes qui ont

notablement évolué mais dont on retrouve actuellement encore toutes les modalités, l'homme s'est efforcé de tirer parti de la végétation, d'exploiter les terrains dont elle assure le couvert, la protection et souvent aussi la fertilité. L'impact humain peut être tenu aujourd'hui pour le facteur mésologique le plus actif. Les perspectives futures indiquent que la domestication des ressources naturelles renouvelables ira toujours en s'amplifiant.

Qu'il s'agisse de peuplements demeurés naturels ou quasi tels, de couvertures aménagées, de communautés culturelles purement artificielles, temporaires ou de longue durée, les végétations au sein des biocénoses et des écosystèmes répondent dans tous les cas à des lois similaires.

La modification et l'exploitation rationnelles de ces végétations comme des terres qui les supportent doivent impérieusement tenir compte de ces règles.

Or l'homme n'est point désarmé en ce qui touche les possibilités de restaurer et d'accroître la productivité et les récoltes, tout en maintenant et en enrichissant ce capital qui lui fournit son alimentation et tant de matières premières pour son industrie.

Les améliorations réalisables peuvent porter sur les éléments constitutifs de chaque écosystème comme sur l'ensemble des écosystèmes représentés ou implantés dans un territoire déterminé. C'est que ces unités paysagiques, en effet, ne sont pas indépendantes les unes des autres. L'harmonie et l'efficacité de leur assemblage et de leur répartition, même en fonction de buts déterminés ou imposés, sont précisément les objectifs de l'aménagement de l'espace rural ou des plans locaux ou particuliers de développement agricole qui visent à assurer une production accrue en même temps que le bien-être des habitants.

L'aménagement rationnel est donc une perspective qui ouvre de grands espoirs quant à de nouveaux progrès de l'agriculture et des autres modalités d'exploitation du tapis végétal et des terres. La méthode, pour être valable, doit être fondée non seulement sur une bonne connaissance locale des espèces utiles et des techniques de leur exploitation, mais aussi sur une étude approfondie des végétations et des terrains. La voie la plus sûre à suivre pour obtenir les meilleurs résultats est donc une approche interdisciplinaire des problèmes que soulève la planification. Pour fournir des résultats économiques et sociaux appréciables, ces aménagements doivent parfaitement s'intégrer dans des plans généraux dont ils constituent une des faces.

Enfin, à chacune des étapes de l'étude des végétations et des sols, de l'analyse de leurs modifications ou affectations, apparaissent la valeur et la sécurité des disciplines écologiques. Cela souligne le rôle des écologistes dans l'aménagement de l'espace rural.

L'écologie animale, l'élevage et l'aménagement efficace de la faune sauvage et de son habitat

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet présenté par Derek Tribe (Australie), annoté et complété par K. Curry-Lindahl (Suède), J. Pagot (France), V. Sokolov (URSS), F. Smith (États-Unis) et les secrétariats de la FAO, de l'OMS et de l'Unesco.

INTRODUCTION

Dans l'intérêt à la fois de la prospérité des nations et du progrès de l'humanité, les problèmes d'écologie animale, d'élevage et d'exploitation de la faune doivent, pour de nombreuses raisons, tenir une place prioritaire dans la planification scientifique et économique. Les seuls besoins alimentaires suffisent à justifier que l'on redouble d'efforts, à l'échelon national et international, pour accroître l'efficacité de l'élevage et de l'exploitation de la faune dans le monde, en vue de la production de viande. Mais il existe d'autres motivations aussi urgentes et impératives, et qui ont trait à la production du lait, des graisses, de la laine, du cuir, des fourrures, du miel et de la soie. L'importance potentielle des animaux en tant que vecteurs de maladies, prédateurs, parasites destructeurs, agents de pollinisation ou facteurs de formation des sols doit aussi être prise en considération dans l'étude de n'importe quel écosystème.

Les animaux sont également une source de plaisir pour l'homme. Ils tiennent dans toute une variété d'activités scientifiques, esthétiques et culturelles et dans les loisirs une place importante. La valeur économique du tourisme et de la chasse sportive est devenue extrêmement importante en maintes régions du monde et, comme les niveaux de vie continuent de s'améliorer, l'aménagement de la faune sauvage et de son habitat et l'élevage d'animaux pour la chasse prennent une importance de plus en plus grande.

Une mauvaise exploitation des populations d'animaux sauvages et domestiques peut entraîner, et entraîne, une grave dégradation des sols et des ressources hydrologiques et végétales, une modification de climats locaux et même, en définitive, la création et l'extension des déserts. Il faut, en conséquence, étudier les populations animales afin de pouvoir les aménager, les protéger et les exploiter de manière à entretenir un équilibre écologique durable qui soit favorable à la vie humaine.

Tout en reconnaissant l'importance vitale des animaux dans toute une gamme de situations économiques, écologiques et récréatives, le présent document met particulièrement l'accent sur le rôle que jouent l'amélioration de l'élevage et l'exploitation rationnelle de la faune sauvage dans la satisfaction des demandes accrues et urgentes en protéines animales. En outre, dans ce document, l'attention s'est surtout portée sur les grands herbivores et l'on n'a pas essayé de traiter en détail le large domaine de l'écologie animale.

Il n'a jamais été plus urgent qu'aujourd'hui de bien utiliser les ressources de la biosphère en protéines animales, au profit de l'homme. Plus de 50 % de la population mondiale souffre actuellement de malnutrition, et cette proportion augmente. Dans bien des pays d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine en voie de développement, la carence protéique est la principale cause de mortalité infantile. Les protéines animales ayant une valeur biologique généralement supérieure aux protéines végétales, leur pénurie — l'une des plus graves qui soient au monde — a des conséquences particulièrement néfastes du point de vue de l'alimentation. Qui plus est, c'est souvent dans les régions où l'expansion démographique est particulièrement rapide que l'élevage est le plus limité.

Dans de nombreux pays, les plans de développement industriel reposent en très grande partie sur la capacité du secteur primaire à fournir des devises étrangères et les capitaux nécessaires à l'investissement. Comparées avec les perspectives économiques qu'offrent pour l'avenir certains produits de base (tels que le coton, le pyrèthre, le sisal), les prévisions en ce qui concerne le développement de la production de viande sont en général encourageantes, et c'est pourquoi bon nombre de pays en voie de développement intensifient leurs efforts en vue d'améliorer l'élevage.

En plus de ces considérations ayant trait à l'alimentation et à l'économie, de puissants motifs d'ordre sociologique militent en faveur d'une mise en valeur du bétail et de la faune sauvage dans de nombreuses régions du monde. Les animaux tiennent une place prédominante dans la vie de bien des collectivités rurales plus ou moins primitives. C'est ainsi que le gros et le menu bétail des pasteurs nomades jouent souvent dans la vie culturelle, ou même religieuse, de la communauté un rôle extrêmement important et constituent une ressource alimentaire et économique vitale, voire unique. Pour que les efforts déployés en vue d'améliorer le niveau de vie de ces collectivités portent leurs fruits, il faut bien souvent moderniser les pratiques traditionnelles d'agriculture et d'élevage. Le perfectionnement des techniques d'élevage est peut-être la première mesure propre à faire progresser la puériculture, l'hygiène, l'éducation et l'économie.

Diverses considérations justifient donc la nécessité de préserver et aussi d'exploiter plus efficacement les ressources animales mondiales.

L'efficacité biologique de la production animale est inévitablement inférieure à celle de la production végétale. On peut obtenir des protéines de bonne qualité à partir de champignons, de levures, de bactéries et d'algues en utilisant notamment pour substrats le pétrole brut, les dérivés de charbon ou un mélange d'azote inorganique, de fécule et de sucre. On peut également utiliser les feuilles vertes pour en tirer des protéines consommables par l'homme. A mesure que ces diverses productions deviendront possibles et rentables à grande échelle, et que les protéines végétales pourront être complétées par des acides aminés synthétiques, il sera moins urgent de développer l'élevage pour les besoins de l'alimentation. Il y a cependant tout lieu de penser que dans

bien des régions les problèmes alimentaires garderont longtemps encore une importance extrême. Dans la plupart des collectivités, alors même que l'on s'y nourrit mal actuellement, les habitudes alimentaires sont fortement ancrées et il est peu probable que de nouveaux produits soient acceptés rapidement et largement. En outre, de nombreuses populations, en particulier la plupart de celles qui sont sous-alimentées, pratiquent une agriculture de subsistance qui, si elle leur donne la possibilité d'accroître la quantité d'aliments que leur procurent l'élevage et l'agriculture, ne leur permet cependant pas d'acquérir les produits fabriqués, presque toujours à l'étranger, par une industrie alimentaire plus efficace du point de vue technique.

Même si de nouveaux aliments protéiques apparaissent et sont acceptés, la nécessité de développer l'utilisation rationnelle des ressources animales mondiales ne disparaîtra pas pour autant. Dans la plupart des milieux, les animaux jouent un rôle essentiel dans l'écosystème et leur action peut constituer un bon mode d'utilisation du sol. Toute politique visant à préserver les autres ressources naturelles — le sol, l'eau et la végétation, notamment — doit normalement comporter un système rationnel d'exploitation du bétail et de la faune sauvage qui y sont associés.

ÉLEVAGE ET MISE EN VALEUR DES TERRES

Le choix du mode d'exploitation des terres constitue un problème complexe. Les considérations économiques et sociales sont très importantes, mais les facteurs écologiques considérés dans une perspective lointaine peuvent souvent être décisifs. C'est surtout en tenant compte de conditions telles que le climat, les sols et la topographie que l'on peut choisir le mode d'exploitation durable des terres, et, parmi ces conditions, c'est essentiellement l'influence conjuguée des précipitations et de la température qui permet de déterminer si une région se prête à l'élevage et, le cas échéant, à quel genre d'élevage.

Dans bien des parties du monde, la pression démographique et la nécessité de développer les cultures vivrières et marchandes ont limité l'élevage extensif aux régions les moins propices à l'établissement de l'homme et à l'agriculture parce que le climat y est soit trop chaud et trop sec (les zones arides par exemple), soit trop froid et trop humide (les zones montagneuses par exemple).

Lorsque l'élevage se pratique dans des régions très peuplées et très fertiles, il est généralement intensif (engraissement des ruminants, élevage en étable, production intensive de porcs et de volaille, par exemple). Paradoxalement, dans ces régions où les conditions sont généralement moins variables et conviennent mieux à la plupart des animaux que dans les zones d'élevage extensif, le bétail et la volaille sont souvent logés, nourris à l'auge et protégés, dans une certaine mesure tout au moins, contre les modifications naturelles de l'environnement. En fait, les milieux les plus stables (bâtiments où la température, l'humidité et la durée de l'éclairement sont contrôlés) abritent actuellement des espèces telles que la volaille, qui, du fait de leurs mécanismes physiologiques et de leur comportement, sont capables de supporter des variations considérables. Dans ces milieux qui, en raison de l'action de l'homme, ne se modifient guère, ne serait-il pas rationnel de remplacer la volaille et les porcs par des espèces moins traditionnelles (reptiles poikilothermes, par exemple)?

ÉCOLOGIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Parmi les nombreuses raisons d'ordre biologique, économique et sociologique qui sont à l'origine du faible rendement de la production animale, il existe un important facteur écologique qui tient au caractère plus ou moins adapté de l'animal domestique au milieu où on le fait vivre à l'heure actuelle.

Dans certains cas — en ce qui concerne, par exemple, les rennes dans les toundras boréales et les forêts de la Scandinavie du Nord, les yacks au Tibet et dans l'Himalaya, ou les alpagas et les lamas dans les montagnes des Andes — l'homme a domestiqué et exploité des espèces indigènes fort bien adaptées au milieu. Mais il n'en est pas de même des nombreuses autres espèces dont l'élevage est répandu dans le monde. Alors qu'il existe plus de 5 000 sortes de mammifères, 16 seulement ont été domestiquées et jouent un rôle économique important. Leur exploitation remonte aux civilisations antiques d'Asie, d'Europe, d'Amérique du Sud et d'Afrique du Nord. Les aborigènes d'Amérique du Nord, d'Australasie et d'Afrique centrale et méridionale, dont les méthodes n'ont jamais dépassé le stade primitif de la culture itinérante et qui tiraient en grande partie leur nourriture et leurs vêtements des animaux sauvages qu'ils chassaient, n'ont jamais produit d'espèces domestiques importantes.

Lorsque les sociétés les plus développées ont entrepris d'explorer de nouvelles régions et de les coloniser, les nouveaux arrivants ont apporté avec eux leurs animaux domestiques et les techniques culturelles de leur pays d'origine. Ils ont rarement essayé de domestiquer les espèces locales et leurs tentatives en ce sens ont généralement échoué; c'est ce qui s'est passé en particulier pour les marsupiaux d'Australie.

Si, par exemple, les ovins et les bovins en provenance d'Europe (notamment d'Espagne et de Grande-Bretagne) ont été disséminés dans le monde entier, c'est donc surtout parce que les explorateurs et les colonisateurs connaissaient les techniques fondamentales et indispensables d'élevage et que les acheteurs demandaient les produits qui leur étaient familiers (laine, viande de bœuf et de mouton). Les tentatives faites voici plus d'un siècle pour créer en Australie des élevages d'alpagas et de lamas ont échoué principalement parce qu'il n'existait pas de marché pour les produits obtenus; en revanche, l'élevage des moutons a prospéré parce que l'Europe était consommatrice de laine.

Comme il est urgent d'accroître l'efficacité de l'élevage dans le monde, on se livre actuellement à des études importantes et approfondies et à des comparaisons sur les races domestiques couramment exploitées. C'est ainsi que dans de nombreux pays des régions tropicales et subtropicales on compare les caractéristiques propres au *Bos taurus* et au *Bos indicus* indigènes et exotiques. De même, dans de nombreux pays du Moyen-Orient et d'Asie on étudie les caractéristiques du *Bos bubalis*, en raison de la place considérable que le buffle tient dans l'économie du pays. Il est urgent d'entreprendre beaucoup d'autres études de ce genre.

Il est important, lors de ces travaux, d'évaluer à la fois la capacité d'adaptation écologique d'une espèce et son rendement économique. C'est ainsi qu'en dépit de l'adaptation écologique des buffles dans plusieurs pays d'Asie, une tendance à la mécanisation (notamment dans la riziculture) permettrait de ne plus avoir à les considérer comme des animaux de trait; et il se peut qu'en

tant que producteurs de viande ou de lait ils ne constituent pas la meilleure espèce utilisable.

Dans les régions de culture intensive, où les exploitations sont de dimensions réduites et ne fournissent guère à l'agriculteur que sa subsistance, il est intéressant de tirer le meilleur parti des sous-produits des cultures marchandes et vivrières. A cet effet un petit herbivore peu coûteux conviendra souvent le mieux car l'acquisition d'une vache, voire d'un mouton, peut nécessiter un investissement trop élevé et constituer un trop grand risque, tandis qu'un porc ou de la volaille ne suffira peut-être pas à absorber toute la nourriture disponible. Dans bien des régions de ce genre, on pourrait accroître considérablement la quantité de protéines animales mise à la disposition de la population locale en élevant davantage de petits herbivores (cobayes, chèvres ou lapins).

Grâce aux travaux de plus en plus abondants que les organisations nationales et internationales mènent actuellement dans ce domaine, avec l'encouragement de la section d'études sur les herbivores du Programme biologique international, on connaîtra beaucoup mieux certains problèmes que l'on comprend mal aujourd'hui. Cela conduira à adopter des politiques et des pratiques écologiques plus saines qui contribueront à améliorer considérablement l'exploitation des ressources mondiales en bétail.

ÉLEVAGE

La principale caractéristique de l'élevage dans le monde est son extrême diversité. La grande variété des conditions existantes, et notamment des climats, des sols, de la végétation, de la densité démographique, des régimes fonciers, des niveaux d'instruction et de prospérité et des coutumes sociales, rend évidemment impossible l'adoption d'un mode d'élevage unique. Il faut déterminer celui qui convient le mieux à une région donnée, en tenant compte des caractéristiques du milieu physique et social, ainsi que du degré de développement déjà atteint. Les perfectionnements à apporter aux méthodes existantes peuvent être d'ordre technique (lutte contre les épizooties, par exemple), social (modification du régime foncier) ou économique (introduction du crédit ou amélioration du système de commercialisation); ils doivent, en tout cas, se faire dans un certain ordre si l'on veut assurer la continuité des progrès et l'exploitation rationnelle des ressources.

Bien qu'en principe l'amélioration de la production animale soit un processus ininterrompu, il est commode de parler de « stades » de développement. Il ne s'agit pas de compartiments étanches dans lesquels se rangeraient, sans aucun lien, les divers mécanismes et les différentes considérations. Au contraire, la seule utilité de cette distinction est de mettre en lumière les principes qu'il convient d'appliquer dans un ordre déterminé si l'on veut que les ressources disponibles soient efficacement utilisées.

Ces principes sont résumés à la fin de cet article, dans une annexe qui ne vise pas à être exhaustive, mais qui fait ressortir les grandes lignes de l'évolution. Il n'est pas exclu, d'ailleurs, que, dans un pays donné, les différents « stades » puissent être utilement conjugués en totalité ou en partie. En outre, si des recherches s'imposent à tous les stades, les stades les plus avancés exigent la création d'institutions spéciales.

Aux premiers stades, on ne peut guère perfectionner les techniques d'élevage. La première mesure fondamentale consiste à relever le niveau

d'instruction générale des membres des collectivités rurales pour les amener peu à peu à ne pas se satisfaire de leur sort traditionnel et, surtout, à entrevoir les moyens de l'améliorer.

C'est ainsi que pour donner aux collectivités pastorales des vues plus larges, il faut essentiellement les inciter à attacher moins d'importance au bétail. On s'est grandement efforcé autrefois d'amener les pasteurs à vendre leurs bêtes et à admettre un autre genre de monnaie. C'est seulement lorsqu'il lui faut payer en espèces des droits de scolarité, des impôts ou quelques objets de consommation — verroterie, thé, sucre, bière, parfois une couverture — que le pasteur se trouve dans l'obligation de vendre une bête et de se procurer du numéraire. Il est d'autant plus disposé à vendre des bœufs, des buffles, des moutons, des chameaux ou des chèvres que l'on a développé son goût pour des biens payables en espèces.

Dès qu'il commence à s'intéresser à la valeur monétaire du bétail, le pasteur est inévitablement amené à se préoccuper de la qualité des animaux, tout au moins dans la mesure où une différence de qualité se traduit par un écart de prix. C'est seulement après avoir ainsi modifié son attitude qu'il sera disposé à collaborer à des plans de mise en valeur comportant la réduction du cheptel ou une exploitation rationnelle des ressources en eau et en pâturages.

Une fois qu'un niveau de base est atteint en matière d'éducation et d'ambition, que l'économie monétaire et la notion de collaboration sont acceptées, il faut, pour développer l'élevage, adopter un plan de réforme du régime foncier, fondé sur la propriété individuelle ou sur la propriété collective. Les expériences faites dans de nombreuses parties du monde ont montré à plusieurs reprises que les efforts déployés pour accroître la productivité de l'élevage n'ont été couronnés de succès que lorsque le système traditionnel de propriété communale a été remplacé par un régime selon lequel des personnes privées, des familles, des coopératives, des sociétés ou des groupements détiennent les titres de propriété des parcelles qui leur sont attribuées, ou le droit exclusif de les exploiter. Outre qu'un droit d'occupation reconnu fournit au propriétaire ou au fermier la sécurité durable dont il a besoin pour investir son épargne et ses efforts, il constitue la garantie nécessaire pour l'obtention de prêts à long terme des banques et autres organismes de crédit. De plus, lorsque les terres sont la propriété privée d'un producteur ou d'un groupe de producteurs qui peuvent en exclure le bétail d'autres exploitants, il est possible de les mettre en valeur dans le cadre de plans d'élevage, de lutter contre les épizooties et de contrôler la reproduction.

Dans les zones arides ou semi-arides livrées à la brousse ou à la steppe, les gens sont souvent pasteurs par nécessité, et il peut ne pas être souhaitable de modifier sensiblement les systèmes locaux d'exploitation du sol, fondés sur le nomadisme. Là où les précipitations sont irrégulières et insuffisantes, le nomadisme peut permettre de tirer le meilleur parti de l'eau et de la végétation éphémère qu'elle suscite. En revanche, créer des points d'eau pour amener le nomade à se fixer (et, surtout, à pratiquer un petit élevage) de sorte qu'au lieu de faire paître ses bêtes dans toute une région il se limite à une superficie restreinte, c'est risquer de provoquer une dégradation généralisée du sol. La solution semble souvent consister plutôt à conjuguer le nomadisme avec la mise en valeur de régions irriguées ou à haute pluviosité. L'intérêt d'un mouvement régulier des animaux d'un lieu à un autre (transhumance) n'est pas limité aux milieux arides et semi-arides. On peut également observer le

mouvement ou la migration d'espèces sauvages ou domestiquées qui vont vers des pâturages de montagne, de steppes, de savanes ou de zones temporairement abandonnées par une rivière ou un lac, ou qui les quittent.

Lorsque les producteurs éprouvent le désir d'échanger le bétail et les produits de l'élevage contre une monnaie plus largement négociable, ils commencent à ressentir le besoin d'un système de commercialisation équitable et approprié. A ce stade aussi la qualité devient un élément important et, dans un premier temps au moins, elle est fonction du poids en ce qui concerne les animaux de boucherie, et du rendement en ce qui concerne le bétail laitier. Si l'on veut obtenir de rapides améliorations à cet égard, il est généralement souhaitable d'améliorer les régimes alimentaires et d'introduire d'excellents reproducteurs, qui, dans les régions de production laitière au moins, doivent souvent être de race étrangère. Comme les bons reproducteurs sont rares, que leur acquisition et leur entretien coûtent cher et que l'accouplement comporte le risque de transmission de maladies, il est souvent nécessaire d'avoir recours à l'insémination artificielle. Dès que la notion de qualité intervient, il importe d'améliorer immédiatement les normes générales d'alimentation et de traitement du bétail. Il faut aider les éleveurs à identifier les facteurs autres que les maladies qui limitent la production, et très rapidement s'instaurent des méthodes d'alimentation et de sélection plus perfectionnées.

A mesure que l'élevage continue de se développer, cette évolution s'accélère, on clôture généralement les terres nouvelles, le crédit doit être plus large (prêts plus importants et périodes de remboursement plus longues), les organismes de commercialisation deviennent moins rudimentaires et il faut multiplier les services de vulgarisation. De plus en plus, les producteurs demandent des renseignements nouveaux, de caractère surtout local, qu'il n'est peut-être pas possible de leur donner, de sorte qu'il devient essentiel de créer des centres de recherches locaux. C'est à peu près à ce stade aussi que certains éleveurs s'intéressent à de nouvelles formes de production. Lorsque les conditions écologiques le permettent, on peut introduire par exemple des races exotiques d'ovins pour la production de laine, et de bovins pour la boucherie, élever des variétés améliorées de porcs pour la production de lard de bonne qualité; en même temps, l'élevage de la volaille prend peu à peu un caractère plus intensif.

Enfin, l'agriculteur ou l'éleveur à l'esprit le plus novateur doit être soutenu par des organismes officiels en faveur de l'agriculture, par tout un arsenal de textes législatifs portant sur un vaste ensemble de problèmes spéciaux — allant de certaines maladies particulières et des vols de bétail à la fiscalité et au contrôle du marché intérieur et des échanges avec l'étranger — par des services de vulgarisation et de recherche dotés de personnel qualifié et par une série de services commerciaux divers (par exemple, vente de semences, fabrication d'engrais et d'aliments composés pour le bétail, constitution d'associations et de sociétés d'agriculteurs et de centres d'élevage).

Bien que, dans le détail, l'évolution varie d'une région à l'autre en raison de certaines différences comme le climat et les coutumes sociales, elle se fait selon un ordre général étonnamment similaire. En effet, il est inutile, par exemple, d'entreprendre un programme de contrôle des pâturages dans une région où les éleveurs répugnent à vendre leur bétail et veulent conserver les méthodes traditionnelles de pacage communal. De même, l'introduction de bétail exotique sélectionné dans des régions d'où l'on n'a pas éliminé les

maladies est une entreprise vouée à l'échec. L'une des principales causes des pertes de bétail indigène est la maladie. Surtout au début d'un programme de développement, ce sont les épizooties qui constituent souvent le principal frein à la production animale. Il importe donc de prendre des mesures vétérinaires strictes pour lutter contre les grandes épidémies qui peuvent ruiner la production et décimer une population animale. C'est à ce stade que les services vétérinaires ont un rôle particulièrement utile à jouer, alors que les autres services techniques spécialisés ayant trait à l'entretien des animaux, à la production fourragère ou à l'économie agricole ne peuvent apporter qu'une contribution limitée. Toutefois, le service vétérinaire qu'il faut mettre en place à ce stade n'exige qu'un nombre restreint de professionnels, appelés essentiellement à assurer des tâches de planification, de contrôle et d'administration. Il doit être soutenu par un grand nombre d'agents auxiliaires ayant appris à mener les grandes campagnes d'inoculation, de vaccination et d'enquêtes locales que requiert une action de ce genre. Il doit également pouvoir compter sur des services de recherche vétérinaire, pour la mise au point des vaccins et des médicaments, et sur des sociétés pharmaceutiques, pour la fabrication de ces derniers.

La structure de ce service vétérinaire est extrêmement différente de ce qu'elle doit être lorsque les techniques d'élevage sont beaucoup plus avancées. A mesure que l'on progresse sur la voie du développement, il faut s'employer à lutter contre la maladie au niveau du troupeau et non plus de l'ensemble de la population animale, en attendant de pouvoir ultérieurement assurer le traitement individuel des animaux. L'accent passe de la prévention des épizooties à la prévention des enzooties (y compris les maladies de la nutrition et du métabolisme et les affections parasitaires); la médecine vétérinaire préventive prend de plus en plus d'importance. Les vétérinaires doivent être alors plus nombreux pour diagnostiquer les maladies, soigner directement les animaux et donner des conseils d'élevage, mais ils n'ont pas besoin d'autant d'auxiliaires qu'auparavant. Ils doivent toutefois pouvoir s'appuyer sur des centres de diagnostic et de recherche bien équipés et dotés d'un personnel qualifié. En d'autres termes, la structure des services vétérinaires varie dans l'espace, selon le niveau de développement des diverses localités, et bien entendu dans le temps, à l'intérieur de chaque localité, à mesure que l'élevage progresse. A un stade avancé de développement de l'élevage, bien que les services vétérinaires n'aient pas un rôle aussi capital qu'au début et bien que les services de spécialistes de l'entretien des animaux, de la production fourragère et de l'économie agricole aient pris une importance accrue, il faut — paradoxalement — davantage de vétérinaires diplômés qu'avant.

Supprimer les maladies animales n'est généralement pas une fin en soi. Ce peut être un élément important d'une campagne générale de santé publique visant à lutter contre les grandes zoonoses. Dans la plupart des cas cependant, l'objet du service vétérinaire est d'améliorer la production animale. Toutefois, les avantages résultant de l'amélioration de l'état sanitaire peuvent être réduits à néant si cette amélioration ne s'accompagne pas d'une amélioration parallèle de l'alimentation du bétail, de la gestion des exploitations et de la sélection. Il est inutile d'empêcher les animaux de mourir de maladie s'ils sont destinés à périr ensuite de famine. Une fois établi le système de lutte contre les maladies, il faut modifier les autres aspects de la politique d'élevage. Des services organisés de commercialisation qui permettent de prélever

régulièrement les animaux et de les acheminer de manière ordonnée vers les centres de ramassage, les abattoirs et les points de consommation, ont un rôle déterminant dans l'utilisation efficace du bétail et des produits animaux.

Parmi les grands facteurs qui conditionnent l'efficacité de l'utilisation du bétail, les trois principaux, d'ailleurs liés entre eux, sont l'habitat écologique, la densité de peuplement et l'état des communications. Les effets généraux de chacun d'entre eux sont facilement perceptibles dans la plupart des régions du monde. En Afrique orientale par exemple, la structure des réseaux ferroviaires et routiers a nettement influé sur le développement de l'élevage : en Tanzanie, plusieurs grandes zones du sud, de l'ouest et du nord sont demeurées relativement peu exploitées malgré leur potentiel écologique élevé parce qu'elles étaient dépourvues de moyens de communication. En Ouganda, où le potentiel écologique est souvent remarquable et où il y a de bonnes routes, c'est la faible densité du peuplement qui a provoqué la lenteur du développement dans bien des régions. Dans le nord du Kenya, de vastes zones sont relativement peu exploitées parce que le potentiel écologique y est extrêmement faible.

Il est d'autres facteurs plus concrets qui déterminent souvent dans une large mesure le volume et l'intensité de la production animale : celle-ci dépend en effet de l'existence ou de l'absence de main-d'œuvre qualifiée, de bétail, de connaissances, de marchés, de moyens financiers. De ces facteurs, c'est la pénurie de main-d'œuvre qualifiée qui a le plus d'importance générale et à laquelle il faut remédier d'urgence. Le principal obstacle auquel se heurtent en effet les tentatives faites pour tirer parti des ressources mondiales en bétail est la pénurie de personnel qualifié à tous les niveaux, depuis celui de l'exploitant agricole ou de l'éleveur jusqu'à celui du spécialiste de la recherche scientifique. Il faut non seulement des hommes qui aient reçu une formation théorique solide, mais aussi des personnes expérimentées qui aient en particulier l'expérience de l'action pratique sur le terrain. Si le personnel, et notamment les hauts fonctionnaires, n'ont pas ce genre d'expérience, les ressources, déjà faibles, risquent d'être inévitablement gaspillées. Le problème est d'autant plus difficile à résoudre que l'on n'acquiert ce genre d'expérience qu'au bout d'un certain temps et que, de nos jours, c'est précisément le temps qui fait le plus défaut. Un pays peut remédier dans une certaine mesure au manque d'expérience de ses ressortissants en ayant recours aux avis et à l'appui d'étrangers capables.

PRODUCTION ANIMALE ET MISE EN VALEUR DES TERRES

Dans bien des pays, de vastes zones sont encore quasi inhabitées ; à mesure que la pression démographique et alimentaire s'y intensifiera, la mise en valeur ordonnée des ressources prendra une importance vitale. Or, si elle n'est pas fondée sur des critères solides et des études écologiques à long terme qui tiennent dûment compte à la fois des potentialités et des limitations de la zone considérée, on court le risque très grave de voir gaspillées et rapidement anéanties les ressources naturelles de régions aujourd'hui vierges.

Les terres actuellement inexploitées ne peuvent, pour une grande partie, servir à la production animale tant que l'on ne mettra pas en valeur leurs ressources en eau. Toutefois, l'expérience a montré à maintes reprises que toute mise en valeur des ressources en eau qui se fait sans réforme agraire,

sans contrôle des pâturages et sans la coopération des éleveurs, aboutit rapidement à la destruction du couvert végétal par le surpâturage, par la dévastation de la végétation arbustive et par l'érosion des sols. Il faut parfois de nombreuses décennies pour remédier aux dommages causés en cinq ou dix ans seulement. Il conviendrait donc de faire un examen critique approfondi des programmes de mise en valeur des ressources en eau et de ne les entreprendre que si l'on est certain de la coopération consciente et de l'autodiscipline des éleveurs, renforcées par l'existence d'un bon régime foncier. Malheureusement, c'est dans les zones pastorales arides et semi-arides où les besoins en eau sont les plus grands que les habitants sont généralement le moins prêts à coopérer à des mesures de réforme agraire et d'amélioration de l'élevage.

En Afrique, d'énormes superficies demeurent pratiquement inhabitées et inexploitées pour l'élevage des animaux domestiques malgré leur richesse potentielle à cet égard, parce qu'elles sont infestées par les mouches tsé-tsé (*Glossina* sp.), qui transmet la trypanosomiase aux hommes et aux animaux. Les deux tiers environ de la Tanzanie sont ainsi infestés par la mouche tsé-tsé. On connaît suffisamment la biologie de cet insecte pour pouvoir appliquer des méthodes de lutte et entreprendre de grands programmes de récupération des terres : plusieurs pays ont obtenu des succès en ce domaine. Les résultats dépendent du soin apporté aux enquêtes, à la planification des programmes et à leur exécution. Il existe plusieurs méthodes d'attaque et il faut souvent les conjuguer judicieusement pour parvenir à éliminer la mouche tsé-tsé. Cela fait, il faut assurer l'entretien des terrains de parcours, ce qui peut exiger des opérations périodiques de débroussaillage ou l'emploi d'insecticides, et risque par conséquent de constituer une lourde charge économique surtout là où en définitive la production est relativement peu élevée. Il importe certes de s'opposer fermement à toute politique générale de lutte contre la mouche tsé-tsé qui serait fondée sur l'abattage aveugle de la faune sauvage et la suppression totale des arbres et buissons, mais il peut être nécessaire de prendre des mesures extrêmes dans certaines zones critiques d'étendue restreinte, afin d'empêcher la mouche tsé-tsé d'envahir des régions où elle ne s'est pas encore introduite et où bêtes et gens prospèrent. Partout où il a fallu prendre des mesures spéciales de ce genre, il est indispensable d'assurer immédiatement le peuplement intensif des terres défrichées.

Dans quelques pays, on a déployé et on continue à déployer de coûteux efforts pour éliminer la mouche tsé-tsé, sans avoir aucun plan d'utilisation intensive des terres défrichées. Or, trop souvent, la végétation repousse si rapidement en l'absence de colonisation intensive qu'en cinq à sept ans la brousse reformée constitue à nouveau un habitat idéal pour la mouche tsé-tsé.

Des races de bétail de l'Afrique de l'Ouest (par exemple N'dama et Baoulé) sont élevées avec succès dans des régions de savane infestées de tsé-tsé au Congo (Brazzaville) en République Centrafricaine et en Côte-d'Ivoire. Il peut être profitable d'étendre cet élevage à d'autres régions et on devrait certainement rechercher quelles sont les propriétés physiologiques qui confèrent à ces races leur degré de tolérance aux trypanosomes.

Les difficultés rencontrées dans la mise en valeur des ressources en eau et la lutte contre la mouche tsé-tsé sont l'illustration d'un principe général extrêmement important : tout plan d'agriculture, d'élevage ou d'exploitation rationnelle de la faune sauvage dans des régions qui sont encore vierges doit être établi avec le plus grand soin et exécuté sous contrôle. Les opérations doi-

vent toujours être précédées d'enquêtes détaillées sur l'utilisation des terres et c'est du résultat de ces enquêtes que l'on devrait partir pour élaborer les plans ultérieurs de développement. Dans la plupart des pays, il y a, à l'heure actuelle, pour l'aménagement du territoire, plusieurs services et organismes officiels qui se font concurrence. Trop souvent on décide qu'une zone servira à l'établissement d'un parc zoologique ou d'un élevage de bovins sans avoir tenu suffisamment compte des intérêts écologiques à long terme ou des intérêts financiers.

Il est si important de coordonner les diverses formes actuelles de mise en valeur des terres par un solide programme national d'aménagement du territoire, fondé à la fois sur des critères écologiques à long terme et sur des critères économiques, que tous les gouvernements sont invités à envisager sérieusement de créer un service ou une commission de l'aménagement du territoire. Il est essentiel que la commission ait des pouvoirs réels et qu'elle conseille directement les comités centraux de développement et de planification au niveau gouvernemental. Elle ne doit assurément pas être constituée à l'intérieur d'un ministère, car elle doit avoir une voix déterminante dans l'acceptation ou le rejet des propositions d'utilisation de terres présentées par les différents ministères. Il devrait être impossible, sans approbation de la commission après enquête menée par elle, de délimiter des zones nouvelles à des fins précises : mise en place de barrières contre la mouche tsé-tsé, établissement de parcs ou de réserves zoologiques, de ranchs d'élevage de bovins, de cultures marchandes, de forêts, etc.

L'élaboration des plans de production animale dans les zones vierges doit aussi être subordonnée à plusieurs conditions : a) système foncier rationnel, comportant au besoin la clôture des terres; b) superficie des propriétés suffisante pour assurer la rentabilité, et existence d'un bon réseau de communications et d'un bon système de commercialisation. Une fois ces conditions remplies, l'accroissement de la production animale peut être relativement rapide car il n'est plus nécessaire de gaspiller son temps et son énergie à modifier les coutumes et attitudes établies, surtout en ce qui concerne le système foncier et les troupeaux. Toutefois, il est encore indispensable d'apprendre aux nouveaux colons à bien gérer leur exploitation. Enfin, tant que l'on n'a pas élaboré soigneusement des plans de colonisation de zones nouvelles, il faut protéger ces dernières contre ceux qui voudraient empiéter sur elles, s'y infiltrer ou les exploiter sans méthode.

AMÉNAGEMENT EFFICACE DE LA FAUNE SAUVAGE

EXPLOITATION RATIONNELLE DES GRANDS HERBIVORES

Parmi les ressources les plus précieuses qui existent dans la nature, il faut placer au premier rang celles que représentent les divers peuplements de mammifères sauvages, herbivores pour la plupart. Bien qu'ils diminuent avec une rapidité alarmante, ces peuplements sont encore très importants dans quelques zones. On a estimé, par exemple, que le poids total des grands mammifères des savanes à *Acacia* de l'Afrique orientale (et peut-être centrale) est souvent de 575 à 1 050 kg à l'hectare et que dans la brousse à *Acacia commiphora* on peut souvent compter, pour les grands herbivores, 470 kg environ à l'hectare.

Les concentrations de bétail domestique atteignent rarement de tels chiffres. Parmi les nombreuses raisons de tenter de conserver ces peuplements de grands mammifères, l'une des principales est qu'ils constituent une source considérable de revenu et de nourriture pour les populations locales. A l'heure actuelle, on est loin de tirer totalement parti de ce potentiel de ressources, qu'il s'agisse du tourisme, de la chasse — licite ou illicite — et de l'exploitation, d'ailleurs peu importante, de la grande faune.

Or il importe de toute urgence de s'efforcer d'exploiter et en même temps de conserver la source extrêmement précieuse de nourriture que représente la faune, tout comme on cherche actuellement à développer et à améliorer l'élevage des animaux domestiques. Si l'on parvenait à tirer pleinement parti du potentiel de recettes financières et de ressources alimentaires que constitue la faune en dehors des parcs nationaux et des réserves, on aurait forgé l'argument le plus évident et le plus solide en faveur des mesures générales de conservation animale. En outre, on aurait démontré la nécessité de cette conservation de la manière la plus susceptible de convaincre les politiciens locaux et l'ensemble de la population. Tant que les habitants ne verront pas qu'ils ont matériellement intérêt à assurer la conservation de la faune sauvage, il ne faut guère compter sur leur concours massif et il est probable que la suppression des espèces sauvages se poursuivra.

Il y a trois principaux moyens d'assurer l'exploitation rationnelle des grands herbivores en vue de la production de viande et de sous-produits vendables tels que les peaux, les cornes et défenses et la poudre d'os.

Tout d'abord, on peut opérer une réduction sélective de la faune sauvage, surtout dans les parcs nationaux, mais aussi dans d'autres zones. Dans les parcs nationaux et les réserves, le but premier de l'opération n'est pas de produire de la viande, mais de maintenir les effectifs du gibier à un certain niveau qui permette de conserver autant que possible un équilibre harmonieux entre les différentes espèces de la faune et de la flore. Si l'on n'effectue pas une certaine élimination rationnelle, une espèce animale donnée peut se multiplier au point d'entraîner une modification marquée de son habitat ou une accélération de la succession flore-faune qui risque en définitive de lui être nuisible. Comme exemple, on peut citer les opérations de réforme des troupeaux d'hippopotames et d'éléphants en Afrique orientale et centrale. De telles opérations procurent souvent de grandes quantités de viande aux populations locales ainsi que des trophées qui se vendent à des prix intéressants. Toutefois, elles permettent rarement à l'heure actuelle de tirer tout le parti possible des ressources en viande, surtout en raison des problèmes techniques que posent le traitement et la commercialisation des produits.

L'établissement de ranchs d'animaux sauvages est un système d'exploitation rationnelle de la grande faune en dehors des parcs nationaux; on encourage les animaux sauvages, généralement des animaux de plaine, à paître dans une zone exploitée comme une entreprise normale d'élevage. Ces zones sont parfois (mais pas nécessairement) clôturées, au moins sur leur pourtour, et sont situées normalement dans des régions de savane à buissons où la pluviosité annuelle moyenne est inférieure à 63 centimètres. Les animaux ne sont nullement apprivoisés ou domestiqués, même s'il leur arrive de paître avec des troupeaux d'animaux domestiques.

L'élevage de la grande faune nécessite généralement la domestication ou la semi-domestication de l'espèce considérée. Dans ces conditions, les animaux,

c'est-à-dire d'ordinaire les espèces de gazelle ou d'antilope les moins capricieuses, sont mis à paître dans des enclos et reçoivent même parfois une certaine quantité de fourrage supplémentaire. En Rhodésie, les élans domestiqués sont mêlés au bétail; quand ils en sont séparés, on les fait entrer dans un kraal le soir.

Ces trois formes d'exploitation présentent toutes des possibilités intéressantes mais, dans la plupart des cas, c'est la réforme des troupeaux d'animaux sauvages ou la constitution de ranchs qui offrent les plus grandes chances de succès.

Les spécialistes d'Afrique orientale et centrale ont soutenu qu'il fallait encourager la constitution de ranchs d'animaux sauvages pour plusieurs raisons importantes, parmi lesquelles on peut citer les suivantes :

1. La grande faune est physiologiquement et écologiquement mieux adaptée aux terrains de parcours d'Afrique que le bétail domestique, et l'on en obtient davantage de viande à l'hectare.
2. Ces animaux n'endommagent pas leur habitat (par l'érosion ou la destruction des buissons) d'une manière aussi rapide ou aussi marquée que le font les bovins, les moutons et les chèvres, et les terres qu'ils utilisent résistent mieux à la sécheresse.
3. Ces animaux peuvent demeurer sans danger dans des zones infestées par la mouche tsé-tsé, ce qui permet d'ouvrir de nouvelles régions à la pénétration de l'homme.
4. L'établissement de ranchs pour l'exploitation de la grande faune entraîne moins de dépenses d'équipement et de gestion que la constitution de ranchs d'animaux domestiques.
5. La viande des animaux sauvages est nutritive et de goût agréable.
6. Ces animaux résistent relativement mieux ou sont même totalement réfractaires à certaines maladies qui frappent les bovins; dans les programmes d'exploitation rationnelle en ranchs, on peut donc réduire au minimum les risques de transmission des maladies des animaux sauvages au bétail.
7. Dans les zones marginales, l'utilisation des ressources offertes par la faune sauvage peut transformer une exploitation non rentable d'élevage de bétail en une entreprise bénéficiaire.
8. La présence des animaux sauvages offre aux propriétaires la possibilité de pratiquer la chasse et d'accueillir des visiteurs.
9. En donnant à la grande faune une possibilité nouvelle de jouer un rôle important dans l'économie de la nation, on contribue à la préserver.

Des faits concrets peuvent être cités à l'appui de chacune de ces affirmations, mais ils sont encore peu nombreux et de portée réduite. C'est pourquoi ils suffisent rarement à convaincre ceux qui ont tendance à croire que l'élevage des bovins, ovins et caprins représente la forme la plus productive et la plus économique d'utilisation des pâturages.

Les partisans d'un développement rapide de l'élevage peuvent défendre leur thèse en s'appuyant sur les vastes connaissances théoriques et pratiques que l'on a des problèmes et des méthodes d'élevage des animaux domestiques et d'exploitation des pâturages. On dispose déjà des résultats de nombreuses années de recherches intensives et l'on peut donner des avis judicieux sur les systèmes d'utilisation des terres. En outre, on connaît bien les problèmes posés par la lutte contre les maladies des animaux domestiques, et les procédés

hygiéniques et économiques d'abattage des animaux ainsi que de traitement et de commercialisation de la viande sont largement appliqués.

Les défenseurs de l'élevage des animaux domestiques sont dans une situation extrêmement favorable si l'on compare les connaissances acquises en ce domaine à l'état des connaissances théoriques et pratiques relatives à l'exploitation de la faune sauvage. Il importe donc maintenant de recueillir d'urgence un grand nombre de renseignements analogues sur les problèmes de l'exploitation rationnelle de la faune sauvage et sur les techniques de récolte, de traitement et de commercialisation des produits du gibier. Il faudra obtenir ces informations avant de pouvoir exploiter complètement et de manière suivie les vastes possibilités qu'offre la grande faune pour la production de viande ou de déterminer si dans certaines zones ce genre de production et d'utilisation des terres est préférable à l'élevage des animaux domestiques.

On a soutenu que, sur le plan de la nutrition et de la reproduction, la faune sauvage est d'un rendement meilleur que les bovins ou les ovins. Étant donné le caractère limité des faits dont on dispose, il convient d'atténuer quelque peu une affirmation aussi catégorique. Certains faits tendent à prouver que, dans certaines conditions, les ongulés sauvages utilisent moins efficacement la nourriture qu'ils peuvent se procurer que ne le font les bovins ou les ovins. De même, il est impossible de porter le moindre jugement catégorique sur la rentabilité respective des animaux domestiques et des animaux sauvages au point de vue de la reproduction tant que l'on n'aura pas fait étudier simultanément les deux catégories d'animaux dans le même milieu. A partir des faits connus, la seule conclusion que l'on puisse formuler sans risque d'erreur est qu'il importe d'urgence d'avoir d'autres renseignements détaillés et sûrs concernant l'efficacité physiologique relative des animaux sauvages et des animaux domestiques. De toute manière, il faudra distinguer nettement les diverses zones écologiques.

Si certaines données montrent effectivement que, dans certaines conditions, les animaux sauvages permettent d'obtenir une biomasse supérieure, par unité de superficie, à celle des animaux domestiques (bien que les techniques d'évaluation de la biomasse soient notoirement incertaines et que, de toute manière, les résultats ne doivent pas être interprétés de la même façon que s'il s'agissait d'une production continue de viande), il serait faux d'en déduire que les animaux sauvages préservent ou améliorent inévitablement leur habitat tandis que les animaux domestiques, même exploités rationnellement, détruisent inévitablement le leur.

Certes, il y a des preuves de la résistance ou de l'immunisation des animaux sauvages en ce qui concerne quelques maladies qui frappent les animaux domestiques. En outre, si l'on affirme souvent que les ongulés sauvages constituent des réservoirs de maladies qu'ils propagent lorsqu'ils parcourent de grandes distances, d'autres ont émis l'opinion que ces soupçons ne sont pas fondés. D'un autre côté, on connaît de nombreux cas d'épidémies graves chez les animaux sauvages, par exemple la tuberculose chez les buffles et les lechwé et la peste bovine chez les gnous. Voilà un autre domaine où il importe d'urgence d'approfondir les recherches.

L'un des quelques points sur lesquels tous les observateurs sont unanimes, c'est que la viande « sauvage » est d'ordinaire beaucoup moins grasse que la viande de bœuf ou de mouton et qu'elle répond donc particulièrement bien aux besoins actuels des fabriques de conserves de viande. Bien que l'absence

de graisse rende, dit-on, leur viande moins succulente que celle du bœuf, elle a dans la plupart des cas, si l'abattage et la préparation ont été satisfaisants, un goût agréable, elle est tendre et n'a pas une saveur forte de gibier. En outre, le rendement d'abattage ou poids carcasse des animaux sauvages est souvent supérieur à celui que l'on obtient avec des bovins. A l'heure actuelle, les données expérimentales sur les avantages ou les inconvénients de l'utilisation de la faune sauvage pour la production de viande et comme source de revenu pour l'éleveur sont en nombre insuffisant et de nature contradictoire. Pour se prononcer en connaissance de cause sur la productivité à long terme des différentes formes d'utilisation des terres avec ou sans faune sauvage, il est nécessaire de recueillir bien davantage de données concrètes et détaillées sur les facteurs en jeu. Malheureusement, malgré l'urgence des besoins, peu de spécialistes s'y intéressent à l'heure actuelle, et les moyens matériels et financiers consacrés à ces travaux sont insuffisants. Si l'on ne fait pas dans l'immédiat un effort de recherche beaucoup plus soutenu, on risque de laisser passer l'occasion. En effet, l'expansion actuelle de l'élevage des bovins (avec clôture des terres, élimination de la faune sauvage, modification de la végétation, etc.) est si rapide qu'elle risque de supprimer à jamais la possibilité d'exploiter rationnellement la grande faune sur d'immenses superficies du globe, même si se dégagent ultérieurement des arguments irréfutables en faveur des avantages biologiques et économiques de cette activité. On peut escompter recueillir plus tard les preuves de ces avantages si l'on examine les résultats des efforts actuellement déployés en Afrique méridionale, orientale et centrale et en Australie pour produire de la viande à partir des grands herbivores. En effet, bien que les conditions financières soient très rigoureuses et que les connaissances sur les principes et techniques d'exploitation et d'utilisation rationnelles de la faune sauvage soient limitées, quelques-uns des programmes effectués ont permis d'ores et déjà d'obtenir des résultats encourageants.

L'idée d'exploiter la faune sauvage au Transvaal est un concept admis qui ne cesse de se répandre : son application s'oriente dans des voies diverses. Quelques exploitations prospères s'utilisent que des espèces sauvages, d'autres combinent l'élevage des bovins avec l'utilisation d'une ou de plusieurs espèces de mammifères sauvages, une d'entre elles associe la culture du maïs à l'exploitation du blesbok. Depuis une vingtaine d'années on vend des animaux vivants pour le repeuplement et cette activité ne cesse de prendre de l'ampleur. On vend également de la viande fraîche sur le marché libre ou à titre privé. L'une des leçons à tirer de cette expérience du Transvaal est donc qu'il n'y a pas une seule, mais de multiples manières d'exploiter la faune sauvage, et que l'utilisation des grands mammifères s'est déjà faite sur une vaste échelle et a déjà été intégrée à plusieurs autres types d'utilisation des terres.

En Rhodésie, la viande fournie par les animaux sauvages venant s'ajouter à la viande d'animaux d'élevage a, paraît-il, permis en 1964 à 80 000 personnes de bénéficier d'une ration hebdomadaire de viande de plus d'un kilo. En tout, 33 ranchs d'animaux sauvages fonctionnaient et pour 14 d'entre eux le gibier constituait une source importante de revenus supplémentaires. Bien que des permis aient été délivrés pour l'abattage de 35 776 animaux, 34 % seulement ont été abattus. Ce faible pourcentage est dû à plusieurs raisons, au nombre desquelles figurent les maladies, mais dont les plus importantes sont les difficultés que soulèvent l'abattage, le traitement et la commercialisation de la viande.

En Australie, on estime qu'un million et demi environ de marsupiaux (essentiellement des kangourous rouges et gris) sont abattus chaque année, essentiellement pour leur peau; mais une quantité considérable de viande de kangourou est vendue sous forme d'aliments pour animaux domestiques en Australie même et, depuis quelques années, exportée au rythme annuel de 4 000 tonnes. Cette industrie n'est pas soumise à un contrôle strict et on ne dispose pas à son sujet de statistiques précises. On pense toutefois que son rapport annuel dépasse actuellement le million de dollars australiens. A l'encontre toutefois de l'exploitation planifiée de la grande faune africaine, le massacre des kangourous en Australie n'obéit la plupart du temps à aucun critère d'âge, de sexe ou d'espèce. Il se traduit d'ores et déjà par une réduction sensible de l'effectif de certaines espèces en plusieurs endroits, et risque, s'il se poursuit, d'aboutir à l'extermination de certaines d'entre elles dans des régions où elles abondaient autrefois. Dans tout programme d'exploitation de la grande faune, l'abattage des animaux doit être régi par des principes très stricts visant à maintenir dans la population survivante l'équilibre des sexes et des âges permettant à l'espèce de se perpétuer. De toute évidence, l'objectif premier de tout programme d'exploitation doit être la conservation à long terme de la ressource qui en est l'objet.

Les premiers essais d'exploitation de la grande faune en tant que source de viande n'ont pas toujours rencontré un très grand succès; ils se sont heurtés, le plus souvent, à l'absence de techniques adéquates d'abattage, de traitement et de commercialisation. Alors par exemple que 3 000 éléphants sont abattus chaque année en Tanzanie, dans le cadre d'opérations de réforme ou de vérification, 5 % seulement environ de la masse de viande totale qu'ils représentent sert à la consommation humaine. On a calculé de même qu'en Ouganda on n'exploite actuellement qu'une faible partie du potentiel de nourriture carnée que représente le gibier réformé chaque année, et qui dépasse de loin 2 000 tonnes. Aussi convient-il de souligner la nécessité de mettre au point d'urgence des techniques judicieuses et économiques d'abattage, de traitement et de commercialisation.

Le colloque sur « La conservation de la nature et de ses ressources dans les nouveaux États d'Afrique » qu'avaient organisé en 1961 le CCTA et l'UICN en Tanzanie avait abouti à la conclusion suivante : « Les expériences effectuées dans diverses parties du continent africain (est, centre et sud) montrent qu'il est possible d'organiser l'abattage des animaux sauvages et d'en tirer d'importantes quantités de viande bon marché. La mise au point de techniques d'abattage et de traitement implique toutefois un travail considérable, et il convient d'étudier de façon détaillée divers aspects de l'exploitation du gibier (aspects économiques, maladies des animaux, moyens de commercialisation), avant de pouvoir passer à une application généralisée de projets de cet ordre, qui posent de nombreuses difficultés pratiques aux divers stades de la production, du traitement et de la commercialisation. L'exploitation rationnelle de la faune sauvage suppose que soient préalablement menés à bien un grand nombre de travaux de recherche fondamentale. »

Depuis 1961 l'exploitation de la grande faune pour la production de viande a fait de grands progrès. Par exemple, en 1967, dans la vallée du Luangwa (Zambie), on a réussi à abattre et à traiter 300 éléphants et à transporter et vendre la viande fraîche moyennant une perte financière minime.

L'urgente nécessité d'un vaste programme de recherches sur les problèmes

écologiques, sociologiques et économiques que posent l'aménagement et l'exploitation de la grande faune a été soulignée à plusieurs reprises lors de la Conférence internationale sur l'exploitation de la grande faune dans les pays en voie de développement qui s'est tenue à Bad Godesberg (République fédérale d'Allemagne) en 1964. Cette nécessité ainsi reconnue a fait l'objet de la recommandation générale ci-après qui a été adoptée à la fin de la conférence : « Seules des connaissances accrues en matière d'aménagement de la faune sauvage nous permettront de résoudre les problèmes nouveaux qui se posent à nous. Il devient de plus en plus nécessaire de mettre sur pied un vaste programme de recherches dans les divers domaines : écologie, économie, sociologie, science vétérinaire, agriculture, sylviculture et santé publique, qui sont liés à l'exploitation de cette faune. Il convient d'encourager les chercheurs à se grouper pour mener à bien cette tâche. »

L'objectif essentiel de ces travaux devant être de permettre une exploitation productive, il convient d'étudier tout particulièrement les habitats nécessaires aux espèces sauvages, les méthodes d'évaluation des modifications qui interviennent dans les communautés végétales et animales, et les incidences réciproques de l'exploitation et des maladies.

L'étude des maladies est importante en outre parce qu'elle conditionne le succès de l'entreprise de production de viande sauvage, qu'elle influe sur les aspects de la commercialisation qui intéressent la santé publique, et qu'elle permet de déceler les rapports entre les maladies qui affectent le cheptel domestique et celles qui affectent la faune sauvage. Il est donc nécessaire d'étudier sur le terrain, d'une part, l'incidence de la maladie sur les populations d'animaux sauvages dans le cadre de systèmes différents d'exploitation et, d'autre part, les facteurs épizootiques qui peuvent régir la transmission des maladies. Il convient en outre d'effectuer en laboratoire des recherches complémentaires sur la nature et le caractère pathogène d'organismes spécifiques.

Les problèmes d'abattage, de traitement et de commercialisation doivent être étudiés conjointement avec les autres questions qui concernent l'exploitation de la faune sauvage pour la production de viande. Les problèmes d'abattage et de traitement sont différents selon les espèces et les milieux (c'est ainsi qu'ils ne sont pas les mêmes pour le gibier de plaine que pour l'hippopotame ou l'éléphant). La mise en conserve semble être la méthode de traitement la plus prometteuse, mais il faut également étudier les possibilités qu'offrent la fabrication d'extrait de viande, de viande hachée en poudre, et l'utilisation de sous-produits comme le sang et la poudre d'os. La mise au point de techniques de traitement doit se faire en fonction de deux critères : mise de fonds peu élevée, dépenses de fonctionnement minimales et mobilité maximale.

La mise au point d'un abattoir et d'une installation mobiles pour le traitement de la viande de gibier pourrait également présenter un intérêt en ce qui concerne le traitement de la viande de certains animaux domestiques. En effet, il serait souvent utile, en période de sécheresse par exemple, de disposer d'un marché temporaire pour le bétail qui est trop âgé ou en trop mauvais état pour suivre jusqu'au bout l'itinéraire normal du troupeau et de qualité trop médiocre pour pouvoir se vendre sur les marchés à viande ordinaires. Seul un abattoir mobile permettrait de tirer parti de ces animaux.

Il est tout aussi essentiel d'étudier et de développer la commercialisation des produits et sous-produits du gibier. Pour la plupart des produits autres

que les trophées et les peaux, les meilleurs débouchés sont probablement les lieux mêmes d'origine du produit; il est important néanmoins d'étudier quels débouchés peuvent s'offrir, à l'étranger, pour des produits comme les peaux, l'ivoire, l'extrait de viande et la viande en conserve.

On a souvent suggéré qu'il pourrait être réalisable et avantageux de domestiquer certaines espèces sauvages pour les élever dans des ranchs.

Nombreux sont les animaux d'espèces diverses que l'on a apprivoisés individuellement, dont on a fait des animaux familiers, et qui pourraient être domestiqués; l'élan est toutefois l'un des seuls dont on ait fait des animaux domestiques ordinaires et que l'on ait étudiés à cet égard. Mais l'expérience reste d'une portée restreinte et les données qui s'en dégagent sont encore peu nombreuses; elles suggèrent toutefois que l'élan croît rapidement, produit du lait en abondance, n'a besoin que de peu d'eau et se prête au traitement que subissent d'ordinaire les autres animaux. La possibilité de faire de l'élan un animal de ferme est étudiée non seulement en Rhodésie, mais également dans la région de Karamoja, et il existe de petits troupeaux d'élans « apprivoisés » en Tanzanie. En URSS on utilise depuis le début du siècle des troupeaux d'élans domestiques. Dans ce pays également de bons résultats ont été obtenus avec le cerf (*Cervus nippon* et *Cervus elaphus*). Si l'élan et le cerf semblent les espèces les plus aptes à la domestication, il n'en faut pas moins étudier les possibilités qu'offrent dans ce domaine d'autres herbivores comme le zèbre, le buffle, l'oryx et certaines parmi les petites espèces de gazelles.

La possibilité de croiser animaux sauvages et animaux domestiques, en vue d'améliorer certaines races, mérite aussi d'être étudiée. C'est ainsi qu'on a réussi à produire, par croisement du mouton sauvage des montagnes (arhar) et du mérinos domestique, une nouvelle race de mouton, appelée « arharomérinos », particulièrement bien adaptée aux conditions des montagnes du Tian'-Chan' (URSS). Des expériences intéressantes se poursuivent actuellement sur les hautes terres du Pérou, où l'on essaie d'obtenir des hybrides de la vigogne et de l'alpaga qui fourniraient une plus grande quantité de laine de qualité supérieure.

Pour progresser plus avant en domestication, il est nécessaire d'entreprendre des recherches expérimentales sur une grande échelle. L'enthousiasme de certains individus isolés, travaillant au jour le jour et de façon temporaire, leur a permis de domestiquer de petits troupeaux d'élans et même, dans certains cas, d'« apprivoiser » un buffle, un zèbre ou une gazelle, etc. Ce qu'il faut maintenant, ce sont des recherches détaillées, menées dans des ranchs, sur la possibilité d'élever d'une part des troupeaux exclusivement composés d'animaux semi-domestiqués et d'autre part des troupeaux où leur seraient adjoints bovins ou ovins.

LA CHASSE COMMERCIALE OU SPORTIVE DANS LES RÉGIONS A FAUNE SAUVAGE ET LA CHASSE PRATiquÉE PAR LES POPULATIONS LOCALES

L'exploitation rationnelle des mammifères sauvages pour la chasse sportive ou comme partie intégrante de la vie de la tribu se révèle dans une certaine mesure plus complexe que l'exploitation rationnelle d'animaux domestiques ou semi-domestiques. La pratique de la chasse sans restriction peut aboutir à l'extermination complète de certaines espèces ayant une grande valeur

commerciale, comme par exemple les morses dans les eaux côtières du Kamtchatka, ou à une décimation considérable (comme cela a été le cas au début du siècle pour les castors et les zibelines en URSS).

La chasse commerciale et sportive

L'exploitation rationnelle des animaux sauvages doit reposer sur une connaissance de l'écologie de l'espèce en cause, de ses mœurs en matière d'alimentation et de reproduction, de sa structure par âge et par sexe, de sa dynamique, etc. Cette exploitation doit être organisée sous la direction de spécialistes ayant des connaissances suffisantes pour pouvoir l'assurer de façon rationnelle, ce qui suppose que l'on est parvenu à déterminer un niveau acceptable de chasse. Ce niveau doit varier selon le rythme de reproduction et la structure propre à la partie exploitée de la population. Un cycle d'évolution court et un taux de reproduction élevé impliquent un taux d'élimination plus important qu'un cycle long, une structure d'âges complexe et un taux de reproduction faible.

Il est évident également que le taux d'élimination acceptable variera d'une année à l'autre selon l'état de la population. L'organisation rationnelle de la reproduction est un moyen important d'accroître la productivité de cette population.

Il est particulièrement important à cet égard d'effectuer des études génétiques, en relation notamment avec l'âge. Une sélection systématique permet d'améliorer également la productivité de la population naturelle. Faire baisser la mortalité naturelle est un moyen efficace d'augmenter la productivité d'une population utile. Il faut toutefois, à cet égard, se montrer extrêmement prudent en ce qui concerne les bêtes de proie et éviter de rompre sans y prendre garde l'équilibre naturel de l'écosystème. C'est ainsi qu'il faut prendre grand soin, lorsque l'on supprime les prédateurs pour protéger une espèce utile, de ne pas supprimer en même temps ceux qui se nourrissent des animaux qui sont les concurrents naturels de cette espèce, sous peine de provoquer une diminution de la quantité de nourriture disponible pour l'ensemble de la population et, à long terme, une baisse de sa productivité.

La chasse pratiquée par la population locale

On se trouve ici dans une situation beaucoup plus difficile à contrôler. C'est ainsi qu'en Afrique occidentale et dans de nombreuses régions tropicales d'Amérique latine les divers systèmes d'exploitation du gibier font partie intégrante de la vie de la tribu ou de la collectivité.

Dans certains pays comme le Ghana, plus de 80 % des protéines consommées le sont sous la forme de gibier et il existe dans ces pays un système traditionnel complexe auquel participent chasseurs, bouchers, transporteurs, etc. En fait, il doit certainement être possible d'améliorer les coutumes traditionnelles générales pour en faire un système rationnel qui assurerait la survie du bétail dont dépendent les populations locales.

En Amérique tropicale, d'où sont absentes les nombreuses variétés d'ongulés de la savane africaine, il semble que plusieurs espèces sylvestres présentent un haut potentiel de production alimentaire commerciale. Citons plus particulièrement les animaux appartenant aux genres suivants : *Hydrochoerus*, *Cuniculus*, *Dasyprocta*, *Dasypus*, *Tapirus* et *Tagassu*, qui tous sont actuelle-

ment chassés pour leur viande, celle-ci occupant une place importante dans le régime alimentaire des populations locales. Une fabrique de conserves fonctionne depuis peu en Colombie orientale avec comme produit de base la viande du grand cabiai (*Hydrochoerus*), rongeur de grande taille que les éleveurs locaux détruisent souvent, parce qu'ils l'accusent de se nourrir d'herbe au détriment du bétail, comme c'est le cas pour le gibier africain. Cela a déjà entraîné, dans plusieurs régions, une baisse considérable de leur nombre. De toute évidence, si les activités de la population locale qui chasse pour subvenir à ses propres besoins n'ont pas nécessairement d'incidence sur l'effectif des animaux sauvages, il en va tout autrement dès qu'intervient une exploitation commerciale sans organisation rationnelle.

CONCLUSIONS

Il est prévisible qu'au cours des vingt prochaines années, les techniques modernes de production et de commercialisation entraîneront une utilisation croissante des terrains de parcours au profit du bétail domestique. Dans nombre de pays, les plans de développement prévoient de vastes programmes de clôture des terres, d'élimination de la mouche tsé-tsé, d'aménagement hydraulique, de lutte contre les tiques, ainsi que d'amélioration des itinéraires du bétail et des systèmes de commercialisation. Les grands ranchs d'élevage appartenant à des sociétés, à des coopératives ou à des personnes privées ne cessent de se multiplier. Cette évolution ne peut qu'avoir des incidences considérables sur les populations d'animaux sauvages, notamment sur le gibier de plaine actuellement concentré dans ces régions, et de nombreuses espèces sauvages courent un risque de plus en plus grand d'être exterminées ou, au mieux, parquées dans des réserves nationales.

Parmi ceux qui préconisent le plus énergiquement l'intensification de l'élevage de bovins, de chameaux, de moutons et de chèvres dans toutes les zones de parcours, certains soutiennent que tous les animaux sauvages devraient être parqués dans des réserves nationales et éliminés des régions vouées à l'habitat humain et à l'élevage domestique. Selon eux, la coexistence d'animaux sauvages et des bovins ou ovins est à éviter, car les animaux sauvages endommagent les travaux hydrauliques et prélèvent une part de fourrage extrêmement précieux, en particulier en périodes de sécheresse. Cet argument ne correspond pas à la réalité; de nombreux exemples montrent en effet que, dans la plupart des continents, certaines espèces d'animaux sauvages ont survécu à une chasse intensive et aux changements d'habitats provoqués par les exploitations agricoles. De plus, certaines espèces, qui peuvent constituer un réservoir de maladies dangereux, même s'il n'est que latent, sont plus abondantes encore après la mise en exploitation agricole. Il n'est malheureusement que trop facile toutefois d'exterminer plusieurs espèces d'animaux sauvages en cherchant à réaliser l'impossible, c'est-à-dire à les exterminer toutes.

Pour d'autres, également soucieux d'accélérer l'expansion de l'élevage domestique, la présence d'animaux sauvages n'est pas nécessairement contraire aux intérêts à long terme de l'éleveur. Il semble, d'après des indications récentes, que quelques herbivores sauvages soient mieux adaptés à l'écologie de certains terrains de parcours que le bétail domestique et soient supérieurs à ce dernier sur le plan du rendement par mètre carré en viande et autres produits propres

à la vente. De plus, il est possible, en associant des animaux sauvages à des bovins et ovins domestiques, d'améliorer sensiblement la productivité d'une région, car les deux catégories d'animaux ont des préférences alimentaires différentes et complémentaires. De même, notamment dans les savanes sèches, l'existence d'une faune sauvage diversifiée présente souvent un intérêt direct pour l'élevage, car elle contribue à maintenir l'équilibre voulu entre le sol, l'herbe et la brousse.

Il y a par ailleurs des régions du monde où il est absolument impossible d'élever du bétail domestique, et d'autres où cela ne devient réalisable qu'au prix d'investissements considérables pour des travaux d'irrigation, pour l'élimination de la mouche tsé-tsé, le traitement prophylactique du bétail contre la trypanosomiase, ou la lutte contre les tiques. Dans ces régions, en revanche, certaines espèces d'animaux sauvages, sur lesquelles n'ont pas pris les organismes parasites transmis par les mouches ou les tiques et qui n'ont pas besoin pour vivre d'autant d'eau que le bétail domestique, peuvent être exploitées naturellement, sans grandes dépenses d'équipement. Dans d'autres régions, qui se prêtent également bien à l'élevage de bétail sauvage ou de bétail domestique, mais où la cohabitation de ces deux catégories de bétail n'est pas possible en raison de facteurs épizootiques ou de certaines limitations d'ordre alimentaire, des recherches et des prospections sont nécessaires pour découvrir quelle est la forme d'utilisation des terres la plus efficiente à long terme.

ANNEXE. Caractéristiques et besoins correspondant aux différents stades de l'élevage

Caractéristiques	Améliorations et travaux de recherche qui s'imposent plus particulièrement en ce qui concerne l'habitat, les animaux et la structure économique et sociale	Mesures nécessaires sur le plan des institutions
------------------	--	--

STADE A

Pasteurs nomades ou semi-nomades dont le troupeau est l'unique ressource. Agriculteurs itinérants. Terres détenues par les collectivités conformément à la tradition. Faible niveau d'instruction et de compréhension politique. Généralement peu d'esprit de coopération avec le gouvernement. Bien qu'elles aient parfois les moyens virtuels d'être riches, ces populations ont souvent un niveau de vie très bas et parviennent rarement à subvenir à leurs besoins autres qu'essentiels. Les troupeaux se déplacent selon un cycle annuel régi par les pluies et les crues, qui déterminent les ressources en fourrage et en eau.

Mesures de conservation des sols. Lutte contre les épizooties. Des mesures spécifiques destinées à améliorer le rendement de l'élevage (programmes de pacage, campagnes de réduction des troupeaux, etc.) ont peu de chances de réussir. Éducation générale. Mesures préventives contre les vols de bétail. Nécessité de développer le sens des valeurs monétaires, de susciter l'appétit des biens de consommation et de diversifier le régime alimentaire.

Création d'écoles et de services d'éducation des adultes. Nécessité d'une administration et d'une police fortes. Perfectionnement des magasins et des services de propagande en faveur d'une amélioration de l'alimentation, du logement, des soins aux enfants et de l'élevage. Propagande politique constructive. Contrôle vétérinaire rigoureux. Mise sur pied d'une organisation de commercialisation efficace avec des itinéraires adéquats pour le bétail et des emplacements de mise en quarantaine.

STADE B

Collectivités fixes ayant un régime foncier comportant l'inscription sur un registre et la reconnaissance légale de la propriété, individuelle ou coopérative. Économie monétaire dans laquelle le bétail est une source admise de revenus. Appréciation de la qualité du bé-

Présence d'eau sur chaque propriété. Amélioration des systèmes de pâture pour éviter l'érosion, limiter les pertes dues à la sécheresse et accroître les prélèvements de bêtes. Services de lutte contre les épizooties (par exemple services de baignades). Possibilité

Services vétérinaires collaborant étroitement avec l'administration régionale. Organisation d'enclos de reproducteurs ou d'un service d'insémination artificielle. Services de conservation des sols et d'aménagement hydraulique. Centres de formation agricole et ser-

tail en tant que facteur économique. Acceptation des mesures antiépizootiques.

d'améliorer la qualité du troupeau en utilisant des reproductions de qualité supérieure. Organisation d'un système de commercialisation efficace et équitable. Prévention du vol et du transfert illégal d'animaux. Installations de distribution et de traitement du lait.

vices de vulgarisation. Coopératives de distribution du lait, des œufs, des cuirs et peaux. Facilités de crédit pour l'amélioration de l'équipement.

STADE C

Fermes ou ranchs individuels ou coopératifs clôturés, irrigués et desservis par des moyens de communication adéquats. Lutte contre les maladies, au niveau de chaque animal plutôt qu'au niveau du troupeau. Système plus élaboré de commercialisation comportant des coopératives qui participent à la production aussi bien qu'à la distribution et à la vente. L'exploitation ne dépend plus exclusivement du travail familial.

Programmes d'amélioration du bétail (contrôle des aptitudes et de la descendance, par exemple). Renseignements agricoles divers, notamment sur l'amélioration des méthodes d'élevage et les problèmes d'exploitation. Organisation pour le traitement et la commercialisation des produits à l'étranger aussi bien que sur le plan national.

Centres de formation et services de vulgarisation agricoles portant notamment sur l'élevage et l'exploitation. Services régionaux de recherche et de démonstration. Sociétés, clubs, foires agricoles, etc. Meilleures organisations de crédit, services de commercialisation.

STADE D

Ensembles économiques modernes à mécanisation poussée, employant une main-d'œuvre salariée. Bétail de bonne qualité et sélection généalogique. On se préoccupe particulièrement de la santé de chaque animal et de la très haute qualité de la production.

Information très poussée sur la santé, la sélection et la production animales. Les garanties contre le vol de bétail peuvent être d'importance déterminante. Garanties à long terme destinées à attirer les gros investissements, souvent d'origine privée ou étrangère.

Stations de recherche et services efficaces de vulgarisation. Écoles d'agronomie. Services vétérinaires et centres de diagnostic privés. Informations agricoles à la radio et dans la presse.

La préservation des régions et des écosystèmes naturels : la protection des espèces rares et menacées

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet soumis par le professeur Stanley A. Cain (États-Unis), commenté et complété par Vladimir Sokolov (URSS), Frederick Smith (États-Unis d'Amérique), Kai Curry-Lindahl (Suède), José Candido de Melo Carvalho (Brésil), O. Frankel (Australie), P. Scott (Royaume-Uni) et par les secrétariats de l'Unesco et de la FAO.

INTRODUCTION

Cette étude porte sur deux questions qui sont souvent étroitement liées aussi bien dans la nature que dans les activités humaines. La protection des espèces rares et menacées implique en général la protection des écosystèmes par le biais de la sauvegarde des habitats nécessaires à ces espèces.

La première chose à faire, dans le cadre d'un examen de ces questions, est de définir très clairement les éléments du problème : régions et écosystèmes naturels, espèces rares et espèces menacées.

LES RÉGIONS NATURELLES

Pour le grand public, une région naturelle est une région sur laquelle l'influence de l'homme est minimale. La formation des collines et des vallées, des sols et des cours d'eau, des flores et des faunes est un processus entièrement naturel. Les régions naturelles que constituent les parcs nationaux et les réserves d'animaux sont en général d'origine cadastrale et constituées à des fins de préservation par la société. De ce fait, elles ont couramment des limites artificielles. Mais, dans des régions écartées, d'autres régions naturelles subsistent en tant que vestiges de zones auparavant inaccessibles à la civilisation.

Pour le spécialiste de l'écologie, une région naturelle n'est pas uniquement une région où l'influence de l'homme est minimale; elle se définit par ses propres caractéristiques naturelles, qui sont celles du milieu physique et celles des formes de vie qu'elle abrite si nous nous plaçons sur le plan écologique, alors

que si nous nous situons uniquement sur le plan physique, on peut distinguer des régions naturelles caractérisées par leur climat, leur sol, leurs structures géologiques ou leurs caractéristiques hydrologiques, par exemple. Dans l'optique de la préparation d'une conférence sur la biosphère, nous adopterons plutôt le point de vue écologique. En tout état de cause, nous ne nous occupons aucunement à ce stade de régions dont les caractéristiques (villes, lacs artificiels, exploitations agricoles intensives, prés, forêts de plantation et viviers) sont essentiellement le fruit de l'activité humaine.

Le terme de « région » implique à la fois une certaine étendue et une limite. Ni l'une ni l'autre ne sont arbitraires, puisque la région se définit par son caractère naturel. Il n'est pas exclu pour autant qu'une région naturelle donnée ait des caractéristiques communes avec des régions voisines, ou même avec des régions fort éloignées, mais elle doit, pour constituer une région naturelle biologique, posséder des caractéristiques distinctives, comme par exemple la présence de certaines espèces ou de certaines communautés animales et végétales. Une région peut être petite ou très étendue; sa superficie n'est pas en elle-même une caractéristique déterminante. Elle doit toutefois être suffisamment homogène pour constituer un tout. Lorsque cette homogénéité fait défaut, notamment lorsque les caractéristiques déterminantes disparaissent, on atteint la limite de la région. S'il est parfois possible d'établir la limite entre deux régions naturelles adjacentes avec une précision telle qu'un homme peut avoir un pied dans chacune d'elles, il est beaucoup plus fréquent de trouver une zone de transition plus ou moins vaste, généralement appelée écotone.

En fait, il n'existe pas de région naturelle si l'on entend par là une région qui se distingue de toutes les autres régions par toutes ses caractéristiques. C'est l'homme qui détermine quelles sont, parmi les caractéristiques naturelles des régions, celles qui lui paraissent distinctives et peuvent servir à délimiter cette région géographiquement, qui permettent d'avoir recours à la notion de « type » pour classer les régions, et qui peuvent être utiles pour l'aménagement et l'utilisation des ressources naturelles de la région en question. Ce processus qui consiste à choisir ou à isoler certaines caractéristiques « diagnostiques » parmi la quasi-infinité de celles dont est dotée une région naturelle, répond de toute évidence à des objectifs humains. En ce sens, le caractère « naturel » d'une région est fonction en grande partie de ce que l'homme compte en faire. Cette façon de procéder n'a rien d'exceptionnel. Elle est indispensable au succès de l'homme dans ses rapports avec la nature. C'est une démarche qui consiste à simplifier et à classer un ensemble complexe de phénomènes connexes et qui est nécessaire à la perception, à la compréhension, à l'aménagement et à l'utilisation des ressources naturelles.

Une région naturelle, géographiquement localisée sur une superficie donnée avec des limites connues, est rarement unique; le plus souvent, elle n'est qu'un élément d'une série de régions analogues qui, ensemble, constituent un type de régions naturelles tout en étant plus ou moins dispersées. Il ne faut pas plus escompter une totale comparabilité des régions appartenant à un même type que la parfaite homogénéité d'une caractéristique propre à une région donnée dans l'ensemble de cette région. Là encore, c'est l'homme qui détermine quel est le degré requis d'homogénéité au sein d'une région et d'analogie entre les régions appartenant à un même type. Cet élément d'incertitude est inévitable et ne diminue guère l'utilité de ces « images » simplifiées de la nature.

Les observations qui précèdent reflètent les préoccupations de l'écologiste

et du biogéographe. Il est évident que, contrairement à l'opinion du non-spécialiste, beaucoup de réserves constituées par l'homme comprennent un nombre plus ou moins grand de régions naturelles. Par ailleurs, une réserve mal choisie peut ne posséder les caractéristiques d'aucune région naturelle en nombre suffisant pour que soit sauvegardée la très grande variété d'espèces caractéristiques de cette région, et que puissent survivre des espèces comme l'aigle et l'élan, auxquels de vastes étendues sont nécessaires. Une réserve ne constitue donc pas nécessairement une région naturelle.

LES ÉCOSYSTÈMES

Un écosystème est un agencement d'organismes vivants et de leur milieu en un système d'action réciproque, qui est lui-même le fruit d'une série d'interactions : interactions au sein des domaines végétal et animal, influence réciproque de ces deux domaines, ainsi que de tous les organismes vivants et du milieu physique.

L'écosystème qui se prête le mieux à une définition satisfaisante est celui que constitue notre univers. Il s'agit cependant, même dans ce cas, d'un système ouvert caractérisé par un échange d'énergie constant et d'une importance primordiale avec l'espace extra-atmosphérique et, dans une certaine mesure, par l'échange de matière (entrée de météorites et, depuis peu, sortie d'engins spatiaux).

Au sein de l'écosystème que constitue notre globe, nous pouvons distinguer des sous-systèmes tels que l'atmosphère, l'hydrosphère, la lithosphère et la « biosphère », qui fait l'objet de la présente conférence. Au sein même de la biosphère, certains d'entre nous jugent le concept de noosphère à la fois intéressant et utile pour comprendre quels sont les traits dominants de l'esprit humain, spécialement sous l'angle d'un réseau moderne de moyens de communication à l'échelle du monde.

Les caractéristiques de l'écosystème univers susceptibles d'être étudiées scientifiquement sont intéressantes par elles-mêmes, qu'il s'agisse des modifications du pourcentage de gaz carbonique dans l'atmosphère, du cycle de l'azote, des grands schémas météorologiques mondiaux, de la circulation océanique, de la surface de discontinuité océan-atmosphère, des grandes lignes de l'histoire astronomique et géologique, de l'évolution biologique ou des tendances actuelles de la biogéographie.

A une échelle moindre, nous touchons à des notions et des ensembles qui sont compréhensibles pour l'homme de la rue : la distinction entre continents et océans, le fait que l'océan Indien et les mers arctiques, l'Australie et le Groenland, l'Afrique et l'Amérique constituent des entités distinctes les unes des autres. Nous en arrivons enfin à des questions d'un intérêt plus direct pour la présente conférence en concentrant notre attention sur la biosphère (sans négliger ses corrélations avec le reste de la nature).

Mais le processus de sélection des habitats végétaux et animaux intervient sur un plan beaucoup plus circonscrit. Bien qu'il existe dans chaque grande communauté biotique des genres, ou peut-être même des espèces, très divers, on les distingue essentiellement par leur aspect extérieur. C'est ainsi que la communauté biotique que constitue une forêt peut être subdivisée en un certain nombre de groupes plus homogènes sur le plan biologique et mésologique en

fonction de critères tels que, par exemple, l'aspect des feuilles (caduques ou persistantes), la hauteur des arbres, le nombre des strates (*synusiae*), l'abondance des espèces, l'homogénéité, le caractère dominant d'une ou de plusieurs espèces ou l'absence de toute dominante. C'est ainsi que nous en arrivons à la notion de forêt en tant que type (ou « association » ou tout autre terme technique), au sein duquel s'opère une hiérarchisation en groupes.

Ce processus analytique peut donc être poursuivi de la sorte jusqu'à une très petite échelle, et aboutir à la définition de paramètres très précis pour certains écosystèmes. On peut tout aussi bien parler du micro-écosystème essentiellement aquatique d'une feuille de sarracénie que du macro-écosystème de la biosphère.

En revanche, s'il est possible de parler de l'écologie d'un organisme individuel ou d'une espèce, on ne saurait les considérer comme des écosystèmes. L'individu est toujours une partie d'un écosystème et, s'il a une écologie, il n'a pas d'écosystème qui lui soit propre à l'exclusion de tout autre organisme vivant. Du point de vue de l'aspect biologique des organismes vivants et du milieu, c'est la communauté des groupes organisés végétaux-animaux qui est essentielle au concept d'écosystème.

Si l'on voit aujourd'hui dans les écosystèmes les unités fondamentales de la nature (exception faite des phénomènes moléculaires), c'est à la suite d'études qui ont porté sur les communautés naturelles et notamment sur le cycle minéral, sur le transfert d'énergie qui se produit dans le cadre des chaînes de nutrition, sur les phénomènes du comportement, et sur l'influence réciproque des processus vitaux et du milieu physique. Aucun argument philosophique ou scientifique ne s'oppose toutefois à ce que l'on applique le concept d'écosystème à des situations où l'action de l'homme est très marquée, et ce non seulement dans des domaines comme l'agriculture, l'élevage, la sylviculture, l'halieutique et l'aménagement de la faune sauvage, mais également dans les secteurs les plus urbanisés et les plus industrialisés. Il est indispensable et urgent de s'attacher à l'étude, à la compréhension et à l'aménagement des écosystèmes dont l'homme est le centre et l'élément dominant si l'on veut éviter qu'il ne détruise les bases mêmes de sa survie.

PRÉSERVATION DES RÉGIONS NATURELLES ET DES ÉCOSYSTÈMES

Nous en sommes aujourd'hui à un moment de l'histoire où le besoin d'« aménagement des paysages » ou de « planification régionale », appellations fréquentes parmi d'autres, se fait pressant et où on commence à en prendre conscience. Le processus recouvre plus que l'habituel aménagement du milieu, ou planification des exploitations, planification de la mise en valeur des ressources, urbanisme, aménagement des parcs naturels, etc., tel qu'on l'entend généralement. C'est une planification d'ensemble, conçue par le secteur public et le secteur privé à la fois, émanant de plusieurs institutions et revêtant un caractère multidisciplinaire, et qui n'est possible que lorsqu'on a pris conscience de l'existence et de la nature des écosystèmes naturels et humains. Il s'agit de « planification écologique ».

Si l'on ressent actuellement cette nécessité (et ce n'est encore que de façon élémentaire), c'est en raison de l'échec des efforts de caractère traditionnel,

à objectif limité, par lesquels on a voulu faire face aux besoins de l'homme, alors que la possibilité existe d'arracher à la nature les ressources nécessaires à cette fin. La planification habituelle, à objectif limité, telle qu'elle est pratiquée par le secteur public et le secteur privé, a changé l'existence de l'homme. Elle a donné l'abondance à certains peuples et à certaines nations, une abondance dont les peuples voudraient tous bénéficier. Elle a fait naître un espoir chez les pauvres, les défavorisés, les parias, mais elle s'est révélée incapable de faire face aux besoins de l'humanité, dans les pays riches comme dans les pays pauvres, dans les villes comme dans les campagnes. Ce qu'on a appelé « la révolution des espérances qui montent » ne peut se faire dans les pays pauvres et très peuplés, tandis que dans les pays riches, on commence à concevoir combien coûtent cher la remise en état, puis l'entretien d'un milieu dont la qualité doit convenir à la vie de l'homme.

Contrairement à ce que certains ont pu s'imaginer, il n'y a pas une terre promise qui attend quelque part l'humanité — un Éden ou une Utopie où il n'y aurait qu'à entrer pour cueillir toutes les joies de l'existence. Ce milieu idéal, c'est l'homme lui-même qui doit le créer, sur le terrain vague chaotique et inadapté qu'est devenue notre Terre après avoir été malmenée pendant des siècles — l'homme n'ayant cessé d'user et d'abuser de sa puissance pour détériorer son milieu.

La préservation des régions naturelles et des écosystèmes mérite entièrement l'intérêt qu'on lui porte actuellement, et l'on peut même soutenir qu'elle revêt une importance vitale, mais il faut l'envisager à côté d'autres besoins humains qu'il faut satisfaire également. Au nombre des difficultés auxquelles on se heurte en matière de préservation de la nature, il y a le fait que, dans le passé, on ne s'est imposé aucune limite, et que la demande est désormais supérieure à l'offre. La méthode scientifique, qui est à la base des progrès qui ont fait notre monde moderne et technique, n'a guère été utilisée efficacement dès lors qu'il s'agissait de l'homme lui-même, et l'on ne s'en est pas servi non plus complètement lorsqu'il s'agissait de l'utilisation de la terre, du moins dans un grand nombre de pays.

C'est ainsi qu'il y a une ironie tragique dans l'usage scientifique qu'on a fait des progrès de la médecine et de la santé publique pour réduire le taux de la mortalité (ce qui est un bien en soi) sans se préoccuper du taux de natalité ou en le faisant tardivement. De même la réforme agraire s'est soldée par des échecs dès lors qu'elle était conçue sous la forme de telle ou telle autre mesure particulière, par exemple sous la forme d'une redistribution de la propriété, sans qu'on ait compris que pour aboutir (dans les limites d'une demande stabilisée), cette réforme impliquait une révolution sociale, c'est-à-dire l'adoption et l'adaptation de techniques d'exploitation, agricoles notamment, la création de services publics chargés de faire connaître les techniques voulues à l'exploitant particulier, la formation de capital qui permet la modernisation de l'exploitation, la mise en place de formules de crédit et la création de débouchés, etc. Du reste, même une fois réunis tous ces éléments, la soif de terre persistera tant que l'équilibre ne sera pas réalisé entre l'offre et la demande, les deux termes de l'équation humaine. D'autres difficultés tiennent à l'insuffisance des institutions gouvernementales et sociales devant permettre une planification globale, intégrée, et la gestion des écosystèmes naturels et humains. Cette insuffisance elle-même s'explique par des obstacles d'ordre idéologique qui entravent une telle planification.

Si on se limite à la question précise de la préservation des régions naturelles et des écosystèmes, on constate qu'il y a actuellement possibilité de planification écologique. Dans presque tous les pays, il existe des régions vierges et, dans certains, de vastes superficies qui n'ont pas été absorbées par les principaux centres d'activité humaine et qui demeurent, sur le plan économique, marginales ou submarginales. Ces régions ont été protégées par leur éloignement, leur topographie ou leur difficulté d'accès, ou bien par le manque de ressources facilement exploitables : minéraux, forêts, terres agricoles riches. C'est dans ces régions, qui sont souvent montagneuses, que l'on peut encore créer des parcs nationaux, des réserves d'animaux sauvages et des centres de préservation de la nature.

On dispose aussi de régions d'un autre type. Dans les premiers temps de l'occupation par l'homme, certaines régions étaient utiles pour le développement d'une économie de subsistance, mais elles ne le sont plus aujourd'hui au regard des besoins d'une agriculture, d'un élevage, ou d'une exploitation forestière industrielle modernes. Ces régions (dont la population en quête d'emploi émigre vers les villes) se prêteraient à une utilisation publique et à un travail de réjuvenation du paysage par la nature elle-même. Là aussi, on pourrait créer des parcs et des réserves d'animaux sauvages, ainsi que, peut-être, de petites zones naturelles de préservation d'écosystèmes et d'espèces rares et menacées. Mais n'y a pas lieu de retenir exclusivement à cet effet des régions demeurées intactes, écartées ou abandonnées. En fait, il existe toujours un moyen de coopérer avec le paysage « vivant » pour atteindre certains des objectifs que nous venons d'esquisser, même dans les zones urbaines et suburbaines.

Si, chez certains, c'est pour des raisons éthiques que chaque espèce a un « droit naturel » à la survie, l'intérêt de l'homme pour la préservation des régions naturelles et des écosystèmes est généralement égocentrique. On célébrera bientôt le centenaire de l'idée même de parc national, qui allie la notion de préservation de la nature à celle de l'agrément que la nature procure à l'homme. Et cette idée a gagné le monde entier pour être aujourd'hui plus vivante que jamais. C'est là qu'est l'atout aujourd'hui majeur de la situation. Pour en profiter au maximum, les puristes doivent renoncer à parler exclusivement de préservation. On ne peut pas non plus compter que le système adopté dans un pays donné, quel qu'il soit, doive ou puisse nécessairement être adopté par d'autres. Si l'on veut donner autre chose qu'une importance symbolique à chacun des systèmes actuellement en vigueur pour la création de parcs nationaux, il faut l'élaborer à partir des conditions physiques propres à chaque pays considéré et le rendre compatible avec les caractéristiques historiques et culturelles de la population visée. Il faut laisser tempérer par les réalités le besoin que l'on peut ressentir de préserver la nature et l'idée que sa préservation est souhaitable.

Cela dit, il reste toutefois que chaque nation, en créant et en utilisant des parcs et zones analogues, doit établir ses plans de manière à protéger au maximum les éléments représentatifs ou uniques des écosystèmes naturels et les espèces rares et menacées. Sur le plan régional, au moyen d'une planification globale de la part des institutions intéressées, à tous les échelons des pouvoirs publics, et grâce à la participation (voire la réglementation) du secteur privé, dans les entreprises situées à l'intérieur et autour d'un parc, il est possible d'assurer une préservation de la nature à un degré hautement souhaitable. Une telle politique sera difficile à appliquer, car, en raison de la pression démo-

graphique, des progrès de l'utilisation des ressources et de l'augmentation des prix des terrains choisis, qui pourraient être affectés à des fins concurrentes, il devient chaque année plus difficile de créer de nouveaux parcs et zones analogues. Cela étant, il importe d'entreprendre des recherches pour déterminer l'intérêt que présente une région donnée, pour la délimiter comme il convient, pour aider à mettre au point des méthodes de gestion, et pour accroître l'agrément du visiteur au moyen de services d'information.

Il convient de faire coopérer les sciences naturelles et les sciences sociales et toutes les techniques qui en dérivent à la planification, à l'élaboration d'une politique générale, à la gestion et à l'utilisation de parcs et de zones analogues. L'élément nouveau, dans le processus, est la mise au point de méthodes multidisciplinaires, multi-institutionnelles, pour aborder un problème complexe, et la conception de rouages sociaux (institutions) devant permettre aux équipes ainsi constituées de fonctionner. On ne peut guère plus se permettre de faire en quelque sorte du bricolage avec les écosystèmes complexes, comme on l'a fait dans le passé sans comprendre qu'il s'agissait en fait de « systèmes ». On voit aujourd'hui à quel point l'action non coordonnée peut être onéreuse. On doit désormais remettre la biosphère en état, dans la mesure du possible, et agir en harmonie avec elle, puisque c'est en définitive pour nous une nécessité.

Il importe tout particulièrement de tirer la leçon des erreurs passées pour ce qui est de la « planification écologique » dans les pays en voie de développement. Le développement étant intimement lié aux aspirations de l'homme, le choix des projets de développement, en ce qui concerne les zones à aménager et la portée des projets, doit absolument répondre aux objectifs à long terme que la planification écologique met en jeu.

PROTECTION DES ESPÈCES RARES ET MENACÉES

Avant d'analyser les politiques ou les techniques propres à assurer la protection, il convient de répondre à trois questions : a) Pourquoi des espèces végétales et animales se font-elles rares et sont-elles menacées d'extinction ? b) Quand on constate que des espèces sont rares et menacées, que peut-on faire ? c) Pourquoi faut-il s'en préoccuper ?

Première question : il y a lieu d'établir certaines distinctions pour préciser notre pensée. Certaines espèces sont « rares » en ce sens qu'elles occupent une aire géographique étendue, mais sont peu représentées, parfois extrêmement peu en n'importe quel point donné de cette aire de répartition. On ne connaît généralement pas avec précision leur effectif. De telles espèces donnent une fausse impression de rareté. Il s'agit probablement d'espèces dont l'amplitude écologique est étroite, et dont l'existence requiert des conditions strictes et précises relativement à leur micro-habitat, notamment quant au microclimat et au substrat. Quand les habitats sont petits et dispersés les uns par rapport aux autres, l'espèce apparaît inévitablement comme « rare ». A moins de preuves du contraire, il n'y a pas de raison de conclure qu'elle soit pour autant « menacée ».

Certaines espèces dont les aires de répartition sont limitées et les populations peu nombreuses sont des reliques de populations anciennes qui étaient géographiquement importantes et dont les effectifs étaient nombreux ; d'autres espèces encore sont parfois des « espèces nouvelles », qui n'ont pas encore eu

le temps de croître en importance géographique et numérique. Dans les deux cas, la survie est peut-être incertaine, quelle que soit l'action de l'homme.

Il y a lieu aussi de tenir compte de populations périphériques ou discontinues de certaines espèces qui ailleurs peuvent être représentées par des populations numériquement importantes dont l'existence paraît assurée. A l'heure actuelle, le groupe principal de ces espèces n'est certainement pas en danger, mais les petites populations séparées du groupe principal peuvent être, elles, menacées d'extinction. Cette situation soulève deux questions : ces populations appartiennent-elles au même groupe taxinomique ? Autrement dit, s'agit-il d'une espèce, ou de deux sous-espèces, ou d'une population relevant de l'espèce et d'une race, ou encore de quelque chose d'autre ? Par ailleurs, cette question est-elle importante ? Cela nous amène à la seconde question : Faut-il se préoccuper autant d'une petite population périphérique ou discontinue lorsqu'il existe ailleurs une population massive qu'on le fait pour une espèce qui, dans le monde entier, n'est représentée que par une population réduite et menacée ? Il convient, ici, de s'arrêter plus longtemps.

On se préoccupe actuellement de la préservation de la petite population de lions d'Asie qui existe dans la forêt de Gir et l'on déploie, pour en empêcher l'extinction autant d'efforts qu'on en fait pour sauver de l'extinction le grand rhinocéros de l'Inde, alors que ce lion est représenté en Afrique par une population répartie sur une aire importante, apparemment non menacée, tandis que le grand rhinocéros de l'Inde ne se trouve qu'au Népal et au voisinage immédiat. On peut toutefois soutenir que cette distribution discontinue présente un intérêt considérable parce qu'il peut se trouver des espèces nouvelles ou des sous-espèces en voie de formation, présentant donc de l'importance sur le plan de l'évolution. On préserve en Grande-Bretagne des groupes discontinus ibériques avec autant de précaution que s'il n'en existait pas, en relative abondance, en Méditerranée orientale. Il en est de même pour des espèces transatlantiques qui sont peu représentées d'un côté de l'océan et abondamment de l'autre. Pour ceux d'entre nous qu'intéresse la préservation d'espèces rares et menacées, c'est là un « faux problème ». Cette sorte de chauvinisme n'est toutefois pas sans justification. Ce qui nous importe, c'est que l'entité est rare et menacée à l'endroit où nous nous trouvons, et nous nous rebellons à l'idée qu'elle puisse disparaître, quelle que soit la situation de l'espèce sur un autre continent.

Une fois énoncées ces grandes idées préliminaires, revenons-en plus précisément à la première question : Pourquoi des espèces végétales et animales se font-elles rares et sont-elles menacées d'extinction ? Il y a à cela des causes de deux ordres : l'action de la nature et celle de l'homme.

L'extinction des espèces est un phénomène particulièrement ancien qui doit remonter aux premières formes de la vie. Des processus naturels, géologiques, climatiques et biologiques ont entraîné l'extinction de plus d'espèces qu'il n'en subsiste à l'heure actuelle. Et, à l'échelle géologique, d'autres espèces s'éteindront en dépit des efforts de l'homme pour les sauver.

En réalité, c'est une abstraction par rapport à la nature que de faire une distinction dans ces processus naturels entre les processus géologiques, les processus climatiques, les processus pédologiques et les processus biologiques. Il apparaît de plus en plus nettement qu'il s'agit de sous-systèmes d'un écosystème global, avec interaction et évolution constante dans le temps. Chaque espèce ne se maintient en vie que si elle préserve un équilibre entre les victoires

qu'elle remporte et les défaites qu'elle subit une génération après l'autre, cet équilibre ne pouvant être maintenu que si elle peut s'adapter à chaque situation nouvelle. Quand le rythme de l'évolution du milieu devient supérieur à la capacité d'évolution de l'espèce, celle-ci s'éteint. C'est ainsi que la glaciation continentale, la formation de montagnes, la pénéplanation, l'élévation ou le recul des côtes peuvent être des causes d'extinction. Un événement aussi soudain qu'une avalanche peut détruire intégralement la colonie unique qui représente toute une espèce sur une falaise ou une pente, même si cette espèce, n'étant plus représentée que dans un seul site, menait déjà une existence précaire. Il y a des causes biologiques d'extinction qui peuvent surgir quand deux assemblages différents d'organismes, antérieurement géographiquement séparés, sont mis en contact. De nouvelles forces de tension (compétition, prédation, maladie) peuvent alors naître et se développer rapidement, conduisant à l'élimination de nombreuses espèces.

En fait, le phénomène de survie est plus admirable que celui de l'extinction. Tout organisme aujourd'hui vivant témoigne d'une lignée qui n'a jamais été rompue depuis les premières apparitions de la vie. La vie s'est maintenue et diversifiée au long d'un demi-milliard d'années, malgré d'énormes transformations climatiques et géologiques. C'est pourquoi l'on peut dire que l'importance du changement n'est pas cause d'extinction en soi. S'ils peuvent disposer du temps nécessaire, les processus d'évolution sont, semble-t-il, à même de résoudre quasiment tous les problèmes. La persistance de la vie prouve que, jusqu'à présent, il s'est toujours trouvé un endroit de la biosphère où le temps n'a pas manqué. Mais l'importance du phénomène d'extinction prouve aussi que, souvent, le temps manque. Pour toute espèce, quelle qu'elle soit, le maintien en vie est donc un bien fragile.

Passant à l'action de l'homme qui menace l'espèce, ou qui en provoque directement l'extinction, localement ou totalement, nous noterons d'abord que cette action, dans de nombreux cas, consiste à accélérer les processus naturels ou à suivre la même voie qu'eux. Il suffit pour s'en rendre compte de songer à la façon dont l'homme modifie le milieu hydrologique. Le fait de capter un cours d'eau, de transformer un torrent en nappe tranquille modifie radicalement l'écosystème. La transformation physique contraire, c'est-à-dire le drainage de lacs et marais, peut détruire l'habitat indispensable à des populations marginales. Dans des régions arides et semi-arides, dès lors qu'on pompe à l'excès de l'eau dans les nappes aquifères pour irriguer les cultures, on peut faire baisser le niveau hydrostatique et modifier le régime des sources et des zones d'infiltration, à une assez grande distance, parfois, de la zone de pompage. On peut aussi modifier autrement le régime hydrologique d'une région donnée : par le déboisement, l'utilisation excessive des pâturages, l'implantation de cultures, par certaines constructions, par le dragage et le comblement.

L'homme peut provoquer l'extinction d'espèces rares par d'autres méthodes qui modifient la qualité du milieu pour telle espèce ou pour telle autre. La pollution, par exemple, peut accélérer les forces d'eutrophication naturelle d'un lac et le rendre invivable pour certaines espèces qui ne peuvent émigrer vers des eaux qui leur conviendraient mieux. Parfois, des matières polluantes peuvent agir directement, comme c'est le cas pour les fortes doses de pesticides, non pas seulement sur les espèces visées, mais sur d'autres aussi, car la plupart des pesticides envahissent le milieu, passent dans les chaînes alimentaires et, de ce fait, tuent des innocents en même temps

que les coupables. Puis viennent les déversements de déchets industriels (huiles, acides, phénols, métaux toxiques) parfois accidentels et parfois normalement pratiqués en raison de fausses hypothèses sur l'aptitude du milieu (eau, sol et air) à absorber ces matières. D'une façon générale, nous n'avons aucune idée du nombre total des espèces qui ont été détruites par ces changements relativement rapides du milieu provoqués par l'homme, car notre attention s'est surtout portée sur les mammifères, le gibier à plumes et les oiseaux chanteurs.

Parmi les extinctions observées, nombre d'entre elles, et peut-être même la majorité, peuvent être attribuées à des changements de la végétation provoqués par l'homme, lorsqu'il détruit complètement les forêts d'origine, ou les réduit à des parcelles isolées trop petites pour permettre la survivance de certaines espèces, lorsqu'il laboure de vastes pâturages, ou lorsqu'il assèche des marécages. De plus, en tant que prédateur, l'homme a montré qu'il pouvait anéantir une espèce plus facilement que n'importe quel autre animal — lion, tigre, ours, loup, aigle, faucon, hibou — parce qu'il utilise des armes à feu, des pièges et des poisons. L'homme primitif ne possédait pas cette capacité. Dans la selva péruvienne d'aujourd'hui, plus de 85 % des protéines consommées par les hommes proviennent, dit-on, des poissons et des animaux sauvages locaux, mais aucune espèce n'en est pour autant menacée. Bien que des groupes importants de chasseurs puissent épuiser les réserves de gibier et exterminer une espèce près de s'éteindre, il semble bien que la principale menace soit d'un caractère tout différent. Elle consiste dans la commercialisation des espèces non domestiquées. On chasse alors pour approvisionner un marché en produits alimentaires, ce qui n'est pas du tout la même chose que de chasser pour assurer sa subsistance. On chasse aussi pour vendre un produit estimé — plumes, peaux, fourrures, corne et ivoire, huile, etc. Quand le prix est suffisamment élevé, il se trouve des hommes pour poursuivre et tuer jusqu'au dernier représentant d'une espèce. A l'heure actuelle, en raison des caprices de la mode, les peaux d'alligator, dont on fait des chaussures et des sacs à main, et les peaux de chats mouchetés, fourrure de fantaisie pour les riches, atteignent des prix qui incitent les chasseurs et les braconniers opérant dans les parcs et les réserves à tuer jusqu'au dernier de ces animaux, tandis que la demande de la recherche médicale et pharmacologique menace des espèces de primates devenues rares. Cela nous amène à notre seconde question : Quand on constate que des espèces sont rares et menacées, que peut-on faire ?

On peut avoir recours à la loi et à des règlements administratifs visant à protéger les espèces en voie de disparition. Mais les lois et les règlements, si bien conçus soient-ils du point de vue juridique, ne sont que des instruments d'application de la protection. Ces lois peuvent être nationales et applicables à tout un pays. Dans d'autres pays, c'est aux divers États, provinces ou départements qu'il incombe de prendre les mesures législatives nécessaires pour protéger la faune sauvage et, en ce qui concerne les espèces sédentaires, les mesures prises peuvent différer considérablement d'une partie du pays à une autre. Dans ce cas, le pouvoir central peut essayer d'exercer une action efficace en réglementant le transport et le commerce entre les divers États. Quant aux espèces migratrices, leur protection exige que les États voisins adoptent des lois comparables, et même parfois que des pays limitrophes signent des traités d'accord à ce sujet.

Plusieurs espèces menacées de disparition vivent dans des pays où les

lois sur la protection sont insuffisantes ou ne sont pas strictement appliquées. Les animaux de valeur ou les produits qu'on en tire sont souvent commercialisés sur des marchés étrangers. En ce cas, le pays d'origine peut limiter ces exportations et les pays receveurs continger les importations. Mais l'application efficace de telles mesures est difficile. Les expéditeurs peuvent faire passer leurs cargaisons par des pays intermédiaires. Même quand le pays importateur possède des lois interdisant l'importation d'espèces protégées dans leur pays d'origine, il peut se trouver désarmé lorsqu'il n'existe pas de loi de protection dans le pays intermédiaire. Un autre procédé consiste à utiliser de fausses appellations, ce qui pose aux douaniers de difficiles problèmes d'identification. Dans un pays important, les ports d'entrée se comptent parfois par dizaines. Pour vérifier plus aisément l'exactitude des désignations, on peut limiter le nombre des ports accessibles à certains produits particuliers, ce qui permet à une équipe réduite mais compétente de procéder aux identifications nécessaires.

Comme pour le braconnage, quand les bénéfices sont importants, l'application de la loi devient difficile. Les pénalités doivent être élevées, les tribunaux informés et décidés à sévir. La loi doit avoir l'appui de l'opinion publique, qui influence le client et réduit la demande.

Des lois sont indispensables, mais à elles seules elles sont loin de pouvoir sauver une espèce en danger. Aucun organisme vivant ne peut survivre s'il ne dispose en premier lieu d'un habitat de caractère approprié et de dimensions suffisantes. Comme nous l'avons déjà dit, la plupart des processus naturels qui modifient le milieu n'ont d'effet qu'à long terme. C'est pourquoi nous devons avant tout nous occuper des changements accélérateurs résultant de l'action de l'homme. Étant donné que la survivance des hommes est aussi en jeu, on ne peut s'opposer à ce qu'ils tirent des forêts des produits indispensables, qu'ils convertissent des terres fertiles pour se procurer les récoltes qui les nourrissent, ou qu'ils tirent parti des ressources en eau et des autres ressources naturelles. Ce qu'il faut mettre au point actuellement, ce sont des formes de planification écologique et d'aménagement des sites qui tiennent compte de tous les besoins humains et essaient de ménager entre eux un équilibre. Ainsi, nous serons sûrs d'avoir des parcs et zones analogues, des refuges pour la faune sauvage, des réserves de gibier, des marais, des eaux vives, et autres espaces qui, protégés contre les progrès destructeurs, fourniront aux espèces rares et menacées les habitats nécessaires.

Planifier l'utilisation du milieu n'a jamais été l'une des activités habituelles de l'homme. Refuser de profiter de l'abondance des ressources naturelles paraît difficile à tous ceux, individus ou nations, qui estiment avantageux de les exploiter au maximum. Nous ne sommes pas portés non plus à réduire la demande de produits naturels qui résulte de l'accroissement illimité de la population humaine et, pour les plus riches d'entre nous, de notre inclination à consommer des quantités énormes de produits. Nos réactions sont typiquement tardives, et ne se produisent que lorsqu'une espèce est sur le point de disparaître, lorsque presque tous les paysages des premiers âges ont été modifiés sans retour possible, ou lorsque la détérioration du milieu est devenue insupportable, comme dans le cas d'une pollution extrême.

Certaines espèces en voie d'extinction ont pourtant pu être sauvées, apparemment tout au moins. C'est, par exemple, le cas de l'oie « nene » (*Nesochen sandvicensis*) des îles Hawaii, élevée systématiquement et avec succès

dans l'île de Hawaï puis, plus tard, en Grande-Bretagne, ce qui a permis de repeupler les habitats hawaïens qui lui conviennent. Quant à la grue américaine (*Grus americana*), un refuge d'hiver a été aménagé à son intention, et l'on essaie en outre de l'élever à Patuxent, important centre de recherche sur les espèces rares et menacées, dirigé par le U.S. Bureau of Sport, Fisheries and Wildlife. L'otarie de l'Alaska (*Callorhinus alascanus*), qui a été très menacée, est maintenant représentée par une population nombreuse et vigoureuse sur les îles Pribilof, où elle se reproduit, les pays intéressés ayant conclu, il y a plusieurs dizaines d'années, des traités organisant sa protection. Tous ces exemples concernent des mesures d'extrême urgence prises à l'instant même où l'espèce allait disparaître.

Il faut parler aussi de la nécessité d'effectuer les recherches. D'abord, il faut s'entendre sur le sens du mot « rare » et s'assurer que la rareté invoquée est bien réelle. De nombreuses espèces sont extrêmement difficiles à recenser. Même quand on peut utiliser des méthodes éprouvées et opérer sur un échantillon permettant d'évaluer la population d'une espèce, on manque d'ordinaire de données comparatives sur les diverses époques, de sorte qu'on ignore si cette population est stable ou en voie d'évolution. Sauf pour les populations extrêmement réduites et localisées d'espèces facilement observables, il faut des recherches compliquées et persévérantes pour déterminer l'effectif et le taux de mortalité de l'ensemble d'une espèce donnée.

Quand il est prouvé ou qu'on est fondé à supposer qu'une espèce est rare et menacée, il va de soi qu'il faut connaître en détail les exigences écologiques de cette espèce pour prendre des mesures susceptibles de l'aider à survivre. Le malheur est que, dans leur ensemble, les savants du monde entier connaissent très mal la biologie et l'écologie de la plupart des espèces dont il est admis qu'elles sont rares et menacées. D'ailleurs, si important que ce soit, étudier une espèce ne suffit pas. Il faut en outre comprendre comment elle s'insère dans l'écosystème dont elle fait partie. De graves erreurs ont été commises en raison de l'ignorance où nous sommes de l'espace nécessaire à une espèce donnée, et des interactions entre les diverses espèces. Si vaste que soit le parc national McKinley, en Alaska, son tracé est tel qu'il coupe l'extrémité des voies de migration de caribou et du loup, et le paradis des ongulés est-africains, Serengeti, s'est révélé trop petit par rapport aux espaces qu'exigent les espèces qu'il devait protéger.

Lorsqu'on veut installer un nouveau parc ou refuge pour la faune sauvage et que l'on a déterminé les buts à atteindre, il importe de procéder à une exploration écologique appropriée avant d'en fixer les limites, afin qu'elles circonscrivent un ensemble rationnel.

La dernière question — Pourquoi se préoccuper du sort des espèces rares et menacées? — n'a guère besoin d'être posée à une conférence de l'Unesco sur la biosphère. Notons toutefois que les arguments en faveur de la préservation de la nature peuvent se ranger en un petit nombre de catégories. Il y a les raisons économiques, fondées en grande partie sur le tourisme — non seulement sur les dépenses relatives à des sites donnés, mais sur le vaste ensemble d'activités commerciales lié aux excursions dans les parcs, les refuges et les endroits où l'on trouve des plantes et des animaux rares et intéressants. D'autres valeurs importantes entrent également en jeu : la production potentielle de protéines alimentaires, dans le cadre d'un système scientifique de mise en culture, peut aller de pair avec un aménagement rationnel. Négliger

d'entretenir l'habitat et l'équilibre écologique peut avoir des effets catastrophiques.

La diversité des organismes vivants, résultat d'une longue évolution, constitue l'une des plus importantes conditions de la stabilité de la biosphère dans le temps. Dans la nature, les organismes vivants réagissent sans cesse les uns sur les autres, dans le cadre d'une seule population comme dans celui d'un écosystème. L'appauvrissement des écosystèmes, par diminution du nombre des individus ou des espèces, compromet leur stabilité dans le temps et provoque un relâchement de leur activité biogéochimique.

De puissantes raisons, fondées sur le désir et le besoin de comprendre et d'améliorer le monde qui nous entoure, incitent les hommes de science à protéger la nature. De nombreux arguments justifient cette attitude. Les régions naturelles doivent être protégées parce qu'elles fournissent le moyen d'améliorer les races domestiquées, de découvrir des produits chimiques permettant de lutter contre les mauvaises herbes et les animaux nuisibles, et de rechercher des substances médicinales. Le premier de ces arguments est d'une importance capitale. De temps à autre apparaît une maladie nouvelle qui attaque le froment, le riz, le bétail, etc. L'une des meilleures façons de la combattre est de cultiver une souche résistante au nouvel agent pathogène. Dans presque tous les cas, il faut pour cela revenir aux représentants originaux ou sauvages de l'espèce, qui, en raison de leurs caractéristiques très variées, nous offrent le plus de chances de découvrir les adaptations appropriées. Ces espèces sauvages ne peuvent être conservées dans un jardin, où les soins reçus leur feraient perdre rapidement leur variabilité. Elles doivent survivre dans un milieu naturel, exposées à tous les hasards et incertitudes de l'existence à l'état sauvage.

Pour sauvegarder le fonds génétique de notre planète, il est indispensable de conserver non seulement des spécimens d'une espèce donnée, mais une population assez nombreuse des diverses espèces, et ce dernier point est particulièrement important. Il est en effet prouvé que la valeur de chaque gène ne se définit pas seulement par ses caractéristiques propres, mais par l'ensemble des sujets, c'est-à-dire par la population au sein de laquelle les gènes sont librement échangés. C'est pourquoi des lois nationales et internationales sur la conservation des espèces et des populations d'organismes vivants, ainsi que l'établissement d'un réseau de vastes réserves, ont un rôle très important à jouer en tant que préalables à la protection du fonds génétique des populations contre la disparition et la dégénérescence.

La recherche de produits chimiques et médicaux parmi les millions d'espèces de plantes et d'animaux a été abondamment décrite, et il est inutile d'y insister ici. Si les écosystèmes représentatifs de toute nature ne sont pas protégés, qui sait si une substance plus efficace que le pyrèthre ou la pénicilline ne disparaîtra pas de la surface de la terre avant d'avoir été découverte. Il va sans dire que tous ces arguments s'appuient sur l'action d'un irremplaçable système de valeurs éducatives.

Enfin, l'intérêt du grand public pour la protection de la nature est motivé dans une très large mesure par des goûts esthétiques et des convictions morales. L'homme d'aujourd'hui ayant acquis le pouvoir de modifier et de diriger la biosphère, il est normal qu'il se juge corrélativement tenu de transmettre ce patrimoine, dans les limites de ses possibilités, en conservant des échantillons susceptibles de répondre aux exigences économiques et esthétiques des générations futures.

Les problèmes posés par la détérioration de l'environnement

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet confié à l'Organisation mondiale de la santé, préparé par Abel Wolman (États-Unis), avec une contribution de L. T. Friberg (Suède) sur la pollution de l'air, H. Shuval (Israël) sur la pollution du sol, commenté et complété par les secrétariats de l'Unesco et de la FAO.

La deuxième moitié du xx^e siècle est marquée par une série de changements sociaux qui n'ont d'équivalent à aucune autre époque de l'histoire. L'urbanisation massive, l'évolution rapide de l'industrie et l'augmentation accélérée de la population sont caractéristiques de notre période dans le monde entier. Plusieurs guerres mondiales ont rendu plus complexes encore les difficultés de nos rapports avec l'environnement, car elles ont absorbé des sommes d'énergies et d'argent considérables qui, autrement, auraient pu être consacrées en partie à l'aménagement du milieu. Le retard provoqué par ces différents phénomènes sociaux dans l'application des mesures correctives voulues rend dramatique la situation dans laquelle nous nous trouvons aujourd'hui.

On peut expliquer facilement, sinon l'excuser, la détérioration de la qualité du milieu. Il ne faudrait cependant pas s'imaginer qu'elle est fatale. Il importe d'en connaître l'existence, d'en déterminer les risques, d'en évaluer les solutions techniques et de consacrer les crédits nécessaires aux aménagements qui s'imposent. Objectivement, toutes ces mesures sont dans le domaine du possible. Il reste à la société à déterminer le rythme auquel elle désire et entend rétablir dans l'environnement la qualité souhaitée. Cette détermination implique des décisions concernant l'étendue, l'état, la concentration, le moment et le lieu des déversements de déchets virtuellement polluants que l'on peut faire dans le milieu sans qu'il en résulte de dommages pour la santé de l'homme, la vie des plantes et les matériaux qui constituent nos biens, et en ne gênant qu'au minimum les utilisations raisonnables et bienfaisantes de l'air, de l'eau et des terres dont nous disposons.

Si l'on cherche à évaluer ces problèmes, il apparaît clairement que le développement économique est source de pollution du milieu. Il est également manifeste que les contaminants ne pénètrent pas dans le milieu sous la forme

de quantités discontinues de déchets solides, liquides ou gazeux, proprement conditionnés. La dégradation du milieu est provoquée par des associations d'agents physiques, chimiques et biologiques qui agissent en général de concert, mais qui varient constamment. A ceux-ci doivent être ajoutés des détériorations telles que le bruit et autres phénomènes qui imposent des contraintes supplémentaires. La dégradation des valeurs esthétiques constitue un autre aspect qui a déjà retenu l'attention. Seules la pollution de l'eau, de l'air et du sol a été ici considérée, particulièrement dans ses relations avec la santé humaine.

Les associations de déchets auxquelles nous avons normalement affaire ont toutes d'importantes répercussions sur la santé. Certaines de celles-ci sont directes et évidentes. D'autres sont indirectes, insidieuses et lentes à se manifester. D'autres encore sont mal comprises et peut-être moins importantes. Quoi qu'il en soit, il faut considérer le milieu et sa dégradation comme un tout quelle que soit la nature solide, liquide ou gazeuse des « vecteurs de détérioration ».

C'est seulement pour la commodité de l'exposé que le texte qui suit est divisé en chapitres, et il sera aisé de rétablir les liens qui existent entre les polluants de l'eau, de l'air et du sol et leurs récepteurs, c'est-à-dire entre les divers éléments du milieu total.

POLLUTION DE L'EAU

NATURE DU PROBLÈME

Partout où des hommes vivent et travaillent, leur activité entraîne naturellement la production de déchets, humains et autres. Quand ils sont isolés ou ne se rassemblent que par petits groupes, la pollution des eaux avoisinantes n'a en général guère d'importance. En revanche, dans le monde moderne, l'urbanisation et l'industrialisation, caractéristiques du dernier quart de siècle, ont engendré des problèmes de pollution de l'eau qui ont pris un aspect de plus en plus aigu.

Tout au long de l'histoire, on s'est efforcé d'éliminer les déchets humains aussi rapidement et aussi loin que possible des habitations humaines. Cet effort s'est intensifié lorsqu'on s'est mis à utiliser l'entraînement par l'eau pour se débarrasser des déchets domestiques. En conséquence, la pollution des masses d'eau réceptrices a augmenté sensiblement et elle se poursuivra jusqu'à ce que l'on s'emploie délibérément à traiter et modifier ces déchets au point d'évacuation.

De même, l'évolution des opérations industrielles exige que l'on organise l'évacuation des déchets de l'industrie. Ceux-ci sont devenus à la fois plus abondants et plus variés à mesure que les procédés industriels, en particulier dans le domaine de la chimie, devenaient plus complexes, plus diversifiés et potentiellement plus dangereux.

Les problèmes de pollution de l'eau varient suivant la nature du paysage physique, le niveau de développement économique et la densité de peuplement. Il est donc évident que ces problèmes et leurs solutions présenteront de grandes différences à travers le monde en fonction de ces divers éléments.

Très tôt dans l'histoire de l'homme, la recherche de l'eau indispensable

à la vie a été associée à une recherche tout aussi opiniâtre d'eau « pure ». Certes, la définition de la pureté s'est modifiée à mesure que les usagers étaient mieux renseignés sur les phénomènes épidémiologiques et que la demande se faisait plus diverse. Ces modifications d'attitude ont été lentes et se sont étendues sur près de quatre mille ans. C'est seulement au ^{xx}^e siècle que sont apparus les désirs du public avec lesquels nous sommes aujourd'hui familiarisés. Dans beaucoup de pays on réclame actuellement, mais l'on n'obtient pas toujours, de l'eau « propre » pour la boisson, l'élevage des poissons, l'agriculture, l'industrie, les loisirs et les sports. En conséquence, les organismes de protection doivent transformer des eaux altérées en un produit biologiquement inoffensif, chimiquement non toxique et satisfaisant au goût, à la vue et à l'odeur.

En dépit de cette demande croissante de moyens de lutte contre la pollution de l'eau, et malgré des améliorations incontestables dans de nombreuses régions, il subsiste de vastes zones d'ignorance concernant les moyens de progresser plus rapidement et plus économiquement. Ces lacunes continuent à irriter l'ingénieur, le chercheur et l'administrateur. Dans la pratique de la lutte contre la pollution de l'eau, les décisions à prendre sont extrêmement complexes, elles doivent tenir compte du caractère changeant du problème et constamment s'adapter à une économie en évolution.

CONSTITUANTS DES DÉCHETS

Du point de vue de la santé publique, tous les déchets domestiques sont intrinsèquement dangereux s'ils ne sont pas soumis à un traitement efficace, parce qu'ils contiennent depuis toujours des quantités importantes d'organismes pathogènes. Les plus répandus de ceux-ci provoquent toute une série de maladies intestinales telles que la typhoïde, le choléra, les diverses dysenteries, la filariose et la bilharziose.

Dans les pays développés, le dernier demi-siècle est la période pendant laquelle on s'est débarrassé de la plupart de ces maladies d'origine hydrique, grâce à un traitement correct de l'eau, au contrôle du lait et d'autres aliments, au traitement médical des porteurs de germes et à l'emploi généralisé des vaccinations.

Dans les pays en voie de développement, par contre, ces maladies d'origine hydrique atteignent encore au niveau qui était caractéristique des pays du monde occidental il y a une cinquantaine d'années. Les raisons essentielles de ces différences sont que l'eau distribuée est trop souvent polluée par des déchets humains, qu'elle est trop rarement soumise à un traitement ou que l'élimination des micro-organismes dangereux n'est guère efficace.

Dans le cas des déchets industriels, on observe des différences analogues entre les pays défavorisés et les pays industriels hautement développés. Dans ce dernier groupe, les questions que pose la pollution de l'eau concernent de plus en plus les produits chimiques plutôt que les bactéries ou les virus.

Dans les pays à faible revenu (sauf dans quelques secteurs d'étendue limitée), les déchets industriels de nature chimique restent encore moins importants que les déchets humains et les risques biologiques bien connus qu'ils comportent. A mesure que ces pays s'industrialiseront, leurs difficultés deviendront analogues à celles du monde occidental. Il faut donc espérer que les pays dont l'essor ne fait que commencer mettront rapidement en application,

à titre préventif, les enseignements que les pays très industrialisés sont en train de tirer des mesures correctives qu'ils ont prises.

L'incidence croissante de la pollution de l'eau sur l'écologie totale préoccupe de plus en plus les responsables. Dans de nombreux pays, les activités de loisir sont sérieusement troublées sur des régions très étendues. D'autre part, de nombreuses discussions sont en cours sur l'importance de certains polluants présents dans les déchets, en particulier des composés du phosphore et de l'azote, qui nuisent à la régénération eutrophique des lacs, des estuaires et des cours d'eau. Les connaissances scientifiques que nous possédons sur ces phénomènes sont loin d'être satisfaisantes. Des travaux sont actuellement entrepris pour déterminer de manière plus précise les causes de ces modifications biologiques et la part qui revient dans celles-ci aux déchets domestiques et agricoles. On peut espérer qu'avec le temps les mesures correctives voulues seront instituées plus rapidement et de manière plus rationnelle.

Avec l'avènement de l'énergie nucléaire et le développement rapide des centrales énergétiques utilisant des combustibles fossiles, l'utilisation de l'eau pour le refroidissement a commencé à poser des questions difficiles. Les installations de fission nucléaire exigent presque deux fois plus d'eau de refroidissement par unité d'énergie produite que celles qui utilisent les combustibles fossiles.

De vives discussions se déroulent actuellement dans les pays industrialisés au sujet de l'influence de ces décharges thermiques considérables sur le comportement biologique et physique des masses d'eau réceptrices. Notre connaissance de ces phénomènes est encore trop limitée pour que l'on puisse agir efficacement contre cette forme de pollution.

En revanche, des solutions satisfaisantes ont été trouvées pour les déchets radio-actifs dans les pays où ils risquaient de poser des problèmes. Les déchets faiblement radio-actifs ont été traités et libérés dans le milieu de façon judicieuse et sous surveillance étroite. Les déchets fortement radio-actifs ont été concentrés, stockés et placés sous un contrôle permanent pour les nombreuses années pendant lesquelles ils doivent être conservés à l'abri. Au moment où nous écrivons, il n'existe encore aucune technique permettant de se débarrasser définitivement de ces déchets de haute activité. Les problèmes posés par les retombées des essais de bombes atomiques, qui ne font pas encore l'objet d'un contrôle international complet, sont jusqu'à présent sans solution.

A mesure que les pays se développent, les réseaux d'égouts et les installations de traitement se multiplient. Il est déjà difficile de construire des installations de ce genre aussi vite que la population augmente, mais la difficulté est encore aggravée par l'accroissement parallèle de la production d'eaux usées par habitant. Il y a en effet un écart considérable entre la quantité d'eau utilisée par une famille qui va la chercher à un point d'eau plus ou moins éloigné et la quantité que cette même famille utilise lorsque l'eau est amenée jusqu'à l'habitation par des canalisations.

Partout où les niveaux de vie s'élèvent, nul n'est apparemment insensible à l'attrait des appareils qui économisent le travail mais qui exigent beaucoup d'eau, comme les machines à laver le linge et la vaisselle, ou les broyeurs d'ordures ménagères. Rien ne permet donc de penser qu'à l'avenir il sera moins nécessaire de lutter contre la pollution de l'eau, même si l'on parvient à diminuer sensiblement le rythme d'accroissement de la population.

Non seulement le volume des eaux usées est considérable, mais ces eaux

ont une forte teneur en polluants organiques et minéraux. Sans même parler des déchets industriels, on arrive à un total de 10 litres de gadoues par habitant et par jour, soit environ 50 kg de matières solides sèches par habitant et par an. Ces déchets peuvent même entraîner une obturation du lit des cours d'eau, modifiant l'infiltration et la recharge des nappes. Le problème n'est pas insoluble, mais il faut d'abord reconnaître qu'il se pose et qu'il représente un aspect fondamental de la lutte contre la pollution.

LÉGISLATION

Presque tous les pays ont cherché à se prémunir par des moyens législatifs contre les menaces de pollution des eaux. On a souvent présumé que l'adoption d'une loi permettrait automatiquement de maîtriser la situation. Cependant nulle part dans le monde les résultats n'ont été particulièrement brillants. Nous ne voulons pas dire qu'il est inutile ou vain d'étayer l'action administrative par une législation appropriée, mais c'est manquer de réalisme que de compter uniquement sur cela. En fait, l'existence de règles strictes a parfois été la cause d'une inertie administrative. Lorsqu'une décision ne bénéficie pas de l'appui d'un fort courant d'opinion publique et que l'on manque du personnel et des ressources financières voulues pour lui donner effet, le résultat obtenu est d'habitude loin d'être satisfaisant.

Étant donné l'importance de l'action législative, tant nationale qu'internationale, dans la lutte contre la pollution, cet aspect de la question n'a pas été négligé. Ces dernières années, l'Association internationale des distributions d'eau s'est beaucoup occupée des questions juridiques qui se posent. De même, l'Association de droit international, l'Association internationale des sciences juridiques et l'Institut international des sciences administratives ont étudié le problème.

Les cours d'eau qui servent de frontière ou qui traversent le territoire de plusieurs États ont fait l'objet de traités. Citons, par exemple, les conventions conclues entre la Belgique et la France, entre la Bulgarie et la Yougoslavie, entre l'Italie et la Suisse. La CEE a établi une liste assez complète des accords de ce genre en Europe.

Dans ce domaine qui englobe la lutte contre la pollution, la collaboration internationale ne date pas d'aujourd'hui; elle a parfois été fructueuse. Plus fréquemment cependant, en ce qui concerne la réduction de la pollution, un certain temps s'est écoulé avant que ne soient prises les mesures nécessaires pour assurer la qualité convenue entre toutes les parties en cause. Il en a été ainsi notamment pour les arrangements internationaux relatifs au Rhin, au lac de Constance, aux Grands Lacs et au Rio Grande.

En Europe, où la densité de la population est généralement élevée et où, par conséquent, une action incessante doit s'exercer contre la pollution, il est probable que les efforts se poursuivront pour arriver au moins à une entente sur des critères et des normes de pureté et sur des principes de classification des eaux. Sans doute verra-t-on aussi se multiplier les échanges de vues sur des méthodes uniformes de planification des mesures propres à préserver la pureté des eaux. Il y a cependant peu de chances pour qu'intervienne dans un avenir prévisible une normalisation internationale de la qualité des eaux fluviales.

L'histoire des législations nationales abonde en déclarations fixant des

objectifs élevés, mais, nulle part, les actes n'ont été à la mesure des intentions. On ne saurait parler de stagnation. Au contraire, beaucoup a été fait, mais jamais assez et jamais assez vite. Un comité d'experts de l'OMS a parfaitement résumé la situation, voici quelques années, lorsqu'il a écrit : « Des pays qui ont établi des lois très sévères contre la pollution n'ont pas pu éviter en fait que la pollution des eaux ne soit très répandue. L'une des raisons de cet échec est peut-être que les lois qui visent à éviter toute pollution sont inapplicables et qu'on n'en tient guère compte. Dans un monde où l'urbanisation et l'industrialisation se développent rapidement, il n'est pas possible de maintenir les cours d'eau dans leur état naturel. Les lois doivent seulement avoir pour but de limiter la pollution ».

En dépit de cette mise en garde sans ambiguïté, des pays, grands et petits, continuent, sous l'impulsion de perfectionnistes et d'opportunistes, à adopter des lois qui visent à restaurer un état de pureté primitif par nostalgie d'époques révolues. Cela ne donne rien de satisfaisant. On peut s'en assurer en consultant la remarquable étude détaillée que l'OMS a consacrée à la législation sanitaire actuellement en vigueur à ce sujet. Intitulée *Lutte contre la pollution de l'eau*, elle a été publiée en 1967. Une autre étude analytique importante sur le même sujet a été publiée par la FAO en 1968.

PRATIQUES ADMINISTRATIVES

L'efficacité de l'action menée pour prévenir la pollution de l'eau ou y remédier dépend dans une large mesure de l'intelligence, de la compétence et de l'énergie manifestées sur le plan administratif. A cet égard, il est impossible d'énoncer des règles générales applicables dans le monde entier. Beaucoup de pays en voie de développement considèrent que l'administration centrale est la mieux placée pour veiller aux aménagements nécessaires. Dans un territoire de faible étendue où les communications sont aisées, pareil système peut donner de bons résultats. En revanche, dans de nombreux pays de grande superficie, l'administration centrale n'est pas très proche, ni matériellement ni spirituellement, des collectivités locales. En outre, elle manque souvent de moyens financiers et de personnel. Elle n'a donc que relativement peu de possibilités d'accomplir les grandes tâches qui s'imposent.

Dans les pays riches, on a de plus en plus recouru, au cours des vingt-cinq dernières années, à la formule des subventions accordées par l'autorité centrale, qui doivent en théorie stimuler les efforts locaux. Il est toutefois d'ores et déjà apparu que ces subventions sont sujettes à tous les aléas de la politique et des difficultés budgétaires. Nulle part encore, on n'a réussi à respecter le principe de continuité dans l'action. Cela tient non seulement aux fluctuations cycliques de l'économie des pays, mais aussi, dans bien des cas, à la pénurie d'agents professionnels ou techniques capables de monter les installations et de les faire fonctionner. Le fait le plus regrettable parmi les déficiences dans le contrôle de la pollution est peut-être que l'on n'ait pas même assuré l'utilisation optimale des installations existantes. On a estimé que si leur rendement était porté au niveau prévu dans les plans et lors de la construction, il en résulterait un accroissement d'efficacité pouvant aller jusqu'à 20 %.

Les disponibilités en main-d'œuvre sont évidemment très variables selon les régions. Aucun pays n'a tous les agents spécialisés théoriquement requis, mais, comme toujours, certains sont plus favorisés que d'autres. Il en est

toutefois qui possèdent des ressources pratiquement suffisantes, mais qui ne les exploitent pas aussi efficacement qu'il serait souhaitable. Nous ne pouvons donner ici de chiffres précis concernant l'effectif des diverses catégories en cause. Celui des « ingénieurs sanitaires » n'est pas partout significatif, mais il indique assez bien l'importance des différences qui existent.

Par exemple, alors que la moyenne en Amérique centrale et en Amérique du Sud est d'environ un ingénieur sanitaire pour 30 000 personnes, elle s'établit à un pour 300 000 personnes ou plus en Afrique. A mesure que se développent l'urbanisation et l'industrialisation, il faut, pour réduire et prévenir la pollution, des professionnels de plus en plus nombreux et qualifiés. Dans presque tous les pays, ce ne sont pas des insuffisances techniques qui font obstacle au progrès, mais le manque de personnel compétent et, bien entendu, de crédits. Il existe généralement pour des problèmes techniques des solutions convenables qui pourraient parfaitement être adaptées aux conditions locales.

CRITÈRES DE QUALITÉ

De nos jours, on peut considérer que toutes les populations, dans quelque pays que ce soit, désirent avoir de l'eau « pure ». Or ceux qui sont chargés de réduire la pollution doivent en premier lieu établir d'une façon plus nette la définition de cette notion d'eau « pure ». Ils ont besoin, à des fins administratives, de quelque chose de moins abstrait que la définition habituellement donnée par les textes législatifs. Les critères peuvent être les mêmes dans tout un pays; ils peuvent aussi varier selon les caractéristiques hydrologiques, selon le stade d'industrialisation et d'urbanisation ou selon les usages. Les vœux du public reposent d'ordinaire sur l'idée qu'un « eau pure » est totalement exempte de contaminants. Or c'est là une impossibilité, qu'il s'agisse d'eaux à l'état naturel ou d'eaux usées traitées; tout règlement réaliste doit donc indiquer des teneurs admissibles. Chercher des critères universellement applicables soulève un certain nombre de difficultés sociales et économiques.

Les résultats obtenus en matière d'élaboration de critères n'inspirent guère d'enthousiasme pour ce qui est des mesures correctives. Comme on pouvait s'y attendre, fixer des maximums très stricts n'a jamais empêché les infractions. Tous les pays en ont fait l'expérience dans leurs tentatives en vue de prévenir ou d'éliminer la pollution des eaux. Partout on trouve des exemples frappants d'assouplissement des règles pour tenir compte de certaines réalités, des considérations d'intérêt économique national ayant le plus souvent pris le pas sur le désir de réduire la pollution.

Aux belles paroles sur la nécessité de différenciations selon l'époque, selon le lieu d'utilisation et selon l'usage qui sera fait des eaux a succédé invariablement l'adoption de prescriptions uniformes. Les administrations y sont en effet favorables, sans doute parce que cela simplifie les décisions à prendre. Il en est résulté soit d'innombrables exceptions, soit des infractions délibérées. Comme nous l'avons déjà souligné, ce processus, observé presque partout, aboutit à l'annihilation totale des efforts déployés ou à des adaptations improvisées pour harmoniser la pratique avec la doctrine ou les intentions.

Étant donné la standardisation internationale des méthodes d'analyse, il n'est pas surprenant que les critères soient eux aussi à peu près les mêmes dans le monde entier, du moins sur le papier. Il s'agit le plus souvent — en fait, dans la quasi-totalité des cas — de la teneur en oxygène dissous, de la

demande biochimique d'oxygène, des matières en suspension et de divers organismes entéropathogènes. Les maximums fixés pour ces caractéristiques tendent à s'établir à peu près au même niveau dans la plupart des pays. On constate des différences plus marquées en ce qui concerne la classification des eaux. Pour les constituants microchimiques les teneurs maximales admissibles sont précisées de façon très détaillée dans quelques pays. Dans d'autres, seules sont spécifiées des quantités globales. Partout, il y a malheureusement un gros écart entre les critères et la réalité. Pour ne pas risquer d'être dépassés par le problème, ceux qui veulent s'employer à réduire la pollution doivent veiller à ne jamais relâcher leur effort et à s'assurer la compréhension et l'appui du public. C'est le seul moyen pour eux d'obtenir l'attribution et le maintien des crédits budgétaires dont ils ont besoin. Il ne faut jamais oublier en effet que la réduction de la pollution des eaux, pour importante qu'elle soit, n'est que l'un des aspects de l'action sociale, en concurrence constante avec d'autres besoins très importants eux aussi.

CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

Même s'il est animé des meilleures intentions, et indépendamment de son idéologie politique, chaque pays se trouve placé un jour ou l'autre devant l'alternative suivante : faut-il accepter des violations répétées des normes de qualité de l'eau ou renoncer à développer rapidement l'économie nationale ? Bien que de sérieux efforts aient été tentés pour concilier les deux termes de ce dilemme, les résultats n'ont pas toujours été heureux.

Certains pays dont les ressources hydrauliques sont limitées et l'industrie très développée ont été fatalement amenés à adapter les normes de qualité aux conditions rencontrées sur leur territoire. Le développement économique et une lutte énergique contre la pollution de l'eau ne sont malheureusement pas toujours compatibles, du moins dans l'immédiat. D'où la nécessité, qu'on le veuille ou non, de procéder à des évaluations comparatives en mettant en balance les coûts et les profits, ou les valeurs économiques et les avantages sociaux. Étant donné qu'aucun pays ne possède des ressources illimitées en crédits ou en main-d'œuvre, aucune mesure de lutte contre la pollution ne peut être décidée tant que l'on n'a pas calculé les avantages relatifs qui en découleront pour la société.

Les bases sur lesquelles reposent ces décisions sont naturellement variables et sujettes à révision selon le stade de développement économique et les exigences de l'opinion publique. On ne connaît pas d'exemple de pays qui ait systématiquement refusé de procéder à une évaluation réaliste de ses besoins prioritaires ou des mesures qui seraient le plus avantageuses pour lui, mais il est incontestable que les déterminations quantitatives ont le plus souvent été imprécises ou de nature très générale. De fait, les considérations économiques ont trop souvent été ignorées par ceux qui prenaient les décisions, en particulier dans le secteur des déchets de l'industrie. Les administrateurs chargés de prendre des mesures correctives ont parfois adopté une position inadmissible en refusant de s'intéresser au coût des mesures de lutte contre la pollution. Or il est évident qu'une société ne peut échapper aux contingences financières. C'est pourquoi, de nos jours, on s'efforce constamment de perfectionner les moyens d'appréciation des facteurs économiques qui influent sur le traitement des déchets ménagers aussi bien que des résidus industriels.

Au cours des décennies à venir, les organismes publics et les responsables de l'industrie dépenseront des dizaines de milliards de dollars, de livres, de roupies, de pesos et d'autres monnaies pour développer les installations de lutte contre la pollution de l'eau ou pour en créer de nouvelles. Le fonctionnement et l'entretien de ces installations coûteront d'autres milliards de dollars. Parviendra-t-on à diminuer ces dépenses grâce à de nouvelles connaissances scientifiques et à des améliorations technologiques ? Et la science sociale fournira-t-elle des méthodes plus efficaces qui permettront à la collectivité d'opérer un choix judicieux et rationnel entre certaines fins et certaines nécessités ?

On doit se féliciter de voir que plusieurs pays ont déjà entrepris des enquêtes afin d'élucider ces problèmes. Il ne faut certainement pas croire que des supputations économiques permettront de résoudre toutes les difficultés. Néanmoins, elles peuvent apporter un élément d'unification dans l'élaboration des politiques à suivre et fournir des lignes directrices capables de favoriser une évaluation plus saine des avantages tangibles ou impalpables à attendre de la lutte contre la pollution. On ne doit pas oublier que l'élimination des déchets ne constitue qu'un aspect de l'activité d'une économie où l'allocation des ressources à divers usages obéit avant tout à des mécanismes de marché. Les caractéristiques particulières du problème de l'évacuation des déchets font que ce domaine est un de ceux où l'intervention des pouvoirs publics se justifie incontestablement et où il est normal de subordonner l'élaboration des méthodes de gestion publique à des options de caractère général. Il faut chercher avant tout à conceptualiser le problème de la population de manière à faciliter l'identification des facteurs physiques, économiques et sociaux dont la connaissance est indispensable pour l'élaboration d'une politique rationnelle de lutte contre la pollution.

POLLUTION DE L'AIR

L'expression « pollution atmosphérique » s'emploie généralement lorsqu'il y a contamination de l'air ambiant par des substances libérées dans l'atmosphère à l'occasion d'activités humaines. Elle s'accompagne le plus souvent de l'idée que le phénomène considéré risque d'exercer une action défavorable sur la santé ou le bien-être des individus, ou d'entraîner des dommages pour les végétaux ou les biens matériels.

Le problème de la pollution atmosphérique, comme celui de la pollution de l'eau, est devenu aigu par suite de la révolution industrielle et de ses séquelles : augmentation de la production de substances chimiques organiques, utilisation croissante des combustibles fossiles et, au cours des dernières décennies, emploi généralisé des véhicules à moteur. L'urbanisation, qui concentre de vastes populations humaines sur des secteurs géographiques peu étendus, constitue indubitablement un autre facteur favorisant la pollution.

NATURE ET SOURCES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Les polluants atmosphériques se présentent sous forme solide (par exemple la poussière et les particules de suie), de gouttelettes (brouillard d'acide sulfurique) ou de gaz (gaz sulfureux, oxydes d'azote et oxyde de carbone).

La composition de la pollution atmosphérique varie selon les régions. A Londres, le smog se caractérise surtout par sa forte teneur en suie, en SO_2 et SO_3 . La composition et l'origine du smog photochimique, dont celui de Los Angeles est un exemple bien connu, sont très différentes : le NO contenu dans les gaz d'échappement s'oxyde en NO_2 au cours d'un processus qui fait intervenir divers hydrocarbures, principalement les oléfines; les réactions photochimiques entraînent la décomposition du NO_2 , et les réactions avec diverses substances organiques provoquent la formation d'ozone.

De fortes teneurs en oxyde de carbone sont enregistrées de plus en plus fréquemment pendant les heures de pointe dans tous les grands centres urbains des pays où le parc automobile ne cesse de se développer. Les gaz d'échappement contiennent aussi du plomb, car on a de plus en plus tendance à ajouter du plomb tétraéthyle à l'essence.

Les cheminées d'usine émettent des gaz très divers, résidus de l'industrie chimique, des fonderies, des abattoirs, des fabriques de cellulose ou des cimenteries. Ces gaz résiduels contiennent souvent des métaux (fer, mercure, plomb, etc.), ainsi que de multiples composés organiques et minéraux. Certains de ces composés, comme les mercaptans, le sulfure d'hydrogène et les sulfures de diméthyle, sont malodorants même à très faible concentration (environ 1 microgramme par mètre cube dans le cas du sulfure d'hydrogène).

La pollution de l'air, si elle reste souvent un problème local, peut se propager sur de grandes distances. Aux États-Unis d'Amérique, par exemple, des polluants atmosphériques libérés au Texas ont été retrouvés à plus de 1 600 km de distance, à Cincinnati, dans l'Ohio. D'autres enquêtes effectuées dans des phares situés sur la côte méridionale et occidentale de la Suède ont montré que des polluants atmosphériques en provenance d'Allemagne, et peut-être même de Grande-Bretagne, peuvent atteindre la Scandinavie à la faveur de certaines conditions météorologiques. En Suède également, la pollution de l'air a engendré une augmentation de l'acidité des eaux intérieures qui a endommagé les pêcheries.

Des problèmes juridiques complexes peuvent se poser lorsqu'une zone industrielle est située à proximité d'une ville résidentielle, mais séparée d'elle par une frontière nationale, l'une et l'autre étant soumises à des législations différentes en matière de pollution atmosphérique. Les problèmes se compliquent encore lorsque, à l'intérieur d'un même pays, la législation varie selon les États, les provinces ou les municipalités. La pollution provoquée par l'industrie d'une circonscription fait parfois sentir ses effets principalement dans une circonscription voisine.

EFFETS SUR LA SANTÉ

Un mode d'action particulièrement fréquent des polluants atmosphériques est celui qui a été observé en décembre 1952 à Londres, où les émissions des foyers domestiques à charbon et des industries s'étaient accumulées au cours d'une période d'inversion de plusieurs jours. On a calculé que cet épisode de smog avait causé environ 4 000 décès, surtout parmi les personnes âgées qui souffraient déjà d'une affection chronique des poumons ou du cœur. Des épisodes comparables de pollution aiguë, peu nombreux il est vrai et de moindre envergure, se sont produits à Donora (Pennsylvanie), dans la vallée de la Meuse (Belgique) et dans une région minière du Mexique. Les principaux facteurs

incriminés ont été le brouillard, de fortes concentrations d'oxydes de soufre et de suie, ainsi que l'action synergique possible de diverses substances.

A Los Angeles, on suppose l'existence d'un autre mécanisme. Les manifestations cliniques sont différentes de celles observées à Londres, les symptômes prédominants étant l'irritation des voies respiratoires supérieures et des yeux.

Un effet aigu qui passe souvent inaperçu est celui de la pollution par les aéro-allergènes. Les manifestations cliniques en sont l'asthme ou la rhinite allergique. L'exemple le plus connu d'un phénomène de ce genre est sans doute celui des manifestations allergiques consécutives à l'inhalation de divers pollens.

Le lien de cause à effet qui a été observé dans certaines régions entre une exposition aux polluants atmosphériques et la bronchite chronique est aujourd'hui largement prouvé. La bronchite chronique peut évidemment avoir d'autres causes que les polluants atmosphériques et il y a même des cas où on ne peut lui attribuer aucune origine précise. Les facteurs constitutionnels paraissent jouer un certain rôle et l'habitude de fumer des cigarettes est aussi une cause très fréquente de cette affection. C'est cet usage du tabac, aggravé peut-être par la présence de polluants atmosphériques, qui serait principalement responsable de l'augmentation considérable de la morbidité par bronchite chronique observée ces dernières années dans certains pays.

La fréquence du cancer du poumon a notablement augmenté dans l'ensemble du monde au cours des dernières décennies et une corrélation significative a pu être établie avec la consommation de cigarettes. Quelques chercheurs pensent qu'il existe aussi une corrélation entre la fréquence élevée du cancer du poumon et l'urbanisation, mais les preuves avancées pour incriminer les polluants atmosphériques sont encore sujettes à caution.

L'oxyde de carbone entre pour une proportion importante dans la composition des gaz d'échappement des moteurs à combustion interne. Une circulation automobile intense provoque souvent d'assez fortes teneurs de l'air ambiant en oxyde de carbone. On a par exemple enregistré dans certaines villes américaines des concentrations supérieures à 100 parties par million pendant les heures de pointe. Les concentrations qui sont manifestement dangereuses pour la santé sont de mieux en mieux connues. On sait que le système nerveux central est le premier à être atteint. Par ailleurs, une réduction, même faible de l'aptitude du sang à véhiculer l'oxygène peut avoir des conséquences sérieuses pour les personnes qui souffrent déjà d'une atteinte coronarienne ou circulatoire. La présence d'oxyde de carbone dans l'atmosphère urbaine pourrait donc présenter un réel danger.

Des quantités considérables de plomb sont libérées avec les gaz d'échappement des automobiles brûlant de l'essence à laquelle a été ajouté du plomb tétraéthyle. On peut se faire une idée de l'ampleur des quantités ainsi émises en prenant l'exemple de la Californie, où le nombre des véhicules à moteur est de 9 millions pour 18 millions d'habitants et où la consommation d'essence s'élève à plus de 25 milliards de litres par an. La Suède, avec un parc automobile d'environ 1,8 million d'unités, consomme plus de 3 milliards de litres d'essence par an. Chaque automobile émet environ 1 kg de plomb par an.

Des études ont montré qu'il existe une corrélation entre la quantité de

plomb émise par les gaz d'échappement et la teneur totale de plomb dans l'organisme humain. Cette charge de plomb est plus forte chez les personnes qui habitent à proximité d'une route à grande circulation que chez les autres. Sans doute reste-t-elle encore bien en dessous de la dose toxique probable, mais il n'en reste pas moins que l'accumulation de substances potentiellement dangereuses mérite de retenir toujours davantage l'attention des chercheurs.

Un autre métal auquel on s'intéresse depuis quelques années est le cadmium. Une fois qu'il s'est déposé dans l'organisme, ce métal s'accumule dans des proportions plus élevées encore que le plomb. Plusieurs études ont montré que la quantité de cadmium déposée dans les reins augmente de 100 à 1 000 fois au cours de la vie d'un individu. Le cadmium n'est pas seulement présent dans l'atmosphère, mais il peut être véhiculé par l'eau, comme on l'a constaté dans une région du Japon.

Les polluants atmosphériques ne manifestent pas seulement leur action en provoquant des affections caractérisées. Les mauvaises odeurs et la malpropreté qu'ils occasionnent ont donné lieu à de multiples plaintes. En 1963, les autorités suédoises de la santé publique ont été saisies de réclamations concernant plus de 900 points de pollution dont plus de 300 étaient des centrales thermiques. Les principaux griefs portaient sur l'émission de suie et de substances malodorantes. Des enquêtes par interrogatoire effectuées au voisinage de fabriques de sulfate, qui émettent des composés sulfureux nauséabonds, ont montré que la moitié des personnes qui habitent à proximité des fabriques sont incommodées et même, dans un cas sur deux, « gravement » incommodées, par les odeurs.

DOMMAGES A LA VÉGÉTATION ET AUX MATÉRIAUX

Plusieurs des substances que l'on rencontre dans l'air pollué sont capables de causer aux végétaux des dommages aigus ou chroniques. Les premiers polluants dont on a établi qu'ils étaient nocifs sont le gaz sulfureux et les fluorures. De graves dommages peuvent être causés aussi par les composants caractéristiques du smog photochimique. Pour le seul territoire des États-Unis d'Amérique, le Département de l'agriculture estime à environ 500 millions de dollars par an le montant total des pertes subies de ce fait.

Le gaz sulfureux est particulièrement nocif pour la luzerne, l'orge et le coton. Beaucoup de fleurs et de fruits, y compris les agrumes, sont extrêmement sensibles aux fluorures. Dans bien des cas, il suffit de concentrations relativement faibles pour endommager la végétation. Ainsi on a pu constater des dommages aigus sur des conifères après seulement quinze à trente minutes d'exposition à des concentrations de gaz sulfureux voisines de 30 pphm. Des dommages chroniques ont été signalés pour des concentrations moyennes mensuelles inférieures à 5 pphm.

Beaucoup de polluants atmosphériques ont également des effets délétères sur les matériaux. Les métaux sont corrodés, les surfaces des bâtiments se décolorent et s'effritent, les textiles, le cuir et le papier deviennent fragiles et perdent leur couleur, le caoutchouc se fissure et perd son élasticité. Les pertes matérielles que représentent ces dommages sont probablement énormes. On a souvent essayé d'établir des estimations exactes, mais il n'est pas facile d'y parvenir.

PROBLÈMES ACTUELS ET MESURES PRISES

Dans beaucoup de pays, il y a relativement peu de temps que l'on se préoccupe de la pollution de l'air aussi vivement qu'aujourd'hui. L'industrialisation, l'urbanisation et la motorisation sont autant de facteurs qui y ont contribué. A la fin de la deuxième guerre mondiale encore, le smog de Los Angeles était sinon inconnu, du moins pratiquement ignoré. Or la formation de ce type de smog est un phénomène qui se produit maintenant dans bien d'autres villes et l'on peut s'attendre à en rencontrer d'autres manifestations dans l'avenir si la circulation automobile continue d'augmenter à la cadence de 5 à 10 % par an dans une grande partie des pays.

En Europe, il existe depuis un certain nombre d'années un réseau de stations de chimie atmosphérique qui a permis d'établir que les émissions de gaz sulfureux sont devenues très importantes. Les relevés indiquant les variations de la teneur de l'air en soufre et de l'acidité des précipitations attestent que les conditions étaient restées à peu près constantes à l'époque des premières mesures, mais, depuis le début de la présente décennie, les concentrations d'oxydes de soufre ont augmenté régulièrement, tandis que le pH des précipitations s'abaissait.

Dans les pays industriels, où la production industrielle va probablement doubler dans les vingt années qui viennent, on peut s'attendre à voir les risques de pollution atmosphérique augmenter proportionnellement à moins que ne soient prises des contre-mesures énergiques. Des précautions rigoureuses s'imposent en premier lieu dans tous les établissements industriels nouveaux, car il est beaucoup plus facile d'assurer la protection voulue au stade de l'étude des plans. D'autre part, il faudra évidemment intervenir aussi dans les usines existantes. Le plus souvent, les résultats souhaités seront faciles à obtenir, mais on se heurtera à des difficultés considérables dans certains cas particuliers.

Pour être efficaces, les mesures visant à prévenir les dommages causés par la pollution atmosphérique supposent le soutien des pouvoirs publics sur le plan législatif, administratif et financier. Dans bien des cas, par exemple pour les zones urbaines et industrielles à population dense qui s'étendent sur plusieurs pays, une large coopération internationale sera nécessaire.

Non seulement il faudra mettre à profit les connaissances techniques existantes, mais aussi intensifier les efforts de recherche et de développement. Les études à mener à bien ne sont d'ailleurs pas d'ordre uniquement technique; elles devront s'étendre au domaine de la médecine et des sciences biologiques apparentées, afin que l'on puisse faire la lumière sur les mécanismes d'action des contaminants atmosphériques.

Il suffit souvent d'appliquer les connaissances existantes pour arriver à réduire les émissions de polluants. Le problème est donc essentiellement de nature économique. Par exemple, il est possible de diminuer les émissions d'oxydes de soufre des centrales de chauffage, soit en débarrassant le fuel du soufre qu'il peut contenir, soit en épurant les effluents gazeux, mais le coût de ces opérations est très élevé. Il est également possible de réduire dans une grande mesure les émissions de composés du soufre qui émanent des fabriques de sulfate. Outre les techniques classiques, on peut faire appel pour cela à la combustion ou à l'oxydation par chloration. Toutefois, les considérations économiques sont prédominantes, car l'augmentation des coûts a des réper-

cussions sur la concurrence internationale dans le commerce des fuels, et l'attitude à l'égard du problème de la pollution varie selon les pays.

En ce qui concerne la pollution par les véhicules à moteur, les connaissances existantes sont, là encore, suffisantes pour réduire considérablement les émissions délétères. Il existe déjà dans le commerce plusieurs modèles d'épurateurs de gaz d'échappement. Aux États-Unis d'Amérique, toutes les automobiles mises en circulation à partir de 1968 doivent en être équipées. D'autre part, d'importantes améliorations sont actuellement apportées aux moteurs à combustion interne. Il reste cependant à donner à la législation appropriée une plus large portée géographique; c'est la conclusion qui s'impose lorsque l'on note par exemple que les véhicules européens exportés vers les États-Unis doivent être munis d'un épurateur de gaz d'échappement, alors qu'ils sont encore mis en circulation sans ce dispositif dans les pays d'origine.

Des recherches techniques sont nécessaires dans de nombreux domaines. Par exemple, il faudrait mettre au point de nouvelles méthodes d'épuration des effluents gazeux en tenant compte des facteurs économiques. Il faut aussi perfectionner les méthodes d'analyse qui interviennent aux différents stades de la lutte contre la pollution atmosphérique. Pour les polluants particuliers, des techniques d'échantillonnage et d'analyse normalisées sont indispensables. Enfin, des instruments enregistreurs portatifs, d'un fonctionnement sûr, plus efficaces et peu coûteux, permettraient d'obtenir des mesures sous une forme qui se prête directement à l'exploitation sur ordinateur.

Des recherches fructueuses sont également possibles sur beaucoup d'autres questions : interaction entre particules et gaz; dispersion atmosphérique dans diverses conditions météorologiques; études purement descriptives sur les types de polluants atmosphériques rencontrés en différents lieux, etc. On ne connaît encore que très incomplètement les relations entre la nature des polluants atmosphériques et leurs effets, en particulier chez l'homme, mais les études en laboratoire et sur le terrain se sont beaucoup élargies et intensifiées ces dernières années. En règle générale, les études faisant appel aux méthodes de l'épidémiologie ne peuvent que révéler l'existence de tel ou tel effet et, d'ordinaire, ne permettent pas de déterminer la ou les substances responsables. En outre, il est encore plus difficile d'utiliser les techniques épidémiologiques pour établir que tel ou tel effet n'existe pas.

Dans ces conditions, et parce qu'il est généralement essentiel d'intervenir avant que les effets redoutés ne se matérialisent, il y a lieu d'entreprendre des études expérimentales sur l'animal. Ces études comportent toutefois cette limitation que leurs résultats ne sont pas automatiquement applicables à l'homme.

Dans bien des cas, il est incontestablement justifié de prendre des mesures préventives avant que les rapports entre l'exposition aux polluants et ses effets n'aient été complètement élucidés. A long terme cependant, il est extrêmement important de pouvoir dresser des courbes dose/effet sur lesquelles on puisse tabler en toute confiance. Cela vaut non seulement pour les effets intéressant la médecine, mais aussi pour les dommages causés à la végétation, aux matériaux, etc. Pour généraliser dans les limites du raisonnable, on peut certainement dire qu'il convient de prendre toutes les mesures préventives que les impératifs pratiques et économiques n'excluent pas. Quant à juger de ce qui est pratique et économique, on ne peut le faire qu'en fonction de

l'effet protecteur attendu de telle ou telle mesure. En d'autres termes, l'appréciation finale devra reposer sur l'étude de courbes dose/effet. Comme chaque décision peut avoir des répercussions économiques importantes, on recherchera donc de plus en plus d'exactitude dans l'analyse des coûts et des rendements. Cependant, des jugements subjectifs devront aussi intervenir si l'on veut faire la part des importantes valeurs intangibles que la société peut retirer de la lutte contre la pollution de l'air.

POLLUTION DU SOL

Dans certaines régions semi-tropicales du monde, l'homme est à ce point infesté par des vers — transmis principalement par les sols pollués — que plus de la moitié des aliments qu'il produit et qu'il consomme sont métabolisés par les parasites qu'il abrite. On peut dire ainsi que la moitié du travail fourni par une paysannerie en mauvais état de santé est absorbée par la culture de produits qui ne servent qu'à nourrir les vers auxquels ce mauvais état de santé est imputable.

Le problème de la pollution du sol se pose non seulement dans les secteurs ruraux où l'hygiène est insuffisante, mais aussi dans les zones industrielles à population dense. Dans un récent rapport sur l'accroissement de la pollution de l'air, de l'eau et du sol, établi par le Conseil national de la recherche de l'Académie nationale des sciences des États-Unis d'Amérique, on trouve notamment le passage suivant : « La pollution est une altération indésirable des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de l'air, du sol et de l'eau qui peut menacer ou menace effectivement la vie de l'homme et celle d'autres espèces nobles... La pollution augmente non seulement du fait que l'espace disponible pour chaque individu se rétrécit à mesure que les populations humaines s'accroissent, mais aussi parce que la demande individuelle augmente continuellement au point que chacun de nous a chaque année davantage de restes et de déchets à rejeter. Mais à mesure que la densité de population augmente, les lieux où l'on peut rejeter quoi que ce soit se font de plus en plus rares : la poubelle de chacun empiète sur l'espace vital du voisin. »

Depuis les temps les plus reculés, on a reconnu le rôle que peuvent jouer les sols pollués dans la transmission des maladies au sein des groupes humains. Pour donner un exemple des premières réactions de l'homme contre la pollution du sol, il suffira de rappeler ici que la Bible avait déjà souligné l'importance du dépôt hygiénique des excréta.

Dans le monde moderne, nous avons affaire à des sols pollués non seulement par des agents biologiques pathogènes, mais aussi par des agents chimiques par des agents biologiques pathogènes, mais aussi par des agents chimiques et radio-actifs qui exposent l'homme à de nouveaux types de danger.

POLLUTION DU SOL PAR LES AGENTS BIOLOGIQUES PATHOGÈNES

Les agents biologiques qui peuvent polluer le sol et provoquer la maladie chez l'homme se répartissent en trois groupes :

1. Les micro-organismes pathogènes excrétés par l'homme et transmis à l'homme par contact avec un sol contaminé ou par consommation de fruits ou de légumes ayant poussé sur un sol contaminé (cycle homme-sol-homme).
2. Les micro-organismes pathogènes des animaux transmis à l'homme par contact avec un sol contaminé par les déjections d'animaux infectés (cycle animal-sol-homme).
3. Les micro-organismes pathogènes naturellement présents dans le sol et transmis à l'homme par contact (cycle sol-homme).

Des bactéries et protozoaires entéropathogènes peuvent contaminer le sol lorsque les excréta ne sont pas éliminés de façon hygiénique, lorsque des terres sont engraisées au moyen d'excreta ou de gadoues, lorsque les cultures elles-mêmes sont irriguées directement par des eaux d'égouts. Les sols et les cultures peuvent être ainsi contaminés par les agents bactériens du choléra, de la salmonellose, de la dysenterie bacillaire (shigellose), des fièvres typhoïde et paratyphoïde ou par les protozoaires responsables de l'amibiase. Cependant, ces maladies sont le plus longtemps transmises par l'eau, par contact direct entre personnes ou par contamination des aliments. Les mouches qui se reproduisent dans des sols contaminés par des excréta ou qui entrent en contact avec de pareils sols peuvent devenir les véhicules des organismes pathogènes en cause, encore que les enquêtes épidémiologiques faites jusqu'ici donnent à penser que, d'une manière générale, les mouches ne jouent pas un rôle important dans la transmission des maladies de ce groupe.

Dans presque toutes les régions du monde, des vers parasites (ou helminthes) affectent l'état de santé des populations humaines. Même dans les pays les plus développés, où les infections helminthiques sont relativement bénignes ou peu fréquentes, celles qui se produisent sont à juste titre considérées comme un mal. Les helminthes transmis par les sols pollués ou contaminés peuvent être répartis en deux catégories :

1. Helminthes directement infectants ou transmis par les excréta : œufs et larves sont infectants dès qu'ils sont déposés au sol avec les excréta; l'infection est donc transmissible de personne à personne moyennant contact avec un sol contaminé;
2. Helminthes transmis par le sol ou géohelminthes: dans ce groupe, œufs et larves ne deviennent infectants qu'après une période d'incubation dans le sol.

Dans l'ensemble, on peut considérer que la prévalence des infections helminthiques est un bon indice du niveau d'hygiène atteint par une collectivité. Si l'on arrive à donner une solution au problème de la pollution, toutes les infections à helminthes seront pratiquement éliminées.

Selon le comité d'experts compétent de l'OMS, il est aujourd'hui généralement admis qu'une relation directe, longtemps méconnue, existe entre l'anémie et l'ankylostomiase; l'anémie est également liée, mais à un degré moindre, à d'autres infections helminthiques. Ces infections peuvent en effet provoquer des pertes de fer, de protéine et d'autres composants essentiels des globules rouges du sang. Elles peuvent aussi entraver l'absorption de ces substances. Des lésions du foie et d'autres effets pathologiques leur sont également imputables. D'autre part, la malnutrition peut être déclenchée ou aggravée par les infections helminthiques, car non seulement les vers produisent des sécrétions qui gênent la digestion des protéines, mais encore ils entrent eux-mêmes

en concurrence avec leur hôte et absorbent à leur profit des nutriments essentiels. Par les hémorragies qu'elles provoquent, les infections helminthiques peuvent enfin entraîner d'autres pertes importantes qui augmentent les besoins nutritionnels.

LUTTE GÉNÉRALE CONTRE L'ANKYLOSTOMIASE

De bonne heure l'ankylostomiasse a fait l'objet de mesures de lutte dans diverses mines d'Europe, et les résultats obtenus ont été remarquables. En mettant en place les installations sanitaires voulues et en traitant les personnes infectées, on est parvenu à ramener la fréquence de l'infection et de la maladie à un degré pratiquement négligeable en Europe, sauf dans certains secteurs du Portugal et chez les ouvriers agricoles d'Italie. Cette réussite est due en partie au fait qu'il a été possible de convaincre ou de discipliner les collectivités intéressées, en partie aussi au fait qu'il s'agissait de pays à climat relativement froid. A la suite de ces premiers succès, des campagnes d'éradication ont été lancées dans d'autres parties du monde, principalement sous les auspices de l'International Health Board de la Fondation Rockefeller. Elles ont consisté à faire des enquêtes sanitaires et épidémiologiques, à pratiquer la chimiothérapie, à installer des latrines et à éduquer la population. Des campagnes analogues ont été entreprises par divers services de santé dans presque tous les pays d'endémie. En Europe et aux États-Unis, elles ont eu pour effet de réduire considérablement l'intensité de l'infection. Mais dans la plupart des cas où le milieu favorisait particulièrement la transmission, elles ont peu modifié la prévalence. Selon des estimations récentes, l'ankylostomiasse serait encore responsable, dans l'ensemble du monde, d'une déperdition quotidienne de sang équivalant à l'exsanguination totale d'environ 1 million et demi d'individus. S'il est communément admis que la médecine préventive s'est révélée efficace dans les régions tropicales en général, il reste que la lutte contre les helminthes transmis par le sol n'y a progressé que très lentement.

LUTTE CHIMIQUE

On a étudié les possibilités de lutte chimique contre les helminthes au stade libre, et des recherches ont été faites sur la destruction chimique des œufs et des larves d'ascarides et d'ankylostomes. Le traitement chimique des eaux d'égouts et des vidanges est techniquement possible, mais les produits nécessaires sont coûteux et d'application malaisée. Il est difficile de parvenir à tuer les œufs et les larves dans le sol, car les pluies dispersent et entraînent les œufs, tandis que les larves s'enfoncent parfois à une profondeur de trois centimètres ou davantage, sous une couche de terrain qui les protège. Il faut donc, en appliquant les produits, s'assurer qu'ils pénètrent assez profondément. Cette condition n'étant pas toujours remplie, beaucoup de substances qui donnent de bons résultats en application directe au laboratoire sont en fait inefficaces lorsqu'on les emploie sur le terrain.

HYGIÈNE PRÉVENTIVE

La prévention des helminthiases transmises par le sol se ramène dans une large mesure à un problème d'évacuation des matières fécales. Il convient donc

d'accorder à ce problème un rang de priorité élevé dans tous les programmes de lutte. L'évacuation doit être assurée dans des conditions telles que l'on écarte tout danger de contamination, soit en choisissant un point de décharge hors de toute atteinte, soit en traitant les vidanges. Or, même dans les pays économiquement avancés, l'évacuation des matières du tout-à-l'égout est loin d'être satisfaisante; dans les autres, la lutte contre les infections helminthiques suppose d'abord l'installation de latrines aussi bien dans les campagnes que dans les villes. On connaît toutefois bien des cas où cela ne s'est pas traduit par une régression correspondante de l'infection. Ces échecs ne doivent pourtant pas amener à conclure que le remède préconisé est inopérant : ils prouvent simplement que les latrines aménagées n'ont pas été correctement utilisées.

CONTAMINATION DES TERRES CULTIVABLES ET DES CULTURES

Partout où les engrais du commerce sont rares, ce qui est le cas dans la plupart des régions du globe, les déjections humaines sont un précieux substitut pour l'agriculture. Le contenu des latrines, des fosses septiques et des égouts est fréquemment employé pour fumer les terres. En outre, là où l'eau manque, on réutilise souvent les eaux résiduaires à titre d'appoint pour l'irrigation. Or, à défaut de certaines précautions, ces pratiques peuvent être dangereuses pour la santé publique. Il arrive que les ankylostomes et les ascarides, ainsi d'ailleurs que d'autres helminthes, survivent assez longtemps dans le sol et contaminent les végétaux destinés à être consommés crus, ce qui contribue à propager les infections. En outre, il se peut que des entérobactéries pathogènes et d'autres parasites protozoaires, *Entamoeba histolytica* par exemple, contaminent le sol et les cultures. Des nombreuses études qui ont été faites, il ressort qu'avant traitement, les effluents domestiques ou les vidanges contiennent ordinairement tout le spectre des micro-organismes pathogènes éliminés par la collectivité desservie. Au cours de l'une de ces études, on a isolé les agents de la fièvre typhoïde, de la dysenterie bacillaire, de la dysenterie amibienne, de l'ascaridiase et d'autres infections à protozoaires et à helminthes dans les eaux résiduaires brutes, ainsi que dans les effluents d'une station d'épuration à filtres percolateurs de grand rendement. Les procédés de traitement des eaux résiduaires permettent d'éliminer certains de ces organismes pathogènes. Pour juger de leur efficacité du point de vue bactériologique, on peut par exemple utiliser comme indice l'élimination des organismes coliformes.

Comme on peut s'y attendre, l'emploi des eaux résiduaires pour l'irrigation aboutit à la contamination du sol et des cultures par de multiples organismes pathogènes. Des études ont donc été faites également sur la viabilité de divers organismes indicateurs et pathogènes dans les terres ou sur les cultures irriguées au moyen d'eaux usées. Cette viabilité varie de plusieurs jours à quelques mois selon le type d'organisme, et sa résistance aux facteurs délétères du milieu selon les conditions climatiques, l'humidité du sol, le degré de protection assuré par la couverture végétale, etc.

Dans certains pays, une réglementation limite l'emploi des eaux résiduaires pour l'irrigation à certaines cultures non destinées à la consommation humaine ou aux cultures de produits consommés uniquement après cuisson et traitement. Dans la mesure où l'on dispose des moyens administratifs de faire observer pareille réglementation ou de convaincre les agriculteurs de s'y conformer, il est possible ainsi de limiter les dangers que présentent pour la santé

publique l'irrigation au moyen d'eaux usées et la pollution des sols. L'application de ces règlements a montré qu'en dépit des restrictions qu'ils imposent, les grandes exploitations bien organisées qui pratiquent l'irrigation à l'aide d'eaux résiduaires peuvent encore, moyennant un bon plan d'assolement, réaliser des programmes de cultures équilibrés. Toutefois, les petits producteurs sont toujours tentés d'employer des eaux résiduaires pour irriguer leurs cultures les plus lucratives, même lorsque la loi l'interdit. En outre, même lorsqu'il s'agit de denrées végétales qui sont consommées cuites, il arrive qu'ayant été en contact avec des eaux résiduaires ou avec un sol contaminé, elles polluent à leur tour les aires de travail ou les ustensiles de cuisine, provoquant ainsi la contamination d'autres denrées destinées à être consommées crues.

Autre problème : celui de la protection des ouvriers agricoles employés à l'irrigation par les eaux résiduaires. Dans beaucoup de pays occidentaux, la santé des ouvriers agricoles des exploitations où se pratique l'épandage ne paraît pas atteinte. Dans l'Inde, par contre, on a enregistré, chez les agriculteurs pratiquant ce système, une incidence des ankylostomiasés et autres parasitoses nettement plus élevée que dans l'ensemble de la population.

MALADIES ANIMALES TRANSMISSIBLES A L'HOMME

Dans un certain nombre de zoonoses, les sols contribuent largement à la transmission de l'agent infectant de l'animal à l'homme. Dernièrement, un groupe d'experts OMS/FAO a fait une étude détaillée de ce problème. Parmi ces maladies figurent notamment la leptospirose, le charbon, la fièvre Q, la dermatite vermineuse rampante, les mycoses, le tétanos, le botulisme et la coccidioïdomycose.

POLLUTION DU SOL PAR LES PRODUITS CHIMIQUES ET LES MATIÈRES RADIO-ACTIVES

Les pulvérisations de pesticides et d'herbicides chimiques sur le sol et les plantes sont devenues de plus en plus fréquentes au cours des vingt-cinq dernières années. Dans de nombreux pays du monde, l'agriculture a besoin de ces produits pour maintenir sa production aux niveaux élevés auxquels elle est parvenue. Lorsqu'il a étudié cette question, le Conseil national de la recherche des États-Unis a fait observer que les résidus de ces substances présents dans les denrées alimentaires livrées à la consommation humaine peuvent être un danger pour l'homme, encore que jusqu'ici on n'ait guère enregistré de faits établissant que la pollution du sol ait joué par elle-même un rôle important en la matière. Les accidents dus à la négligence ou à une utilisation excessive des pesticides et herbicides font naturellement exception.

Une bonne partie des produits en cause ne s'accumulent pas dans la terre et sont détruits par les bactéries du sol en l'espace de quelques mois ou d'une année ou deux. Certains hydrocarbures chlorés et certains composés phénoxy-chlorés persistent cependant dans le sol : les parties argileuses ou l'humus peuvent les enserrer de telle sorte qu'ils ne peuvent être attaqués par les micro-organismes. En outre, quelques composés chlorés opposent apparemment une résistance à la destruction biologique; une structure moléculaire donnée

peut expliquer cette résistance. Les micro-organismes du sol ont rapidement raison de l'herbicide 2,4-D, mais le composé 2,4,5-T, qui lui est apparenté de très près, demeure assez longtemps intact. Parmi les insecticides, le DDT et la dieldrine sont relativement résistants à la dégradation biologique dans le sol.

S'ils ne sont ni détruits par les micro-organismes ni fixés dans le sol, les pesticides peuvent donner lieu à des concentrations biologiques à la suite de tout un enchaînement de processus alimentaires. C'est ainsi que les vers de terre peuvent absorber par contact ou par voie digestive l'époxyde heptachloré présent dans le sol et le concentrer dans leur organisme. Dans la volaille qui se nourrit de vers peut alors se produire une concentration plus grande encore du pesticide. Le risque de concentration biologique des pesticides présents dans le sol demeure toutefois un problème en puissance, et l'on s'est préoccupé surtout des résidus déposés sur les végétaux destinés à la consommation humaine. L'usage prolongé de pesticides résistants à la destruction biologique ou susceptibles d'être absorbés et concentrés dans le sol et de passer d'une manière ou d'une autre dans l'alimentation humaine risque de soulever de graves problèmes. Cela dit, la plupart des pesticides qui se déposent sur le sol perdent leur toxicité ou restent extérieurs aux éléments passant dans la chaîne alimentaire des animaux ou de l'homme.

Des éléments radio-actifs qui proviennent des retombées atmosphériques faisant suite à une explosion atomique ou des déchets liquides ou solides évacués par des établissements industriels ou de recherche peuvent atteindre le sol et s'y accumuler. Les trois principaux éléments radio-actifs de longue période produits par la fission de l'atome sont le carbone 14 (période : 5 600 ans), le strontium radio-actif (^{90}Sr ; période : 28 ans) et le césium radio-actif (^{137}Cs ; période : 30 ans). Le carbone 14 est normalement présent dans le sol et il n'y a guère de risque que des modifications intervenant dans la teneur du sol en ^{14}C entraînent des changements dans la composition des végétaux, car ceux-ci tirent la plus grande partie de leur carbone de l'atmosphère; il ne semble pas non plus qu'il faille craindre des effets adverses sur la faune terrestre qui se nourrit essentiellement de ces végétaux.

C'est dans l'hémisphère nord, où ont eu lieu jusqu'à tout récemment la plupart des explosions nucléaires, que l'on trouve les plus grandes quantités de ^{90}Sr dans la pluie, et ce sont les régions de cet hémisphère où les précipitations sont les plus importantes qui ont reçu le plus de ^{90}Sr .

Aux États-Unis, les rayonnements provenant des produits de fission déposés dans le sol par les retombées sont du même ordre de grandeur que le rayonnement naturel du sol, quand ce n'est pas dix fois moins importants. De l'avis de nombreux spécialistes, on n'a guère de raisons de penser que cet accroissement de la radio-activité puisse influencer sur la faune du sol et sur ses prédateurs. Une augmentation des retombées radio-actives pourrait néanmoins, à la longue, provoquer une contamination du sol assez considérable pour devenir inquiétante, à moins que tous les États ne limitent strictement leurs essais nucléaires.

En certains points, l'évacuation des déchets radio-actifs des installations utilisant l'énergie atomique pourrait donner lieu à une pollution du sol suffisante pour poser des problèmes de santé publique, si l'on négligeait de prendre les précautions et d'assurer le contrôle qui s'imposent. Or les dispositions prises à cet égard sont en général tout à fait satisfaisantes.

POLLUTION DU SOL ET ÉLIMINATION DES DÉCHETS SOLIDES

Le sol est le principal réceptacle des déchets solides des zones urbaines et industrielles. En milieu urbain, l'évacuation des déchets solides pose un certain nombre de problèmes de santé publique qui ont fait l'objet d'une analyse assez détaillée dans un rapport du Conseil national de la recherche des États-Unis.

La situation est surtout préoccupante du fait que les zones urbaines, suburbaines et rurales sont de plus en plus densément peuplées, ce qui ne laisse pas ou pas beaucoup de place pour les dépôts d'immondices. Les autorités locales indépendantes sont ainsi amenées à comprendre que la planification régionale est, à longue échéance, la seule solution au problème.

Dans les pays très industrialisés, les déchets agricoles solides qui s'accumulent à proximité des agglomérations urbaines suscitent eux aussi des difficultés, surtout lorsqu'il s'agit de déchets provenant du bétail et de la volaille, qui entraînent une importante prolifération de mouches, et en se décomposant, dégagent une odeur nauséabonde.

La production de déchets solides par habitant varie sensiblement d'un pays à l'autre, mais elle s'accroît partout à mesure que s'élève le niveau de vie. Aux États-Unis et dans certains pays d'Europe, cette augmentation est estimée à environ 2 % par an. Le problème de la pollution du sol par les déchets diffère, sur plusieurs points importants, de ceux que pose la pollution de l'air ou de l'eau, car les polluants demeurent en place pendant les périodes relativement longues s'ils ne sont pas évacués, brûlés, entraînés par les eaux ou éliminés de quelque autre façon. Dans bon nombre de pays développés, les considérations esthétiques jouent un rôle important à cet égard, et l'on accepte difficilement les dépôts de ferrailles ou d'immondices à l'air libre, qui ne peuvent qu'offrir un aspect rebutant. La prolifération des insectes et des rongeurs, ainsi que les émanations pestilentielles des matières organiques en décomposition ou en cours de combustion lente, sont extrêmement gênantes et soulèvent parfois des problèmes de santé publique.

L'utilisation de plus en plus intensive des terrains dans les grands centres urbains a conduit à chercher d'autres moyens de se débarrasser des déchets solides, mais cela n'a fait que créer de nouveaux problèmes de pollution. L'incinération, si elle n'est pas faite convenablement, peut aggraver la pollution atmosphérique, et l'évacuation par les égouts de déchets broyés accroît la charge des installations de traitement des eaux, souvent déjà insuffisantes, ainsi que la pollution de cours d'eau déjà trop sollicités. On ne saurait accepter une solution consistant simplement à déplacer le problème.

POLLUTION DES TERRES AGRICOLES

Autrefois, les éléments nutritifs de l'économie agricole suivaient un cycle bien défini. Ils passaient de la terre aux plantes et des plantes aux animaux avant de retourner à la terre. Dans certains des pays les plus industrialisés, l'adoption des engrais chimiques a rompu cet équilibre. Sur de vastes zones agricoles, il existe d'importants excédents de déchets végétaux et animaux dont on ne peut se débarrasser de façon satisfaisante, ce qui entraîne une pollution du sol. Le problème devient particulièrement aigu lorsque l'urbanisation gagne les régions agricoles. Dans les zones d'expansion qui se forment

ainsi, on risque finalement d'avoir à traiter les déchets solides d'origine agricole de la même manière que les déchets urbains.

A mesure que l'agriculture devient de plus en plus intensive et utilise des quantités croissantes d'agents artificiels (pesticides, engrais, etc.) la pollution du sol par les produits chimiques, accompagnée d'une augmentation des déchets organiques en excédent, pourrait finir par poser un problème très préoccupant dans les régions agricoles. Tout programme à long terme de lutte contre la pollution doit prévoir les moyens de se débarrasser sans danger de ces déchets.

ÉVACUATION HYGIÉNIQUE DES DÉCHETS SOLIDES

L'évacuation des déchets solides d'origine urbaine ou agricole peut se faire d'une manière hygiénique, propre à réduire à un minimum les effets nocifs de la pollution. Si le travail est organisé et exécuté avec soin, on peut empêcher la pollution en enfouissant les déchets dans des conditions d'hygiène contrôlées, formule qui permet d'affecter à la culture, au bout d'un certain temps, les terrains récepteurs qui ne s'y prêtaient pas à l'origine. Cependant, si l'on ne prend pas toutes les précautions voulues, on risque de polluer des eaux souterraines ou de créer d'autres nuisances. La transformation des déchets solides en compost, notamment s'ils ont une teneur élevée en matières organiques, peut être, dans certaines régions du monde, un moyen satisfaisant de prévenir la pollution du sol. On rend par là au sol, pour maintenir sa composition et sa fertilité, des matières organiques dont il a le plus grand besoin. Toutefois, s'il doit être pratiqué en grand, le compostage pose des problèmes financiers et opérationnels. Dans les régions où il donne de bons résultats, les pouvoirs publics subventionnent très généreusement les opérations.

RELATIONS ENTRE LA POLLUTION DE L'AIR, DE L'EAU ET DU SOL

Les échanges air-sol et eau-sol représentent en fait un système dans lequel une partie des éléments du sol est simplement déplacée à l'intérieur du sol, tandis qu'une autre est évacuée dans les océans. Dans la nature, l'eau sape, dissout et désintègre les matières du sol et les transporte ailleurs. De même, l'érosion est un phénomène par lequel le vent arrache au sol des matières qu'il dépose plus loin, sur la terreferme ou dans les océans. Par le canal de ces échanges, les déchets naturels provenant de la vie et de la mort des végétaux et des animaux suivent un cycle qui les ramène aux organismes vivants. Ainsi, dans la nature, les déchets organiques deviennent les matières premières d'une nouvelle production et ne posent aucun problème de pollution du sol.

L'activité de l'homme sur le sol a eu pour premier effet de l'incommoder lui-même par l'accumulation, dans son propre milieu, de produits inorganiques que la nature met longtemps à désintégrer et à redistribuer, ainsi que de produits organiques qu'elle traite à sa façon relativement vite, mais en donnant naissance à des sous-produits de décomposition — substances chimiques ou organismes vivants — que l'homme considère comme extrêmement gênants.

Face à la pollution du sol créée par l'homme, la nature procède de la même manière que dans le cas de la pollution spontanée. Les bactéries attaquent les matières organiques, généralement selon des processus anaérobies, avec tout ce que cela suppose comme odeurs et autres nuisances. Les déchets organiques

finissent ainsi par être incorporés au sol. Les déchets inorganiques sont décomposés plus lentement et la transformation de certaines substances, comme les métaux et les matières plastiques, peut demander de longues années. Pour que toute la gamme des déchets solides résultant de l'activité humaine puisse être finalement éliminée, il faut des « dépôts » efficaces et stables capables de recevoir et de retenir les produits sans provoquer une pollution nocive du milieu. Seuls le sol et les océans semblent remplir les conditions nécessaires à cet égard.

Les polluants atmosphériques naturels tels que les poussières organiques et inorganiques, le pollen, les spores de champignons et les particules de sels minéraux sont ramenés au sol par les précipitations et les retombées naturelles de poussières. Cela signifie que de très petites quantités de matières polluantes sont en fin de compte dispersées sur de vastes territoires.

La situation est analogue en ce qui concerne les polluants atmosphériques dus à l'activité humaine. Des gaz et des matières particulaires d'une très grande diversité sont transportés par l'air et déposés au sol. Comme la plupart de ces polluants sont libérés dans l'atmosphère à partir d'un point donné, puis dispersés sur une zone assez étendue, ils n'ont généralement guère d'effets dommageables sur l'ensemble des terres. On a toutefois signalé des cas de grave pollution du sol à proximité d'établissements industriels, et notamment des incidents où la végétation a souffert dans un rayon de 30 km autour de la source de pollution. On peut néanmoins considérer que, d'une manière générale, les échanges air-terre représentent peu de chose par rapport à la capacité totale du sol.

Les principaux mécanismes des mouvements de polluants allant de l'eau à la terre comprennent : le dépôt de vase, d'argile, d'autres éléments du sol et de résidus organiques par les eaux de surface, y compris les inondations; le dépôt de matières minérales en certains points par les eaux souterraines; le dépôt de sels par pénétration directe d'eau salée; l'accumulation de sels minéraux faute d'une lixiviation suffisante dans les secteurs irrigués; l'accumulation de résidus d'origine domestique ou industrielle apportés par les eaux d'arrosage. Les polluants résultant de l'activité humaine sont transportés et déposés de la même façon. Les installations antipollution seront donc établies aux points où les polluants passent de l'eau dans le sol et viseront soit à les diriger vers les océans, soit à en éliminer les éléments nocifs.

CONCLUSIONS

L'environnement constitue un système dynamique d'interactions. La pollution devrait donc être toujours considérée sous l'angle de son effet sur la totalité de celui-ci. Un système d'approche mettant l'accent sur les relations air-eau-sol est alors recommandé pour toutes les études de pollution du milieu.

Puisqu'une approche multidisciplinaire est toujours essentielle, une amélioration des relations entre scientifiques et organismes de contrôle, à la fois nationaux et internationaux, est d'une nécessité urgente. La pollution de l'air et de l'eau, celle de l'air et de la terre, celle de l'eau douce et des eaux marines ne constituent pas des problèmes différents. Leurs impacts sur l'écologie du globe sont étroitement liés.

La pollution de l'environnement constitue un problème qui concerne les

ressources et qui comporte des implications d'importance vitale pour la santé publique. La majorité de nos connaissances sur la manière de contrôler la pollution provient des recherches et des applications dans ce domaine. Elle constitue, d'autre part, un problème économique qui affecte directement l'industrie et l'agriculture, à la fois dans les pays industrialisés et les pays en voie de développement. Si la pollution impose des contraintes sur la planification du milieu physique, elle constitue également un problème social, avec toutes les implications législatives, administratives, culturelles et politiques qui y sont liées.

L'homme, souvent, est simultanément exposé à de multiples contraintes et à l'action de multiples facteurs néfastes du milieu. Les effets sur sa santé peuvent être cumulés et même parfois synergiques. L'approche globale du problème de la salubrité de l'environnement réclame un échange et une distribution accrus de l'information. Les programmes de contrôle de cette salubrité devraient faire plein usage de toutes les actions d'information développées par les agences nationales et internationales et devraient être étroitement coordonnés avec les programmes de contrôle des maladies. En dépit des efforts considérables des organisations internationales, le recueil et l'utilisation efficace de l'information disponible posent encore des problèmes non résolus.

Des études approfondies d'écologie humaine devraient être particulièrement stimulées. Bien que de nouveaux concepts et de nouvelles connaissances technologiques nombreuses soient encore nécessaires pour découvrir les solutions les meilleures à bien des problèmes de contrôle, beaucoup peut être fait pour prévenir et contrôler la pollution, sans attendre le résultat des recherches futures. Cette remarque s'applique particulièrement aux pays en voie de développement.

Le système de « centres de référence internationaux, régionaux et nationaux et de laboratoires associés », mis sur pied par l'OMS dans de nombreux domaines de contrôle des maladies et de promotion de la santé, pourrait être profitablement utilisé pour améliorer la collaboration internationale et interdisciplinaire dans les études de pollution de l'environnement. De telles structures faciliteraient en effet, la coordination des programmes de recherches des institutions spécialisées et des laboratoires qui consacrent leur activité aux différents aspects de la pollution de l'air, de l'eau et du sol. Elles stimuleraient l'échange d'informations scientifiques. Un réseau de « centres de référence sur la pollution de l'environnement et de laboratoires associés » devrait être créé.

La promotion d'une approche multidisciplinaire du contrôle de la pollution peut être également stimulée par l'établissement et le développement d'instituts de recherche appliquée, étroitement liés aux travaux opérationnels et aux travaux sur le terrain, et fournissant les services de consultants là où ils sont nécessaires. De tels instituts pourraient posséder les moyens et les spécialistes nécessaires à des travaux sur le contrôle de la pollution de l'air, de l'eau et du sol; sur la technologie et l'économie de l'évacuation des déchets et de la fourniture d'eau; sur la médecine du travail; sur le contrôle des radiations ionisantes; sur la lutte contre le bruit et sur différents domaines de la biologie mésologique, tel le contrôle des vecteurs. Ils devraient avoir une compétence régionale et pourraient servir de centres de formation spécialisée dans les sciences et les techniques relatives à l'environnement.

Étant donné la possible irréversibilité d'actions qui peuvent être effec-

tuées au cours des prochaines décennies, une organisation internationale devrait être chargée de la responsabilité de surveiller, d'identifier et d'évaluer les changements qui interviennent dans le tableau total des ressources. Leurs effets potentiels pourront alors être détectés et mesurés, et de nouvelles instructions pour la continuation du contrôle pourraient en résulter.

Ce dont nous avons besoin essentiellement est une agence pleinement qualifiée se consacrant à l'écologie humaine. Son développement doit commencer par un stade élémentaire, mais ne doit pas être différé plus longtemps, en raison des difficultés évidentes qu'implique la création en totalité d'un nouvel appareil international.

L'homme et ses écosystèmes ; l'objectif d'un équilibre dynamique avec le milieu satisfaisant les besoins physiques, économiques, sociaux et spirituels

Ce document a été rédigé sur la base d'un projet de René Dubos (États-Unis), commenté et complété par Marion Clawson (États-Unis), F. Frazer Darling (Royaume-Uni), F. Bourlière (France) et les secrétariats de l'Unesco, de la FAO et de l'OMS.

LA STABILITÉ BIOLOGIQUE DE L'HOMO SAPIENS

Tous les hommes sont des migrants dérivant d'une origine commune. Les diverses races humaines ont subi des modifications minimales au cours des temps préhistoriques et historiques du fait des migrations qui, en les soumettant à l'influence de facteurs mésologiques différents, les ont menés à adopter des modes de vie différents. Dans l'ensemble, toutefois, leur constitution génétique est demeurée à peu de chose près ce qu'elle était il y a quelque cent mille ans. Rien n'indique par ailleurs qu'elle doive se modifier de façon sensible dans un avenir proche; le processus normal de l'évolution génétique est en effet beaucoup trop lent pour cela, alors même que la sélection naturelle opère encore. C'est pourquoi l'homme ne peut subsister que dans les limites relativement étroites des conditions physiques et chimiques qui sont compatibles avec les caractéristiques anatomiques et physiologiques de l'espèce *Homo sapiens*.

Comme l'homme moderne ne cesse de conquérir des milieux nouveaux, on a l'impression que son adaptabilité biologique est plus grande et qu'il se libère ainsi de la loi évolutive qui a régi tout son passé. Ce n'est là toutefois qu'une illusion. Où qu'il aille et quoi qu'il fasse, l'homme ne peut subsister que dans la mesure où il entretient ou crée autour de lui un microhabitat analogue à celui dans lequel il est devenu ce qu'il est. Il ne peut se déplacer au fond des océans ou dans l'espace extra-atmosphérique que s'il demeure relié à la terre par un cordon ombilical ou s'il demeure enfermé dans un espace qui reproduit presque parfaitement l'atmosphère terrestre. Il peut survivre dans des milieux pollués par des produits chimiques, et résister au bruit et à des stimuli excessifs, mais ne conserve sa pleine santé physique et mentale qu'à condition de se protéger de ces pollutions par des moyens divers.

Cela dit, il n'en est pas moins vrai par ailleurs que l'homme contemporain est tout aussi adaptable que l'homme de la fin de l'âge de la pierre, qui a colonisé une bonne partie du globe. Un nombre extraordinaire de personnes ont survécu, au cours des dernières décennies, aux terribles épreuves de la guerre moderne ou des camps de concentration.

Dans des conditions normales, les mécanismes biologiques de l'adaptation sont complétés par des mécanismes qui n'impliquent aucune modification de la nature biologique de l'homme. Dans le monde entier, les cités les plus peuplées, les plus polluées et les plus brutales sont également celles qui attirent le plus de monde et dont la population croît au rythme le plus rapide. Des hommes et des femmes fournissent un travail qui est source de richesse économique, dans un état de tension nerveuse extrême, au milieu du bruit d'enfer que font les machines de haute puissance, les machines à écrire, les téléphones, et dans une atmosphère polluée par les vapeurs chimiques et le tabac.

La remarquable tolérance de l'homme à des conditions profondément différentes de celles dans lesquelles il s'est développé a donné naissance à un mythe selon lequel il pourrait modifier indéfiniment et sans risque son mode et son milieu de vie grâce au progrès technologique et social; il n'en est rien; au contraire, cette facilité d'adaptation biologique et socio-culturelle à des tensions diverses et à des conditions défavorables constitue précisément, et paradoxalement, une menace pour son bien-être individuel et pour l'avenir de la race humaine.

Il convient ici d'ouvrir une parenthèse pour préciser que les acceptions orthodoxes en biologie du terme « adaptation » ne s'appliquent pas sans réserves aux ajustements qui permettent à l'être humain de survivre et de fonctionner dans les conditions de vie modernes. En effet, dans le cas de l'homme, les forces socio-culturelles faussent actuellement les effets des mécanismes adaptatifs de l'évolution qui fonctionnent dans le reste du règne animal.

Pour le biologiste, l'expression « adaptation darwinienne » implique une harmonie de l'espèce animale considérée avec un milieu donné, harmonie qui lui permet de se multiplier et, le moment venu, d'envahir de nouveaux territoires. Aux termes de cette définition, l'homme semble remarquablement adapté aux conditions de vie existant aussi bien dans les sociétés fortement industrialisées que dans les pays sous-développés, puisque l'humanité ne cesse de s'accroître et d'occuper une superficie toujours plus grande du globe terrestre. Mais ce qui, pour une espèce animale, représenterait un succès biologique, constitue pour l'espèce humaine une grave menace sociale. Les dangers que pose l'accroissement démographique de l'humanité font clairement apparaître que le concept darwinien d'adaptation est inutilisable si l'on fait du bien-être de l'humanité le critère de son adaptabilité.

Pour le physiologue, une réaction à une tension dans le milieu est adaptative lorsqu'elle a pour but de neutraliser les effets perturbateurs de cette tension sur le corps et l'esprit. Les réactions d'adaptation physiologique et psychologique constituent en général un facteur de bien-être pour l'organisme au moment où elles se produisent; chez l'homme, toutefois, elles ont d'ordinaire des effets secondaires néfastes à long terme. L'homme est capable d'acquiescer une certaine tolérance à la pollution ambiante, au caractère excessif des stimuli, à une vie sociale harassante dans un climat de compétition, à un rythme totalement étranger aux cycles biologiques naturels, et à toutes les autres séquelles

de la vie dans le monde des villes et de la technique. Cette tolérance lui permet de résister victorieusement à des influences qui, au départ, sont désagréables ou traumatisantes; toutefois, dans beaucoup de cas, elle est acquise grâce à un ensemble de processus organiques et mentaux qui risquent d'engendrer les phénomènes chroniques de dégénérescence qui pèsent si souvent sur l'âge adulte et la vieillesse, même dans les pays les plus prospères.

L'homme peut également apprendre à tolérer la laideur du cadre dans lequel il vit, un ciel enfumé et des rivières polluées. Il peut survivre même au mépris complet de l'ordonnance cosmique des rythmes biologiques. Il peut vivre sans le parfum des fleurs ou le chant des oiseaux, sans le spectacle vivifiant de la nature et sans les autres stimuli biologiques du monde physique. La suppression d'un certain nombre d'agréments et celle des stimuli qui ont conditionné son évolution biologique et mentale peuvent n'avoir aucun effet néfaste *manifeste* sur son aspect physique ou son efficacité en tant que rouage de la machine économique ou technologique, mais elle risque de provoquer, et entraîne en fait la plupart du temps, à long terme, un appauvrissement de sa vie, la perte progressive des qualités que nous associons à la notion d'être humain et une diminution de son équilibre physique et mental.

L'air, l'eau, la terre, le feu, les rythmes naturels et la diversité des espèces vivantes sont importants non seulement en tant que combinaisons chimiques, forces physiques ou phénomènes biologiques, mais bien également parce que c'est sous leur influence que s'est façonnée la vie humaine et qu'ils ont par conséquent créé chez l'homme des besoins profondément enracinés qui ne se modifieront pas dans un avenir prévisible. Les pathétiques exodes de fin de semaine vers la campagne ou les plages, les cheminées qui subsistent dans les appartements surchauffés des villes, l'attachement sentimental pour des animaux ou même des plantes, témoignent de la survivance profonde chez l'homme des appétits biologiques et émotionnels qu'il a acquis au cours de son histoire évolutive, et dont il ne peut se défaire.

Tel le géant Antée de la légende grecque, l'homme perd sa force dès qu'il ne touche plus terre.

LA PUISSANCE CRÉATRICE DE LA VIE HUMAINE

Si la constitution génétique de l'*Homo sapiens* ne s'est guère modifiée depuis la fin de l'âge de la pierre, il est évident que ses manifestations phénotypiques ont grandement varié avec le temps et diffèrent considérablement d'un endroit à l'autre. S'il en est ainsi, c'est que l'humanité considérée en tant que tout est dotée de virtualités génétiques extrêmement étendues qui, dans des circonstances normales, demeurent latentes et qu'actualise chez chaque individu sa façon créatrice de réagir à l'égard de son milieu. L'homme ne peut modifier de façon significative la constitution génétique de la race humaine, mais il n'en est pas moins en mesure d'exercer une grande influence sur la qualité de la vie humaine, du fait qu'il a appris à agir sur les facteurs constitutifs de son milieu qui conditionnent les expressions phénotypiques de son patrimoine héréditaire. L'homme, en tant qu'individu et en tant qu'espèce, crée ce qu'il est par une suite de choix déterminants.

Nous pouvons poser, comme base théorique d'un examen de l'influence qu'exerce le milieu sur la vie humaine, quelques grandes généralisations :

1. Vivre, c'est réagir à des stimuli. Le milieu se prête donc le mieux au développement de l'espèce humaine lorsqu'il est suffisamment changeant pour être une source constante de défis, pourvu que ceux-ci ne soient pas tels que le corps et l'esprit humains ne puissent y répondre de façon satisfaisante.
2. Que les défis ainsi lancés à l'espèce humaine soient d'origine physique ou sociale, la diversité du milieu est essentielle. Chaque individu est doté au départ d'une gamme étendue d'aptitudes mentales à l'état latent qui ne pourront s'actualiser que si les circonstances se prêtent à leur développement. En outre, étant donné que chaque individu diffère des autres par ses goûts et ses aspirations, et partant, par ses besoins, il est impossible d'isoler un type précis de milieu qui soit également favorable pour tous.
3. Il est également impossible de définir quel est le milieu optimal pour l'homme si l'on considère ce dernier comme élément isolé. Sur le plan écologique, l'homme est un élément du milieu dans son ensemble; il ne peut donc parvenir à la santé mentale et la conserver si les circonstances ne se prêtent pas à la santé du milieu dans son ensemble. L'expression «santé du milieu» telle que nous l'employons ici désigne l'état du système physique et biologique dans lequel vit l'homme. Elle implique non seulement la survie du système mais encore son aptitude à évoluer de telle façon que l'homme puisse en faire autant. Le devenir est au moins aussi important que l'être.

EXIGENCES BIOLOGIQUES ET BESOINS SOCIAUX

Théoriquement, tous les êtres humains ont plus ou moins les mêmes exigences biologiques essentielles; en fait, ces exigences sont conditionnées par la société et varient considérablement d'un groupe à un autre. Les besoins alimentaires eux-mêmes ne peuvent être définis indépendamment d'un contexte historique et social. La valeur d'un article alimentaire n'est pas seulement fonction de sa teneur en protéines, en hydrates de carbone, en lipides, en vitamines, en minéraux et autres composants chimiques. Un aliment donné possède, outre sa valeur métabolique, une ou plusieurs valeurs symboliques qui le font considérer comme indispensable, ou au contraire comme inacceptable, par un groupe donné, selon les convictions et les expériences antérieures des personnes qui le composent. Il n'y a pas que chez les peuples primitifs que ces aspects symboliques de la nutrition présentent de l'importance. Les Américains répugnent encore plus à manger de la viande de cheval que les Français à manger du pain de maïs.

De plus, les besoins ne sont pas immuables. Certains, qui nous semblent presque essentiels aujourd'hui, pourront sembler accessoires à une autre génération, non pas parce que la nature biologique de l'homme aura changé, mais parce que le milieu social se modifie généralement de façon rapide et profonde. Il se peut par exemple que l'on assiste à la disparition progressive de la voiture individuelle si la conduite en vient à perdre son attrait — que ce soit à cause des encombrements ou à cause d'une certaine lassitude — et si les gens apprennent à passer une partie accrue de leurs loisirs en des endroits accessibles à pied. La maison individuelle, si caractéristique du continent américain, pourrait, elle aussi, tomber complètement en désuétude si la possession de la maison où l'on habite cessait d'être symbole d'indépendance

économique et sociale du fait d'une généralisation de la prospérité et la sécurité financière. Une évolution des mœurs en matière d'automobile et de logement aurait probablement des incidences considérables sur le sort des régions non urbaines, tout comme une évolution des méthodes de production alimentaire.

Le terme de « besoin essentiel » ne signifie donc rien, car en fait, les peuples ont besoin de ce dont ils ont envie. Au fur et à mesure que se développe la civilisation technique, les besoins sont de moins en moins déterminés par les exigences biologiques fondamentales de l'*Homo sapiens* et de plus en plus par ses aspirations sociales.

Ces aspirations sont suscitées par le milieu dans lequel vit l'homme, et plus particulièrement par celui dans lequel il a été élevé. Les membres d'un groupe social donné en viennent généralement à souhaiter, et par conséquent à juger nécessaire, ce que le groupe juge le plus désirable. La belle vie s'identifie à la satisfaction de ces besoins, quelle que soit leur utilité sur le plan biologique.

L'envie devient besoin, non seulement pour les individus, mais également pour des sociétés entières. Un système et un cérémonial religieux extrêmement compliqués constituaient apparemment pour les villes européennes du XIII^e siècle un besoin, puisqu'elles consacraient à la fondation d'églises et de monastères un pourcentage de leurs ressources économiques et humaines qui nous paraît extravagant par rapport aux autres aspects de la vie médiévale. Nos propres sociétés semblent particulièrement soucieuses de donner forme à un matérialisme bourgeois rehaussé de platitudes édifiantes qui lui confèrent un certain brillant de surface. Ce matérialisme à son tour crée son propre système de besoins onéreux, totalement étrangers à toute nécessité biologique : coûteuses boissons gazéifiées et programmes de télévision narcotiques, par exemple.

NÉCESSITÉ D'UN MILIEU DIVERSIFIÉ

Le milieu que l'homme se crée par le biais de ses besoins constitue, dans une très grande mesure, le mode de vie qu'il transmet aux générations suivantes. Le milieu ne fait donc pas qu'influencer le mode de vie actuel; il conditionne également les jeunes et détermine par là l'avenir de la société. Aussi est-il regrettable que l'on en sache si peu, et que l'on ne se donne pas plus de mal pour en apprendre davantage, sur la façon dont le milieu dans son ensemble influe sur le développement physique et mental de l'enfant et sur l'importance que conserve cette influence dans la vie de l'adulte.

Il est certain que les virtualités latentes de l'être humain ont plus de chances de s'actualiser lorsque le milieu dans son ensemble présente une diversité suffisante pour constituer une source d'expériences stimulantes variées, notamment pour les jeunes. C'est lorsqu'un nombre de plus en plus grand de personnes trouvent l'occasion d'exprimer une part plus importante de leur patrimoine héréditaire dans des conditions diverses que la société s'enrichit et que les civilisations continuent à s'épanouir. En revanche, lorsque le milieu et les modes de vie sont extrêmement stéréotypés, les seuls éléments de la nature humaine qui peuvent s'exprimer et se développer sont ceux qui sont adaptés à la gamme limitée des conditions existantes.

Du point de vue historique, l'homme a mis longtemps à élargir son horizon et à exploiter pleinement son potentiel génétique. Il ne semble donc pas que le fait pour l'homme jeune d'être entouré par la nature soit la garantie d'une existence riche et diversifiée. En outre, l'homme a abouti aujourd'hui dans certaines zones rurales des pays développés à une telle monotonie de récoltes et de cultures qu'elle étouffe toute possibilité de développement humain.

On tient généralement pour acquis que le mode de vie actuel des pays riches correspond aux vœux des populations; en fait, ce mode de vie est déterminé par les choix qui s'offrent. Les désirs que nourrissent les gens sont dans une grande mesure fonction des choix qui leur ont été offerts au début de leur vie. Il n'est pas impossible que beaucoup d'enfants qui grandissent dans certaines des banlieues les plus riches des pays industrialisés souffrent d'un manque critique d'expérience et qu'il faille y voir la cause de la médiocrité de leur vie d'adultes. En revanche, certaines régions défavorisées du monde offrent des milieux humains dont l'effet stimulant et la diversité sont tels qu'ils produisent nombre d'adultes remarquables en dépit de la pauvreté initiale de leur vie matérielle.

Aucun doute n'est possible, en tout état de cause, quant à l'atmosphère stérilisante de nombreux ensembles d'habitation modernes, qui sont hygiéniques et rationnels, mais ne favorisent absolument pas l'épanouissement des virtualités humaines. Un peu partout dans le monde, on organise ces ensembles comme s'il ne s'agissait que de loger des gens parfaitement interchangeables dans des espèces de petites cages bonnes à détruire après usage. Quel que soit leur patrimoine héréditaire, la plupart des jeunes qui auront grandi dans un milieu aussi terne et dont l'expérience de la vie aura été extrêmement limitée pâtiront d'une sorte de manque qui se traduira par une paralysie intellectuelle et mentale.

Il est indispensable de ne pas oublier, lorsque l'on cherche à juger de la qualité humaine d'un milieu, qu'une exposition passive aux stimuli ne suffit pas à provoquer le développement de l'individu. Le stimulus ne devient *formateur* que si l'organisme est mis en mesure d'y réagir de façon active et créatrice. Les parcs de récréation et les jardins zoologiques, aussi richement équipés soient-ils, ne sont pas les substituts adéquats d'une participation active de l'enfant à des situations qui lui permettent d'acquérir une expérience directe du monde. La délinquance chez les jeunes est probablement due dans une grande mesure au fait que le monde moderne ne fournit pas à l'être humain l'occasion d'exercer de façon créatrice sa force physique et mentale pendant la période la plus active de son développement.

Si l'homme constitue une espèce biologique particulièrement réussie, c'est en raison de sa très grande adaptabilité. Il peut chasser ou cultiver la terre, être carnivore ou végétarien, vivre dans la montagne ou au bord de la mer, choisir la solitude ou la vie en groupe, et ce sous des régimes démocratiques, aristocratiques ou totalitaires. Mais l'histoire montre également que des sociétés, après avoir parfaitement fonctionné grâce à leur haut degré de spécialisation, se sont rapidement effondrées dès que les circonstances se sont modifiées. Une société très spécialisée, tout comme un expert hautement compétent dans une branche très étroite, est rarement adaptable.

Il deviendra de plus en plus difficile, étant donné la conformité culturelle et l'enrégimentation sociale progressives qu'entraîneront la monotonie sour-

noise d'une vie trop organisée et trop dominée par la technique, la standardisation des systèmes d'éducation, l'information de masse et le caractère passif des activités de loisir, d'exploiter pleinement la richesse biologique de l'espèce humaine, et l'évolution future de la civilisation pourra s'en trouver ralentie. Il nous faut fuir autant l'uniformité de notre environnement que la conformité totale en matière de comportement et de goûts. Nous devons au contraire chercher à diversifier autant que possible les milieux où nous vivons. La richesse et la diversité des milieux physiques et sociaux constituent un aspect essentiel du fonctionnalisme, que ce soit en matière de planification des zones rurales et urbaines, de conception de l'habitat ou de l'aménagement de la vie privée.

La diversité peut entraîner une certaine perte d'efficacité mécanique et administrative et elle augmentera certainement les tensions, mais, et c'est là le plus important, elle contribuera à constituer les diverses couches de terre qui permettront la croissance des germes dormant actuellement au plus profond de la nature humaine.

LE BUT DES POLITIQUES DE CONSERVATION

On dit souvent que le progrès de l'homme dépend de sa capacité de *vaincre* la nature. Or tout individu a des besoins biologiques et affectifs qui exigent de sa part non pas une victoire sur la nature, mais plutôt une action en harmonie avec les forces naturelles. Une politique de conservation devrait viser en définitive à aménager le milieu de telle sorte qu'il contribue à la santé physique et mentale de l'homme et à l'épanouissement de la civilisation. Malheureusement, si l'on connaît bien certains aspects limités des techniques de conservation, on voit mal, généralement, ce qu'il faut conserver et pourquoi il faut le conserver. En fait, comme on le verra, il faudrait moins conserver qu'assurer l'évolution ordonnée des rapports entre l'homme et la nature.

Conserver, c'est assurément maintenir un équilibre entre les multiples éléments de la nature (humanité comprise). Cette doctrine est difficile à concilier avec l'orientation actuelle de la civilisation moderne, qui repose sur l'idée que l'homme, à l'image de Faust, ne doit reconnaître aucune limite à son pouvoir. L'homme faustien éprouve de la satisfaction à maîtriser le monde extérieur et il recherche sans cesse le succès pour le succès, même lorsqu'il se propose des buts inaccessibles. On ne voit guère dans ces conditions comment l'équilibre pourrait s'établir.

Pour être compatibles avec l'esprit de la civilisation moderne, les méthodes de conservation ne doivent pas servir exclusivement ou même essentiellement à préserver des éléments isolés du monde naturel ou des œuvres individuelles de l'homme sous prétexte qu'il s'agit de phénomènes intéressants ou de témoignages de beauté. Ce qu'elles doivent viser à maintenir, ce sont les conditions qui permettent aux meilleures qualités de l'homme de s'épanouir. Puisque l'homme se situe par rapport à tout son environnement et particulièrement qu'il est modelé par lui, la conservation implique une qualité des rapports plutôt qu'un maintien passif de l'état de choses. Il faut que l'homme s'engage dans un échange créateur avec ses semblables, avec les animaux, avec les plantes, avec tous les objets de la nature qui, directement ou indirectement, influent sur lui et sur lesquels il agit à son tour.

La totalité du milieu, vestiges du passé compris, ne prend tout son sens pour l'homme que si elle s'intègre harmonieusement à sa vie même. On peut même prouver que les forces du milieu, en modelant de manière irréversible tous les aspects du développement de l'homme, sont pour ainsi dire inscrites dans ses structures physiques et mentales.

L'imprécision du sens du mot nature rend plus difficile l'établissement d'une base scientifique pour une théorie de la conservation. Si le terme désigne le milieu qui existerait en l'absence de l'homme, bien peu de nature subsiste. Aucune politique de conservation, si stricte soit-elle, ne pourrait redonner au milieu son aspect primitif; on peut se demander d'ailleurs si cela serait souhaitable. La nature n'est jamais statique. Les forces physiques et les êtres vivants la transforment continuellement, en particulier les animaux qui en modifient certaines parties, soit pour satisfaire leurs besoins biologiques, soit par leur comportement.

Pour les animaux comme pour l'homme, le genre de milieu qui est le plus satisfaisant est celui qui leur est familier et auquel ils ont apporté des changements qui facilitent leur vie biologique et sociale (délimitations territoriales, pistes d'exploration, voies d'accès aux sources d'eau, zones retirées pour l'accouplement, abris pour les jeunes). En général, l'idéal est qu'il y ait un rapport cybernétique complémentaire entre un milieu donné et un être vivant donné.

La nature civilisée ne devrait être considérée ni comme un objet à conserver intact ni comme un sujet à dominer et exploiter, mais plutôt comme un jardin à mettre en valeur en fonction de ses virtualités propres pour que les êtres humains puissent s'y épanouir selon leur génie. L'idéal serait que l'homme et la nature s'unissent en un ordre fonctionnel créateur et non répressif.

Il est possible de maîtriser la nature sans la détruire. Malheureusement, maîtriser la nature signifie de nos jours asservir la flore et la faune. Or, tout comme les hommes et les animaux, les paysages ainsi domestiqués perdent leur essence véritable et deviennent sans âme. Pour réussir biologiquement, toute domestication exige l'établissement de rapports qui ne privent pas l'organisme domestiqué (l'homme, animal ou nature) de l'individualité sans laquelle il ne peut survivre.

INTERACTION DE L'HOMME ET DE LA NATURE

Il existe deux genres de paysages satisfaisants. L'un est un paysage aussi peu modifié que possible par l'intervention de l'homme. Ce type de paysage se raréfiera de plus en plus à mesure que la population mondiale augmentera, mais nous devons faire tout notre possible pour préserver quelques spécimens de cette nature primitive afin de ne pas perdre la possibilité de reprendre contact de temps à autre avec le monde originel. Pour conserver sa santé mentale, l'homme a sans doute besoin de ne pas se sentir coupé de ses origines biologiques et du reste de la création.

L'autre type de paysage satisfaisant est celui que l'homme a créé et dans lequel il est parvenu à une harmonie avec les forces naturelles. Le plus souvent, ce paysage est le résultat des échanges séculaires entre les sociétés et les terres où elles se sont établies. Dans le monde entier, le charme tout humain de certaines zones peuplées depuis des temps très anciens montre quel peut

être le pouvoir affectif de ces longues épousailles de l'homme et de la terre, souvent subconscientes d'ailleurs. De telles qualités peuvent-elles être obtenues par un bouleversement rapide et purement rationnel de la nature ? Cela reste à démontrer.

Le plus souvent, nous ne cherchons pas la nature à l'état brut, mais un paysage adapté aux dimensions humaines et exprimant les aspirations de la vie civilisée sous ses multiples formes. C'est pourquoi chaque peuple a son paysage préféré qui représente l'union et la synthèse des forces naturelles et de ses traditions culturelles. Bien des lieux que nous considérons aujourd'hui comme des milieux naturels sont en fait des produits de l'histoire. Ainsi, les vallées du Nil et de l'Euphrate ont été modelées par le travail de l'homme à la période néolithique. Une grande partie des terres arables du monde proviennent de l'aménagement par l'homme des forêts primitives. Nombre des plantes que l'on juge aujourd'hui typiques du paysage méditerranéen, l'olivier par exemple, ont été en réalité apportées de l'Iran. Quant à la tulipe qui est maintenant si caractéristique des Pays-Bas, elle n'y fut apportée de Turquie qu'au ^{xvi}^e siècle seulement.

De même, quelles que puissent être les transformations sociales, les villes avec le tracé de leurs rues, les routes qui les joignent et la campagne qui les environne conservent le caractère qui leur a été imposé par les premières influences historiques qu'elles ont subies. Ainsi, le développement futur des cités nouvelles, surtout aux États-Unis d'Amérique, sera nécessairement commandé par le tracé des rues à angle droit et le réseau routier qui les ont modelées à leur origine.

Puisque le milieu tel qu'il se présente aujourd'hui est en majeure partie une création de l'homme et influe à son tour sur l'évolution des sociétés humaines, la recherche de la qualité du milieu ne doit pas tellement être axée sur la préservation de l'état naturel que sur les effets que ce milieu aura sur l'avenir de la civilisation. De ce point de vue, la situation paraît bien sombre dans la plupart des régions du monde. Partout, les sociétés semblent prêtes à accepter la laideur pourvu que leurs richesses économiques augmentent. Qu'ils soient naturels ou qu'ils aient subi l'influence de l'homme, seuls les paysages qui n'offrent pas de possibilités d'exploitation industrielle et économique conservent leur beauté.

La transformation de la nature en dépotoir symbolise le cours actuel de la civilisation technologique. Et pourtant, les richesses matérielles que nous créons ne présenteront aucun intérêt si, pour cette création, il faut violenter la nature et détruire le charme de ce qui nous entoure. Dans le passé, la sauvagerie de la nature primitive s'est peu à peu humanisée sous l'effet du travail et de l'amour fervent et continu des paysans, des moines et des princes. De même aujourd'hui, nous devons apprendre à convertir le morne chaos né de la technologie en un type nouveau de nature qui soit urbanisé et industrialisé, certes, mais digne du nom de civilisation.

Manifestement, le bouleversement brutal de la terre n'est ni le seul ni le meilleur moyen d'aménager le milieu. L'homme devrait au contraire s'efforcer de collaborer avec les forces de la nature. Il devrait s'insérer dans son milieu de manière à ne former qu'un tout organique avec la nature. D'ailleurs, la nature policée et les paysages à l'état sauvage ont tous deux place dans la vie de l'homme parce qu'ils satisfont deux de ses besoins différents, mais également importants. D'une part, l'homme d'aujourd'hui conserve de son passé

le besoin de retrouver les manifestations de la nature primitive qui a modelé jadis son être physique et mental; d'autre part, la civilisation lui fait désirer les champs, les parcs, les jardins et les villes. Les politiques de conservation doivent donc tenir compte de la totalité des aspects biologiques et socio-culturels du passé de l'humanité.

Dans les immenses agglomérations urbaines du monde moderne, il faut donner aux habitants plus que des parcs de loisirs, des routes pour les touristes ou des aires cimentées pour les campeurs. Aucune philosophie sociale de l'urbanisation ne peut réussir si elle ne replace pas l'homme des villes dans le réseau hautement intégré des liens qui unissent toutes les formes de vie. Il y a longtemps que les grandes villes existent, mais, jusqu'à une époque récente, leurs habitants pouvaient demeurer en contact assez étroit et direct avec la campagne ou la mer et donc satisfaire les besoins physiologiques et psychologiques que l'homme a hérités de son lointain passé. L'expérience historique, au XIX^e siècle surtout, montre que les populations urbaines ont tendance à devenir irritables lorsqu'elles sont complètement sevrées de tels contacts. Préserver la nature, aussi bien à l'état sauvage que sous ses formes humanisées, est donc un élément essentiel de l'urbanisme.

Chaque fois que l'homme a réussi par son travail amoureux à humaniser la terre et à en assurer la viabilité biologique, son succès a résulté de son aptitude et de sa disposition à se plier, dans ses créations, aux contraintes que lui imposaient le climat, la topographie et les autres caractéristiques locales de la nature. Dans le passé, il en était ainsi même pour les villes, dont le plan respectait certains impératifs géographiques. Les villes modernes, au contraire, se développent sans égard pour les contraintes biologiques et physiques, et uniquement sous l'influence de nécessités économiques et politiques. La conviction que l'homme peut « maîtriser » le milieu et s'affranchir de ses limites biologiques naturelles a créé l'impression que l'expansion des villes peut se faire indépendamment de toute discipline. La plupart des problèmes d'urbanisme ont pour cause cette conception impropre de la liberté. Comme celui des campagnes, l'aménagement des villes ne pourra être mené à bien si l'homme ne réapprend pas à reconnaître et à accepter les contraintes inhérentes à sa nature biologique et aux conditions géographiques. En fait, le concept d'utilisation planifiée du milieu dans lequel nous vivons, ou mieux, selon l'expression française, « d'aménagement du territoire », commence à peine à se dégager comme objet d'une discipline nouvelle, et il est grand temps qu'on l'applique dans le monde entier sur des bases écologiques saines.

LE VAISSEAU SPATIAL « TERRE »

On parle beaucoup, en ce moment, de la possibilité d'améliorer la constitution génétique de l'homme, mais il est exclu qu'on puisse y parvenir dans un délai prévisible, et de fortes raisons nous incitent même à croire qu'on aurait tort d'essayer. Au contraire, les leçons de l'expérience individuelle, comme celles de la société et de l'histoire, prouvent à l'évidence que la personnalité physique et mentale se modifie rapidement et profondément sous l'influence de facteurs mésologiques, surtout quand ceux-ci agissent sur un organisme en formation, aux premiers stades de son développement. Le moyen pratique d'améliorer la vie humaine consiste donc à agir sur les facteurs mésologiques sociaux et

physiques; à cette fin, il est essentiel de diversifier les conditions et les modes d'existence, afin de tirer le meilleur parti possible de la diversité génétique des hommes.

La planification du milieu ne peut s'opérer de façon rationnelle lorsqu'on agit sous la pression d'une nécessité urgente, comme c'est en général le cas à notre époque. Malheureusement, ce n'est pas pour appliquer des programmes complets et intégrés d'utilisation de l'eau et de la terre que l'on construit de grands barrages dans toutes les parties du monde, mais par crainte des inondations ou des pénuries d'eau. Les mesures de lutte contre l'érosion du sol ne sont prises que lorsque des dommages irréversibles ont déjà été causés. Chacun a conscience des dangers du bruit, de la pollution du milieu, de l'utilisation abusive des stupéfiants, mais il est rare que des mesures efficaces soient prises avant qu'une catastrophe ne crée une atmosphère de panique. En fait, la plupart des programmes relatifs au milieu ne sont que des réactions empiriques à des crises aiguës et prennent d'ordinaire la forme de mesures palliatives dispersées visant à apaiser le malaise social ou à ralentir l'épuisement de quelques ressources naturelles.

L'absence de programmes d'ensemble relatifs au milieu est due en grande partie à un manque de clairvoyance intellectuelle et à l'attention insuffisante portée aux facteurs sociaux, mais elle résulte aussi du fait que les problèmes qui mettent en jeu le bien-être humain comportent des variables si complexes qu'ils ne se prêtent pas facilement à une planification ordonnée ni à une étude utilisant les méthodes analytiques orthodoxes des sciences naturelles. Du point de vue du bien-être total de l'homme, les efforts pour améliorer le milieu rural et urbain resteront empiriques aussi longtemps qu'on ne pourra les fonder sur une meilleure connaissance des effets à long terme qu'exercent les facteurs de milieu sur la santé physique et mentale. Il faudra pour cela élaborer une science de la vie humaine considérée dans ses rapports avec le milieu, très différente de la science des choses, qui monopolise aujourd'hui le monde du savoir.

Faute de connaissances suffisantes, le milieu est manipulé presque exclusivement d'après des critères techniques, sans qu'on se préoccupe beaucoup de ses effets biologiques et psychologiques. Or ces effets devraient être étudiés du point de vue non seulement de leurs répercussions locales et immédiates, mais aussi de leurs conséquences à long terme pour l'ensemble de l'humanité.

Bientôt, toutes les parties du globe seront occupées ou exploitées par l'homme, et la situation sera devenue critique en ce qui concerne les ressources naturelles dont disposera l'humanité. C'est alors l'aménagement économe de la planète, et non l'exploitation des ressources naturelles, qui conditionnera la survivance de l'espèce humaine. Ce n'est pas en créant des stations dans l'espace ou au fond des océans que l'on modifiera sensiblement, même dans la meilleure hypothèse, les limites physiques de l'existence humaine. L'homme est apparu sur la terre, s'est développé sous son influence, en a reçu sa forme, et lui est lié biologiquement à jamais. Il peut rêver d'étoiles et flirter à l'occasion avec d'autres mondes, mais il restera toujours marié à la terre, son unique source de subsistance.

A mesure qu'augmente la population mondiale, les dimensions limitées du vaisseau spatial Terre et l'inéluctable épuisement de ses ressources naturelles obligeront inévitablement à fonder son exploitation sur les principes écologiques les plus stricts. Or les hommes ne se sont pas encore suffisamment

rendu compte qu'il s'agit là d'une impérieuse nécessité. Le terme même d'écologie a été introduit dans la langue scientifique, par Haeckel, il y a seulement un siècle, tant est récente la prise de conscience du fait que tous les éléments de la nature composent une trame unique, dont l'homme lui-même est une maille ! Jusqu'à présent, l'homme s'est conduit comme si l'espace à sa disposition était illimitée, et comme s'il existait des réserves inépuisables d'air, de sol, d'eau et d'autres ressources. Il a pu agir ainsi avec une relative impunité dans le passé parce qu'il restait toujours des endroits où il pouvait se rendre pour recommencer sa vie, et s'engager à son gré dans n'importe quelle sorte d'aventure. Les expériences historiques vécues par l'homme au cours de son évolution étant intimement mêlées à sa structure mentale, il est compréhensible qu'il trouve difficile de ne plus se comporter en nomade et en chasseur. Il ne lui paraît pas naturel de rester en paix sur un lopin de terre pour le cultiver avec soin. S'il crée sans réfléchir des situations écologiques dangereuses en puissance, c'est en partie parce qu'il n'a pas encore appris à se soumettre aux contraintes de son vaisseau spatial.

La prise en considération de l'écologie est une attitude si peu familière même à de nombreux savants qu'on s'imagine souvent qu'elle implique l'acceptation d'un système absolument statique. Les spécialistes de la sociologie humaine craignent que l'intérêt professionnel que portent les écologistes au fonctionnement équilibré et harmonieux d'un écosystème stable dans un étang ne soit étendu sans réfléchir à l'ensemble de la terre et de la population humaine. Ils ont raison de souligner que les rapports de l'homme avec son milieu total ne peuvent pas être considérés comme un écosystème stable, car cela supposerait que l'aventure humaine est parvenue à son terme.

Les forces physiques du milieu ne cessent de se modifier, lentement certes, mais inexorablement. En outre, toutes les formes de la vie, y compris la vie humaine, sont en évolution constante, et contribuent par là même à modifier le milieu. Enfin, il semble que l'homme éprouve fondamentalement le besoin de chercher sans cesse de nouveaux milieux et de nouvelles aventures. Il est donc impossible de maintenir le statu quo. Même si nous étions assez instruits et assez sages pour réaliser à un moment donné un équilibre écologique harmonieux entre l'humanité et les autres composantes du vaisseau spatial Terre, il ne pourrait s'agir que d'un équilibre dynamique, compatible avec le développement ininterrompu de l'homme. Ce qui importe, c'est de savoir si les interactions entre l'homme et son environnement naturel et social seront déterminées par des forces aveugles, comme il semble que ce soit le cas pour la plupart, sinon la totalité, des espèces animales, ou si elles seront guidées de propos délibéré par des jugements rationnels.

De l'aveu général, toute l'évolution biologique de l'homme, jusqu'à présent, et une grande partie de son histoire résultent d'accidents ou de choix aveugles. De nombreuses actions accomplies de propos délibéré ont eu des conséquences imprévues et souvent malheureuses; en fait, la plupart des problèmes de milieu qui sont aujourd'hui la plaie de notre civilisation technique sont dus à des découvertes et à des décisions prises pour résoudre d'autres problèmes et élargir la vie humaine. Le moteur à explosion, les détergents synthétiques, les pesticides et les médicaments à effet durable ont été conçus pour rendre service à l'humanité, mais certains de leurs effets secondaires se sont révélés néfastes. Des méthodes d'imprimerie efficace ont permis de publier de bons ouvrages à bas prix, mais elles remplissent les boîtes aux lettres

de publications méprisables et de réclames inutiles, qui encombrant les corbeilles de tonnes de vieux papiers qu'il faut ensuite brûler, ce qui aggrave encore la pollution de l'atmosphère.

L'élimination des déchets est devenue un problème aussi critique que la production de ressources. Il est évident, en vertu de la loi de la conservation de la matière, que le volume des déchets équivaut exactement au volume des ressources utilisées. Ce qui est moins évident, c'est qu'à long terme l'inverse doit également être vrai : la production de ressources dépend de l'utilisation des déchets. Sinon, l'homme transformera la biosphère en une immense décharge publique. Les déchets que la nature ne peut transformer s'accumulent et polluent le milieu. Trouver le moyen de transformer ces déchets pour les rendre utilisables, c'est non seulement résoudre un problème de pollution, mais contribuer aussi à améliorer la qualité du milieu et favoriser la production future de ressources.

Nous espérons heureusement pouvoir mettre au point des techniques permettant de prédire ou de reconnaître de bonne heure les conséquences regrettables d'innovations sociales et technologiques, afin de réduire leurs effets au minimum, mais ces techniques sociales fragmentaires ne remplaceront pas une conception globale du milieu, formulée en fonction des aspirations et des besoins des hommes. Nous ne pouvons continuer pendant longtemps, selon la tendance actuelle, d'accumuler des commodités d'importance secondaire et de corriger des défauts mineurs sans tenir compte du risque d'accroître la probabilité de désastres dus au milieu. Si la civilisation technologique n'a pour but que de produire plus vite des quantités plus importantes des mêmes choses, demain ne sera qu'un aujourd'hui monstrueux.

LA VISION DU MILIEU FUTUR

Comme celle des animaux, la vie des hommes est soumise à des forces d'évolution qui adaptent aveuglément l'organisme à son milieu. L'histoire humaine, toutefois, comprend aussi l'exposé de visions utopiques. Imaginer l'avenir que l'on souhaiterait exige non seulement de la perspicacité, mais en outre un don d'imagination prophétique.

Les philosophes du siècle des lumières, d'un bout à l'autre du monde, avaient imaginé de nouveaux modes de vie longtemps avant que leurs visions soient corroborées par les faits. Ils avaient élaboré l'ébauche de la plupart des caractéristiques nouvelles et désirables des sociétés modernes parce qu'ils étaient convaincus que les connaissances objectives, les techniques scientifiques et les réformes sociales libéreraient un jour les êtres humains de la peur et de la misère. Pendant toute l'histoire humaine, le progrès a été un mouvement vers des buts utopiques imaginés; une fois atteints, ceux-ci ont inspiré à leur tour de nouveaux objectifs.

Les plus belles réalisations de l'humanité concrétisent des vues de l'imagination. Il suffit de penser aux parcs, aux jardins et monuments que nous ont laissés toutes les grandes civilisations pour comprendre que les vues à longue portée constituent une force créatrice capable de donner forme à des milieux humanisés satisfaisants.

Dans le monde entier, les grands parcs et jardins ont pour origine ce sens extraordinaire particulier à l'homme, la faculté de concevoir en imagination

les choses à venir. C'est ainsi que dans plusieurs ouvrages d'architectes paysagistes européens du XVIII^e siècle, on trouve des dessins représentant des parcs tels qu'ils se présentaient au moment de leur création, avec les rives nues de ruisseaux et de lacs nouveaux, des arbres grêles et de maigres massifs. Dans ces dessins, les paysages ont une élégance abstraite et froide, mais manquent de substance ou d'atmosphère. On doit admettre que les paysagistes avaient dessiné les plans d'eau, les pelouses et les parterres fleuris en fonction de la silhouette des arbres et des bosquets non pas tels qu'ils étaient au moment de leur plantation, mais tels qu'ils devaient devenir avec le passage des ans. Les architectes avaient imaginé l'apparence future de leurs conceptions intellectuelles et conçu leurs dessins et leurs plantations de façon à laisser le champ libre aux effets créateurs des forces naturelles.

Des anticipations analogues expliquent la plupart des grandes implantations et perspectives urbaines dans le monde entier. Pour ne citer que deux exemples qui me sont personnellement familiers, des documents historiques détaillés (contenant des plans qui remontent jusqu'au XVIII^e siècle) prouvent que la place du Peuple à Rome et l'ensemble Tuileries - Champs-Élysées - Étoile, à Paris, avaient été imaginés longtemps avant que les conditions sociales et les ressources économiques justifient leur exigence ou rendent leur réalisation possible.

Si les grands jardins, parcs et perspectives urbaines créés par la civilisation du passé nous ravissent encore l'œil et l'esprit, il est indispensable de concevoir un nouveau type de paysage répondant aux besoins actuels et futurs. Les vieilles routes de campagne, bordées de grands arbres, abritaient de façon poétique et pratique le cheminement du piéton, du cavalier et des lentes diligences. Mais une artère moderne doit être conçue de telle sorte que les horizons, les courbes, les arbres et les autres objets visibles répondent aux besoins et aux capacités physiologiques des automobilistes circulant à grande vitesse. L'évolution future des autoroutes dépend de facteurs esthétiques fondés sur des impératifs physiologiques, autant que des nécessités économiques et techniques.

Il est naturellement beaucoup plus compliqué de concevoir un milieu répondant aux besoins d'une immense société technologique que d'imaginer l'apparence future d'un parc ou de dessiner une autoroute. Mais certains principes s'appliquent à toute planification du milieu, parce qu'ils sont fondés sur les aspects universels et immuables de la nature humaine dont nous avons parlé dans l'introduction du présent article.

D'une part, la constitution génétique de l'*Homo sapiens* n'a subi que quelques modifications de détail depuis l'âge de la pierre, et nous n'avons aucun espoir de pouvoir le modifier sensiblement, utilement et sans risque dans un avenir prévisible. Cette permanence génétique définit la race humaine et détermine les limites physiologiques au-delà desquelles la vie humaine ne peut être modifiée sans danger par des innovations sociales et techniques. En dernière analyse, les frontières de l'évolution culturelle et technique dépendent des frontières biologiques propres à l'homme et donc du génotype qu'il a acquis au cours de son évolution dans le passé.

D'autre part, l'humanité dispose d'une importante réserve de possibilités, qui ne se manifestent que dans la mesure où les circonstances sont favorables. L'environnement physique conditionne non seulement les aspects biologiques des expressions phénotypiques, mais aussi leurs aspects mentaux. La planifi-

cation du milieu peut donc jouer un rôle de premier plan, en ce qu'elle permet aux êtres humains de réaliser leurs possibilités. On peut tenir pour acquis qu'il est plus facile de transformer ces possibilités en réalisations concrètes lorsque le milieu physique est suffisamment diversifié pour fournir à l'homme, et notamment aux jeunes, l'occasion de subir l'influence des stimulants les plus variés.

Tout changement d'attitude mentale et de mode de vie devient, sous l'action de mécanismes socio-culturels, une caractéristique permanente du groupe humain intéressé, et à partir de ce moment il conditionne l'évolution future du groupe. Le milieu influe autant, et d'une façon presque aussi irréversible, sur l'évolution socio-culturelle que sur l'évolution biologique.

Les organismes vivants ne survivent — en tant qu'espèce ou individus — que s'ils modifient sans cesse certains aspects de leurs caractéristiques essentielles en réagissant pour s'adapter aux changements de leurs modes de vie. De même, les structures sociales ne conservent leur vigueur et ne se maintiennent qu'en évoluant. Pour accueillir les nouveaux membres de la famille et répondre à des habitudes sociales nouvelles, on développe organiquement les maisons en y ajoutant des pièces, des soupentes et des dépendances construites selon des techniques nouvelles. Les milieux ruraux et urbains évoluent aussi parce que les changements des besoins, des objectifs et des moyens humains sont autant de forces auxquelles répondent les forces du milieu, en une suite sans fin de rétroactions. Le terme « conservation » ne peut être opérationnel que si on l'interprète de façon assez large pour englober l'établissement d'un équilibre dynamique entre l'homme et son milieu.

Des espaces inhabités aux champs et aux forêts écologiquement équilibrés, des domaines princiers aux régions rurales intégrées, des parcs nationaux aux squares urbains, de la lente route de campagne à l'autoroute aux multiples voies, du village à la grande ville et du faubourg à l'agglomération satellite, l'évolution du milieu répond à celle des besoins et des aspirations de l'homme. Le concept d'un milieu optimal cadre mal avec la réalité, parce qu'il suppose une conception statique de l'interaction entre la nature et le génotype humain. La planification de l'avenir exige une attitude écologique fondée sur l'hypothèse que le pouvoir créateur de l'homme fera sans cesse apparaître de nouveaux changements évolutifs. Les interactions constantes entre l'homme et son milieu supposent nécessairement des modifications continues de l'un et de l'autre, modifications qui devraient toujours rester dans le cadre des contraintes qu'imposent les lois de la nature et les immuables caractéristiques biologiques et mentales de l'être humain.

Rapport final

INTRODUCTION

1. La Conférence intergouvernementale d'experts sur les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère s'est tenue au siège de l'Unesco à Paris du 4 au 13 septembre 1968 en application de la résolution 2.23 adoptée par la Conférence générale de l'Unesco à sa quatorzième session.

2. Conformément à la décision 4.3.3 prise par le Conseil exécutif à sa 77^e session, la conférence a été convoquée et organisée par l'Unesco, avec la participation de l'Organisation des Nations Unies, de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), et avec la coopération de l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN) et du Programme biologique international (PBI).

3. Un comité préparatoire de la conférence, composé de représentants des organisations mentionnées ci-dessus, s'est réuni à deux reprises en mars 1967 et en janvier 1968 pour définir les modalités de préparation de la conférence. A cet égard, il a été précisé que, dans le cadre de la conférence, la biosphère devait s'entendre comme la partie du globe terrestre où la vie peut exister; elle comprend donc certaines portions de la lithosphère, de l'hydrosphère et de l'atmosphère. Les travaux ont porté essentiellement sur la partie terrestre de la biosphère, y compris les eaux intérieures et les régions côtières, mais à l'exclusion des ressources de l'océan, qui font l'objet d'une attention particulière dans le cadre d'autres conférences internationales. Les seules ressources considérées ont été les ressources biologiques, y compris les sols et les eaux qui les conditionnent ; elles n'ont pas englobé les ressources inorganiques, sauf dans la mesure où celles-ci servent de support à la vie végétale et animale.

4. La séance inaugurale a été ouverte par M. Malcolm S. Adiseshiah, directeur général adjoint de l'Unesco, en présence de M. A. H. Boerma, directeur général de la FAO, du Dr M. G. Candau, directeur général de l'OMS, de M. G. Gresford, représentant du secrétaire général des Nations Unies, de M. H. Coolidge, président de l'UICN, et de M. J. Baer, président du PBI.

5. Dans son allocution de bienvenue aux participants, M. Adiseshiah a d'abord exprimé les regrets de M. René Maheu, directeur général de l'Unesco, qui,

indisposé, n'avait pu assister à cette séance. Il a ensuite rappelé que l'objet principal de la conférence était de rechercher en quoi et de montrer comment la science moderne pouvait faciliter le choix et la mise au point de méthodes rationnelles d'utilisation des ressources de la biosphère tout en assurant leur conservation. Il a indiqué que la conférence aurait d'abord, sur la base des rapports des États membres et des rapports de synthèse préparés par le Secrétariat, à évaluer la situation présente et le rôle des connaissances scientifiques actuelles dans la planification de l'utilisation rationnelle des ressources. Il a souligné qu'elle devrait ensuite définir les grandes lignes de l'action à entreprendre, tant sur le plan national que sur le plan international, pour l'utilisation rationnelle et la conservation de ces ressources, en insistant particulièrement sur les problèmes de recherche, d'éducation et de politiques et structures scientifiques, relatifs à cette utilisation et à cette conservation.

6. Au cours de la séance inaugurale, la conférence a entendu trois allocutions prononcées par le Dr Candau, M. Boerma et M. Gresford.

Le Dr M. G. Candau, directeur général de l'OMS, a traité de « La santé de l'homme par rapport à la biosphère et ses ressources ».

M. A. H. Boerma, directeur général de la FAO, a pris la parole sur « Les besoins alimentaires et les possibilités de production ».

Enfin M. G. Gresford, représentant du secrétaire général des Nations Unies, a traité des « Besoins qualitatifs et quantitatifs d'espace pour la société ».

Le texte de ces allocutions comme de l'allocution de M. Adiseshiah est donné au chapitre suivant.

7. La conférence a procédé ensuite à l'élection de son président. Sur proposition de l'Australie, appuyée par Madagascar et le Brésil, le professeur François Bourlière, chef de la délégation française, a été élu président de la conférence.

8. La conférence a procédé à l'adoption de son règlement intérieur, qui prévoyait en particulier la constitution de trois commissions portant respectivement sur la recherche, l'éducation et les politiques et structures scientifiques. La conférence a ensuite élu son comité directeur, qui a été constitué comme suit :

Président : professeur F. Bourlière (France);

Vice-président : professeur C. Chagas (Brésil); académicien I. Gerasimov (URSS);

Rapporteur général : professeur Stanley A. Cain (États-Unis);

Président de la commission « Recherche » : professeur A. R. Clapham (Royaume-Uni);

Président de la commission « Éducation » : M. Jan Cerovsky (Tchécoslovaquie);

Président de la commission « Politiques et structures » : M. C. S. Christian (Australie);

Membres élus par la conférence : professeur Hans Luther (Finlande); professeur T. Watanabe (Japon); M. M. G. Ramalanjoana (Madagascar).

Le délégué de la Belgique a émis des réserves concernant l'élection des présidents de commission par la conférence elle-même.

9. Les soixante-trois membres suivants étaient représentés à la conférence :

Algérie	République	Inde	Pologne
République	démocratique	Indonésie	Roumanie
fédérale	du Congo	Irak	Royaume-Uni
d'Allemagne	Côte-d'Ivoire	Irlande	Sénégal
Arabie saoudite	Danemark	Israël	Somalie
Argentine	République	Italie	Suède
Australie	dominicaine	Japon	Suisse
Autriche	Équateur	Kenya	Tchécoslovaquie
Belgique	Espagne	Liban	Thaïlande
RSS de	États-Unis	Madagascar	Togo
Biélorussie	d'Amérique	Mali	Turquie
Brésil	Finlande	Maroc	RSS d'Ukraine
Burundi	France	Monaco	URSS
Cambodge	Gabon	Nicaragua	Uruguay
Canada	Guatemala	Norvège	Venezuela
Ceylan	Haute-Volta	Nouvelle-Zélande	République
Chili	Honduras	Pays-Bas	du Viêt-nam
Chine	Hongrie	Pérou	

Le Saint-Siège, État non membre, était également représenté.

La composition des délégations est donnée en fin d'ouvrage, dans la liste des participants.

Outre l'Organisation des Nations Unies, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui participaient à l'organisation de la conférence, et l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et le Programme biologique international (PBI), qui y apportaient leur coopération, trois organisations du système des Nations Unies étaient représentées : Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), Bureau international du travail (BIT), Organisation météorologique mondiale (OMM).

Étaient représentées également six organisations intergouvernementales, douze organisations internationales non gouvernementales et trois fondations (voir liste des participants).

10. Après l'examen des propositions relatives à l'ordre du jour soumises par le Secrétariat, la conférence a adopté l'ordre du jour suivant :

1. Ouverture de la conférence par le Directeur général de l'Unesco.
2. Élection du président de la conférence.
3. Adoption du règlement intérieur.
4. Élection des vice-présidents, du rapporteur général et des présidents de commission.
5. Adoption de l'ordre du jour.
6. Constitution du comité directeur (élection de trois membres additionnels).
7. Constitution des commissions.
8. Allocutions d'introduction à la conférence.
9. Conceptions scientifiques de la biosphère.
10. L'impact de l'homme sur la biosphère.
11. Examen des rapports présentés par les États membres.

12. Le rôle des connaissances scientifiques dans la planification de l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère.
 - a) Les sols et le maintien de leur fertilité en tant que facteurs affectant le choix de l'utilisation des terres ;
 - b) Les problèmes des ressources en eau considérés en relation avec les besoins biologiques présents et futurs ;
 - c) Les milieux aquatiques non océaniques, leur préservation et la mobilisation rationnelle de leurs ressources ;
 - d) La végétation naturelle et ses modifications en vue de l'utilisation rationnelle des terres ;
 - e) L'écologie animale, l'élevage et l'aménagement efficace de la faune sauvage et de son habitat ;
 - f) La préservation des régions et des écosystèmes naturels ; la protection des espèces rares et menacées ;
 - g) Les problèmes de détérioration du milieu : pollution de l'air, de l'eau et du sol ;
 - h) L'homme et ses écosystèmes ; l'objectif d'un équilibre dynamique avec le milieu, satisfaisant les besoins physiques, économiques, sociaux et spirituels.
13. Principales lignes de l'action à entreprendre pour assurer une utilisation rationnelle et la conservation des ressources sur le plan national et international
 - a) Commission de la recherche ;
 - b) Commission de l'éducation ;
 - c) Commission des politiques et structures scientifiques.
14. Recommandations aux États membres et aux organisations internationales.
15. Adoption du rapport final et clôture.

CONCEPTIONS SCIENTIFIQUES DE LA BIOSPHÈRE

11. Le document de travail sur le point 9 de l'ordre du jour, préparé par le professeur V. Kovda et ses collaborateurs (URSS), avec les commentaires du professeur Frederick Smith (États-Unis), du professeur F. E. Eckardt (Danemark), de M. M. Hadley (Royaume-Uni), de M. E. Bernard (Belgique) et des secrétariats de la FAO et de l'Unesco, a été présenté par le professeur V. Kovda.

12. Dans ce document, les principaux concepts concernant la rupture, le fonctionnement et la genèse de la biosphère sont passés en revue. Cinq principes de base sont dégagés : a) la biosphère a évolué en tant que totalité et fonctionne en tant que totalité ; b) elle est dotée d'une plasticité considérable lui permettant de rétablir son équilibre de fonctionnement lorsque certaines modifications surviennent, qu'elles soient naturelles ou provoquées par l'homme ; c) sa plasticité a des limites dépendant du type d'écosystème considéré, du mode d'intervention utilisé et de la vitesse du changement ; d) la pression démographique et l'évolution de la structure de la société entraîneront inévitablement des modifications toujours plus profondes de la biosphère ; e) une

rationalisation à l'échelle planétaire de l'utilisation des ressources de la biosphère est indispensable si l'on désire assurer aux générations futures des conditions de vie satisfaisantes. Le document fournit des exemples de la structure et du fonctionnement de certains écosystèmes, en mettant l'accent sur le rôle biogéochimique des organismes vivants. L'importance des pertes dans la chaîne alimentaire entre les producteurs primaires et l'homme est mise en avant. Le rapport recommande de promouvoir des recherches sur les moyens d'accroître les quantités et d'améliorer la qualité des denrées alimentaires essentielles à l'homme.

13. Les délégués de l'Australie, de la Belgique, du Brésil, des États-Unis d'Amérique, de la Hongrie, d'Israël, de l'Italie et des Pays-Bas, ainsi que les représentants de la FAO et de l'OMM, ont pris part à la discussion. Des avis ont été exprimés soulignant l'importance d'entreprendre des études sur la genèse de la biosphère et de ses composants à l'échelle géologique et à l'échelle de l'homme, de mener de front l'étude globale et l'étude analytique de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, de promouvoir une collaboration plus étroite entre mathématiciens, physiciens et biologistes, d'amorcer des recherches sur des écosystèmes artificiels fermés, de mieux exploiter les données écologiques déjà recueillies (banques des données) et de mieux utiliser l'expérience acquise, notamment par les météorologistes, dans le domaine du traitement de l'information, de favoriser la régionalisation et l'universalisation de la recherche écologique, de mieux étudier les effets des radiations ionisantes résultant des expériences nucléaires, d'établir des modèles permettant la prévision, enfin de représenter sous forme cartographique les données concernant la production réelle et potentielle des écosystèmes, leur degré de stabilité, leur réponse à l'aménagement, leur valeur économique. De manière générale, l'accent a été mis sur l'importance de la recherche intégrée, dans le domaine de l'écologie.

L'IMPACT DE L'HOMME SUR LA BIOSPHÈRE

14. Le document de travail sur le point 10 de l'ordre du jour, préparé par M. F. Fraser Darling (Royaume-Uni) avec les observations et les additions proposées par MM. Vladimir Sokolov (URSS), le professeur Frederick Smith (États-Unis d'Amérique), François Bourlière (France) et les secrétariats de l'Unesco et de la FAO, a été présenté par M. F. Fraser Darling.

15. Le document souligne que l'homme est un des principaux facteurs de modification de la biosphère, dont l'action peut être bénéfique ou perturbatrice. Cette action est d'ailleurs très ancienne : même aux premiers stades de la cueillette, de la chasse, de la pêche et de l'agriculture, l'homme a eu le pouvoir de modifier radicalement son milieu. L'appauvrissement des ressources naturelles a pris plusieurs formes telles que le déboisement, la chasse et la pêche abusives, le drainage des terres humides ou l'extermination délibérée de certaines espèces. Le document met particulièrement l'accent sur l'impact de la civilisation actuelle sur la biosphère, en exposant les conséquences de l'extraction des minéraux et autres activités industrielles et les effets du surpeuplement humain. La pollution est présentée comme un très grand problème international; elle atteint l'air, l'eau et le sol et elle a, en conséquence, des

effets néfastes sur la végétation, les animaux et les hommes. Le document souligne la nécessité de constituer des équipes multidisciplinaires chargées de rechercher des solutions satisfaisantes aux problèmes du développement. Pour montrer que des réalisations heureuses sont possibles et que l'homme est capable d'améliorer son milieu et sa santé, le document cite plusieurs exemples où l'action de l'homme a contribué à conserver la qualité du milieu et à le protéger contre les effets perturbateurs de la technologie.

16. Les délégués de l'Argentine, de la République fédérale d'Allemagne, du Sénégal, de l'Irlande, de l'Italie, de la France, du Kenya et des États-Unis, et le représentant de la FAO, ont participé aux débats. Les délégués ont confirmé que la pollution constitue l'un des principaux problèmes auxquels l'humanité doit faire face actuellement et que, finalement, elle risque d'avoir pour effet de limiter sensiblement la population mondiale, du fait de la détérioration de la santé physique et mentale de l'homme. On a fait valoir que la réduction de l'espace vital pourrait avoir à long terme une importance encore plus grande. Parmi les mesures concrètes qui permettraient à l'homme de mieux utiliser la biosphère, on a cité l'amélioration génétique des espèces végétales et animales, y compris les poissons, la création de conservatoires de gènes, la mise en valeur des terres incultes, la stabilisation des terres marginales qui se détériorent (notamment lorsque cette détérioration est due au surpâturage ou à une exploitation forestière destructrice) et l'adoption de règlements préventifs contre la pollution, les nuisances et la mauvaise exploitation des ressources naturelles assez longtemps avant que la situation sociale, économique ou écologique ne devienne critique, surtout dans les pays en voie de développement. On a fait état de l'important problème que constitue l'introduction d'espèces végétales et animales ainsi que des modifications qui résultent généralement de la simplification des écosystèmes. On a suggéré d'étudier attentivement la productivité des écosystèmes naturels et les meilleurs moyens de les utiliser, avant de chercher à les remplacer par des écosystèmes qui, à la longue, pourraient être moins favorables. Toutefois, on a reconnu la possibilité de modifier les écosystèmes pour en améliorer la productivité. Compte tenu de tous ces facteurs, les participants ont noté que les divers écosystèmes sont loin d'être tous aussi vulnérables. Tout en reconnaissant que la tendance à l'exécution d'enquêtes et de plans intégrés est l'une des caractéristiques heureuses de l'action récente des biologistes et des responsables de l'aménagement du territoire, les participants ont souligné combien il est nécessaire que les hommes politiques et le grand public adoptent également cette attitude de bon sens.

EXAMEN DES RAPPORTS PRÉSENTÉS PAR LES ÉTATS MEMBRES

17. Une vingtaine d'États membres ont distribué des rapports nationaux mettant en lumière leur action passée, les problèmes qui se posent et les perspectives d'avenir en ce qui concerne l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources du milieu. Des exposés oraux ont été présentés à la conférence, dans l'ordre suivant, par les délégués de trente États membres :

Australie	Mali	Maroc	Tchécoslovaquie
Argentine	Espagne	Royaume-Uni	Belgique
Finlande	Hongrie	Israël	Irak
URSS	Liban	Pologne	Irlande
République fédérale	Japon	Madagascar	République démocratique
d'Allemagne	RSS de Biélorussie	Roumanie	du Congo
États-Unis	RSS d'Ukraine	Canada	Thaïlande
d'Amérique	Suède	Sénégal	Italie
		France	

18. Le débat général a fait apparaître quelques grands thèmes, qui peuvent se résumer comme suit :

a) Dans le monde entier, on commence, depuis peu, à prendre conscience d'une détérioration qualitative du milieu. Bien que certaines des modifications observées existent depuis plusieurs décennies, ou même plus, elle semble avoir atteint un seuil critique; tel est le cas pour la pollution atmosphérique, la pollution des sols et la pollution de l'eau dans les pays industrialisés; ces problèmes soulèvent maintenant des inquiétudes, et l'opinion publique exige que des mesures soient prises pour y remédier.

b) En même temps qu'on éprouve ces inquiétudes, on s'aperçoit que les modes traditionnels de mise en valeur et d'utilisation des ressources naturelles doivent changer pour que les efforts, publics et privés, orientés vers un but unique sans considération suffisante pour leurs conséquences, soient dirigés vers d'autres utilisations des ressources et vers des objectifs sociaux élargis et doivent faire place à l'idée que la biosphère forme un tout et que toute action entreprise sur un de ses éléments se répercute largement sur tout le système. En conséquence, un des thèmes le plus souvent abordé a été que l'utilisation planifiée des ressources naturelles doit faire l'objet d'une démarche interdisciplinaire intégrée.

c) Un autre aspect de cette prise de conscience est que l'homme constitue un facteur clé de la biosphère, et que les sciences de la nature et la technique ne peuvent suffire à fournir des solutions modernes aux problèmes de gestion des ressources; il faut tenir compte aussi des sciences sociales, en particulier politique, administration publique, économie, droit, sociologie et psychologie, car, en fin de compte ce qui nous concerne, ce sont les ressources envisagées du point de vue de l'homme.

d) Ces conclusions ont aussi amené à reconnaître qu'il est nécessaire d'améliorer l'éducation et l'information du public. Les hommes de science et les techniciens doivent être préparés à travailler en équipes intégrées, les jeunes doivent être prêts à accepter des responsabilités, le public doit comprendre les conditions nécessaires au maintien d'un milieu convenant à l'homme, et il faut fournir à ceux qui détiennent l'autorité les éléments qui leur permettront de fonder leurs décisions. La biosphère doit être réparée partout où elle a été endommagée et sa productivité doit être développée lorsque c'est possible, particulièrement en ce qui concerne l'intensification de l'agriculture, non seulement en raison des besoins actuels et futurs mais aussi à cause de la croissance démographique, qu'il est impossible de freiner rapidement, quels que soient les efforts qui pourront être entrepris à cette fin dans le proche avenir.

e) Pour atteindre ces objectifs, il faudra entreprendre de multiples recherches sur tous les aspects de la biosphère, et particulièrement dans cette dis-

cipline de synthèse qu'est l'écologie. Ces recherches sont nécessaires dans les pays développés comme dans ceux qui sont en voie de développement et qui devraient bénéficier d'une assistance, et des efforts de coopération internationale seront souvent requis. En ce qui concerne les pays en voie de développement, on a souligné la nécessité de créer des conditions satisfaisantes pour entreprendre les études et recherches indispensables. Comme il n'existe pas de solution universelle aux problèmes de la biosphère, les connaissances et les techniques devront s'adapter à telle partie d'un pays ou à tel ensemble de pays, comme c'est le cas pour les régions arides, les pays entourant le bassin de l'Amazonie, la Baltique, la Méditerranée, les lacs et fleuves internationaux, les pays industrialisés provoquant une pollution étendue de l'air, de l'eau et du sol, et assurer la protection de la nature (oiseaux aquatiques migrateurs, ressources piscicoles et réserves internationales). De nombreux délégués ont souligné que la planification de l'utilisation des ressources doit tenir compte d'une vaste gamme de faits, et que l'utilisation de la biosphère et les politiques fixées à son sujet supposent de nouvelles connaissances. La nature formant un tout comme le montrent les écosystèmes, il faut tenir compte de l'ensemble des systèmes naturels et l'on ne peut plus se contenter de mesures limitées visant un seul but. La conservation a d'abord consisté en un effort d'amélioration et en une tentative de correction des erreurs passées; son évolution actuelle doit en faire un moyen de prévenir et d'éviter les changements nuisibles, et d'améliorer la productivité des écosystèmes.

f) Un autre thème est revenu constamment dans les observations des États membres : celui de la nécessité d'une protection de la nature, et il est très encourageant de noter que de nombreux pays créent actuellement des parcs nationaux et des réserves pour la faune et la flore sauvages et délimitent de nombreuses régions naturelles plus petites pour la protection de communautés génétiques ainsi que d'espèces et d'écosystèmes rares et menacés. En général, ces régions conviennent pour des recherches visant à fournir des éléments de comparaison avec les écosystèmes aménagés et artificiels.

19. De nombreuses situations particulières ont été décrites et des recommandations ont été faites pour illustrer la nature des problèmes à l'étude et signaler les succès obtenus. Plusieurs délégations ont aussi fait des propositions précises en vue de l'établissement de vastes plans d'action internationale. Toutes les propositions pertinentes ont été transmises aux commissions pour examen.

LE RÔLE DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES DANS LA PLANIFICATION DE L'UTILISATION RATIONNELLE DES RESSOURCES DE LA BIOSPHERE

20. Ce débat portant sur le point 12 de l'ordre du jour a eu pour objet de mettre en lumière les bases scientifiques, et notamment écologiques, de l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère. La conférence a disposé, à cette fin, de huit rapports de synthèse qui ont servi de base aux discussions. Le contenu de chaque rapport et la discussion s'y rapportant sont résumés ci-dessous.

RESSOURCES EN SOLS

21. Le rapport de synthèse sur les sols et le maintien de la fertilité en tant que facteurs affectant le choix de l'utilisation des terres, préparé par le professeur G. Aubert (France), commenté et complété par MM. F. Fournier (France), B. Rozanov (URSS) et par les secrétariats de la FAO et de l'Unesco, a été présenté par le professeur G. Aubert.

22. Dans ce document sont définis le rôle général du sol dans la biosphère, puis la notion de fertilité en insistant sur la distinction entre fertilité actuelle et fertilité potentielle. On a montré la nécessité d'une connaissance des sols et de leur répartition, avec représentation cartographique appropriées. Ensuite est abordé le problème de l'utilisation du sol sous ses différents aspects : support de la végétation, support d'activités industrielles et urbaines, élément fournissant des matériaux de construction ou des minerais. Le document fait ressortir que le sol et la fertilité évoluent en fonction de chaque type d'utilisation. En conclusion, il montre les possibilités de choix dans l'utilisation du sol et suggère les priorités (variables suivant les conditions économiques et politiques) dans cette utilisation, ainsi que certains thèmes qui devraient être pris en considération par les commissions.

23. Les délégués de la République fédérale d'Allemagne, de la Hongrie, de l'Espagne, de la Belgique, d'Israël, de la RSS de Biélorussie, de la Pologne, des Pays-Bas, de l'Italie, de l'Australie, du Liban et du Canada, et les représentants de la FAO et de l'UICN ont pris part au débat ou ont remis une note écrite.

24. Au cours de ce débat, l'accent a été mis sur l'intérêt des inventaires et de la cartographie pédologique à différentes échelles et à applications diverses, et également sur l'étude des caractéristiques déterminant la productivité. Dans le domaine des recherches fondamentales, les interventions ont insisté sur : a) l'étude globale du milieu et les relations du sol avec l'ensemble de l'écosystème; b) l'évolution générale du sol sous l'effet de la culture et les études de bilans (bilan d'eau, bilan des terres en comparant la pédogenèse et l'érosion, cycle de l'azote, bilan des matières carbonées); c) la biologie du sol; d) les facteurs qui favorisent ou qui limitent la productivité, y compris les facteurs socio-économiques. L'accent a d'autre part été mis sur l'intérêt de certaines études régionales de mise en valeur (matière organique en zone aride, culture itinérante et culture intensive, salinisation) et pour certaines recherches particulières telles que : les besoins variables des plantes au cours de leur développement, l'emploi abusif des engrais en culture intensive et leur effet éventuellement polluant, la meilleure utilisation des engrais organiques y compris les composts, la possibilité de créer artificiellement des sols. On a rappelé que les immenses quantités d'azote de l'atmosphère ne sont pas assez utilisées pour la fixation biologique de cet élément comme, par exemple, dans la symbiose légumineuses-rhizobiomes. Enfin, on a souligné l'importance que revêt un choix correct dans l'affectation des sols à des utilisations données (construction de villes, aménagement des paysages, localisation des cultures) et la nécessité d'une éducation aussi bien générale que technique.

RESSOURCES EN EAU

25. Le rapport de synthèse « Les problèmes des ressources en eau : besoins biologiques présents et futurs », préparé par M. H.C. Pereira (Royaume-Uni), commenté et complété par MM. S. Dumitrescu (Roumanie), H. L. Penman (Royaume-Uni), K. Szesztay (Hongrie), J. Nemec (Tchécoslovaquie), et R. L. Nace (États-Unis) et par les secrétariats de l'Unesco, de l'OMS et de la FAO a été présenté par M. K. Szesztay.

26. Ce rapport souligne combien l'eau est indispensable à l'homme et son rôle central dans la biosphère. Il fait ensuite une analyse des connaissances relatives au bilan hydrique et rappelle certaines mesures prises au niveau international tant pour sensibiliser l'opinion que pour coordonner les études, tels la Décennie hydrologique internationale ou les travaux de législation internationale sur l'eau. Il met l'accent sur la nécessité d'une approche économique, en parallèle avec l'approche scientifique, dans les études relatives aux ressources hydrologiques. En conclusion, le rapport rappelle les disciplines de recherche qui doivent intervenir dans l'étude de l'eau, l'importance de la connaissance de l'écoulement minimal à maintenir dans les cours d'eau pour les besoins biologiques et enfin l'intérêt des études sur l'origine de l'eau dans la biosphère. Le Dr Pereira, invité à prendre la parole dans cette présentation, souligne les risques de manque d'eau si les courbes relatives à la consommation d'eau par habitant et à l'accroissement de la population continuent à monter. Il note l'importance de protéger et d'aménager les bassins versants, la nécessité de contrôler la végétation et la vie sauvage en tant que facteurs du cycle hydrologique et enfin le haut pourcentage des ressources en eau déjà affectées par la pollution.

27. Les délégués du Royaume-Uni, de la République fédérale d'Allemagne, de l'Italie, d'Israël, de l'Australie, de la France, de la Hongrie, de la RSS de Biélorussie, des Pays-Bas, du Canada, du Brésil et de la Belgique, et les représentants de la FAO et de l'UICN ont pris part au débat ou remis une note écrite.

28. Au cours du débat l'intérêt des inventaires et de la cartographie a été souligné : études quantitatives et qualitatives des eaux de surface et des eaux souterraines, cartographie de la qualité des eaux, système international de classification des eaux. Les études intéressant le bilan d'eau ont été recommandées, en particulier celle du traitement de la végétation pour réduire l'évapotranspiration, et l'étude scientifique des bassins versants. L'accent a été mis, d'autre part, sur l'aménagement des ressources en eau et leur stockage, en particulier par bassin versant, et pour des fins agricoles, pastorales et forestières, ou pour la faune sauvage et la pêche. On a évoqué les problèmes que posent la pollution des eaux, l'effet des eaux polluées, l'épuration des eaux, l'utilisation des eaux épurées et la lutte contre la pollution, ainsi que le dessalement des eaux, en particulier des eaux saumâtres. Les efforts supplémentaires relatifs aux observations hydrologiques et à l'échange d'informations sur les ressources hydriques, qui ont été stimulées par la Décennie hydrologique internationale, ont été considérés comme étant d'une grande importance face à l'augmentation des besoins mondiaux. Les questions relatives à la poursuite de ces efforts n'ont pas été poussées plus avant en raison de la réunion spéciale prévue en 1969 pour la mi-Décennie, où ces questions seront exami-

nées. Enfin on a évoqué le problème de la formation de cadres à larges compétences pour l'étude et la mise en valeur des ressources hydriques.

RESSOURCES AQUATIQUES VIVANTES

29. Le document de travail sur les fondements scientifiques de la conservation des ressources aquatiques vivantes non océaniques a été rédigé sur la base d'un projet établi par MM. A. Dill et T.V.R. Pillay (de la FAO) en tenant compte des observations dont il avait fait l'objet de la part de MM. A.E. Bonetto (Argentine), K. Kuronuma (Japon), J. Lemasson (France), H. Sioli (République fédérale d'Allemagne), R. H. Stroud (États-Unis), G. Svårdson (Suède), E. B. Worthington (Royaume-Uni), et des secrétariats de la FAO, de l'OMS et de l'Unesco. Il a été présenté par M. G.N. Mitra (Inde).

30. Le document rappelle que les ressources aquatiques vivantes non océaniques sont constituées par les poissons et les diverses espèces qui composent la faune et la flore aquatiques. La récolte annuelle marchande de poisson dans les eaux intérieures, pour laquelle on dispose de statistiques, est estimée à 7 millions de tonnes, à quoi s'ajoutent quelque 2 à 3 millions de tonnes de produits de la pisciculture. On voit donc que l'exploitation de ces ressources est faible, ce qui s'explique principalement par le fait qu'on n'a pas encore réussi à donner une base scientifique convenable à la conservation, ce terme se définissant comme « l'aménagement et l'utilisation rationnels des ressources naturelles pour le plus grand profit du plus grand nombre ». Les écosystèmes des eaux continentales sont particulièrement fragiles et sont donc susceptibles d'être affectés par l'action de l'homme, qui entraîne des modifications du milieu, lesquelles se répercutent à leur tour sur les ressources vivantes. Il faut donc contrôler autant que possible les facteurs du milieu. Cette action semble particulièrement prometteuse en ce qui concerne les aspects physicochimiques et biologiques. Il est notamment urgent de mieux connaître la biologie et l'aménagement des pêcheries, d'améliorer les méthodes de récolte et de transformation, de faire participer les biologistes des eaux à l'élaboration et à l'exécution des projets de mise en valeur des terres et des eaux (projets hydro-électriques, projets d'irrigation), de coordonner l'action des divers organismes et d'obtenir qu'il y ait, à tous les niveaux, du personnel spécialisé en nombre suffisant.

31. Les délégués de la Finlande, du Kenya, de Madagascar et du Canada ainsi que les représentants de la FAO et de l'UICN ont participé aux débats ou remis une note écrite.

32. Les débats ont surtout porté sur la nécessité d'envisager les multiples usages des cours d'eaux, des lacs et des zones humides dans les cas où il y aurait incompatibilité d'objectifs. Outre la production de ressources aquatiques vivantes, qui constitue sans aucun doute l'utilité première de l'eau, il faut envisager également ses multiples usages tant pour les loisirs que pour les satisfactions d'ordre esthétique ou les objectifs d'ordre scientifique. C'est pourquoi il est indispensable d'assurer la coordination dans l'aménagement et la planification des ressources aquatiques pour le bénéfice des usagers actuels ou futurs, ou entre les services intéressés. On a exposé la portée actuelle des projets internationaux AQUA et MAR et l'on a attiré l'attention sur l'intérêt qu'il y a à préserver un ensemble d'échantillons des écosystèmes aqua-

tiques naturels. On a également insisté sur la nécessité de fonder la mise en valeur des ressources aquatiques sur une meilleure documentation, avant que soit adoptée une législation efficace. Les biologistes devraient participer à l'élaboration des directives générales et à la planification du développement. Enfin, on a préconisé la formation de spécialistes pour les pays en voie de développement.

RESSOURCES VÉGÉTALES

33. Le document de travail sur la végétation naturelle et ses modifications en vue de l'utilisation rationnelle des terres, rédigé par les professeurs H. Ellenberg (République fédérale d'Allemagne) et J. Lebrun (Belgique), puis annoté et complété par les secrétariats de la FAO et de l'Unesco, a été présenté par le professeur J. Lebrun.

34. Le document analyse l'impact croissant de l'homme sur la végétation au cours des millénaires, depuis les premières formes de protoculture jusqu'à « l'anthropisation » de la nature dans notre monde industrialisé, ainsi que les principaux systèmes cultureux adoptés et leurs répercussions sur l'équilibre des écosystèmes. Des exemples extrêmes d'échec de systèmes cultureux à faible productivité et de réussite de systèmes de culture intensive y sont donnés et expliqués par les mêmes lois écologiques fondamentales que celles qui régissent les écosystèmes naturels et artificiels. Une utilisation et un aménagement judicieux et profitables de la végétation ne devraient pas être en contradiction avec les processus fondamentaux du flux énergétique et du cycle géochimique. Le document signale certaines des causes principales de déséquilibre des écosystèmes : dégradation du sol, altération des cycles géochimiques, salinisation, changements du bilan de l'eau, changement des rapports biotiques dans les biocénoses, etc. L'amélioration de la capacité de production des écosystèmes, ou la création de nouveaux écosystèmes, suppose un aménagement rationnel fondé sur une bonne connaissance des espèces végétales locales et des techniques d'exploitation les plus appropriées, ainsi qu'une étude approfondie des relations entre les plantes et le milieu. Seule une étude interdisciplinaire des problèmes que pose la planification agricole et forestière permet d'obtenir de bons résultats. En conclusion est souligné le rôle essentiel des écologistes dans l'aménagement de l'espace rural.

35. Les délégués de la RSS d'Ukraine, du Royaume-Uni, de la Hongrie, de la République fédérale d'Allemagne, de l'Espagne, de la Belgique et de l'Algérie, ainsi que les représentants de la FAO et de l'UICN ont participé au débat ou remis une note écrite.

36. Au cours de ce débat, les participants ont insisté à plusieurs reprises sur la nécessité de mettre au point une méthode intégrée et interdisciplinaire d'aménagement de la végétation naturelle ou « domestiquée », et fait des propositions précises en vue d'une intensification des recherches sur les aspects biologiques de l'adaptation des plantes de culture dans les écosystèmes naturels ou artificiels. On a recommandé le rassemblement de données précises sur la structure et la productivité de divers écosystèmes dans le plus grand nombre de pays possible. On a estimé qu'il fallait mettre au point de nouvelles méthodes normalisées d'évaluation des ressources végétales et des réserves

qu'elles pourraient constituer en vue d'une utilisation ultérieure et qu'il fallait étudier plus attentivement les paramètres économiques dont toute exploitation rationnelle doit tenir compte. On a fait valoir qu'il fallait renforcer la coopération internationale en vue du rassemblement, de la conservation, de l'évaluation et de l'utilisation des ressources génétiques primitives ou déjà améliorées et domestiquées. En ce qui concerne le besoin d'une planification agricole et forestière plus efficace, on a souligné qu'il importe de disposer d'inventaires quantitatifs et qualitatifs de la végétation, ainsi que de cartes plus précises fournissant, sous une forme aussi simple que possible, une information globale sur les principaux éléments du milieu. On a recommandé de dresser des « cartes d'aménagement » faisant la synthèse des données sur les sols, le climat, la végétation et autres éléments.

RESSOURCES ANIMALES

37. Le document de travail sur l'écologie animale, l'élevage et l'aménagement efficace de la faune sauvage et de son habitat, rédigé par M. D. Tribe (Australie), annoté et complété par MM. K. Curry-Lindahl (Suède), J. Pagot (France), V. Sokolov (URSS), F. Smith (États-Unis) et par les secrétariats de la FAO, de l'OMS et de l'Unesco a été présenté par M. D. Wasawo (Kenya).

38. Ce document indique que les problèmes d'élevage et d'exploitation de la faune doivent tenir une place hautement prioritaire dans la planification scientifique et économique. Il faut exploiter et contrôler la faune de manière à entretenir à long terme un équilibre écologique qui soit favorable au bien-être humain. Il n'a jamais été plus urgent qu'aujourd'hui de bien utiliser les ressources en protéines animales, dont il y a actuellement dans le monde une grave pénurie. Dans beaucoup de formes d'utilisation efficace des terres, les animaux sont un élément essentiel de l'écosystème. Sur les seize espèces principales d'animaux domestiqués, la plupart l'ont été non pas en raison de leur adaptation au milieu, mais parce qu'ils permettaient de satisfaire la demande traditionnelle de produits familiers et parce que les techniques fondamentales de leur élevage étaient connues. La production de ces espèces domestiquées peut être par ailleurs augmentée par les techniques modernes de nutrition, par la sélection et par le contrôle des maladies. L'exploitation des animaux sauvages en tant que sources de protéines, de peaux et de fourrures, en tant qu'objets de la chasse sportive et d'attrait pour les touristes qui viennent les photographier et les admirer, particulièrement dans les parcs et les réserves, peut constituer une forme complémentaire ou essentielle d'utilisation des terres. Les récents progrès obtenus en matière de sélection d'une grande variété d'herbivores sauvages et dans leur exploitation en tant que source de protéines et autres produits, sur des terres dégradées ou marginales, sont fort prometteurs et ouvrent la voie à d'importants travaux de recherche et d'application pour le développement.

39. Les délégués de la Tchécoslovaquie, des États-Unis, de l'URSS, de l'Italie, et de Madagascar, et les représentants de la FAO et de l'UICN, ont pris part au débat ou remis une note écrite.

40. Les délégués ont reconnu l'importance croissante de la faune sauvage comme source de protéines et d'autres valeurs pouvant être intégrée à divers

écosystèmes, notamment à ceux dont d'autres formes d'exploitation ont rompu l'équilibre. Ils ont fortement souligné son importance en tant qu'attraction touristique. Il importe d'examiner la question de la faune sauvage aux tout premiers stades de la planification de l'utilisation des terres. On a noté, puisqu'il n'existe pas d'animal qui réponde à tous les besoins, l'importance des troupeaux mélangés, domestiques et sauvages. On a insisté sur le rôle de la grande variété des herbivores sauvages d'Afrique adaptés à leur milieu, en tant que facteur de stabilisation des écosystèmes et de production d'une biomasse élevée, plus de trente espèces pouvant coexister dans certaines régions. On a souligné la nécessité de donner aux travaux de génétique animale et végétale une orientation écologique et de faire des recherches sur l'écologie des animaux, tant domestiques que sauvages, sur l'aptitude de divers écosystèmes à produire une faune sauvage, sur les problèmes de concurrence et sur la transmission des maladies entre animaux sauvages et domestiques. Le rôle des invertébrés et des micro-organismes dans le cycle des éléments a été mentionné. On a enfin préconisé un effort d'éducation et de formation à tous les niveaux.

PROTECTION DES RÉGIONS ET DES ESPÈCES

41. Le document de travail sur la préservation des régions et des écosystèmes naturels et la protection des espèces rares et menacées, rédigé par le professeur Stanley A. Cain (États-Unis), puis commenté et complété par MM. Vladimir Sokolov (URSS), Frederick Smith (États-Unis), Kai Curry-Lindahl (Suède), José Candido de Melo Carvalho (Brésil), sir O. Frankel (Australie) et M. P. Scott (Royaume-Uni), et par les secrétariats de l'Unesco et de la FAO, a été présenté par M. Candido de Melo Carvalho.

42. Le document donne la définition des régions naturelles ainsi que des régions naturelles et écosystèmes où l'homme joue un rôle dominant; il précise leurs caractéristiques et leur importance pour l'homme, surtout en ce qui concerne leur rôle actuel dans le fonctionnement de la biosphère. On y met en lumière les problèmes posés par la préservation des régions naturelles et des écosystèmes et l'on souligne qu'il est urgent d'agir, en établissant des plans écologiques rationnels faisant appel à l'action multidisciplinaire, multi-institutionnelle aussi bien dans le secteur public que dans le secteur privé. Ces plans doivent également être compatibles avec les caractéristiques historiques et culturelles de chaque nation. Pour assurer la survie ou la protection des espèces rares et menacées, il est indispensable de faire des recherches, car la disparition des espèces n'est pas due uniquement à l'action de l'homme mais aussi à des processus naturels (d'ordre géologique, climatique, hydrologique ou biologique). L'adoption de lois et de règlements, ainsi que la collaboration internationale, constituent des instruments fort utiles, mais la première condition pour assurer la survie de tout organisme vivant consiste en un habitat approprié et de dimensions suffisantes. Il faut reconnaître nettement que la protection des espèces est un objectif valable non seulement pour des raisons économiques, mais aussi pour des motifs esthétiques et des convictions morales. Le patrimoine actuel doit être transmis dans la limite des possibilités existantes grâce à la conservation d'échantillons susceptibles de répondre aux exigences des générations futures.

43. Les délégués de la RSS de Biélorussie, de l'URSS, de la Nouvelle-Zélande, de l'Espagne, de l'Australie et du Sénégal, ainsi que le représentant de l'UICN ont participé aux débats ou remis une note écrite.

44. On a fait observer que quelques espèces autrefois menacées de disparition comme le vison et l'antilope Saïga sont actuellement élevées en si grand nombre qu'elles peuvent être exploitées commercialement. On a souligné qu'il est dangereux d'introduire des espèces exotiques sans études préalables approfondies, car cela peut causer de graves dommages aux écosystèmes locaux. On a également examiné la raréfaction ou même la disparition des génotypes locaux, surtout lorsqu'ils ne sont pas encore bien connus. Il existe des espèces et des écosystèmes fragiles auxquels il faudrait prêter une attention toute particulière. En outre, les intérêts légitimes de la conservation ne doivent pas faire perdre de vue la nécessité d'un contrôle écologique de certaines espèces manifestement nuisibles qui ne sont ni rares, ni en danger. Cependant le choix des méthodes à adopter à cette fin doit se fonder sur des études écologiques approfondies, tenant pleinement compte de toutes les conséquences des actions entreprises. A cet égard, on a souligné l'intérêt d'étudier le problème écologique des parasites des cultures s'abritant dans les végétations naturelles. On a appelé l'attention sur le rôle important que jouent les organisations nationales ainsi que l'UICN et le World Wildlife Fund. Ici aussi la collaboration internationale est une nécessité si l'on veut parvenir à assurer la préservation et la protection.

DÉGRADATION DU MILIEU

45. Le document de travail sur les problèmes de la dégradation du milieu a été établi sur la base d'un texte de l'OMS, préparé par M. Abel Wolman (États-Unis); M. L. T. Friberg (Suède) et M. H. Shuval (Israël) y ont apporté leur contribution en traitant, respectivement, de la pollution atmosphérique et de la pollution du sol. Le document, commenté et complété par les secrétariats de l'Unesco et de la FAO, a été présenté par M. A. Wolman.

46. Le document indique que, partout où il vit, l'homme provoque l'apparition de déchets et, par là, exerce une action sur des écosystèmes, grands ou petits. Cette action n'est pas toujours désastreuse et peut même, lorsqu'elle est convenablement maîtrisée, avoir des effets bénéfiques. L'utilisation — séculaire — des déchets ménagers pour fertiliser les terres a été généralement avantageuse, mais a eu aussi pour effet de disséminer des maladies.

Le renouveau d'intérêt pour la qualité du milieu est dû surtout à la croissance rapide des villes, de l'industrie et de la population. Tous ces facteurs réunis ont aggravé les problèmes déjà familiers et ont mis en évidence la nécessité de leur trouver une solution rapide et de prendre des mesures en vue de leur élimination. En outre, les grands progrès accomplis dans le domaine de la technologie chimique ont donné naissance à des centaines de matières nouvelles, dont beaucoup sont caractérisées par le fait qu'elles résistent à la décomposition, que leur degré de toxicité est inconnu et qu'elles sont utilisées sans discernement.

La technologie offre de nombreux correctifs. Pour d'autres, des recherches sont nécessaires. Bien que, à certains égards, les conditions soient meilleures qu'il y a quelques décennies, la diminution rapide des problèmes se

heurte à des obstacles qui ont leur origine dans les dispositions législatives, les mécanismes administratifs, la faiblesse des moyens financiers, les priorités accordées au développement économique, le manque de main-d'œuvre, l'attitude des populations et celle des pouvoirs publics. Pour réussir, il faudra recourir à des actions multidisciplinaires, utiliser des instruments d'analyse modernes, assurer la continuité dans la surveillance des phénomènes, l'évaluation et le renforcement des moyens d'action centraux et locaux. Il convient d'être prudent lorsqu'on extrapole les données dans un lointain avenir, car les conditions techniques et sociales peuvent changer rapidement.

47. Les délégués de la France, des États-Unis, de l'Italie, de Madagascar, de l'URSS, du Liban, de l'Irlande, des Pays-Bas, de la Hongrie, de l'Argentine, de l'Australie, de la République fédérale d'Allemagne et de la RSS d'Ukraine et les représentants de la FAO et de l'OMS ont pris part aux débats ou remis une note écrite.

48. Dans de nombreuses parties du monde, on manque de données de base et d'éléments d'information sur la pollution. Il a été souligné qu'avec l'accroissement de la population, de l'urbanisation et de l'industrialisation l'homme est obligé d'accepter des degrés de pureté de l'air, de l'eau et du sol qui peuvent être inférieurs à ceux qui sont considérés comme les plus souhaitables et même les plus réalisables, si la pureté était le seul critère. Il est donc nécessaire d'effectuer un choix et de faire des compromis. Un tel choix est souvent influencé par ce que le biologiste ou l'ingénieur considère comme étant souhaitable de l'environnement humain. Or ces opinions sont trop souvent fondées sur des théories et même des données qui peuvent ne pas être applicables à l'homme dans l'état actuel et dans l'avenir prévisible de ses cultures. Il devient donc nécessaire de faire davantage appel, dans l'analyse de ces problèmes, aux données relevant des sciences du comportement comme la psychologie et la sociologie. Et même quand l'orientation désirable semble bien définie, il faut examiner la capacité de l'homme à atteindre ses objectifs et il est alors nécessaire de s'appuyer sur les sciences économiques, politiques et sociales.

Des discussions ont été également consacrées à l'importance des produits les plus récents des temps modernes, dont beaucoup, comme les matières plastiques et les radiations ionisantes, sont de longue durée. De même, lorsqu'ils sont utilisés très largement comme pesticides, les produits chimiques de synthèse posent de nouveaux problèmes en raison de leur degré de toxicité insuffisamment connu à l'égard de la vie végétale, animale et humaine, et des perturbations qu'ils apportent aux écosystèmes en raison de leur biodégradation très lente ou nulle.

Un excès de transports solides par les eaux, résultant de certaines formes d'utilisation des terres, peut constituer une forme de pollution.

Les conditions météorologiques qui facilitent la dispersion et l'accumulation des polluants de l'air doivent être étudiées et particulièrement prises en considération dans les projets d'urbanisme. Dans le domaine de l'épidémiologie, d'importants travaux de recherche sont nécessaires afin de clarifier les rapports qui existent entre les composants de l'air, de l'eau et de la terre, et les maladies de l'homme, des animaux et des végétaux. Il convient de noter l'importance des espaces verts dans les zones urbaines, de la protection des

bassins hydrographiques, de la prévention du bruit et de la lutte contre les zoonoses transmises par l'air.

On a exprimé le désir qu'une institution internationale fournisse des données sur le coût normal des dispositifs, publics et industriels, de protection contre les agents de pollution, ces données pouvant constituer des guides utiles pour les gouvernements. Il a été annoncé que les organes internationaux mixtes préparent des projets de textes législatifs sur le contrôle de l'emploi des pesticides.

ÉCOLOGIE HUMAINE

49. Le document de travail sur l'homme et ses écosystèmes et l'objectif d'un équilibre dynamique avec le milieu, satisfaisant les besoins physiques, économiques, sociaux et spirituels, rédigé sur la base d'un projet du professeur René Dubos (États-Unis), annoté et complété par les professeurs Marion Clawson (États-Unis), F. Fraser Darling (Royaume-Uni), F. Bourlière (France) et par les secrétariats de l'Unesco, de la FAO et de l'OMS, a été présenté par le professeur K. Buchwald (République fédérale d'Allemagne).

50. Ce document souligne que la constitution génétique de l'*Homo sapiens* ne s'est probablement guère modifiée depuis la fin de l'âge de la pierre et que rien n'indique qu'elle doive se modifier de façon sensible dans un avenir proche. Il serait illusoire de croire que l'adaptabilité génétique de l'homme est plus grande et qu'il se libère ainsi de la loi d'évolution qui a régi tout son passé. L'homme ne peut subsister que dans la mesure où il entretient ou crée autour de lui un microhabitat qui demeure dans les limites de sa tolérance naturelle. Il est évident que les manifestations phénotypiques de l'homme ont varié avec le temps et diffèrent d'un endroit à l'autre. Les larges potentialités génétiques de chaque individu sont révélées par sa façon créatrice de réagir à l'égard de son milieu, source constante de défis.

Que les défis ainsi lancés à l'espèce humaine soient d'origine physique ou sociale, la diversité du milieu est essentielle pour l'évolution de l'homme et de ses sociétés, parce qu'un milieu stéréotypé et uniforme peut entraîner, et entraîne souvent, un appauvrissement de la vie, une perte progressive des qualités mêmes de l'humanité et un affaiblissement de la santé physique et mentale. Nous devrions chercher à préserver ou même à accroître autant que possible la diversité du milieu où nous vivons. La richesse et la diversité des milieux physiques et sociaux constituent un aspect essentiel de l'adaptation des fonctions aux besoins, que ce soit en matière de planification des zones rurales et urbaines, de conception de l'habitat ou de l'aménagement de la vie privée.

Le professeur Buchwald a ensuite ajouté les idées suivantes : a) il faut orienter l'écologie vers « l'écologie du paysage » ; b) il est urgent de développer le concept de « l'écologie humaine », au vrai sens écologique du terme, tant sur le plan biologique que social ; c) il faut faire davantage de recherches relatives à l'influence sur l'homme d'un milieu diversifié ou stéréotypé ; d) enfin, il importe d'établir une série de plans adaptés aux différentes situations et contenant des propositions en vue de la protection et de l'aménagement du paysage sur une base écologique pour une société moderne industrialisée, par exemple des propositions visant à assurer un milieu sain et écologiquement

riche, une utilisation des terres permettant d'obtenir une productivité optimale et soutenue, et la prévention des risques de dégâts.

Le professeur Buchwald a également souligné que l'évolution très rapide de l'humanité par rapport à celle d'autres organismes est essentiellement due au fait que l'homme est pourvu d'un moyen d'évolution tout à fait caractéristique et exclusif : l'évolution culturelle.

51. Les délégués de l'Australie, de la République fédérale d'Allemagne, de l'Argentine, de la France, de l'URSS, de la RSS d'Ukraine, de l'Italie, d'Israël, du Canada et des États-Unis ont pris part au débat.

52. On a souligné qu'une époque de grandes découvertes dans l'histoire de l'humanité a débuté il y a environ dix mille ans, quand on commença à domestiquer la plupart des espèces animales et végétales actuellement utilisées. Quelles furent les origines de ces grandes découvertes ? L'utilisation des ressources naturelles par l'homme a elle aussi profondément évolué au cours de l'histoire. Nous connaissons peu la biologie de la domestication et ses conséquences, et l'Unesco a été invitée à organiser une série de colloques sur ce thème.

Les participants ont ensuite examiné plusieurs aspects sanitaires de la question et notamment les effets génétiques de la sélection naturelle sur la population humaine, la possibilité d'une modification des gènes par l'homme et les conséquences, en grande partie inconnues, de l'action chronique de faibles doses de produits chimiques toxiques sur les travailleurs de diverses industries. On peut résumer beaucoup des arguments avancés en disant que l'épidémiologie doit avoir un caractère plus fortement écologique. L'influence des oligo-éléments sur la qualité des aliments et l'aptitude de l'homme à équilibrer correctement le cycle minéral ont été illustrées par rapport aux changements du milieu. Les participants ont longuement débattu de la nécessité de définir de nouveaux principes directeurs en raison de l'accroissement démographique et de la révolution technologique, et ils ont été d'avis que ces principes ne pourraient s'appliquer efficacement que s'ils tenaient compte des facteurs d'ordre socio-culturel.

L'accent a été mis sur la nécessité d'étudier les problèmes de l'environnement humain non seulement dans les pays développés et industrialisés, mais également dans les pays en voie de développement, car ils s'y posent déjà ou peuvent apparaître avec le rapide changement dans les traditions. La recherche de la « joie de vivre » et de la « qualité de vie » a été abondamment soulignée dans la discussion.

PROBLÈMES DE RECHERCHE

53. La commission de la recherche, sous la présidence du professeur A. R. Clapham (Royaume-Uni), a élu le professeur H. Ellenberg (République fédérale d'Allemagne) vice-président et le Dr W. H. van Dobben (Pays-Bas) rapporteur.

54. Les délégués des États membres suivants ont participé aux travaux de la commission : Algérie, République fédérale d'Allemagne, Argentine, Australie, Autriche, Belgique, RSS de Biélorussie, Brésil, Cambodge, Canada, Ceylan,

Côte-d'Ivoire, République démocratique du Congo, Danemark, Espagne, États-Unis d'Amérique, Finlande, France, Gabon, Haute-Volta, Hongrie, Indonésie, Irak, Irlande, Israël, Italie, Japon, Liban, Madagascar, Mali, Maroc, Nicaragua, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Norvège, Pérou, Pologne, Royaume-Uni, Sénégal, Suède, Suisse Tchécoslovaquie, Thaïlande, Togo, RSS d'Ukraine, URSS, Venezuela et Viêt-nam. Y ont participé également des représentants de l'Organisation des Nations Unies, de la FAO, de l'OMM et de l'OMS, ceux de certaines organisations intergouvernementales et de certaines organisations internationales non gouvernementales, dont l'UICN et le PBI.

La conférence, après examen du rapport de la commission, a fait siennes les conclusions et recommandations qui suivent.

RECHERCHE SUR LES ÉCOSYSTÈMES

55. On a insisté particulièrement sur l'importance de la recherche sur les aspects fonctionnels des écosystèmes. Nos connaissances du fonctionnement des écosystèmes sont très limitées, alors qu'elles sont une condition essentielle d'une exploitation rationnelle. Cette recherche doit se fonder aussi bien sur la méthode globale que sur la méthode analytique. La méthode globale comporte l'étude de la biomasse et de ses variations dans le temps, du flux énergétique, de l'efficacité des conversions énergétiques (photosynthèse, conversion d'énergie entre paliers trophiques), de l'évaluation des apports et prélèvements d'énergie et de masse, ainsi que des processus de transfert interne. On a insisté sur les fixations d'azote, les cycles biogéochimiques, la biologie des sols, l'activité biogéochimique des organismes vivants et les relations sol-eau-plante. La méthode analytique, elle, se préoccupe de la réponse de chaque plante et chaque autre organisme aux changements des éléments externes et internes, ainsi que de l'établissement des lois régissant les échanges d'énergie et de masse entre les organismes et le milieu. On a également souligné la nécessité de recherches sur l'influence des conditions climatiques et de leurs variations sur les écosystèmes et particulièrement sur l'utilisation des terres et des eaux et sur leurs potentialités.

56. On a soulevé le problème de la réponse de l'ensemble de l'écosystème aux influences extérieures (par exemple, l'exploitation). Il faudrait faire des études comparatives sur la production effective et la production potentielle, et sur les incidences des changements de structure sur le fonctionnement de l'écosystème. Il ne faudrait pas négliger les changements du fonctionnement dans le temps (changements saisonniers, phénologie, évolution de la structure et du fonctionnement de l'écosystème). On a traité également d'un problème plus théorique : la dégradation de l'entropie au cours de l'évolution de l'écosystème.

57. Pour pouvoir entreprendre ces recherches, il faudrait mettre au point de nouvelles techniques et créer un réseau de zones de recherche. Bien que le PBI fasse actuellement d'intéressants travaux de recherche sur la production primaire et la production secondaire ainsi que sur le flux d'énergie dans les écosystèmes, il ne peut s'agir là que d'un premier pas vers l'étude complète des problèmes en cause. Il faudrait donc que le PBI fût suivi de quelque programme intergouvernemental de recherches sur la biosphère mettant l'accent

sur le fonctionnement des écosystèmes dans l'acception la plus large. Seuls de tels travaux de recherche nous permettront de mieux comprendre les conséquences des interférences dues à la mise en valeur de la terre. Il faudrait inclure dans ce programme de travaux l'étude des écosystèmes semi-naturels et culturels. Il faudrait étudier l'écologie humaine en tant que section de l'écologie générale. Les membres de la conférence sont convenus que l'établissement d'inventaires ainsi que l'analyse des écosystèmes sont freinés par le manque de spécialistes de la taxonomie.

INVENTAIRE DES RESSOURCES

58. La conférence a pris note de l'existence de plusieurs programmes d'inventaires entrepris par les institutions spécialisées des Nations Unies aussi bien que par d'autres organisations internationales et nationales, mais elle a estimé qu'il était urgent d'étendre encore les inventaires des ressources naturelles. Elle n'a cependant pas jugé bon d'insister sur l'application d'un système uniforme de cartographie de plusieurs éléments de la biosphère. L'échelle et la composition d'une carte dépendent trop de la destination de celle-ci. On a estimé qu'un système de cartes perforées serait un moyen utile pour l'établissement d'une collection de données où il serait possible de puiser selon les besoins. Un tel système facilite également la recherche opérationnelle. On a jugé nécessaire d'établir une liste par ordre d'urgence des éléments à inventorier. L'établissement des inventaires doit précéder la mise en valeur des terres.

MÉTHODOLOGIE

59. Il est hors de doute qu'il faut coordonner les méthodes d'analyse de toutes sortes. On a recommandé d'emmagasiner les données dans des centres d'information utilisant un ordinateur, et de mettre au point des modèles décrivant la structure et le fonctionnement des écosystèmes. On a recommandé aussi l'utilisation de techniques de perception à distance (satellites, plates-formes spatiales) pour l'étude du fonctionnement de la biosphère. Plusieurs délégués ont jugé qu'il est important d'agrandir les réseaux existants de stations d'enregistrement pour plusieurs paramètres.

POLLUTION

60. La conférence a généralement estimé qu'il serait souhaitable de développer encore les réseaux existants de détection de la contamination et de la pollution atmosphériques, impliquant aussi bien les substances que les conditions. Il est urgent de déterminer sur le plan mondial quels sont les éléments normaux de l'air (par exemple, le CO_2) et les polluants. On a considéré qu'il importait d'évaluer les seuils critiques à partir desquels divers polluants (par exemple, les éléments radio-actifs) ont des effets nocifs, et aussi d'étudier leur persistance et leur dispersion dans les divers constituants de la biosphère. Les experts se sont montrés extrêmement préoccupés de l'emploi irréfléchi des pesticides et surtout des insecticides chlorés, qui demeurent dans les organismes vivants et sont apparus très souvent comme des substances nocives pour les animaux et les hommes situés au sommet de certaines chaînes

alimentaires. Dans certaines régions, les résidus d'engrais menacent des écosystèmes oligotrophes intéressants. Il faudrait également stimuler les recherches concernant la pollution de l'eau, y compris l'augmentation de sa teneur en sel.

DÉTÉRIORATION

61. On a reconnu que de nombreuses recherches avaient été faites et de nombreuses mesures avaient été prises dans le domaine de l'érosion des sols. Plusieurs experts ont cependant estimé qu'il faut étendre des travaux de recherche sur l'érosion, surtout dans les régions montagneuses et les régions arides. Des recherches s'imposent, en particulier sur les facteurs d'érosion du sol, et une synthèse mondiale des connaissances acquises sur cette question apparaît nécessaire. Certaines distinctions sont nécessaires à cet égard, car une érosion modérée n'est pas forcément nocive. Les grands travaux de génie civil ont suscité de l'inquiétude, car on les entreprend parfois sans tenir compte de leurs effets destructeurs sur la végétation et la faune sauvages. Le surpâturage pose des problèmes dans de vastes zones semi-arides du monde, de même que la salinisation et l'extension des terres arides. Les travaux de recherche pourraient être facilités par le recours à la cartographie aérienne. La disparition ou la raréfaction d'espèces intéressantes à la suite de la détérioration de la végétation donnent également lieu à l'inquiétude. Les participants ont reconnu que les mesures législatives pour le contrôle de l'utilisation des terres et l'exploitation rationnelle de la flore et de la faune sauvages jouent un rôle considérable.

CONSERVATION

62. Les débats ont montré que les participants avaient conscience des nombreux travaux menés en vue de la protection de la flore et de la faune sauvages. On a fait observer que la manière la plus satisfaisante de préserver les espèces consiste à protéger les écosystèmes et les paysages auxquels ils appartiennent. Il faut aussi appliquer ce principe aux paysages créés par l'homme et qui risquent de disparaître avec l'adoption des techniques modernes. On a estimé qu'il était particulièrement intéressant de préserver les centres génétiques des espèces. C'est un domaine qui concerne le monde entier et devrait donc faire l'objet d'une assistance internationale. Il conviendrait également de stimuler les recherches destinées à assurer l'aménagement des réserves.

UTILISATION RATIONNELLE DES RESSOURCES

63. Il faudrait encourager les recherches sur les moyens d'exploitation qui permettent d'éviter la détérioration et l'appauvrissement des ressources naturelles. Il semble que l'exploitation des ressources à des fins multiples soit généralement préférable à la mono-exploitation. Devant la détérioration des ressources dans de vastes zones terrestres, il apparaît urgent de faire des études sur la bonification des régions épuisées. Des recherches devraient être entreprises sur l'utilisation rationnelle des ressources en eaux, en particulier sur l'utilisation des eaux de ruissellement et des eaux souterraines, la réduction des pertes en eaux d'irrigation et la réduction de la transpiration par des méthodes chimiques.

L'attention a été appelée sur la nécessité urgente de prendre, dès le début de l'élaboration des programmes de développement et au cours de leur exécution, des mesures visant à :

1. Évaluer l'impact écologique sur le milieu, de tout projet de développement, notamment des projets d'inondation de terres, d'urbanisation ou de génie civil qui modifient beaucoup le milieu;
2. Déterminer les conséquences écologiques à long terme d'un projet, leurs incidences sur la réussite de ce projet et leur effet sur le bien-être général de la population dans la zone considérée;
3. Effectuer obligatoirement, avant tout programme pouvant entraîner des modifications massives, les enquêtes et recherches nécessaires pour connaître les ressources qui risquent de disparaître telles que les habitats, les peuplements d'organismes terrestres ou aquatiques d'importance économique actuelle ou potentielle et les espèces végétales ou animales individuelles; évaluer les risques éventuels de maladies et déterminer les mesures à prendre pour éviter ces effets nocifs ou les réduire le plus possible.

RECOMMANDATION N° 1

PROGRAMME INTERNATIONAL DE RECHERCHES SUR L'HOMME ET LA BIOSPHERE

64. La Conférence,

Reconnaissant que l'homme a su mettre en valeur et utiliser les ressources de la biosphère pour le bien-être de l'humanité, grâce à son action dans les domaines de l'agriculture, de la foresterie, de la médecine et de l'utilisation des ressources aquatiques,

Notant que les progrès de la technologie dont témoignent les réalisations de l'homme dans l'industrie, les transports, les communications et l'urbanisation, qui sont tous des aspects essentiels du bien-être de l'humanité, ont néanmoins provoqué de graves problèmes de pollution, car le bilan de l'anhydride carbonique dans l'atmosphère se modifie et divers polluants, y compris des substances radio-actives et toute une série de substances chimiques toxiques, viennent s'ajouter à la biosphère,

Soulignant que l'humanité a amélioré sa condition grâce surtout à des actions empiriques tendant à l'obtention d'avantages immédiats, sans prendre en considération ou même comprendre les conséquences à long terme de ces actes sur le milieu et leurs incidences sur la santé et le bien-être des hommes, et que ces conséquences, telles la détérioration des milieux terrestres et aquatiques, la modification du bilan hydrique ou la disparition d'espèces végétales et animales, résultent toutes de ce succès immédiat des activités humaines d'exploitation, succès dont la conséquence la plus remarquable est l'énorme accroissement démographique,

Soulignant qu'il se pose des problèmes très particuliers dans les pays en voie de développement, où il devient de plus en plus urgent d'utiliser aussi complètement que possible les ressources naturelles afin d'assurer un niveau de vie adéquat à tous les habitants et où, étant donné que les techniques modernes devront être appliquées à une grande échelle, il importe de planifier soigneusement cette application de manière à en

tirer le maximum d'avantages et à éviter les effets nocifs qu'elle a eus dans le passé,

Reconnaissant en outre que beaucoup des transformations produites par l'homme se répercutent sur l'ensemble de la biosphère et ne sont pas limitées à une région ou à un pays et que ces problèmes ne peuvent pas être résolus sur un plan régional, national ou local, mais doivent être examinés sur le plan mondial,

Souligne aussi que ces facteurs ont créé une situation qui devient de plus en plus dangereuse et qui, si on la laisse se perpétuer, pourrait devenir extrêmement critique; menacer gravement le bien-être actuel et futur de l'humanité et devenir irréversible, à moins que les mesures voulues ne soient prises à temps;

Invite les États membres, les organisations intergouvernementales, en particulier l'Organisation des Nations Unies par son Assemblée générale et les organisations non gouvernementales, à prendre conscience de cet état de choses et à adopter les mesures qui s'imposent sur les plans national régional et international.

Note en outre que, malgré l'existence de nombreuses informations scientifiques immédiatement applicables à beaucoup de problèmes de la biosphère, il faut cependant développer d'urgence les recherches nécessaires, à l'échelon mondial;

Reconnaissant en conséquence que les problèmes de la biosphère sont de caractère multidisciplinaire, se rattachant non seulement aux sciences biologiques et physiques, mais aussi aux sciences sociales, et qu'il est donc nécessaire de faire appel aux compétences des milieux scientifiques spécialisés dans les diverses disciplines pour qu'ils s'intéressent aux problèmes du milieu;

Notant que plusieurs organisations non gouvernementales ont pris un bon départ qui peut servir de précédent dans cette voie, en particulier le Programme biologique international (PBI) entrepris par le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) et l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources (UICN), mais reconnaissant que malgré la portée internationale de ces efforts, les possibilités d'une telle action non gouvernementale sont nécessairement limitées et qu'à la fin du PBI, en 1972, de nombreux aspects du fondement biologique de la productivité et du bien-être de l'homme auront été définis et partiellement explorés, mais que peu auront été complètement étudiés;

Attire l'attention des États membres et des organisations intergouvernementales et non gouvernementales sur le grand intérêt qu'il y a à continuer de soutenir, et même d'appuyer davantage, le PBI et l'UICN;

Suggère que le PBI pourrait être utilement suivi d'un programme international de développement et de renforcement de la recherche, de l'éducation et de l'action sur les problèmes de l'homme et de la biosphère, avec l'appui officiel d'institutions intergouvernementales et gouvernementales et avec la participation des organisations scientifiques internationales non gouvernementales compétentes;

Recommande que l'Unesco, en coopération avec toutes les organisations intéressées, crée sans délai des groupes de travail, comportant en particulier des représentants des organisations intergouvernementales et des organismes scientifiques gouvernementaux et non gouvernementaux appro-

priés, pour préparer un plan à soumettre aux États membres afin de mettre en œuvre la recommandation ci-dessus.

RECOMMANDATION N° 2

RECHERCHES SUR LES ÉCOSYSTÈMES

65. La Conférence,

Considérant que les ressources organiques renouvelables de la biosphère sont produites au sein d'entités fonctionnelles, les écosystèmes, où organismes vivants et facteurs physiques du milieu réagissent les uns sur les autres, *Tenant compte* de la très grande diversité de ces écosystèmes et de l'inégalité considérable de leur potentiel productif,

Recommande que l'Unesco, en collaboration avec les autres organisations intergouvernementales et gouvernementales intéressées, mette au point le plan d'un programme mondial de recherches écologiques, écophysiologiques et bioclimatologiques portant sur une gamme d'écosystèmes aussi bien naturels que semi-naturels, artificiels ou culturels, terrestres comme aquatiques, choisis aussi bien dans les zones tempérées que tropicales, en contrées humides ou arides, afin de définir les potentialités des zones étudiées et, par là, d'obtenir une évaluation des ressources organiques renouvelables de la biosphère;

Recommande en outre que ce plan tienne compte des considérations suivantes :

1. L'étude globale et analytique de l'écosystème devrait être menée de front. L'étude globale devrait mettre en évidence le caractère d'entité fonctionnelle de l'écosystème en faisant ressortir le rôle des divers facteurs dans le fonctionnement de l'ensemble des écosystèmes. Elle devrait comprendre également l'évaluation de la biomasse végétale et animale en présence, sa variation dans le temps et la production primaire et secondaire. L'étude analytique devrait comprendre des recherches sur le processus de conversion de l'énergie au sein de l'écosystème, en particulier au niveau de la photosynthèse et au passage entre niveaux tropiques. Elle doit établir le rôle joué par différents organismes dans le transfert et la transformation de l'énergie et de la matière. La réponse des écosystèmes aux influences externes comme l'aménagement devrait être également étudiée;
2. Dans toutes les régions du monde, ces recherches devraient porter sur un programme minimal reprenant tout ou partie de l'étude globale;
3. Dans les régions où la chose s'avérera possible, ce programme pourra être étendu et considéré comme « avancé » ou « optimal » dès qu'il porterait sur des thèmes tels que : la définition des cycles de l'eau et des éléments minéraux majeurs ou mineurs, la biologie des substrats, l'écophysiologie et la génétique des espèces les plus représentatives, la recherche de toutes les conditions favorisant la croissance de végétaux chlorophylliens parmi lesquels la fixation symbiotique de l'azote de l'air qui, avec d'autres stimulations, est de nature à accroître le rendement global des écosystèmes terrestres et aquatiques et, en conséquence, la productivité agricole, pastorale, forestière, ainsi que des pêches;
4. La réalisation de recherches sur le fonctionnement des écosystèmes nécessite la formation d'équipes de physiciens, physiologistes, biologistes, taxo-

nomistes, pédologues, microbiologistes, micrométéorologistes, ainsi que le développement de méthodes et de modèles spécialement adaptés à de telles recherches.

RECOMMANDATION N° 3 RECHERCHE EN ÉCOLOGIE HUMAINE

66. La Conférence,

Considérant que l'homme fait partie intégrante de la plupart des écosystèmes, influent sur son milieu en même temps qu'il est influencé par lui, et que sa santé physique et mentale, tant présente que future, est étroitement liée au système dynamique des objets, forces et processus naturels qui agissent les uns sur les autres dans la biosphère, y compris tous les aspects de la culture humaine,

Recommande aux États membres et à leurs institutions compétentes, à l'Unesco, à l'OMS et aux organisations internationales intéressées :

1. De faire des recherches sur l'écologie fondamentale de l'homme et sur son adaptabilité sociale et physique aux changements de toutes sortes auxquelles il est soumis, que ce soit dans les sociétés simples ou dans les sociétés plus complexes, y compris celles qui sont hautement techniques et urbanisées;
2. De poursuivre, en les intensifiant, les recherches sur l'écologie des maladies humaines, en s'attachant tout spécialement aux maladies liées à la modification du milieu et aux zoonoses résultant de l'interaction de l'homme et de l'animal;
3. D'orienter ces recherches vers la solution des problèmes de plus en plus graves que pose l'établissement de l'équilibre nécessaire entre l'homme et son milieu, dans l'intérêt de sa santé et de son bien-être au sens le plus large.

RECOMMANDATION N° 4 INVENTAIRE ET CONTRÔLE DES RESSOURCES

67. La Conférence,

Reconnaissant que, pour planifier l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources à quelque niveau que ce soit, il faut connaître avec précision les ressources disponibles et leur qualité, qu'une planification équilibrée à long terme suppose en outre qu'on connaît non seulement l'état présent des ressources en cause et les besoins correspondants, mais aussi les tendances (c'est-à-dire s'il y a augmentation ou diminution) et, dans certains cas, le potentiel existant, et que ce genre d'information ne peut s'obtenir qu'au moyen de programmes judicieusement planifiés d'inventaire et de contrôle des ressources et de recherches connexes destinées à fournir de l'information à des fins et en réponse à des besoins précis et clairement définis.

Notant qu'il existe divers accords internationaux pour la description, l'évaluation et la cartographie des ressources naturelles, mais que les méthodes

utilisées ne sont pas toujours normalisées dans le monde, de sorte que les problèmes de comparabilité des données rendent difficiles les appréciations régionales ou internationales,

Appelle l'attention des États membres, des organisations intergouvernementales et des organisations scientifiques non gouvernementales appropriées sur la nécessité d'arriver à une uniformisation accrue des méthodes de rassemblement et d'enregistrement des données, y compris la cartographie, notamment pour les écosystèmes semblables de différentes parties du monde, à des fins scientifiques et de planification comparative;

Propose que la première étape de l'élaboration d'un système permettant des comparaisons internationales consiste en un inventaire et une évaluation des structures, des méthodologies et des données existantes. On pourrait poursuivre et renforcer certaines des activités actuelles et utiliser certains des matériels existants pour faire progresser l'élaboration d'une méthodologie comparable des travaux de contrôle et d'évaluation;

Recommande que l'Unesco, en coopération avec les autres organisations intergouvernementales ou non gouvernementales intéressées, prenne les dispositions nécessaires pour que les opérations ci-après soient prévues :

1. Définition des ressources à considérer et établissement d'un ordre de priorité;
2. Détermination du but et de la fonction de l'opération pour chaque ressource (il s'agit de connaître quel est l'objectif de l'enquête, de l'inventaire ou de l'opération de contrôle) ;
3. Compte tenu de la fonction et du but de l'opération, détermination de la méthode la plus efficace de rassemblement, d'enregistrement et de diffusion des données; accord sur une méthode normalisée garantissant la compatibilité et la comparabilité; détermination des degrés d'exactitude requis, et donc de l'intensité de l'échantillonnage.
4. Diffusion des données ainsi obtenues sous une forme qui permette aux hommes de science et aux planificateurs de développer les bases d'une utilisation rationnelle des ressources. Cette recommandation s'applique à la fois aux ressources matérielles, telles que les différents types de bois et les denrées alimentaires, et aux ressources non matérielles, telles que les régions naturelles ou les réserves de recherche pour la préservation de spécimens scientifiquement valables des types d'habitat et des espèces animales et végétales menacées d'extinction.

RECOMMANDATION N° 5

MÉTHODOLOGIE ET COORDINATION DES RECHERCHES

68. La Conférence,

Rappelant que l'intensification proposée de la recherche sur les écosystèmes en général, ainsi que l'inventaire et le contrôle des ressources doivent s'appuyer sur un développement et une normalisation appropriés des méthodes d'études,

Tenant également compte de la nécessité d'emmagasiner, de transmettre et d'élaborer de grandes quantités d'information,

Recommande aux États membres, aux organisations intergouvernementales

et aux organisations non gouvernementales concernées de prendre d'urgence les mesures nécessaires pour :

1. Normaliser et étalonner les méthodes d'études, quand ces méthodes sont jugées satisfaisantes et quand la normalisation n'est pas assurée de quelque autre façon;
2. Augmenter le nombre et la qualité des stations d'enregistrements pour certains paramètres choisis, tels que la radiation ;
3. Élaborer de nouvelles méthodes d'enquête et de contrôle, notamment en utilisant au maximum les possibilités offertes par des techniques modernes, telles que la détection à distance ;
4. Créer et aider, sur une base multinationale, des centres de données appropriés en vue de l'emmagasinement et de la récupération de renseignements sur les types représentatifs d'écosystèmes naturels, semi-naturels et artificiels ;
5. Mettre au point des méthodes satisfaisantes et susceptibles d'être normalisées pour l'établissement d'une typologie et d'un classement d'entités complexes (par exemple, sols, écosystèmes), avec le concours et la coopération des institutions et organisations scientifiques appropriées qui existent déjà ;
6. Obtenir la participation, pour l'étude des écosystèmes, de mathématiciens, de spécialistes de l'analyse des systèmes et d'autres spécialistes qualifiés, étant donné l'importance, à tous les stades de la recherche, de concepts mathématiques bien fondés et notamment ceux de la conception, de l'exécution et de l'analyse, et aussi l'importance qu'il y a à mettre au point des modèles permettant de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes et de prévoir les conséquences des changements.

RECOMMANDATION N° 6

RECHERCHES SUR LA POLLUTION ET MESURES DE CONTRÔLE

69. La Conférence,

Reconnaissant que la pollution de la biosphère, provoquée par des produits de combustion ou associés à elle, par d'autres substances ou conditions, devient un problème de plus en plus sérieux affectant directement ou indirectement la santé et le bien-être des hommes, aussi bien que d'autres organismes ;

Reconnaissant que certains polluants peuvent être transportés à de grandes distances, notamment par l'atmosphère et par l'eau, et exercer leur action nocive jusqu'en des lieux fort éloignés de leur point d'origine ;

Reconnaissant également que des polluants à action persistante peuvent subsister dans la biosphère, dans le temps et dans l'espace, loin de leur lieu d'origine et s'y accumuler progressivement, finissant par atteindre, bien après leur première apparition, une concentration dangereuse ;

Reconnaissant enfin que l'évolution de la technique, l'industrialisation croissante, la mise au point et l'utilisation de nouveaux produits chimiques, notamment de pesticides et d'engrais, ne cessent d'introduire dans la biosphère des substances nouvelles ou de modifier l'équilibre des substances existantes et que des recherches s'imposent pour déterminer les incidences physiologiques et écologiques de ces additions ;

Reconnaissant que le problème des polluants nécessite le contrôle mondial de la pollution et que l'accent doit être placé sur le renforcement de la coopération internationale des services de contrôle ;

Reconnaissant également combien il est souhaitable de soutenir, de développer et de coordonner les services qui existent dans la plupart des pays d'Europe et certains autres pays, concernant la pollution du milieu, et qu'il est nécessaire de développer ces services dans les pays où ils n'existent pas encore ;

Recommande à l'Unesco, à l'OMS, à la FAO, à l'OMM et aux autres organisations intergouvernementales et non gouvernementales intéressées de promouvoir un programme de recherches tendant essentiellement à :

1. Définir et identifier les substances et conditions réellement ou virtuellement mises en cause, y compris celles associées à la combustion et les dérivés de ces substances et, en tout état de cause, déterminer celles d'entre elles qui doivent en priorité faire l'objet de recherches et de mesures de contrôle ;
2. Mettre au point une terminologie et des méthodes de contrôle uniformes, qui aboutiront à des techniques et des données internationalement compatibles, indispensables pour un contrôle mondial de l'air, des sols, de l'eau et des organismes vivants. Il faudra pour cela porter attention à la détection à distance, à l'échantillonnage direct, aux méthodes d'analyse, à la normalisation des mesures, etc., et tirer pleinement parti des systèmes existants de contrôle et des autres structures et activités appropriées des institutions internationales et des États membres ;
3. Déterminer à partir de quel niveau les polluants ou les contaminants constituent une menace ou un danger grave pour les autres composants du milieu en général et pour le bien-être de l'homme en particulier, soit directement soit par une longue accumulation d'éléments de faible toxicité ; formuler ultérieurement des critères de qualité de l'eau, ou des normes souhaitables pour ses diverses utilisations ; enfin, faire des recherches et prendre des mesures de contrôle en ce qui concerne les substances ou les facteurs nouveaux qui présentent déjà ou peuvent présenter des dangers ;
4. Étudier les mouvements et la détérioration des polluants dans le milieu, déterminer les niveaux auxquels doit s'effectuer l'échantillonnage et, partant, le nombre et les emplacements des stations de contrôle nécessaires selon les substances et les conditions ;
5. Étudier a) les méthodes permettant de prévenir, de contrôler ou d'éviter l'introduction de ces substances dans le milieu ; b) les méthodes d'analyse de leur dispersion et de leur accumulation ; c) les méthodes permettant d'en réduire la densité ; d) les méthodes permettant d'atténuer leurs effets nocifs ;
6. Dans toute la mesure du possible, avant d'introduire l'emploi de nouveaux produits chimiques ou de créer des conditions nouvelles, faire des mesures pour fixer la valeur des paramètres valables qui serviront à mesurer leurs effets, et constituer ainsi la base d'une réglementation de contrôle ;
7. Mettre au point des mesures efficaces de sécurité pour le transport de substances qui pourraient être toxiques ou polluantes sans risque de contamination accidentelle ;
8. Faire des recherches sur les dangers que pourraient présenter certains additifs alimentaires et sur les moyens de réduire suffisamment ou même d'éli-

miner ceux que l'on sait nuisibles aux hommes ou aux animaux qui les consomment.

Recommande également :

1. Que les hommes de science et les techniciens de tous les États membres soient encouragés à coopérer à la mesure, dans l'état actuel des choses, des divers paramètres physiques, chimiques et biologiques pertinents, de manière à permettre l'évaluation des changements qui se produisent dans le milieu, tels que les degrés de concentration et les modalités de distribution des polluants ;
2. Que les institutions spécialisées des Nations Unies et leurs organes consultatifs compétents soient invités à aider les États membres à examiner leurs programmes actuels et à les réorienter, pour autant qu'ils en ont les moyens, vers la réalisation des fins énoncées ci-dessus ;
3. Que les gouvernements et les organisations non gouvernementales encouragent les travaux de recherche et assurent la coopération entre les hommes de science, en vue d'effectuer les mesures quantitatives continues indiquées dans la présente résolution.

RECOMMANDATION N° 7

UTILISATION ET PRÉSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES

70. La Conférence,

Reconnaissant que l'homme n'utilise directement, en les cultivant ou en les domestiquant, qu'un très petit nombre des multiples espèces végétales et animales, et ne s'intéresse qu'à un nombre restreint d'autres espèces,

Notant l'activité et l'intérêt croissants et de plus en plus répandus que suscite l'enrichissement des ressources génétiques d'organismes utiles à l'homme par la sélection de formes nouvelles à partir de variétés sauvages, par l'obtention d'hybrides et par l'obtention de mutants sous l'action d'agents chimiques ou physiques,

Tenant compte du fait que les espèces disparaissent à un rythme de plus en plus rapide et que d'autres se raréfient et sont menacées d'extinction, en grande partie parce qu'on détruit les habitats qui leur conviennent,

Suggère que des mesures spéciales soient prises d'urgence en vue de préserver les abondantes ressources génétiques qui se sont constituées au cours de millions d'années et dont l'action de l'homme cause actuellement la perte irrémédiable, et que ces mesures consistent notamment à :

1. Préserver des échantillons représentatifs et valables de tous les écosystèmes importants afin de sauvegarder les habitats et les écosystèmes nécessaires à la survie des espèces ;
2. Établir des zones spéciales protégées dans les régions où existent les habitats originels de plantes et d'animaux cultivées ou domestiqués de longue date ;
3. Faire les plus grands efforts pour protéger les populations survivantes d'espèces végétales ou animales rares ou menacées et leur assurer les conditions et les soins nécessaires à leur multiplication, leur sélection et leur amélioration ;
4. Augmenter et perfectionner des collections actuelles de plasma germinal de plantes ;

5. Constituer des collections vivantes de nombreuses espèces et variétés végétales (comme les céréales) et animales (comme le bétail) cultivées ou domestiquées de longue date, et en prendre soin de façon à éviter que la très riche diversité génétique qu'ils représentent ne soit irrémédiablement perdue du fait de la tendance actuelle de l'agriculture et de l'élevage à se concentrer sur l'exploitation d'un nombre limité de variétés très sélectionnées ;

Recommande aux États membres, à l'Unesco, à la FAO et aux autres organisations internationales intéressées de se préoccuper de cette question et de prendre des mesures énergiques pour sauvegarder un patrimoine génétique dont la perte serait irrémédiable.

RECOMMANDATION N° 8

UTILISATION RATIONNELLE DES RESSOURCES NATURELLES

71. La Conférence,

Soulignant l'urgence des problèmes posés par la destruction et la détérioration des ressources naturelles par suite des pressions de plus en plus grandes que le développement des techniques et l'accroissement démographique exercent sur le milieu,

Insistant sur la nécessité de promouvoir l'utilisation rationnelle des ressources sur la base de recherches scientifiques,

Notant que, souvent, les programmes de développement exécutés dans le monde ne tiennent pas suffisamment compte des aspects écologiques des problèmes, de sorte qu'ils entraînent involontairement des modifications sensibles du milieu,

Recommande à l'Unesco et aux autres organisations internationales et non gouvernementales intéressées, de préparer un programme de recherches en vue d'acquérir les bases scientifiques d'une utilisation rationnelle des ressources, et qui devrait comprendre :

1. L'analyse et la possibilité de choix dans l'utilisation intégrée des ressources naturelles pour la permanence de la biosphère, en considérant, tant pour les écosystèmes aquatiques que terrestres :
 - a) L'identification des différentes ressources, principalement de l'eau et des sols, sous l'angle de leurs différentes valeurs d'utilisation économique, scientifique, récréative, esthétique, éducative,
 - b) L'évaluation des possibilités d'utilisation de ces ressources sous des conditions climatiques variées en se fondant sur leurs caractéristiques comme sur les facteurs socio-économiques d'utilisation,
 - c) L'utilisation à buts multiples.
2. L'étude de l'utilisation rationnelle des ressources, en particulier de l'eau et du sol en portant un intérêt :

En ce qui concerne l'eau, sur son utilisation dans les écosystèmes agricoles, sur l'utilisation des eaux salines dans des écosystèmes susceptibles de les recevoir, sur le contrôle de l'évapotranspiration aussi bien des sols que des plans d'eau ouverts, sur son rôle de composant essentiel comme habitat des espèces aquatiques,

En ce qui concerne le sol, sur l'influence des caractéristiques du sol dans

le choix de leur utilisation, sur les possibilités d'améliorer leur fertilité et leur productivité, sur les problèmes que pose le passage de la culture extensive à la culture intensive, principalement en zone tropicale, sur la restauration des terres épuisées et salées; enfin sur les dégradations engendrées par le feu et l'érosion accélérée, principalement en zone intertropicale et dans les zones de montagne,

3. L'étude de l'utilisation rationnelle des ressources végétales et animales, terrestres et aquatiques, en considérant l'accroissement de la productivité primaire (optimisation des conditions du milieu, réduction des pertes, introduction d'espèces exotiques), l'accroissement de la productivité secondaire y compris l'utilisation d'espèces non domestiques, la domestication, l'amélioration de la qualité de la production et enfin la reconstitution et le renforcement des qualités du milieu et l'aménagement nécessaire pour atteindre les buts précédents.

PROBLÈMES D'ÉDUCATION

72. La Commission de l'éducation, présidée par M. Jan Cerovsky (Tchécoslovaquie), a élu comme vice-président M. Sanga Sabhasri (Thaïlande) et comme rapporteur M. O. Boelcke (Argentine).

73. Les délégués des pays suivants ont pris part aux travaux de la commission: République fédérale d'Allemagne, Algérie, Argentine, Australie, Belgique, Brésil, Cambodge, Canada, République démocratique du Congo, Espagne, États-Unis d'Amérique, Finlande, France, Irlande, Israël, Italie, Japon, Madagascar, Mali, Norvège, Pays-Bas, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande et URSS, de même que des représentants de la FAO, de l'OMS, du Programme biologique mondial, de l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources, de l'Institut interaméricain des sciences agricoles, de la Fédération internationale de la jeunesse pour l'étude et la conservation de la nature, et de la Fédération internationale des architectes paysagistes.

La conférence, après examen du rapport de la commission, a fait siennes les conclusions et recommandations qui suivent :

74. Une déclaration de principes a été jugée essentielle pour clarifier, dès le début des travaux, les idées de la conférence concernant l'éducation (voir point 82). Il y a dans le domaine de l'éducation des lacunes qui devront être comblées le plus tôt possible. Une approche globale de la nature et de ses problèmes devrait amener les gens à penser en termes d'écologie et à adopter envers la nature une attitude réaliste. L'homme et la nature devraient être considérés comme formant une association, conception dont la valeur éthique a été soulignée. Il faut bien considérer que la pénurie de personnes capables d'appliquer ce programme d'éducation dans les pays en voie de développement nuira beaucoup à la réalisation des programmes généraux d'éducation, à moins que d'énergiques efforts ne soient faits pour remédier à cette déficience.

75. La question de l'éducation préscolaire a longuement retenu l'attention en raison de la facilité avec laquelle on peut agir sur l'esprit des jeunes enfants. Cette éducation devra être assurée en grande partie par les parents — ce qui implique qu'il faudra, dans bien des cas, commencer par les éduquer eux-

mêmes — mais dans les pays avancés, les jardins d'enfants jouent un rôle de plus en plus important. Les établissements de ce niveau devront être dotés d'un personnel d'éducateurs ayant reçu une formation appropriée.

76. En ce qui concerne la place qui pourrait être faite à l'étude du milieu dans les écoles primaires et secondaires, on a rappelé que beaucoup de pays manquent de professeurs de science ayant reçu une formation suffisante pour bien comprendre les questions d'écologie. D'autre part, le temps réservé à l'enseignement de la biologie est souvent trop court et, dans bien des cas, le matériel d'enseignement dont on dispose est tout à fait insuffisant ou mal adapté au pays ou à la région. Il a été signalé aussi qu'un programme de ce genre est difficile à appliquer dans les grandes villes, où les enfants ne sont pas directement en contact avec la nature. Il faudrait profiter au maximum des camps d'été organisés à la campagne pendant les vacances. Dans le pays en voie de développement qui ont une nombreuse population rurale, il faudrait attacher une attention particulière à l'amélioration de l'éducation rurale. De bons programmes de radio et de télévision visant à faire mieux connaître le milieu pourraient être très efficaces pour éclairer les enfants comme les adultes. Les centres scientifiques devraient contribuer utilement à la formation des maîtres aux divers niveaux de l'enseignement.

77. L'efficacité de l'éducation à tous les autres niveaux dépendra d'un noyau de spécialistes ayant reçu une formation appropriée. C'est essentiellement aux universités qu'il appartiendra de former ces spécialistes, et, en outre, d'introduire des notions d'écologie dans les programmes scolaires de différentes disciplines; il ne s'agit pas seulement des programmes qui ont trait à la planification des activités humaines par rapport au milieu, mais aussi de ceux qui, sans être liés directement à l'aménagement du territoire, peuvent se rapporter, par exemple, à la santé. Il arrive souvent, surtout si les structures existantes sont déjà surchargées ou si l'on manque de ressources matérielles, que le mieux soit de procéder par « infiltration de la pensée écologique ». On a reconnu la nécessité de renforcer et développer le plus tôt possible des centres nationaux et régionaux interdisciplinaires où des programmes d'enseignement et de recherches, portant sur la connaissance du milieu, seront appliqués à l'intention des écologistes professionnels. La planification et l'aménagement du paysage sur des bases écologiques ont été reconnus comme constituant d'importants domaines connexes qui devront être développés.

78. On a souligné l'importance de l'éducation extrascolaire de la jeunesse, qui tient notamment au fait que la population mondiale comprend une proportion impressionnante de jeunes. Des organisations de jeunesse spécialisées semblent à même de concevoir et d'appliquer de bons programmes éducatifs concernant la connaissance du milieu. La possibilité d'inculquer des notions relatives à la conservation de la nature aux jeunes gens qui font leur service militaire a également été évoquée.

79. A propos de la formation des adultes, de nombreuses suggestions ont été présentées quant aux mesures à prendre pour améliorer les moyens qui peuvent servir à l'éducation des masses en développant et en utilisant à cet effet les moyens existants, tels que les parcs nationaux et les parcs urbains, ainsi que des programmes qui exigent une participation active des intéressés : plantation d'arbres, embellissement du paysage, activités récréatives, etc.

L'importance d'une meilleure utilisation de la presse, de la radio et de la télévision a été soulignée.

80. La nécessité d'instituer un organisme international chargé d'aider, dans les différents pays, au développement de toutes les activités éducatives a été spécialement soulignée.

81. La clarification des concepts impliqués dans la notion d'éducation en relation avec le milieu a abouti à un accord sur les idées suivantes :

**LE CONCEPT D'UNE ÉDUCATION EN RELATION AVEC LE MILIEU OU
« ÉDUCATION MÉSOLOGIQUE »**

1. En raison de la gravité des problèmes de la biosphère, il est urgent d'instituer une éducation en relation avec le milieu, ou éducation mésologique, ayant pour but d'amener l'homme et les sociétés humaines à adopter à l'égard de la biosphère une attitude favorable à l'utilisation rationnelle des ressources naturelles, à la conservation de ces ressources et à l'unité du paysage.

2. Les principes fondamentaux à mettre à la base de cette éducation, en les interprétant selon les niveaux et les objectifs, devraient être les suivants :
Conserver le capital économique et social de la biosphère et l'enrichir lorsque c'est possible ;

Faire en sorte qu'une approche scientifique intégrée prévale dans la planification, l'aménagement et la mise en valeur du milieu considéré comme une unité dans l'espace et le temps ;

Rechercher l'accomplissement personnel de l'homme considéré dans son association avec la nature et avec les forces naturelles ;

Élaborer une politique propre à assurer pour la postérité la conservation du patrimoine commun.

3. Cette éducation sera, selon les niveaux d'enseignement et selon les objectifs visés, plus ou moins poussée. Elle s'adresse :

Aux spécialistes de différentes professions ayant à s'occuper de l'aménagement de la biosphère et à exercer une action éducative, afin qu'ils puissent assurer l'application des principes exposés plus haut ;

Aux adultes de tous les milieux, pour qu'ils puissent donner des conseils aux enfants et aux jeunes gens, comprendre et juger les politiques ou pratiques qui peuvent influencer sur leur environnement et, plus généralement, pour enrichir leur vie ;

Aux enfants et aux jeunes, dans le cadre d'une éducation scientifique et de la culture générale, et pour leur apprendre à apprécier leur environnement et à en profiter judicieusement.

4. Tous les moyens d'action devraient être mis en œuvre dans le cadre d'un programme intégré et continu d'éducation et d'information concernant le milieu. Il devrait y avoir dans chaque pays un conseil, un centre ou une institution analogue qui s'occupe de l'éducation mésologique, et ces activités devraient être coordonnées aussi sur le plan international.

RECOMMANDATION N° 9
FORMATION AU NIVEAU DES ÉCOLES PRIMAIRES ET SECONDAIRES

82. La Conférence,

Considérant que l'écologie n'a pas une place suffisante dans les programmes relatifs à la biologie et aux sciences connexes, et que le personnel enseignant des écoles primaires et secondaires manque de connaissances dans ce domaine, alors que des notions d'écologie sont un élément indispensable de l'instruction,

Reconnaissant l'importance particulière et la nécessité d'organiser à ces niveaux une éducation en relation avec le milieu, ou éducation mésologique, bien conçue, à la fois pour initier l'ensemble des élèves à ces questions et pour servir de base à la formation ultérieure de spécialistes,

Vu l'urgence des besoins en matériel pédagogique et en programmes appropriés, aux niveaux tant primaire que secondaire,

Recommande aux États membres de veiller à ce que les pouvoirs publics et les organisations s'occupant d'éducation entreprennent les activités suivantes :

1. Révision des programmes, de façon à introduire, à améliorer ou à étendre l'éducation sur le milieu, ou éducation mésologique, dans le cadre de la biologie, et aussi à lui faire une place dans l'enseignement d'autres matières;
2. Formation d'un certain nombre de professeurs d'écologie, qui joueront un rôle directeur dans ce domaine;
3. Organisation de stages d'études ou de travaux pratiques, ou d'autres activités de formation du même ordre à l'intention des enseignants chargés de l'éducation en relation avec le milieu, ou éducation mésologique;
4. Affectation d'experts envoyés par l'Unesco et d'autres institutions du système des Nations Unies et organisations internationales compétentes, afin de faciliter l'application de projets visant à la formation de personnel enseignant dans les pays en voie de développement, en collaboration avec le personnel local de contrepartie, et octroi de fonds pour le financement de ces projets;

Recommande que les États membres s'efforcent, par tous les moyens, d'organiser ou d'améliorer l'éducation en relation avec le milieu, ou éducation mésologique, dans les écoles primaires et secondaires, en réunissant, en produisant et en diffusant une gamme appropriée de matériels pédagogiques souhaitables (manuels, études écologiques régionales, films fixes, livres du maître, etc.); et

Recommande que l'Unesco et les autres institutions des Nations Unies et organisations internationales compétentes facilitent ces activités, en fournissant du matériel, des renseignements, des conseils et des services d'experts, et en tenant les États membres au courant des travaux effectués dans ce domaine à l'échelon national et régional.

RECOMMANDATION N° 10
ENSEIGNEMENT DE L'ÉCOLOGIE AU NIVEAU UNIVERSITAIRE

83. La Conférence,

Considérant qu'il existe un besoin urgent de spécialistes orientés vers l'écologie, *Recommande* aux États membres et à leurs établissements d'enseignement supérieur :

1. D'introduire ou de développer l'enseignement de l'écologie dans le cadre des cours universitaires de tous niveaux (y compris les cours de spécialisation supérieure, de recyclage et de brève durée ou autres cours) destinés à assurer la formation des professeurs, biologistes du milieu, agronomes, forestiers, du personnel sanitaire, des ingénieurs, architectes, économistes, sociologues et de tous les spécialistes qui jouent un rôle quelconque dans l'utilisation et la conservation des ressources de la biosphère;
2. De former des spécialistes et des technologues de l'environnement, en créant des chaires universitaires et des instituts pour l'étude du milieu et de sa conservation;
3. De passer en revue, afin de les rendre au besoin plus efficaces, toutes les mesures prises ou prévues pour assurer la collecte, le collationnement, la diffusion des renseignements relatifs à l'éducation en relation avec le milieu (éducation mésologique).

Recommande que l'Unesco, en coopération avec la FAO et les autres organisations internationales et non gouvernementales, aussi bien qu'avec les organisations régionales intéressées, fournisse des services d'experts et une aide financière pour soutenir ces activités.

RECOMMANDATION N° 11

CENTRES DE FORMATION ET DE RECHERCHE POUR L'UTILISATION RATIONNELLE ET LA CONSERVATION DES RESSOURCES DE LA BIOSPHERE

84. La Conférence, *Considérant*

1. Qu'il apparaît extrêmement urgent de former des animateurs capables d'influer sur la politique et les décisions adoptées par leurs pays en ce qui concerne l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources de la biosphère,
2. Que cette formation doit être assurée dans des centres dotés du personnel et de l'équipement nécessaires, et situés dans des régions où les conditions écologiques, culturelles (y compris linguistiques) et économiques sont autant que possible analogues à celles qui existent dans le pays d'origine des élèves,
3. Qu'une telle formation est coûteuse et qu'il faut utiliser les services de ces centres de façon aussi efficace que possible, en associant la formation à la recherche, aux travaux de documentation et à d'autres activités connexes,

Recommande aux États membres, aux organisations du système des Nations Unies et aux organisations régionales :

1. Que les centres nationaux et internationaux interdisciplinaires de formation et de recherche, qui s'occupent à l'heure actuelle du vaste domaine de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère, soient dotés de ressources plus abondantes en matière de personnel, d'installations et de bourses, afin qu'ils puissent entreprendre d'importants programmes de formation et de recherches portant sur l'écologie et les autres aspects de l'étude du milieu;
2. Que de nouveaux centres soient créés dans les régions appropriées où il n'en existe pas encore;

3. Que les activités de ces centres soient coordonnées avec celles des établissements analogues situés dans d'autres États membres ou dans d'autres parties du monde, afin de faciliter au maximum les échanges de personnel et d'informations, et d'éliminer les doubles emplois dans toute la mesure du possible.

RECOMMANDATION N° 12

ÉDUCATION MÉSOLOGIQUE EXTRASCOLAIRE DES JEUNES ET DES ADULTES

85. La Conférence,

Reconnaissant

1. Qu'il est urgent d'aider tous les éléments de la population à comprendre les principes écologiques généraux que met en jeu l'utilisation des ressources naturelles par l'homme ainsi que les interactions existant entre l'homme et son milieu physique et biologique;
2. Qu'il est souhaitable de rendre le public plus conscient des perspectives biologiques et historiques relatives à la situation de l'humanité par rapport à la biosphère, et des liens qui unissent l'homme aux autres êtres vivants,

Recommande que les États membres tirent pleinement parti des moyens d'éducation des masses et qu'ils utilisent et développent les centres d'information, les parcs, les musées, les jardins botaniques et zoologiques, les stations expérimentales et les réserves naturelles, afin d'initier les enfants, les adolescents et les adultes à la biologie du milieu et de leur faire prendre conscience de leur patrimoine naturel;

Recommande en outre que l'Unesco et les organisations du système des Nations Unies ou autres organisations internationales intéressées soient prêtes à aider les États membres en contribuant à leur fournir des conseils, le matériel et les services d'experts dont ils pourront avoir besoin pour mener à bien ces programmes d'éducation des divers secteurs de la population.

Tout en tenant compte des besoins particuliers de communautés dont le niveau d'instruction, les traditions, la langue et le patrimoine culturel diffèrent, ces programmes d'éducation devraient :

1. Comprendre la production et la diffusion de publications et de matériels visuels;
2. Prévoir des récompenses spéciales (décorations, prix, hommages publics, etc.) pour les individus ou les groupes qui se seront distingués soit en produisant du matériel de vulgarisation (ouvrages scientifiques, articles de journaux, films, expositions itinérantes et autres matériels similaires), soit en assurant l'étude, la réalisation et le développement de projets relatifs au milieu;
3. Encourager la participation à ces projets des associations de jeunes et des groupements sociaux;
4. Encourager la participation de la jeunesse aux programmes extrascolaires d'éducation en relation avec le milieu (éducation mésologique);
5. Intégrer l'éducation scolaire en relation avec le milieu (éducation mésologique) avec les programmes extrascolaires pour la jeunesse.

RECOMMANDATION N° 13

COORDINATION INTERINSTITUTIONNELLE POUR L'ÉDUCATION MÉSOLOGIQUE

86. La Conférence,

Recommande que l'Unesco, en consultation avec les Nations Unies, la FAO, l'OMS, l'OMM, l'OIT, l'UICN et le CIUS, étudie d'urgence les moyens de satisfaire en permanence les besoins suivants en matière d'éducation mésologique :

1. Développement des dispositifs actuels de liaison;
2. Examen des programmes existants et des propositions;
3. Détermination de l'évolution des besoins dans le domaine de l'éducation et de la formation des spécialistes, et établissement d'un ordre de priorité entre les mesures à prendre;
4. Recommandations au sujet du partage des responsabilités entre les organisations concernées par les activités du programme;
5. Recommandations concernant des domaines d'action et des projets bien définis dont devraient s'occuper conjointement deux des organisations compétentes ou davantage: ces projets pourraient porter notamment sur la fourniture de services communs pour assurer la production et la distribution de matériel pédagogique par les diverses voies qu'utilisent déjà les organisations;

Recommande en outre que soient étudiées des dispositions administratives appropriées, y compris, peut-être, la création d'un groupe de travail interinstitutionnel permanent.

PROBLÈMES RELATIFS AUX POLITIQUES ET AUX STRUCTURES

87. La Commission des politiques et structures scientifiques s'est réunie sous la présidence de M. C. S. Christian (Australie). MM. E. Balcells (Espagne) et Baba Dioum (Sénégal) ont été élus respectivement vice-président et rapporteur de la commission.

88. Les États membres suivants ont participé aux travaux de la commission: République fédérale d'Allemagne, Argentine, Australie, Belgique, RSS de Biélorussie, Brésil, Canada, République démocratique du Congo, Espagne, États-Unis d'Amérique, Finlande, France, Hongrie, Inde, Irak, Irlande, Israël, Italie, Kenya, Liban, Madagascar, Mali, Maroc, Norvège, Pays-Bas, Pérou, Royaume-Uni, Sénégal, Somalie, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, URSS, Uruguay et Viêt-nam, ainsi que les représentants des Nations Unies, de la FAO, de l'OMS, de l'UICN, du PBI, de la Ligue des États arabes, de l'Organisation de coopération et de développement économiques et de l'Union internationale de secours.

La conférence, après examen du rapport de la commission, a fait siennes les conclusions et recommandations qui suivent :

STRUCTURES NATIONALES

Organisations nationales pour l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère

i) Science et politique d'utilisation des ressources

89. La conférence a discuté en détail le problème des structures nationales nécessaires pour atteindre les objectifs visés par la conférence. Elle a reconnu qu'une formule unique ne pouvait être recommandée, qui correspondrait aux réalités existant dans chaque pays, en particulier en raison des stades différents de développement qu'ils ont atteints et des institutions qui existent déjà. Plusieurs délégations ont cité des exemples de structures nationales s'avérant satisfaisantes (Conseil national des ressources naturelles, Service de l'aménagement du territoire, commissions interministérielles, etc.). Le problème du niveau — national, provincial, local — auquel les décisions doivent être prises, et qui dépendent de certaines options politiques, a retenu l'attention de la conférence.

ii) Parcs nationaux et réserves

90. La discussion sur ce problème a souligné que les parcs nationaux et les réserves naturelles présentent un grand intérêt du point de vue économique et scientifique. La création de tels parcs et réserves implique fréquemment des options entre intérêts antagonistes à l'échelle nationale, options à préparer par de larges consultations, mais qui ne peuvent être levées qu'au niveau national. Il a été considéré que partout où une organisation nationale, chargée de procéder, dans le cadre d'un programme intégré, à la sélection, à la constitution, à la gestion d'un ensemble de parcs nationaux et réserves naturelles, n'existe pas encore, il devrait en être créé une à bref délai. Cette organisation, existante ou à créer, devrait procéder à l'élaboration ou au développement d'un programme national en matière de parcs nationaux et réserves naturelles, en s'efforçant de suivre, dans toute la mesure du possible, les critères de sélection et les normes de dénomination internationalement fixés en vertu de la résolution 713 (XXVII) du Conseil économique et social et selon les principes tracés par le Secrétaire général de l'ONU, critères et normes que l'UICN a utilisés pour publier récemment la deuxième édition de la *Liste des Nations Unies des parcs nationaux et réserves analogues*.

iii) Législation nationale

91. La conférence a souligné la nécessité d'avoir des législations nationales basées sur des données scientifiques et a invité les pays développés à mettre leurs législations à la disposition des pays en voie de développement pour information. Le problème de la difficulté de mettre en œuvre efficacement les législations existantes a naturellement été évoqué. La nécessité de renforcer les administrations responsables et d'informer les collectivités a été soulignée. L'intérêt de législations prévoyant des exonérations fiscales pour des actions visant à restaurer les sols, telles que le reboisement, a été rappelé.

Structures pour l'éducation

92. La conférence a souligné l'importance de l'éducation des personnes et collectivités pour la formulation et la mise en œuvre d'une politique de conservation et d'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère.

93. La conférence a insisté sur l'intérêt des grands moyens d'information de masse (télévision, radio, bandes dessinées, etc.) pour l'éducation du public, ainsi que sur la nécessité d'obtenir la coopération des agences de tourisme et de voyage pour cette éducation. Elle a recommandé qu'un numéro du *Courrier de l'Unesco* soit consacré à cette conférence, au fonctionnement de la biosphère, ainsi qu'aux activités des organisations qui ont une responsabilité dans ce domaine.

94. Elle a également suggéré l'expansion du bulletin de l'Unesco intitulé *Nature et ressources*, qui pourrait servir à décrire les expériences nationales.

95. En ce qui concerne la formation de spécialistes, la conférence a souligné la nécessité de développer à tous les niveaux les programmes biologiques pour faciliter la formation des écologistes. Elle a également souligné qu'il était nécessaire de prévoir aussi bien une formation postuniversitaire pour former des spécialistes de l'approche intégrée et pouvant s'adapter à l'évolution des sciences, qu'un diplôme d'ingénieur écologiste ayant une valeur pratique pour la conservation des ressources naturelles et l'aménagement du paysage.

La conférence a également souligné l'importance de la formation des éducateurs et le rôle que pouvaient jouer les séminaires internationaux et l'octroi de bourses pour cette formation.

Structures de recherche

96. La conférence a souligné l'importance qui doit être accordée, au niveau national, aux structures institutionnelles et à l'organisation des recherches dans le domaine des ressources naturelles de la biosphère et en particulier aux recherches agricoles, forestières, pastorales, piscicoles et cynégétiques. Les problèmes complexes soulevés par les recherches écologiques et agronomiques, orientées vers des objectifs pratiques des plans de développement, nécessitent l'intervention d'une approche intégrée et multidisciplinaire tenant compte de tous les impératifs de la science, de la technique, de l'économie ainsi que des aspects socio-politiques du développement.

97. Les agences d'exécution de recherches au niveau national doivent être centralisées dans des institutions multidisciplinaires afin de permettre l'intervention de toutes les disciplines scientifiques et la formation d'équipes interdisciplinaires de chercheurs parmi lesquelles une place plus importante doit être accordée aux spécialistes des sciences humaines prises dans le sens le plus large.

98. Les structures nationales et l'organisation des recherches doivent assurer les liaisons directes entre les organes de la politique scientifique et de la planification des recherches et du développement, d'une part, et ceux qui sont chargés de l'exécution de recherches et de la mise en application des résultats, d'autre part.

99. Il a en outre été reconnu que l'établissement d'étroites relations de travail entre la recherche, l'éducation, la formation des cadres techniques, la vulgarisation et l'ensemble des services linguistiques était absolument indispensable en vue de transmettre les messages de la recherche et de permettre par le biais de toutes les structures d'accueil appropriées, d'ordre social, économique et politique, une mise en application pratique et efficace des résultats de la recherche au niveau des nombreuses unités de production du secteur agricole.

Associations spécialisées

100. La conférence a reconnu que les associations spécialisées de caractère semi-gouvernemental ou non gouvernemental pouvaient jouer un rôle pour conseiller les gouvernements sur des sujets particuliers (urbanisme, santé, etc.) quand des organisations plus importantes ou permanentes ne sont ni justifiées ni nécessaires. Elle a recommandé aux gouvernements d'apporter une aide matérielle et financière à de telles associations et de faire appel à elles dans toute la mesure du possible comme organismes complémentaires de recherche ou d'éducation.

STRUCTURES RÉGIONALES ET INTERNATIONALES

Structures régionales

i) Institutions spécialisées des Nations Unies

101. La conférence a estimé que les institutions spécialisées des Nations Unies devraient accorder une plus grande attention à leurs activités régionales dans le domaine de la conservation et de l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère, la région étant considérée ici essentiellement comme région naturelle.

ii) Organisation régionale de la recherche

102. Les problèmes relatifs aux ressources naturelles, à leur conservation et leur utilisation rationnelle, et l'ensemble des problèmes biologiques et agro-nomiques ne connaissent pas les frontières politiques et administratives. Ils s'identifient par contre aux régions biogéographiques, aux bassins fluviaux et s'inscrivent dans de grands ensembles naturels ou zones écologiques.

103. En raison des ressources limitées en moyens humains et financiers, il importe de régionaliser les efforts là où ils peuvent l'être, afin d'éviter des chevauchements non justifiés du point de vue scientifique, de prévenir les doubles emplois et dans la mesure du possible les compétitions stériles. La science doit résoudre des problèmes débouchant sur des objectifs pratiques, fondés sur des hypothèses de travail concertées, et la meilleure voie pour y parvenir consiste à sélectionner des priorités et à trouver les moyens capables de renforcer la coopération intergouvernementale. Tous les pays situés dans une même zone écologique ont, en raison de la similitude des conditions de l'environnement, des problèmes communs et par conséquent des thèmes de recherche semblables.

104. Aussi, la FAO, en collaboration avec les autres institutions spécialisées des Nations Unies, les gouvernements, les institutions bilatérales, internationales et les fondations privées, souhaite organiser des conférences en vue

de l'établissement de programmes de recherches agronomiques sur des bases écologiques en vue de promouvoir l'échange d'informations et la coopération internationale dans tous les domaines scientifiques, techniques, sociaux et économiques de la recherche et du développement de l'agriculture. Les principaux objectifs de ces conférences consisteront à définir les thèmes régionaux et prioritaires de recherches agronomiques, à tracer les grandes lignes d'action et les mesures à prendre en vue de mettre ces projets à exécution par les institutions nationales de recherches existantes et à en diffuser les résultats. Ils doivent également permettre d'élaborer une meilleure stratégie des aides accordées à la recherche en utilisant au maximum les ressources disponibles dans le cadre d'activités multidisciplinaires et complémentaires.

105. Le cadre biogéographique des grandes zones écologiques constitue une base scientifique de premier choix pour une régionalisation des recherches et un renforcement de la coopération intergouvernementale et internationale dans le domaine des recherches et du développement de l'agriculture, de la conservation et de l'utilisation rationnelle des ressources de la nature.

Structures internationales

i) Coordination des recherches

106. En ce qui concerne les recherches d'intérêt international, la conférence a souligné la nécessité d'une coordination effective tout en reconnaissant qu'au stade actuel, en matière de coordination — au sens propre du terme — des difficultés évidentes existaient à cet égard et qu'il fallait plutôt parler d'échanges d'informations. Une coordination réelle ne pourra être réalisée qu'après l'acceptation générale de méthodes normalisées. La conférence a pris note du rôle que pouvaient jouer les centres d'information pour le développement de la recherche, mais elle a considéré qu'en dehors des centres d'information spécialisés bien établis, il convenait surtout de développer des centres régionaux d'information.

ii) Législation internationale

107. En ce qui concerne la législation internationale relative à l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère, la conférence a noté les activités en cours du service de législation de la FAO et de la commission de législation de l'UICN. La conférence a également noté que la commission de législation de l'UICN a rédigé un avant-projet de convention sur l'importation, l'exportation et le transit de certaines espèces, qui a été distribuée aux gouvernements intéressés afin de rendre plus efficaces les législations nationales.

108. La nécessité de conclure des accords internationaux pour conserver et exploiter rationnellement des ressources naturelles communes, ou même des ressources purement nationales, comme les espèces endémiques, a été mentionnée.

109. La conférence a estimé que l'Unesco devrait, en coopération avec les autres institutions spécialisées des Nations Unies et les organisations non gouvernementales intéressées, examiner en profondeur l'ensemble des problèmes relatifs aux accords internationaux. Cet examen pourrait se faire au sein d'un groupe de spécialistes convoqué à cet effet.

110. La conférence a souligné enfin que les accords internationaux qui viendraient à être conclus à l'avenir devraient être fondés sur des bases scientifiques et avoir l'appui d'une opinion publique bien informée.

111. L'attention de la conférence a été attirée par le représentant de l'UICN sur l'article 25 de la Déclaration universelle des droits de l'homme dont le début se lit comme suit :

« Toute personne a droit à un niveau de vie suffisant pour assurer sa santé, son bien-être et ceux de sa famille, notamment pour l'alimentation, l'habillement, le logement, les soins médicaux ainsi que pour les services sociaux nécessaires... »

Il a été reconnu que la santé et le bien-être de l'homme dépendent également de la qualité de l'environnement, que l'homme a droit à un environnement sain et que les activités de l'homme et l'utilisation qu'il fait des ressources naturelles doivent maintenir et améliorer son environnement.

Il a été suggéré que l'Unesco, la FAO et l'OMS pourraient examiner la possibilité de proposer à l'Assemblée générale des Nations Unies de reconnaître que la santé et le bien-être, au sens de l'article 25 de la Déclaration universelle des droits de l'homme, comprennent ces principes fondamentaux.

RECOMMANDATION N° 14

SCIENCE ET POLITIQUE D'UTILISATION DES RESSOURCES

112. La Conférence,

Considérant que les changements rapides qui interviennent dans tous les pays menacent de détruire certaines ressources de la biosphère et que la mise en valeur d'une ressource donnée a souvent sur une autre ressource des effets néfastes dont on n'a pas conscience lorsqu'on établit les plans et qu'on formule les directives générales,

Considérant également que la préservation globale du milieu est souvent négligée dans les projets d'utilisation des terres, de mise en valeur des ressources en eau et d'élimination des déchets et que, dans d'autres situations, les interactions complexes qui sont en jeu n'apparaissent pas clairement à ceux qui établissent les directives générales,

Recommande aux États membres et aux organes directeurs de toutes les organisations du système des Nations Unies de mettre au point une politique générale intégrée d'aménagement du milieu et de tenir compte, pour l'élaboration de cette politique, des efforts et des problèmes de caractère international. Une telle politique devrait comprendre les points suivants :

1. Inventaire des ressources naturelles devant servir de base à la fixation des priorités, compte tenu de l'existence de zones particulièrement menacées, et à la révision périodique des priorités concernant l'exploitation en fonction des changements technologiques et économiques;
2. Aménagement et utilisation des ressources naturelles d'une manière aussi économique que possible, qui tienne compte des répercussions de l'utilisation de ressources données sur d'autres ressources et sur le milieu dans sa totalité. De tels concepts écologiques doivent être appliqués lors de la planification à l'échelon national et local;

3. Productivité optimale compatible avec l'utilisation permanente de la biosphère dans une perspective d'avenir à long terme.
4. Reconnaissance des multiples usages possibles auxquels se prêtent les ressources;
5. Programme intégré et complet de recherches portant sur tous les aspects de l'utilisation rationnelle de l'eau, du sol et des ressources biotiques, y compris des recherches sur les facteurs socio-économiques.
6. Application de la science et de la technique à l'aménagement du milieu;
7. Établissement d'un mécanisme approprié permettant aux autorités chargées, à tous les niveaux, de prendre des décisions concernant les divers aspects de l'aménagement et de l'utilisation du milieu, de recevoir régulièrement les avis les plus autorisés des spécialistes de la biologie, des sciences physiques et sociales, de la technologie et de l'économie;
8. Établissement d'une structure et d'un mécanisme appropriés en vue d'assurer une révision générale et périodique de la politique suivie, dotés de l'autorité, des responsabilités et des moyens nécessaires pour rectifier les orientations et les objectifs, et pour procéder aux suppressions, révisions et rajustements voulus dans les programmes d'action en fonction de l'expérience acquise, des progrès de la science et de la technique et de l'évolution de la situation nationale ou mondiale.
9. Programme d'éducation et d'information destiné au grand public et visant à exposer les principes et l'importance de l'aménagement du milieu, tout en évitant les affirmations de caractère purement théorique et l'appel à la sensibilité dans les relations avec le public.

RECOMMANDATION N° 15

PRÉSERVATION DES RÉGIONS NATURELLES ET DES ESPÈCES MENACÉES

113. La Conférence,

Notant que l'accroissement de la population humaine et des actions de mise en valeur rendent indispensables la sélection et la préservation de spécimens représentatifs des communautés biotiques et des espèces menacées et que, dans le monde entier, des espèces végétales et animales sans cesse plus nombreuses sont gravement menacées d'extinction, du fait de mesures prises directement contre elles et des influences destructrices indirectes s'exerçant sur l'habitat qui leur est indispensable,

Consciente du fait que l'extinction de certaines espèces et la destruction totale de certaines communautés représentent une perte irréparable, étant donné la valeur qu'elles ont pour l'homme sur les plans économique, scientifique, éducatif et esthétique,

Reconnaissant que l'Union internationale pour la conservation de la nature, le Programme biologique international et d'autres organisations et services nationaux et internationaux s'occupent de ces problèmes,

Recommande que ces organisations, publiques et privées, fassent de gros efforts pour établir des régions naturelles en vue d'assurer la préservation des espèces, de leurs habitats et de spécimens représentatifs d'écosystèmes;

Recommande que les États membres accélèrent la création et la protection de parcs nationaux et de sanctuaires de la vie sauvage, qu'ils encouragent

leurs services administratifs locaux et les citoyens privés à prendre sur place les mesures appropriées, et qu'ils entreprennent eux-mêmes et encouragent des travaux de recherche scientifique et d'éducation pour appuyer cette importante action;

Recommande également que les pays en voie de développement puissent recevoir dans ce but une assistance appropriée.

RECOMMANDATION N° 16

CENTRES MULTIDISCIPLINAIRES DE RECHERCHE ET DE FORMATION POUR L'INVENTAIRE ET L'ÉVALUATION DES RESSOURCES

114. La Conférence,

Attirant l'attention des États membres sur l'importance que revêtent les centres multidisciplinaires de recherche et de formation concernant le milieu et ses ressources, tant au niveau local qu'au niveau national, si l'on veut étudier de manière satisfaisante les problèmes complexes de l'aménagement des ressources de la biosphère,

Considérant que ces établissements pourraient, bien entendu, être créés selon des modalités différentes, en fonction des structures institutionnelles des pays, des conditions écologiques particulières, de la nécessité effective de procéder à l'inventaire, à l'évaluation et à l'aménagement des ressources et de la situation concernant le personnel qualifié,

Considérant en outre qu'il semble nécessaire d'accroître les activités interdisciplinaires dans tous les pays,

Invite instamment les États membres à prendre cette nécessité en considération pour développer leurs structures scientifiques, spécialement lorsqu'il s'agit de planifier la mise en valeur des ressources de leur territoire;

Recommande aux organisations des Nations Unies intéressées de prêter leur concours pour l'établissement des plans relatifs à ces institutions et pour leur mise en place dans les nombreux pays, en particulier les pays en voie de développement, où les structures scientifiques ne sont pas encore assez fortes pour répondre à ce besoin.

DÉVELOPPEMENT DES ACTIVITÉS INTERNATIONALES

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR L'HOMME ET SON MILIEU

115. La conférence a pris connaissance et a discuté de la résolution relative à l'homme et à son milieu adoptée par le Conseil économique et social des Nations Unies lors de sa 45^e session (1346 XLV), à la suite d'une proposition de la Suède, et qui demande que la question de la convocation d'une conférence des Nations Unies sur ce sujet soit étudiée lors de la prochaine session de l'Assemblée générale.

116. Un certain nombre de délégations ont fait observer que la présente conférence avait montré que beaucoup restait à faire pour obtenir des réponses à tous les problèmes qui se posent en matière d'utilisation rationnelle et de conservation du milieu, mais qu'en même temps de nombreuses connaissances

déjà acquises n'étaient pas convenablement appliquées. Elles ont souligné que pour parvenir, en effet, à l'utilisation rationnelle, à la conservation et à l'aménagement de l'environnement humain, il convenait de résoudre, non seulement les problèmes scientifiques, mais également des problèmes plus larges, de caractère économique, social et politique hors de la compétence de la présente conférence. C'est pourquoi ces délégations accueillent favorablement l'idée d'une conférence internationale telle qu'elle est évoquée dans la résolution du Conseil économique et social, étant entendu que les résultats d'une telle conférence ne pourraient qu'être favorables à l'action de l'ensemble des organisations du système des Nations Unies.

117. D'autres délégations, cependant, ont fait remarquer que la décision relative à la convocation d'une telle conférence appartenait à la seule Assemblée générale des Nations Unies. Certaines réserves ont été exprimées en raison de la complexité et du coût d'une telle conférence. Plusieurs délégations ont surtout insisté sur la nécessité de s'assurer, avant toute chose, que les moyens financiers et autres seraient disponibles pour assurer l'exécution concrète des recommandations que prendrait la conférence projetée.

118. L'idée de la préparation d'une Déclaration universelle sur la protection et l'amélioration de l'environnement humain a été évoquée à l'occasion de ce débat, et le point de vue général exprimé a été qu'en cas d'une convocation d'une conférence des Nations Unies, l'adoption d'une telle déclaration pourrait constituer l'un de ses objectifs.

119. En conclusion de ces débats, la conférence a adopté la recommandation suivante :

RECOMMANDATION N° 17

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR L'HOMME ET SON MILIEU

120. La Conférence,

Ayant été informée qu'à sa 45^e session, le Conseil économique et social des Nations Unies (Ecosoc) avait approuvé une résolution relative à la question de la convocation d'une conférence internationale sur les problèmes de l'environnement humain, au sujet de laquelle l'Assemblée générale va se prononcer,

Recommande qu'au cours de ses délibérations, l'Assemblée générale des Nations Unies :

1. Tienne compte des recommandations de la Conférence sur la biosphère, et
2. Examine l'opportunité d'une Déclaration universelle sur la protection et l'amélioration de l'environnement humain.

ASSISTANCE TECHNIQUE POUR LES ÉTUDES FONDAMENTALES ET APPLIQUÉES SUR LES RESSOURCES DE LA BIOSPHERE

121. En ce qui concerne les experts fournis par les organisations internationales pour aider les pays en voie de développement dans l'intégration de leurs activités nationales ainsi que pour effectuer les programmes de recherche appropriés et mettre en œuvre les programmes de formation, la conférence a noté que les spécialistes en question devaient appartenir à deux catégories

différentes : a) des consultants à court terme, de niveau élevé, dont la tâche serait de conseiller des gouvernements sur les grandes lignes et la planification de leurs programmes; b) des experts à long terme ayant une grande expérience, qui seraient chargés d'aider les hommes de science et les techniciens dans la réalisation de ces projets.

A cet égard, l'accent a été mis sur la nécessité de former le personnel homologue local qui, lorsque l'aide internationale viendrait à sa fin, pourrait poursuivre les activités en cours et lancer de nouveaux projets.

122. Il a été mentionné en outre que, dans de nombreux cas, les spécialistes les plus qualifiés ne sont pas en mesure d'accepter des engagements à long terme, car les gouvernements dont ils dépendent n'acceptent pas de les détacher, ou encore parce qu'ils ne sont pas certains de trouver un poste dans leur pays d'origine à la fin de leur engagement.

RECOMMANDATION N° 18

ASSISTANCE TECHNIQUE POUR LES ÉTUDES FONDAMENTALES ET APPLIQUÉES SUR LES RESSOURCES DE LA BIOSPHERE

123. La Conférence,

Considérant qu'on connaît mal les ressources de la biosphère, notamment dans les pays en voie de développement, ainsi que les changements rapides qui se produisent dans la biosphère du fait des activités de l'homme,

Recommande que tous les États membres, avec l'aide des organisations des Nations Unies et des autres organisations nationales, régionales ou internationales, étudient immédiatement les moyens et les possibilités d'intensifier les efforts qui permettront de mieux connaître, tant sur le plan théorique que du point de vue des applications, les ressources de la biosphère, notamment dans les pays en voie de développement, dans l'intérêt de toute l'humanité, de façon que l'utilisation et la conservation rationnelle de la biosphère reposent partout sur des bases scientifiques solides;

Recommande en outre, afin d'augmenter l'efficacité de l'aide bilatérale et multilatérale, que soient mis au point des arrangements plus satisfaisants, permettant de mettre temporairement à la disposition des pays en voie de développement des hommes de science expérimentés de pays développés, et que ces derniers soient vivement engagés à améliorer leurs procédures à cet égard.

RECOMMANDATION N° 19

UTILISATION RATIONNELLE ET CONSERVATION DANS LES PROJETS D'ASSISTANCE AUX PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT

124. La Conférence,

Consciente que les pays en voie de développement ne peuvent promouvoir leur expansion socio-économique qu'en exploitant rationnellement leurs ressources naturelles, renouvelables et non renouvelables,

Notant que les productions de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et des forêts, base de l'essor économique de ces pays, devraient s'accroître au

rythme élevé qu'imposent l'expansion démographique et la nécessité d'améliorer le niveau de vie des populations,

Consciente aussi des grands espoirs suscités dans beaucoup de ces pays par les associations régionales pour l'exploitation en commun des ressources de bassins fluviaux dont l'aménagement intégré, par la construction de barrages, doit développer l'agriculture irriguée, assurer les besoins de la navigation et fournir l'énergie aux complexes industriels,

Craignant, d'autre part, que l'exploitation intense des ressources naturelles de ces pays et les développements nécessaires de l'industrialisation n'entraînent d'irréversibles perturbations dans un milieu encore peu altéré et en équilibre fragile,

Prenant acte de l'insuffisance de moyens humains, matériels et financiers de ces pays pour qu'ils réussissent à aménager leur milieu de vie en harmonisant, sur les bases scientifiques requises, les fins du développement avec les besoins de la conservation,

Recommande

1. Que les projets d'études de préinvestissement des pays en voie de développement mis en œuvre par les institutions spécialisées des Nations Unies avec l'aide financière du Programme des Nations Unies pour le développement, tiennent adéquatement compte de toutes les recommandations formulées par cette conférence dans la conception des projets, dans le choix des experts, dans l'attribution des bourses, dans la fourniture d'équipement et que cela soit également appliqué dans les investissements financés par des prêts de la Banque mondiale;
2. Que les interactions écologiques soient dûment prises en considération dans tous les projets de mise en valeur de grande envergure;
3. Que les organisations internationales, et en particulier le Programme des Nations Unies pour le développement et la Banque mondiale, n'hésitent pas à attirer l'attention des gouvernements sur ces préoccupations à long terme lors de l'élaboration de leurs requêtes d'assistance;
4. Que ces mêmes organisations prennent les mesures nécessaires pour que les projets régionaux d'un caractère multinational reçoivent une attention particulière et que les mécanismes pour leur mise en œuvre soient simplifiés dans toute la mesure du possible;
5. Que ces mêmes organisations accordent aux problèmes de recherche, d'éducation et de création d'institutions toute l'attention qu'ils devraient recevoir en relation avec les programmes de mise en valeur.

PROGRAMME INTERDISCIPLINAIRE

125. A la suite des travaux de ses trois commissions, la conférence a discuté des modalités d'un programme d'action future permettant de mettre en œuvre ses recommandations. Le débat a montré qu'avant toute décision finale à ce sujet, un travail de préparation approfondi était nécessaire. Elle a pris note des propositions contenues dans le Projet de programme et de budget de l'Unesco pour l'exercice 1969-1970 et relatives aux suites à donner à ses travaux. Elle considère que ces propositions, en particulier celles relatives à la réunion de groupes de travail appropriés, permettront de jeter les premières bases d'élaboration d'un programme à long terme.

126. Les modalités de direction d'un tel programme ont été évoquées. Le mécanisme d'un conseil de coordination comme celui de la Décennie hydrologique internationale a été cité à titre d'exemple, mais la conférence a considéré qu'il était prématuré d'en décider à ce stade. Il a été par ailleurs souligné qu'une coordination satisfaisante des programmes et des activités internationales présentes et à venir dans le vaste domaine des études sur l'environnement devrait être assurée.

127. En conclusion de ce débat, la conférence a adopté la recommandation suivante :

RECOMMANDATION N° 20

PRÉPARATION D'UN PROGRAMME INTERGOUVERNEMENTAL INTERDISCIPLINAIRE

128. La Conférence,

Consciente de l'importance et de l'urgence des problèmes de l'environnement qui existent à la fois dans les pays développés et dans les pays en voie de développement,

Reconnaissant qu'une somme considérable de connaissances existe déjà qui, si elle était utilisée à bon escient, permettrait de faire un grand pas vers la solution de nombreux problèmes,

Reconnaissant aussi que de nouvelles connaissances sont essentielles à l'échelle du globe, de même qu'est nécessaire un effort massif d'éducation et d'établissement de structures et d'institutions nationales dans tous les pays,

Reconnaissant que dans le domaine des sciences biologiques plusieurs organisations non gouvernementales, en particulier le PBI et l'UICN, ont établi des réseaux d'hommes de science qui étudient actuellement certains aspects de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources biologiques,

Reconnaissant également que ces réseaux d'hommes de science sont à l'heure actuelle largement développés et ne peuvent plus progresser sans un appui gouvernemental et intergouvernemental,

Recommande qu'un plan pour un programme international et interdisciplinaire sur l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources de la biosphère soit préparé pour le bien de l'humanité, programme qui devra être exécuté sur une base intergouvernementale, avec la participation des organisations non gouvernementales requises;

Recommande que ce programme soit concentré sur les aspects scientifiques, techniques et éducatifs des problèmes relatifs à l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources de la biosphère et à l'amélioration de l'environnement humain;

Recommande que l'Unesco, en consultation avec les autres organisations du système des Nations Unies et les organisations non gouvernementales intéressées, prenne l'initiative des mesures nécessaires, pendant la période biennale 1969-1970, pour passer en revue la situation existante et pour faire des propositions aux États membres en vue du lancement, en 1971-1972, d'un programme à long terme, fournissant ainsi une suite et une extension adéquate au Programme biologique international et un complé-

ment aux travaux de diverses organisations des Nations Unies et organisations non gouvernementales;

Recommande que des propositions soient élaborées en vue d'établir un mécanisme de coordination adéquat pour ce programme, permettant une action concertée entre États membres, organisations des Nations Unies et organisations non gouvernementales.

CONCLUSION GÉNÉRALE

129. En traitant à la fois de l'utilisation et de la conservation des ressources de la biosphère, la conférence a cherché à résoudre ce qui, à première vue, semble être une contradiction entre la consommation et la préservation des ressources du milieu. Une solution semble avoir été trouvée : ce serait de donner une base scientifique aux décisions, afin d'obtenir une action rationnelle, et de reconnaître que la conservation, si elle implique la préservation, en est généralement venue à signifier la bonne utilisation des ressources. On pense qu'il est essentiel de comparer les opinions de tous les hommes de science et technologues qui s'occupent de l'exploitation des ressources du milieu naturel avec celles des spécialistes de la préservation de ces ressources dans les parcs et les réserves naturelles. Ces comparaisons sont l'une des principales caractéristiques de la Conférence sur la biosphère. Bien que la connaissance des faits dérivés des sciences biologiques et physiques soit indispensable, de même que celle des techniques qui se fondent sur ces faits, cette connaissance n'est pas, en elle-même, synonyme de sagesse. Les sciences sociales doivent également être prises en considération, en raison du rôle joué par l'économie, la politique, l'administration, le droit, la sociologie et la psychologie, car l'homme est l'élément clé de la biosphère.

Pour aborder la question difficile dont elle était saisie, la conférence a admis que la biosphère est la mince couche à l'interface de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère où la vie et ses produits existent, que les organismes vivants manifestent leurs caractéristiques par des interrelations constantes avec le milieu, et que, dans ce processus, les interactions elles-mêmes créent un certain degré d'ordre systématique. C'est ainsi que la biosphère est conçue comme un ensemble d'écosystèmes ou de niveaux d'organisation de la vie et du milieu, selon les divers modes de combinaison des différents organismes et conditions physico-chimiques du milieu.

Dans la mesure où le milieu ambiant de tout organisme comprend d'autres organismes et leurs produits, ainsi que des conditions physico-chimiques, on peut dire que le milieu ambiant de l'homme est l'ensemble des choses, des conditions et des processus auxquels il est sensible et capable de réagir. À cet égard, une ressource est toute chose, condition ou processus que l'homme est en mesure d'utiliser, actuellement ou potentiellement, y compris les faits sociaux de sa propre culture.

Étant donné l'extrême complexité de la biosphère, ses variations dans l'espace et le temps et la diversité des besoins et des objectifs, souvent contradictoires, de l'homme à l'égard de la biosphère, il est certain qu'il n'y a pas de réponse simple aux problèmes de la qualité du milieu et de la vie humaine dans ce milieu. Manifestement, nos efforts ne pourront aboutir s'ils se fondent sur des principes doctrinaires, sur quelques hypothèses ou thèses inflexibles,

ou sur la recherche intuitive d'une panacée unique. En conséquence, la conférence a conclu que l'utilisation indépendante et non coordonnée des ressources qui s'est faite jusqu'à présent doit être remplacée par des actions planifiées, intégrées et multidisciplinaires. Au lieu d'actions à but unique et immédiat, menées sans le souci de leurs conséquences, tant sur le plan public que sur le plan privé, il faut adopter des programmes planifiés d'exploitation rationnelle des ressources, si l'on veut remédier à la dégradation antérieure du milieu et à la détérioration des écosystèmes, maintenir et même accroître la productivité de la biosphère et donner au sens esthétique la possibilité de s'épanouir. La politique entre pour une part capitale dans l'action à mener pour atteindre ces objectifs. Il est clair cependant que des solutions sont possibles dans le cadre des divers systèmes politiques, économiques et sociaux.

Les communications des États membres à la Conférence sur la biosphère montrent très clairement que la dégradation du milieu s'est accélérée, notamment au cours des dernières décennies, en raison de l'accroissement très rapide de la population humaine et de sa concentration dans les grands centres urbains, et d'une industrialisation explosive qui s'étend aux pays en voie de développement, où elle se concentre également dans les villes et autour d'elles. Parallèlement à cette concentration urbaine et industrielle, on assiste quelquefois à un exode rural massif avec comme conséquence la sous-occupation de l'espace rural et ses suites désastreuses de caractère physique et social. La disparition des traditions et droits coutumiers, ainsi que les changements dans les modes de vie, entraînent aussi des perturbations très importantes dans les pays en voie de développement. Ces pressions sans précédent ont conféré un caractère d'urgence aux débats de la conférence, étant donné que les besoins de l'homme se multiplient alors que les ressources requises pour y satisfaire semblent plus difficiles à produire, tant dans les pays développés que dans les pays en voie de développement.

Ces changements ont de multiples conséquences : pollution de l'air, de l'eau et du sol par les résidus de l'activité humaine et industrielle, destruction rapide et mauvaise gestion généralisée des écosystèmes naturels, danger de famines locales et de malnutrition, menaces sur la santé physique et mentale, diminution de la qualité de la vie et absence généralisée d'une planification visant à distribuer spatialement les formes concurrentielles et incompatibles d'utilisation des terres.

Tout au long de l'histoire et jusqu'à ce jour, les différentes nations n'ont pas eu de politique globale et réfléchie d'aménagement du milieu. Il est désormais évident que l'élaboration de politiques nationales est indispensable si l'on veut restaurer et préserver la qualité du milieu et donner une base solide à la planification de l'utilisation des terres. Bien qu'un grand nombre de ces changements se produisent depuis longtemps, ils semblent avoir récemment atteint un seuil qui a provoqué la prise de conscience du grand public. Cette prise de conscience éveille une certaine inquiétude, fait comprendre que l'homme a, dans une large mesure, le pouvoir — et le devoir — de déterminer et d'orienter l'évolution future de son milieu, et donne lieu aux premières mesures correctives à l'échelon national comme à l'échelon international. Des solutions se trouvent dans l'aménagement du territoire, complétées, pour les pays industrialisés, par des actions diversifiées en fonction des conditions particulières des unités socio-économiques délimitées dans le territoire national.

Les décisions politiques à prendre doivent s'appuyer non seulement sur des études économiques, mais aussi sur des études écologiques.

Les analyses, conclusions et recommandations de la conférence, fondées en grande partie sur les travaux des commissions, sont quelques-unes (mais quelques-unes seulement) des mesures que l'homme peut prendre s'il veut rendre plus fécondes ses relations écologiques avec la nature. Il est toutefois apparu clairement que pour faire des progrès sensibles dans ce domaine, il faudra rompre franchement et nettement avec le passé, sur les plans national et international. Aucun homme, aucun peuple ne peut s'engager seul sur cette voie. C'est en reconnaissant ainsi la nécessité d'une coopération active que la conférence a relevé avec confiance le défi sans précédent qui est lancé à la sagesse et à la bonne volonté des hommes.

Allocutions prononcées à la séance d'ouverture

Allocution prononcée par M. Malcolm S. Adiseshiah,
directeur général adjoint de l'Organisation des
Nations Unies pour l'éducation, la science
et la culture

Mesdames, Messieurs,

C'est pour moi un grand honneur d'accueillir aujourd'hui, dans cette maison qui appartient à tous les hommes de science, les spécialistes éminents venus prendre part à la Conférence intergouvernementale sur les bases scientifiques de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources de la biosphère.

L'importance d'une conférence de ce genre est particulièrement évidente, car depuis quelques années on prend de plus en plus conscience dans le monde entier de la menace que constituent pour l'avenir même de notre espèce les effets combinés d'un accroissement démographique sans précédent et des dommages souvent irréparables que l'homme inflige aux ressources naturelles et à son milieu.

Les problèmes que vous allez étudier sont de ceux qui doivent retenir particulièrement l'attention non seulement des gouvernements, mais aussi des grandes organisations internationales qui consacrent au développement une grande partie de leurs efforts. En 1964, le Conseil économique et social des Nations Unies a demandé à l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et à l'Unesco d'établir un rapport sur la conservation et l'utilisation rationnelle de l'environnement, et il a chargé l'Organisation mondiale de la santé (OMS) de faire un rapport sur la pollution. Le rapport commun FAO/Unesco, qui vous aidera dans vos débats, vous a été distribué avec les autres documents de travail destinés à la présente réunion. Il y a lieu aussi de noter qu'à la 45^e session du Conseil économique et social, tenue à Genève en juillet dernier, la Suède a proposé l'organisation d'une Conférence des Nations Unies sur les problèmes du milieu humain; et le conseil a recommandé que l'Assemblée générale des Nations Unies inscrive cette question à l'ordre du jour de sa 23^e session, qui s'ouvrira le 24 septembre. La résolution du conseil recommande aussi qu'on tienne pleinement compte des résultats de votre réunion, si l'Organisation des Nations Unies prend une décision au sujet de cette conférence.

L'Unesco, pour sa part, s'est évidemment toujours préoccupée du rapport harmonieux à établir entre l'homme et la nature, comme en témoignent les programmes qu'elle a mis en œuvre au sujet de recherches sur la zone aride et la zone tropicale humide, ou les activités qu'elle a menées en coopération avec les États membres dans le contexte de la Décennie hydrologique internationale inaugurée en janvier 1965. Mais elle a jugé nécessaire, comme son Comité consultatif pour les recherches sur les ressources naturelles l'avait demandé dès septembre 1965, de prendre des mesures avec le concours des autres organisations internationales intéressées, et en faisant appel aux diverses branches de la science moderne, pour définir les méthodes rationnelles d'exploitation des ressources naturelles, autrement dit les moyens de les utiliser tout en en assurant la conservation.

Un an après, cette idée a été reprise par la Conférence générale de l'Unesco qui, à sa quatorzième session, en novembre 1966, a adopté une résolution autorisant le Directeur général « à continuer de stimuler la recherche et la formation concernant les ressources et le milieu naturel des terres émergées et leur conservation, en encourageant la synthèse des connaissances, l'échange et la diffusion des informations et les recherches de portée internationale », et à convoquer en 1968 une Conférence intergouvernementale d'experts sur les études écologiques et la conservation des ressources naturelles.

C'est en application de cette résolution que la présente conférence a lieu. Celle-ci a été organisée et convoquée par l'Unesco avec le concours des institutions compétentes du système des Nations Unies — l'Organisation des Nations Unies elle-même, la FAO et l'OMS — et avec la coopération de l'Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources et l'aide du Programme biologique international.

Toutes ces organisations ont participé étroitement à la préparation de la présente réunion, notamment à l'établissement de l'ordre du jour provisoire, et je tiens à leur dire tout de suite, m'adressant à leurs distingués représentants; combien je leur suis reconnaissant du service inappréciable qu'elles ont rendu à l'Unesco en la faisant profiter de leur expérience et de leurs avis en la matière. Dans cette fructueuse association d'organisations internationales, je vois avec la plus profonde satisfaction un exemple remarquable de la coordination et de la coopération sans lesquelles aucune entreprise d'ordre mondial ne saurait être couronnée de succès.

Mesdames et Messieurs,

Dans la mesure où vos travaux ont pour but de montrer en quoi la science moderne peut faciliter le choix et l'élaboration de méthodes rationnelles permettant d'utiliser les ressources naturelles tout en les conservant, ils tendent à créer chez les hommes de science, parmi les dirigeants politiques et dans le grand public un courant de « pensée écologique » destiné à faire mieux comprendre les relations entre l'homme et la nature dans le cadre plus large des rapports entre l'homme et son milieu. Pour les hommes de science, il s'agit de s'élever au-dessus des barrières traditionnelles qui séparent les disciplines; pour les hommes politiques, de faire un effort conceptuel et financier en vue de la mise en œuvre de programmes de conservation et de recherches écologiques; pour le public, de prendre conscience de la puissance de l'homme sur la nature, de redécouvrir et de réaffirmer sa responsabilité quant à son milieu.

A la lumière des rapports présentés par les États membres et des délibé-

rations de vos commissions — qui s'occuperont respectivement de la recherche, de l'éducation et des politiques et structures scientifiques — vous aurez à définir les grandes lignes de l'action qui pourrait être entreprise à l'échelon national et international et, à cet égard, je suis sûr que vous formulerez des recommandations précises à l'adresse des États membres et des organisations internationales intéressées. En ce qui concerne l'Unesco, je puis vous donner l'assurance que ces recommandations retiendront toute l'attention du Directeur général et qu'elles seront soumises à la Conférence générale, organe suprême de l'Unesco, dès sa prochaine session, qui s'ouvre le 15 octobre.

J'ai le ferme espoir que vos travaux, qui répondent à l'attente actuelle de l'humanité et à l'appel de l'avenir, seront couronnés d'un succès à la mesure de votre savoir et de vos vœux.

LA SANTÉ DE L'HOMME EN FONCTION DE LA BIOSPHERE ET DE SES RESSOURCES

Allocution prononcée par le Dr M. G. Candau,
directeur général de l'Organisation
mondiale de la santé

Monsieur le président, Mesdames, Messieurs,

Par « conservation », l'écologiste entend la gestion et l'exploitation rationnelles des ressources naturelles pour le plus grand bien du plus grand nombre. On peut discuter sur la place qu'occupe l'homme dans notre univers, mais seulement en ce qui concerne le rang hiérarchique qu'il a le droit de s'attribuer. Son existence, son influence sur sa propre espèce et sur tout ce qui constitue le monde sont indéniables. On peut concevoir un Éden sans hommes, mais il n'aurait aucune ressemblance avec la biosphère à laquelle cette conférence doit consacrer ses travaux.

Les observations que je vais présenter reposent essentiellement sur la constatation que l'homme, tout en dépendant des ressources de notre globe, en constitue lui-même l'une des plus précieuses. L'histoire de l'homme autorise à le considérer, ainsi que la plupart des autres animaux et plantes, comme une « espèce menacée ». Les statistiques des maladies humaines prouvent assez clairement qu'il ne s'agit ni d'un danger nouveau ni d'une simple menace pour l'avenir. Le sort de l'homme, dans sa lutte pour la vie, pose autant de véritables problèmes écologiques que les cas plus connus du lion, du rhinocéros ou de la grue américaine. Le milieu peut vraiment être pour l'homme un allié ou un ennemi.

Inversement, l'homme, par ses actes, peut être soit allié, soit ennemi du milieu. On ne peut évoquer les ressources de la biosphère sans reconnaître qu'elles ont été profondément modifiées — pour le meilleur comme pour le pire — par les sociétés humaines, du fait des manipulations techniques toujours plus importantes auxquelles elles se livrent. Il est clair que les changements de la biosphère provoqués par l'homme doivent également avoir des répercussions sur sa santé. Ceux d'entre nous qui sont chargés d'étudier et

d'améliorer la santé humaine doivent donc s'intéresser aux études écologiques sur la biosphère et son exploitation rationnelle.

Je voudrais parler de l'homme en tant qu'il tire profit du milieu environnant, qu'il en abuse et qu'il le manipule. Quelles sont la nature et l'origine de ses maladies? Quelles sont les variations géographiques et leurs incidences? De quelle façon les éléments biologiques, chimiques et physiques de son milieu intérieur et extérieur agissent-ils sur lui? Il y a des siècles que ceux qui ont étudié les problèmes de la santé ont appris, en observant les hommes, les leçons que nous répètent aujourd'hui si diligemment et à si juste titre les conservateurs de la nature. La mise en valeur rationnelle des ressources humaines, par opposition à leur simple exploitation, offre de belles occasions d'appliquer les principes de la conservation « idéale ». C'est dans ce contexte que je voudrais traiter en particulier de la santé humaine et des problèmes auxquels l'Organisation mondiale de la santé a consacré tous ses efforts pendant les deux décennies de son existence. Comme dans toutes les entreprises humaines, la tâche ne peut être accomplie isolément, et il est nécessaire que l'OMS collabore avec les institutions nationales et internationales dont les objectifs et les responsabilités recouvrent en partie les siens.

Nous avons le droit d'être fiers des progrès réalisés dans le domaine de la santé humaine depuis dix ans, bien que les zones sombres alternent encore avec les zones claires dans le tableau d'ensemble.

La diminution de la mortalité générale et infantile ainsi que l'accroissement de l'espérance de vie à la naissance caractérisent une vaste partie du monde. La fréquence des maladies transmissibles, qui sont souvent évitables, a été réduite, mais ces maladies n'ont nullement été éliminées. Dans les pays dits « développés », la réduction du nombre des naissances a compensé celle de la mortalité, de sorte que la population s'y accroît en général à un rythme modéré. Mais dans la plupart des pays en voie de développement, cet équilibre n'a pas encore été atteint.

Les taux de fréquence des maladies continuent d'évoluer, mais ce n'est pas toujours dans un sens favorable. Les maladies transmissibles comme le paludisme, le pian et la poliomyélite sont en régression. Toutefois, même en ce domaine, il est essentiel de rester vigilants, comme l'a prouvé la terrible recrudescence du paludisme observée en 1967 et 1968 à Ceylan, pays où cette affection était devenue relativement rare depuis plus de dix ans. Cette offensive d'une maladie que l'on croyait avoir à peu près éliminée est la preuve spectaculaire que la nature est toujours prête à frapper au défaut de la cuirasse de protection humaine contre la maladie.

Il peut paraître décevant d'avoir à rappeler en 1968 que des maladies qu'on sait comment combattre depuis plus de cent ans défient encore le biologiste, le médecin et l'ingénieur.

La variole sévit encore dans de nombreuses parties du monde, et une nouvelle forme de choléra se propage à partir de ses anciens foyers d'Asie et frappe déjà aux portes de l'Europe.

Parmi les causes persistantes de morbidité et de mortalité figurent encore le paludisme, la schistosomiase, les entérites, la tuberculose, la lèpre, la rougeole et la méningite cérébro-spinale. D'autres maladies moins connues, comme les hépatites à virus et les fièvres hémorragiques, suscitent des inquiétudes croissantes.

Dans de nombreuses régions, l'état sanitaire est caractérisé par la malnu-

trition, le kwashiorkor, le marasme nutritionnel, et d'autres formes de déficience protéino-calorique, qui frappent des millions d'enfants.

Dans les pays en voie de développement, qui sont toujours pauvres, le taux de mortalité infantile, indicateur très sensible de l'état sanitaire général, varie entre 200 et 300 pour mille. Dans ces régions peu favorisées du monde, l'homme meurt souvent jeune d'une maladie transmissible, et son espérance de vie est inférieure à quarante-cinq ans. Il est facilement victime de la détérioration de son milieu intérieur et extérieur. En revanche, dans les pays développés, l'homme souffre moins des maladies transmissibles et son espérance de vie à la naissance est d'environ soixante-dix ans, le taux de mortalité infantile s'abaissant à 20 pour mille et même moins. A quelques exceptions près, il est bien nourri et vit longtemps, mais il doit payer rançon au vieillissement, en subissant notamment les atteintes du cancer et des maladies cardiovasculaires.

La santé de l'homme est affectée par les forces du milieu. Beaucoup des incapacités physiques et mentales qui le frappent sont dues pour une large part à ce qu'il ne réussit pas à comprendre et à gouverner ces forces souvent hostiles.

Il reste encore beaucoup de recherches à effectuer dans le domaine de l'écologie et dans celui de l'histoire naturelle des maladies. Par exemple, nous aurions besoin d'être beaucoup mieux renseignés sur le rôle de la maladie dans l'équilibre dynamique de la nature. Comment la carte des maladies varie-t-elle à la suite des changements apportés par l'homme à la biosphère, non seulement des changements spectaculaires comme la dénudation de zones forestières trop exploitées ou la transformation d'une vallée en lac artificiel, mais aussi de ceux que provoquent la construction d'une nouvelle route ou l'extension des zones suburbaines aux dépens des campagnes. Il faudrait naturellement aussi que nous connaissions beaucoup mieux l'écologie et les fluctuations de certaines maladies déterminées. Il faudrait enfin que nous sachions mesurer avec plus de précision les variables qui composent le milieu.

Toute amélioration véritable de la santé humaine dans le tiers monde est conditionnée par le développement économique de l'agriculture et de l'industrie, par la formation d'un personnel compétent et l'organisation d'activités sanitaires, ainsi que par les aménagements indispensables du milieu, tels que distribution d'eau potable et organisation de services de santé. Chacune de ces conditions du progrès de la prévention des maladies, de la réduction de la mortalité et de l'amélioration positive de la santé soulève des problèmes écologiques et nous contraint à choisir tel ou tel mode d'exploitation des ressources.

Par exemple, les connaissances récemment acquises en matière de santé publique ont fait ressortir la nécessité d'administrer nos ressources. Cette conception est évidemment due en partie à l'influence croissante de la pensée économique sur le développement. Pour la plupart des milliards d'habitants qui peuplent les régions insuffisamment développées, la misère, la faim et la mauvaise santé sont des maux inséparables. S'attaquer à l'un sans lutter simultanément contre tous les autres ne servirait de rien. Le progrès économique, social et technologique est la condition préalable de la réalisation totale des aspirations suprêmes de l'OMS qui, selon sa constitution, a pour but « d'amener tous les peuples au niveau de santé le plus élevé possible ». Les véritables réformes sanitaires ont toujours entraîné, en fait, d'importants

progrès socio-économiques auxquels les équipes de médecine préventive ont utilement contribué.

Vous me permettrez de rappeler brièvement certains des grands problèmes écologiques qui ont des répercussions sur la santé des hommes.

Les quelques situations que je mentionnerai sont toutes dues à l'action de l'homme. Certaines résultent d'actions délibérées mais mal avisées, d'autres sont la conséquence inattendue de mesures sociales, d'autres enfin la conséquence regrettable de mesures manifestement indispensables.

Depuis des millénaires, l'homme est un animal à la fois urbain et rural, mais ce n'est qu'au siècle actuel que s'est opérée la transformation majeure qui l'a fait passer d'un mode de vie traditionnellement rural à un mode de vie fortement urbanisé. C'est l'industrie qui fournit à un nombre toujours plus important d'êtres humains leurs moyens de subsistance. Dans le monde entier, et notamment dans les pays en voie de développement, un nombre régulièrement croissant d'habitants quittent la campagne pour la ville, et surtout pour les grands centres métropolitains.

Les conséquences physiques et sociales de ce phénomène ne nous sont que trop familières : dégradation générale caractérisée par le surpeuplement, les mauvaises conditions de logement, des services communautaires insuffisants, les embouteillages de la circulation, l'absence d'installations sanitaires même les plus élémentaires, la crasse et la maladie. Dans l'ensemble, elles justifient la conclusion fréquemment citée selon laquelle le problème des métropoles est peut-être le plus grave de ceux qui se posent à l'humanité dans cette seconde moitié du ^{xx}e siècle. Il n'en est pas moins vrai que dans de nombreux pays, les difficultés inhérentes aux complexes ruraux ont à peine été abordées.

Je n'ai pas l'intention de m'étendre ici sur les immenses ressources en argent, en personnel et en connaissances techniques qu'il faudrait engager pour modifier tant soit peu ces conditions. Toutefois, certaines des incidences de l'urbanisation sur la santé et la maladie méritent d'être notées. Beaucoup tiennent à l'insuffisance des mesures d'assainissement, notamment en ce qui concerne les quartiers peuplés de migrants pauvres récemment arrivés.

Citons par exemple la filariose, transmise par *Culex fatigans*, maladie évitable qui pourtant frappe un nombre croissant de citadins dans toute l'Asie du Sud-Est. En 1953, on estimait en Inde à 25 millions le nombre de personnes habitant des zones où se transmet la filariose. En 1960, ce nombre avait atteint 64 millions. De plus fortes densités de moustiques, résultant d'un assainissement insuffisant, et la progression de la filariose de Bancroft ont été signalées dans de nombreux pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique latine. Beaucoup des habitants du globe doivent encore aller chercher leur eau à une longue distance, ou utiliser des prises mal réparties le long des rues. Même lorsqu'il existe des canalisations dans ces quartiers, il arrive que l'eau soit distribuée en quantités insuffisantes, à de longs intervalles, et qu'elle ne soit pas directement potable. En conséquence, les entérites sont fréquentes et les hôpitaux encombrés par des malades qu'on aurait pu protéger. Dans les régions rurales, la transmission massive des maladies se circonscrit habituellement d'elle-même, au moins en ce qui concerne les affections d'origine hydrique. Mais dans les centres urbains à densité de population élevée, une mauvaise surveillance de la qualité de l'eau livrée à la communauté peut comporter de graves risques.

Dans les zones métropolitaines qui se développent rapidement, la distri-

bution à la population d'une eau convenablement contrôlée ne progresse qu'avec lenteur. Manque d'argent, de personnel qualifié et d'organisation, tels sont les obstacles auxquels continuent de se heurter les autorités.

Il importe de rappeler aussi les incidences sur la santé publique des insuffisances du ramassage et de la destruction des ordures des populations urbaines. Le problème ne se limite pas à celui des égouts. La consommation d'aliments et les activités industrielles produisent partout des déchets qui ne cessent de s'accumuler. On a pu dire que le critère le plus simple du niveau de civilisation atteint par une communauté était son système de ramassage et de destruction des ordures.

Les amoncellements d'ordures alimentaires sont un terrain de chasse idéal pour les rongeurs et les mouches. Dans les régions relativement riches, l'homme a pu limiter plus ou moins les ravages causés par les rongeurs, mais où règne la misère, le risque d'infestation est considérable. Son coût se mesure aux maladies que nous transmettent les rongeurs et leurs ecto-parasites. Il se manifeste plus clairement encore par les énormes pertes de produits alimentaires et d'autres biens dues aux déprédations commises par les rats.

Mais les problèmes écologiques des villes et des autres établissements humains ne se limitent pas à ceux des insectes et autres animaux vecteurs dont la prolifération est favorisée par le surpeuplement, la saleté et le manque de planification. Non moins importants sont les changements radicaux qu'entraînent l'urbanisation et l'industrialisation des sociétés tant sur la qualité de la vie humaine que sur le milieu naturel. Ces changements ouvrent de passionnantes perspectives nouvelles, mais souvent opposées, qui peuvent déboucher aussi bien sur des contraintes imprévues que sur la liberté, sur une misère apparemment irréductible que sur l'opulence. Il est commode de grouper les principales caractéristiques inhérentes à la société urbaine sous les trois rubriques suivantes : *dimensions, évolution et organisation*.

Les sociétés urbaines sont nécessairement de *vastes dimensions*. Elles supposent non seulement l'entassement de millions de personnes dans les zones métropolitaines, mais encore la pénétration des campagnes par les modes de vie urbains. Chaque jour, le citadin voit non seulement le visage familier de parents et de voisins, mais en outre des milliers de visages inconnus passant dans des rues encombrées. Son univers n'a plus pour centre les préoccupations de clocher de son village, ni pour rayon une journée de marche. Sa nourriture vient parfois de régions situées à des milliers de kilomètres, son travail peut influencer sur la vie d'habitants d'autres continents. En fait, les transformations qui modifient si profondément la biosphère — qu'il s'agisse de l'agriculture industrielle scientifique, des mines et d'autres formes d'exploitation des ressources naturelles, ou de l'emploi de l'énergie nucléaire — sont organisées par la société urbaine dont elles contribuent à satisfaire les besoins. Déjà nous avons changé le milieu à tel point que les zones écologiques naturelles se font de plus en plus rares, sans que nous sachions quels seront les effets de cette évolution sur la santé mentale et la diffusion des maladies. C'est pourquoi il est vital de mieux connaître la biosphère et d'apprendre à l'utiliser rationnellement.

Mais les effets de la civilisation urbaine moderne ne se limitent pas à l'accroissement de ses dimensions et de sa portée. Ils se manifestent aussi par l'ampleur des problèmes qu'elle peut poser, tels que le risque de pollution du monde entier par les retombées nucléaires, les effets massifs que peut avoir

la pollution de l'air des villes non seulement sur la santé humaine, mais aussi sur le climat de régions entières, ou la cadence accélérée à laquelle les exigences d'une civilisation urbaine accentuent la menace d'un épuisement des ressources naturelles.

La société urbaine moderne est également une société en *évolution* constante. Les villes sont en perpétuel mouvement. Les citadins sont gens mobiles. Le changement est à l'ordre du jour parmi les entreprises et organisations humaines; le dynamisme même de la science et de la technologie modernes suffit à entretenir cet état de choses : au cours des dernières décennies, il a accru dans des proportions extraordinaires la capacité de l'homme à modifier la biosphère, et il est probable que cet accroissement va se poursuivre.

La recherche scientifique et les innovations techniques ont souvent des conséquences qui n'ont été ni prévues ni projetées. C'est ainsi qu'une désagréable surprise a été la constatation que les pesticides, dont on attendait de grands avantages pour la santé et la prospérité de l'homme, ont créé des résistances chez les moustiques.

En outre, les effets d'une civilisation urbaine en évolution rapide doivent se mesurer à l'ébranlement produit parmi la population. Le cadre étroit, mais psychologiquement rassurant, du village traditionnel se désagrège rapidement sous les assauts du modernisme. Les migrants du monde entier qui passent du village à la ville sont sans doute les principales victimes de cette évolution; obligés de rompre avec leurs habitudes familières, n'étant plus protégés par un réseau de parents et de voisins, ils doivent apprendre à s'adapter au milieu impersonnel de la vie urbaine. Souvent mal préparés à trouver ou à conserver un emploi dans un milieu technique concurrentiel, mal équipés pour faire face aux difficultés de la vie urbaine, ils peuvent se voir contraints de vivre dans les conditions les plus pénibles qui se rencontrent en ville. Il n'est pas étonnant que l'adaptation des migrants à la vie urbaine comporte le risque d'une détérioration de leur santé physique et mentale.

Aider les individus à affronter des changements brutaux de ce genre est l'un des principaux objectifs de l'action visant à assurer à l'homme un bien-être physique, mental et social optimal. C'est aussi une condition nécessaire de l'utilisation rationnelle par l'homme des ressources de la biosphère.

Enfin, la société urbaine moderne est caractérisée par l'*organisation* qu'elle introduit partout. C'est le succès même des méthodes modernes d'organisation et de gestion — dans les entreprises gigantesques de nos villes, dans la transformation des fermes en « usines agricoles » et surtout dans le cadre organisationnel exhaustif de l'État moderne — qui a permis la réalisation de progrès techniques. Mais un des traits distinctifs de l'organisation moderne est qu'elle s'applique plus efficacement à des tâches précises qu'aux objectifs à long terme ou finals. Pour améliorer le milieu physique comme pour procurer à l'homme la santé, il faut apprendre à planifier l'emploi des moyens d'organisation disponibles, scientifiques aussi bien que techniques, et à le planifier de façon non seulement à assurer les plus grands avantages au plus grand nombre, mais encore à ménager à chaque individu un refuge où il trouvera la liberté, la sécurité et la possibilité de se développer. Rien n'illustre mieux l'enjeu du problème que la nécessité d'obliger nos grandes métropoles à tenir les promesses qui continuent de faire affluer les foules à leurs portes.

Pour corriger les effets d'une urbanisation « galopante », il faudra de l'argent, du personnel, des dirigeants compétents — et nous souffrons de graves

pénuries en ces domaines. Il est peu probable qu'on puisse réussir sans faire collaborer effectivement à l'élaboration d'un plan de base les planificateurs, les médecins, les ingénieurs, les économistes et les administrateurs. Les problèmes de la société urbaine sont plus faciles à décrire qu'à résoudre — nouvelle preuve qu'il est plus aisé de diagnostiquer que de guérir. Ce qui est certain, c'est que tous les efforts de ce genre exigeront une approche écologique.

On ne peut terminer un exposé sur le milieu humain et la santé des hommes sans parler de l'accusation lancée par certains, selon laquelle la simple réduction de la fréquence des maladies fait courir à la société le risque de bouleversements encore plus violents, en raison de la rapidité de l'expansion démographique et de la pénurie croissante de produits alimentaires qui doit en résulter. L'argument s'appuie d'ordinaire sur les prévisions qui évaluent à quelque six milliards d'individus la population du globe en l'an 2000, et laissent craindre un « manque de place au soleil ».

On pourrait s'engager dans la voie du fatalisme, comme autrefois Malthus, ou se réfugier dans le désespoir. Mais nous n'avons pas abdiqué devant le problème en choisissant cette solution débilitante, parce qu'elle ne nous dit pas ce que nous ferons des milliards d'êtres humains déjà au monde. La conjugaison des efforts entre la sociologie, l'économie et la santé publique, depuis si longtemps en souffrance, ne peut guère aboutir à des solutions dans l'immédiat. De nombreux pays voient aujourd'hui dans la planification de la santé une méthode permettant d'organiser la répartition et l'utilisation des ressources. Cela concerne particulièrement les services de santé, en raison des changements actuels de la dynamique démographique — y compris la modification du taux de croissance — de la composition par âge des populations et de la structure des migrations.

L'amélioration de la santé est liée au passage d'un état de choses attristant résultant de taux de mortalité et de natalité élevés à la combinaison plus profitable d'un taux de mortalité réduit et d'un taux de natalité réglé selon les désirs — que cela entraîne un relèvement ou un abaissement des niveaux précédemment atteints. La pratique médicale considère la planification familiale comme un important élément de la protection des mères et des enfants et de l'amélioration de la santé familiale, indépendamment du rôle qu'elle peut éventuellement être appelée à jouer dans la solution des problèmes démographiques.

De toute façon, les hommes, vivants ou encore à naître, devront être nourris et abrités. En dépit de toutes les rationalisations, économiques, sociales ou techniques, il ne sera jamais admis qu'on puisse laisser mourir des êtres humains. L'ambiance du monde dans lequel nous vivons ne permet pas d'envisager une telle solution. Ce sont les circonstances, et non pas des raisons affectives, qui exigent que notre choix soit clair et qu'il soit humain. Le problème consiste à mobiliser nos sciences et techniques si vantées de façon que le succès soit raisonnablement probable.

En outre, on ne peut aborder rationnellement le problème de la santé humaine et celui de la pleine utilisation des ressources de la biosphère sans les examiner l'un par rapport à l'autre. Le bien-être des êtres humains dépend de la conservation des ressources du monde, qui dépend elle-même de la réalisation d'un judicieux équilibre entre notre espèce, *l'Homo sapiens*, et les autres habitants et ressources de notre globe. Nous avons indiscutablement besoin de mieux connaître les relations entre les populations humaines et leurs

possibilités, d'une part, et le milieu naturel, d'autre part. L'élaboration d'un ensemble complet de connaissances écologiques est indispensable pour établir les plans d'un monde meilleur.

Le moment semble donc venu de s'attaquer aux problèmes des hommes et de leur biosphère par une action concertée. Dans toute la mesure de ses possibilités, l'Organisation mondiale de la santé est résolue à participer aux efforts tendant à résoudre ces problèmes.

BESOINS ALIMENTAIRES ET PRODUCTION

Allocution prononcée par M. A. H. Boerma,
directeur général de l'Organisation des
Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

Monsieur le président,

Je suis très honoré d'être ici aujourd'hui et d'avoir l'occasion de m'adresser à vous au nom de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. L'importance de cette conférence tient non seulement à l'ampleur du sujet qu'elle traite mais aussi à son opportunité. Elle vient en effet à la pointe extrême d'une vague montante d'inquiétude au sujet de l'état des ressources naturelles dont la vie de l'homme dépend, mais que l'homme lui-même a trop souvent négligées ou gaspillées.

L'agriculture, la sylviculture et les pêcheries — les trois secteurs dont s'occupe la FAO — représentent une force puissante qui peut procurer à l'homme plus de bien-être, mais aussi contribuer à la destruction de son milieu naturel. L'histoire de l'agriculture moderne est, en partie du moins, celle d'un effort sans relâche pour arriver précisément à cette utilisation rationnelle des ressources qui est l'ultime objectif de la présente conférence. La conservation des sols, de l'eau, des forêts fait partie intégrante de notre travail. Pour nous, l'idéal de l'utilisation rationnelle et de la conservation des ressources n'est donc pas nouveau. Ce qui est nouveau, c'est la méthode scientifique appliquée à l'étude de la totalité des ressources de la biosphère, quel que soit l'usage qui puisse en être fait. Nous nous félicitons, à la FAO, de cette évolution et nous savons gré au Directeur général de l'Unesco de nous avoir invités à participer à la préparation et à l'organisation de la conférence.

Ma tâche est aujourd'hui de chercher à discerner les perspectives à long terme concernant les besoins alimentaires du globe et les possibilités de production. J'espère pouvoir ainsi donner une sorte de cadre à vos débats. Sans m'attaquer au sujet précis qui sera examiné par la conférence, je voudrais vous donner quelques points de repère dont vous devrez, je crois, tenir compte lors de l'élaboration de vos recommandations.

S'agissant de perspectives, nous devons faire, comme sur tant d'autres points, une distinction fondamentale entre les pays développés et les pays en voie de développement.

Dans les régions les plus riches, qui disposent à la fois d'une technologie avancée et de capitaux abondants, la productivité de l'agriculture a atteint

un niveau tel que, pour de nombreux pays, le danger le plus grave dans les prochaines décennies sera sans conteste celui de la surproduction. L'actuelle crise du beurre au sein du Marché commun européen est un exemple frappant de la manière dont la création involontaire d'excédents peut entraîner de sérieuses difficultés d'ordre économique et social. La plupart des pays développés devront dans l'avenir chercher à rendre leur agriculture plus efficace, sans pour autant accroître inutilement leur production.

Les méthodes utilisées à cette fin différeront sans doute quelque peu d'une région à l'autre. Dans certaines parties de l'Europe occidentale, par exemple, un accroissement des dimensions de l'exploitation agricole moyenne, permettant la création d'unités de production plus efficaces, sera à mon avis un facteur important. Dans l'Europe de l'Est, par contre, on mettra très probablement l'accent sur l'amélioration progressive de la qualité de la gestion dans nombre des fermes d'État et des coopératives. Dans toutes les régions développées, l'accroissement de l'efficacité aura pour effet de libérer sans cesse de la main-d'œuvre pour les secteurs non agricoles de l'économie.

Pris en bloc, les pays développés disposent déjà de plus de terres cultivables qu'ils n'en ont réellement besoin. De 1955 à 1965, la surface cultivée dans l'ensemble des régions développées est restée à peu près la même. Aux États-Unis, une partie importante des terres cultivables a volontairement été retirée de la production. Les initiatives de ce genre pourraient fort bien se multiplier puisque la quantité des terres indispensables à l'agriculture continuera à diminuer du fait des progrès de l'efficacité. Certains indices donnent à penser que le nombre de terres cultivées sera peut-être considérablement réduit et qu'on pourra même produire des aliments sans utiliser la terre du tout.

L'agriculture dépend essentiellement de la photosynthèse, processus par lequel l'énergie solaire est transformée et emmagasinée dans les aliments. La terre joue un rôle capital non seulement à cause des substances nutritives qu'elle contient, mais aussi parce qu'elle absorbe la lumière solaire. Ces dernières années, on a toutefois commencé à utiliser d'autres sources d'énergie pour la fabrication des aliments. La mieux connue est sans conteste celle qui permet la production d'une protéine à cellule unique à l'aide de l'énergie contenue dans les hydrocarbures. La première usine de grandes dimensions utilisant cette méthode va être créée dans un proche avenir. La protéine ainsi fabriquée servira probablement au début à nourrir les animaux dont la chair sera ensuite consommée par l'homme. Mais, par la suite, elle pourra sans doute servir directement à l'alimentation de l'homme. Les aspects économiques de cette innovation ne sont pas tout à fait clairs; nous ne pouvons par conséquent prévoir quel rôle elle jouera dans l'avenir, mais ce rôle pourrait fort bien être considérable.

Si nous portons notre regard plus loin, jusqu'au terme de ce siècle, il nous faut tenir compte des recherches entreprises depuis quelques années par les grandes puissances atomiques pour essayer de maîtriser les forces de la fusion nucléaire. Si ces recherches aboutissaient, elles libéreraient des quantités pratiquement illimitées d'énergie à bas prix. Les répercussions sur l'agriculture seraient sans doute considérables; il deviendrait par exemple économiquement possible d'utiliser de l'eau dessalée pour l'irrigation sur une grande échelle. On ne saurait prévoir dès maintenant si, et dans quelle mesure, cela permettrait la production industrielle d'aliments sur une base économique.

Monsieur le président, je me suis peut-être aventuré trop loin dans le domaine dangereux de la spéculation, mais c'est pour bien préciser un point. La révolution technologique dans l'agriculture est loin d'être terminée. De nombreuses possibilités passionnantes sont à l'examen et l'on en découvrira sans aucun doute d'autres. Il est difficile de deviner ce que seront exactement les changements futurs, mais je crois qu'ils auront un trait commun : ils tendront tous à réduire la surface des terres indispensables à l'agriculture. Les pays développés devraient donc pouvoir libérer progressivement les terres cultivables « excédentaires » pour des usages non agricoles.

Cette évolution, en un sens, se poursuit depuis très longtemps. Nous savons tous que les constructeurs ont acheté un grand nombre de terres cultivables. Je crains que, dans les prochaines années, les agriculteurs ayant besoin de moins de terres, le problème de la conservation de l'une des plus précieuses de toutes nos ressources naturelles, la campagne, ne se pose d'une façon encore plus pressante. Dans les sociétés de plus en plus riches de l'avenir, il faudra certainement adopter une politique permanente pour que les populations de nos villes disposent de lieux de loisirs adéquats pour les fins de semaine et les vacances. L'importance d'un tel élément pour une société urbaine hautement mécanisée est soulignée par ce que nos statisticiens appellent poliment « la diminution de la dépense d'énergie par rapport à la quantité d'aliments absorbés ». Autrement dit, nous faisons de moins en moins d'exercice physique tout en continuant à manger autant qu'avant. On a démontré qu'au cours des vingt dernières années cette dépense d'énergie avait baissé de 10 à 15 calories par an, ce qui a eu pour effet un gain de poids avec l'âge, comme je l'ai appris à mes dépens. Si l'on ne réduit pas la quantité d'aliments absorbés, il faut donc déployer une plus grande activité physique pendant les périodes de loisir afin de compenser la diminution de la dépense d'énergie pendant les heures de travail. Il sera nécessaire à cette fin d'aménager sans cesse de nouveaux lieux de loisir pour les populations urbaines.

Je me suis placé exclusivement jusqu'ici du point de vue des pays avancés. Dans les régions en voie de développement, la situation est radicalement différente. C'est là en effet que se pose le problème alimentaire dont la FAO — au même titre que le public éclairé partout dans le monde — se préoccupe si vivement.

Examinons d'abord l'équation alimentaire du point de vue des besoins. Nous constatons que la consommation de denrées alimentaires augmente, et continuera sans doute d'augmenter, à une cadence sans précédent dans l'histoire. Il est difficile de faire des prévisions précises, étant donné le grand nombre d'éléments variables qui entrent en ligne de compte. Nous pouvons affirmer tout au plus, avec un degré de certitude raisonnable, sur la base des connaissances actuelles, que les besoins alimentaires des régions en voie de développement s'accroîtront de 3 à 4 % par an dans un avenir prévisible. Les deux tiers au moins de cet accroissement seront imputables à l'augmentation de la population et, par conséquent, du nombre des bouches à nourrir.

Je tiens à bien préciser que la FAO ne possède aucune statistique donnant à penser qu'il n'est pas possible de nourrir cette population en voie d'accroissement. Dans l'ensemble des pays en voie de développement, la production alimentaire a augmenté ces dernières années à peu près au même rythme que la population, sauf pendant les périodes très critiques de 1965 et 1966 où l'Inde, le Pakistan et certaines régions de l'Afrique ont connu de graves séche-

resses. La situation demeure précaire, mais rien ne laisse prévoir une baisse à long terme de la production alimentaire par habitant. Le pessimisme néo-malthusien ne me paraît donc absolument pas justifié. Nous connaissons sans doute encore des catastrophes causées par la sécheresse ou les inondations, les maladies et les parasites des cultures, mais cela est sans commune mesure avec la famine généralisée qui résulterait d'une population trop importante par rapport à la production alimentaire. Nos statistiques ne nous semblent pas recéler une telle menace.

La situation devient toutefois beaucoup plus incertaine lorsque, au lieu d'axer notre réflexion sur la croissance démographique, nous considérons l'accroissement de la consommation résultant de l'augmentation des revenus et de l'urbanisation. Il importe de faire face à cette demande supplémentaire parce qu'elle offre en fait la seule véritable solution au problème des carences nutritionnelles. Nul n'ignore, je crois, que des millions d'êtres humains, des enfants en particulier, dans les pays les moins favorisés, souffrent de carence alimentaire chronique et, surtout, du manque de protéines. Le meilleur moyen de remédier à cette situation est d'améliorer la condition de chacun grâce à un progrès économique général, tout en veillant à ce qu'il y ait suffisamment de nourriture à acheter avec l'argent supplémentaire ainsi disponible. C'est seulement si nous arrivons à satisfaire cette demande accrue résultant de l'augmentation des revenus que nous pouvons espérer connaître un jour un monde libéré de la faim et de la malnutrition.

Ces dernières années, les agriculteurs des pays en voie de développement *n'ont pas réussi* à satisfaire cette demande accrue. L'aide alimentaire a permis de faire partiellement la soudure. Il a fallu détourner les trop rares devises étrangères vers les importations alimentaires. Et, dans bien des cas, la hausse des prix des denrées alimentaires a créé des difficultés pour les sections les plus pauvres de la population. Si l'on ne parvient pas à redresser très sérieusement cette situation, le problème alimentaire mondial continuera d'être un grave sujet de préoccupation. Quelles chances avons-nous d'y parvenir? Les pays en voie de développement sont-ils en mesure d'accroître leur production alimentaire de 3 à 4 % par an pendant une période prolongée?

Je dois dire aussitôt qu'il est impossible pour l'instant de répondre sans ambages à cette question. Les problèmes qui se posent à cet égard sont examinés très en détail par la FAO dans son Plan indicatif mondial pour le développement agricole. Les possibilités de production et les besoins alimentaires sont d'abord analysés sur une base régionale. Nos études régionales sont très avancées et elles seront dès cette année soumises pour observations aux autorités compétentes; l'étude mondiale sera pour sa part publiée dans le courant de 1969. Ce plan ne se bornera pas à une simple analyse des problèmes; il proposera des objectifs réalistes pour 1975 et 1985 et définira les politiques que les gouvernements devraient envisager d'adopter pour les atteindre. Lorsque ce travail sera terminé, je serai en mesure de faire une déclaration plus circonstanciée et plus autorisée sur les perspectives à long terme. Je préfère me limiter aujourd'hui à des considérations d'ordre plus général.

Jusqu'à une date récente, les pays en voie de développement se sont contentés d'augmenter la surface cultivable pour accroître leur production agricole. Cette méthode est encore applicable dans de nombreuses régions d'Afrique et d'Amérique latine. Toutefois, dans la majeure partie de l'Asie — région où la population est la plus importante et le problème alimentaire

le plus aigu — il reste peu de terres à livrer à la charrue. Nos statistiques indiquent assez clairement cette évolution. Au cours d'une période couvrant la plus grande partie des années soixante, les pays en voie de développement, dans leur ensemble, ont augmenté de 21 % la surface consacrée aux douze cultures principales. De 1955 à 1965, cet accroissement a toutefois été de 11 % seulement. On s'attend à ce que cette diminution s'accroisse encore à mesure que la terre deviendra plus rare dans les pays les plus peuplés.

Nous pouvons donc affirmer sans hésitation que la solution du problème alimentaire *doit* être cherchée principalement dans l'accroissement du rendement unitaire annuel de la terre cultivée. Nous savons tous, je crois, que les pays avancés ont réussi à accroître sensiblement leur rendement agricole, au cours de ce siècle en particulier. On a estimé, par exemple, que la production de blé au Royaume-Uni a doublé de 1950 à 1960 et qu'elle a encore doublé depuis lors. Qu'en est-il dans les pays en voie de développement ? Quels progrès ont-ils réalisés ?

La réponse est qu'ils ont réussi, ces dernières années, à accroître leur productivité dans des proportions modestes mais néanmoins appréciables et que le taux de croissance de cette productivité semble augmenter progressivement. Ce processus n'en est toutefois encore qu'à ses débuts. Un ou deux chiffres donneront une idée de la situation.

Vers 1910, la production de blé dans le sous-continent indien était estimée à 8,1 quintaux à l'hectare. Par une coïncidence, ce chiffre était exactement le même en Grèce. Or, en Grèce, la production est depuis lors passée à 17,2 quintaux à l'hectare, c'est-à-dire qu'elle a plus que doublé. Cette évolution est caractéristique des pays producteurs de blé de la zone tempérée. En Inde et au Pakistan, au contraire, les chiffres sont restés pratiquement les mêmes qu'il y a une soixante d'années, même si leur progression actuelle s'effectue à partir de niveaux encore plus bas. Au cours de la même période de soixante années, la production de riz en Inde, au Pakistan et en Birmanie a en fait légèrement diminué, alors qu'elle augmentait d'environ 70 % au Japon, doublait et au-delà en URSS et triplait presque aux États-Unis.

Si l'on en croit les sciences physiques, il n'existe aucune raison pour que les rendements dans la majorité des pays en voie de développement n'augmentent pas au même rythme que dans les régions développées. On a souvent tendance à croire que les zones tempérées ont un avantage écrasant en raison de leur climat. A certains égards, cette idée est fausse, est même le contraire de la vérité. La saison froide dans la zone tempérée restreint considérablement la possibilité de faire plus d'une récolte par an. Dans les régions tropicales et subtropicales, au contraire, les écarts de température sont bien moindres et il est souvent possible de faire plusieurs récoltes lorsqu'on peut avoir de l'eau pendant la saison sèche. Je ne pense donc pas que le climat soit un facteur décisif. En ce qui concerne les sols, la nature a évidemment été plus généreuse envers certains pays que d'autres. Mais si nous comparons les pays développés et l'ensemble des pays en voie de développement, nous constatons qu'elle a été assez impartiale dans la répartition de ces richesses. L'homme, et l'homme seul, détient la clef de l'abondance agricole. La réponse au problème alimentaire mondial n'est pas à chercher dans notre bonne fortune, mais en nous-mêmes.

C'est pourquoi j'avoue être optimiste au sujet de l'avenir. Les pays en voie de développement ont le *potentiel* nécessaire et je suis persuadé qu'ils

en feront bon usage. Les capitaux, la technologie et le sens de l'organisation sont les trois éléments de base indispensables. Ces éléments sont de plus en plus présents dans les pays en voie de développement dont l'agriculture, selon moi, a maintenant atteint le point de « décollage ». Certains aspects de l'évolution actuelle confirment cette manière de voir.

De nouvelles variétés de blé et de riz à fort rendement, spécialement bien adaptées aux régions tropicales et subtropicales, ont récemment été mises au point au Mexique et aux Philippines. Elles ont été adoptées et adaptées très largement, avec succès, par de nombreux pays en voie de développement, en Asie notamment. Là où l'on dispose de quantités suffisantes d'eau, d'engrais et de pesticides, le rendement peut être augmenté de plusieurs fois. C'est la première fois que les régions en voie de développement bénéficient d'un soudain et décisif progrès technologique comparable à celui qu'ont connu les pays plus riches. Les chiffres de notre productivité ne tarderont pas à en refléter les résultats et, à condition que les mesures nécessaires soient prises, je suis certain que ce pourra être le point de départ d'une évolution continue. Pour que ces espoirs se réalisent, il faudra que les pays en voie de développement eux-mêmes, ainsi que les institutions internationales et les pays donateurs, déploient des efforts considérables. A la FAO, nous avons des idées assez précises au sujet de l'action à entreprendre au cours des prochaines années.

En premier lieu, il faut faire plus d'efforts pour tirer profit au maximum des variétés de céréales à haut rendement que je viens de mentionner. Pour accroître la surface sur laquelle elles peuvent être cultivées, il faudra effectuer des investissements massifs dans les travaux d'irrigation, ainsi que dans les engrais et dans la lutte contre les parasites des cultures. Il importe de cultiver intensivement d'autres variétés, afin de répondre à la grande diversité de conditions écologiques dans différentes régions, d'assurer la résistance des plantes aux maladies et de faire bénéficier d'autres types de récolte des progrès réalisés. Les services de transport et d'emménagement devront être accrus en fonction de l'augmentation de la production, et l'on prendra toute une série de mesures pour résoudre les problèmes institutionnels et économiques qui pourront se poser.

En second lieu, je crois qu'une action de grande ampleur sera nécessaire pour pallier la carence en protéines dans les pays en voie de développement. Cette carence affecte surtout les enfants dans les couches les plus pauvres de la population. D'après les renseignements dont on dispose, il semble que les riches consomment des rations de protéines suffisantes, et même plus que suffisantes, tandis que les pauvres, et en particulier leurs enfants, ont un régime alimentaire où les protéines font gravement défaut. Contrairement à ce qui se passe dans le cas des calories, nos calculs les plus récents n'ont pas prouvé statistiquement que la quantité de protéines disponibles soit très inférieure aux besoins minimaux sauf peut-être dans quelques pays d'Afrique où le régime alimentaire des populations se compose essentiellement de féculents. En effet, dans la plupart des pays en voie de développement, les protéines dont on dispose par habitant sont supérieures aux besoins théoriques. La pénurie de protéines s'explique par la répartition inégale du pouvoir d'achat des populations et au fait que ces protéines peuvent être consommées sans danger, par les plus fortunés, en quantités supérieures à leurs besoins. Dans l'avenir, la demande d'aliments riches en protéines augmentera, pense-t-on, beaucoup plus vite que la demande de céréales. Nous n'avons toutefois constaté aucun

signe d'un progrès technologique décisif qui permettrait aux pauvres de bénéficier de protéines en quantités suffisantes. On s'efforcera, bien entendu, d'augmenter la production de viande et de poisson. Mais si nous voulons vraiment améliorer le régime alimentaire des plus nécessiteux, nous devons aussi faire une plus large place aux protéines végétales en accroissant par exemple le contenu en protéines des produits alimentaires de base. Il convient également de chercher d'autres sources de protéines et, lorsque cela est économiquement possible, de les exploiter.

Nous devons, en troisième lieu, prévenir le gaspillage. Les pertes directes de denrées alimentaires entre la moisson et la consommation ne peuvent être estimées avec précision, mais elles s'élèvent probablement à des milliards de dollars par an dans l'ensemble des régions en voie de développement. Il est parfois plus facile de prendre des mesures pour empêcher le gaspillage que pour accroître la production. Cette initiative va dans le sens des objectifs de votre conférence, puisqu'elle s'étendra aux pertes indirectes résultant d'une mauvaise utilisation de la terre et des ressources en eau, ainsi qu'à l'utilisation rationnelle des ressources de la pêche et à la prévention des pertes des produits de la sylviculture.

Enfin, la question des mesures que nous entendons prendre pour aider les pays en voie de développement à se procurer ou à économiser des devises étrangères rentre peut-être moins bien dans le cadre de vos débats; mais la mobilisation des ressources humaines pour le développement mérite une mention spéciale. La notion de développement rural intégré n'est absolument pas nouvelle. La FAO et d'autres institutions, l'OIT en particulier, la préconisent et la mettent en pratique depuis plusieurs années. Toutefois, la pression des circonstances, l'accroissement démographique, l'exode des populations rurales vers les villes déjà surpeuplées, la nécessité de structures rurales de plus en plus complexes pour la modernisation de l'agriculture, ce sont là autant de facteurs qui obligent à mon avis à faire figurer le développement rural en tête de liste des priorités.

Toutes ces actions auront, par définition, plusieurs aspects et nécessiteront la plus étroite coopération entre la FAO et les autres institutions des Nations Unies. Je mentionnerai tout particulièrement, en raison de son importance, l'éducation et la formation rurales — domaine dans lequel nous travaillerons de concert tant avec l'Unesco qu'avec l'OIT — ainsi que la réforme agraire, la création de coopératives et de services plus efficaces de vulgarisation des techniques agricoles. Ces divers moyens sont bien connus et ils trouveront place dans ce qui sera, je l'espère, un effort dynamique pour améliorer la qualité de la vie rurale.

Je dois cependant avouer que je doute très fort que notre action puisse être vraiment couronnée de succès s'il n'y a pas transformation radicale des conceptions démographiques. Je suis persuadé que les pays en voie de développement *peuvent* atteindre un taux de croissance agricole supérieur à leur taux d'accroissement démographique, mais je ne m'attends pas à ce que cette croissance agricole s'accompagne d'un accroissement correspondant de l'emploi. En outre, on ne pourra probablement résoudre avec succès le problème alimentaire que si les capitaux d'investissement et les ressources humaines sont détournés d'autres secteurs, c'est-à-dire qu'on sera contraint de freiner quelque peu le progrès dans les secteurs non agricoles de l'économie. Le chômage et le sous-emploi dans les régions rurales et urbaines ont déjà

atteint un niveau alarmant, et cette situation ne semble pas près de s'améliorer. L'actuelle évolution démographique conduira inexorablement, je crois, à la formation de ce que le Dr Prebisch qualifie de « population marginale » — expression vraiment terrifiante. Il s'agit là à mon sens du problème le plus grave que le monde d'aujourd'hui ait à affronter.

Monsieur le président, j'ai essayé de vous exposer quelques-unes de mes réflexions sur les diverses perspectives ouvertes aux pays nantis et aux pays défavorisés. J'espère que, tout en prêtant attention aux uns et aux autres, votre conférence ne perdra pas de vue le fait que le véritable problème est posé par les pays en voie de développement. Vos débats porteront sur un sujet d'une importance capitale pour la FAO et j'attendrai avec le plus vif intérêt de connaître vos conclusions.

BESOINS QUALITATIFS ET QUANTITATIFS D'ESPACE POUR LA SOCIÉTÉ

Allocution prononcée par M. Guy Gresford,
directeur chargé de la science et de la technique
du Département des affaires économiques
et sociales de l'ONU

La conférence qui nous réunit aujourd'hui nous confronte à un ensemble de problèmes qui sont d'une importance et d'une urgence exceptionnelles pour l'humanité entière, indépendamment de nos idéologies politiques individuelles ou nationales, de nos croyances religieuses ou de notre niveau de développement économique et social. Grâce à l'ingéniosité, aux facultés intellectuelles et à l'habileté de l'*Homo sapiens*, la planète Terre ne forme plus qu'un seul monde aux dimensions réduites, et bien que l'homme puisse aujourd'hui s'aventurer dans l'espace, il doit s'accommoder de cette réalité que, pendant longtemps encore, il lui faudra passer toute son existence dans la biosphère de cette planète.

Dans le passé, les rapports de l'homme avec la biosphère ont reposé sur l'établissement et la conservation d'un équilibre harmonieux, et ce n'est qu'en reconnaissant cette exigence et en y conformant ses désirs et ses actes qu'il pourra assurer la permanence de son existence et atteindre un certain degré de bonheur. Aujourd'hui, l'équilibre entre l'homme et la nature est de plus en plus perturbé, à tel point que nous avons conscience d'être au bord d'une crise aiguë et complexe, à une échelle que l'humanité a rarement connue auparavant. Il est difficile, en raison de la multiplicité de ses aspects et de l'extrême diversité de ses manifestations, d'en définir avec précision la nature exacte. La modification des conditions et rapports régnant dans le monde a été si rapide qu'elle a fait apparaître de nombreuses disparités, et de graves préoccupations s'expriment couramment sur le déséquilibre qui menace de s'instaurer entre population et ressources, sur l'écart croissant entre les régions techniquement développées et celles qui le sont moins, sur le fossé qui s'élargit entre les différentes couches de la société, entre le milieu urbain et le milieu rural, entre les vieilles et les jeunes générations, entre ceux qui sont privilégiés et ceux qui sont défa-

vorisés en matière d'éducation, entre les aspirations morales élevées et la perpétuation de l'injustice et de la cruauté de l'homme envers l'homme. On s'inquiète de plus en plus de la détérioration du milieu et de l'utilisation inconsidérée de notre patrimoine commun, notre seule planète habitable.

L'homme est une créature de la nature, et cependant il ne se confond pas avec elle. Presque toutes les grandes philosophies s'accordent à reconnaître que la principale préoccupation de l'homme sur la terre est le problème de ses rapports avec les autres hommes. Il est donc pour lui impératif de se dévouer à la cause du bien-être de l'humanité. Il ne faut jamais cesser de croire que nos efforts ont un but humaniste; sinon, nous ne pourrions rester en possession des valeurs culturelles accumulées au cours des millénaires passés. Sur ce point, toutes les sociétés humaines d'aujourd'hui sont d'accord. C'est sur cette acceptation très large de l'humanisme que repose l'existence de la famille des Nations Unies.

Cependant, au cours des derniers siècles, l'humanité a subi l'emprise croissante d'une conception dualiste du monde qui a mis particulièrement l'accent sur la distinction entre l'homme et son milieu. Cette conception pose pour ainsi dire en principe que la tâche primordiale de l'homme consiste à gagner progressivement une maîtrise complète de toute la nature non humaine. Mais, récemment, l'homme a eu tendance à tellement dominer sur la terre qu'il n'est pas loin de constituer lui-même l'un des principaux aspects de son propre milieu et d'être obligé, pour maîtriser ce milieu, d'instaurer le joug de l'homme sur la nature humaine elle-même. L'issue à trouver à cette situation est un problème philosophique qui oblige à énoncer les objectifs humanistes en termes nouveaux susceptibles de recueillir notre accord. En attendant, et en l'absence d'une philosophie généralement acceptée, il faut nous préoccuper des problèmes pratiques urgents qui se posent et des moyens pratiques dont nous disposons pour les résoudre.

Le thème fondamental de la présente conférence est l'utilisation par l'homme de son espace vital sur la terre, c'est-à-dire l'établissement d'un équilibre dynamique entre l'homme et le milieu. Lorsqu'on parle d'espace humain, on est confronté à un phénomène qui met en jeu un certain nombre d'éléments reliés entre eux qu'il n'est pas toujours facile de définir. Physiquement, nous nous déplaçons et vivons dans un espace qui comprend un sol, de l'eau et de l'air en quantités plus ou moins abondantes, une vie animale et végétale et des ressources minérales. A l'intérieur de cette couche, nous créons un autre espace, fait d'habitat humain et de mouvement, qui implique l'existence de groupements sociaux, d'entités politiques et d'organisations destinées à assurer l'alimentation, la santé et l'éducation, à offrir des activités utiles et à garantir les droits et la dignité de l'homme. Dans le domaine de l'esprit, ces espaces extérieurs donnent naissance à des espaces intérieurs qui embrassent le monde des idées, des symboles, des arts, de la communication, des traditions et des croyances. Tout désordre dans l'un de ces espaces peut engendrer le désordre dans un autre et faire ainsi de la gestion harmonieuse de l'espace humain global une tâche très compliquée. A cause de cette interdépendance, notre combinaison d'espaces forme, d'une certaine manière, un tout indivisible, mais si vaste qu'il n'est pas facile d'y assurer l'ordre partout et à tout moment sans se préoccuper simultanément et en détail des conditions qui règnent dans chacun de ses éléments constitutifs.

L'homme vit dans un monde de souverainetés nationales, et celles-ci se

donnent souvent beaucoup de peine pour préserver des portions de la biosphère de toute intervention extérieure injustifiée. Comme chaque homme ne peut avoir pour patrie intime que telle ou telle parcelle de la terre, ce comportement a toujours paru normal; mais il est évident que les États doivent aujourd'hui accepter des limitations dans l'exercice de leur souveraineté s'ils veulent empêcher les interventions injustifiées qui se produisent ailleurs que chez eux; l'accélération du rythme de la croissance démographique donne à cette exigence une acuité supplémentaire.

Il n'est guère possible d'aborder le thème général de cette conférence, et notamment « les aspects qualitatifs et quantitatifs de l'espace humain », sans parler du problème de l'équilibre démographique.

Il est difficile de traiter cette question sans passion en raison des aspects émotifs qui marquent, et c'est bien normal, le concept de procréation, qui a un caractère éminemment personnel. Ces aspects émotifs ont conduit parfois à isoler le problème de son contexte historique et sociologique. En l'état actuel de nos connaissances, il nous est impossible de dire si sont fondées ou non les appréhensions, largement répandues, de ceux qui craignent qu'on n'arrive pas à ralentir à temps l'avalanche menaçante des êtres humains pour éviter la catastrophe. Cependant, ces derniers temps, on a eu tendance, sans minimiser la gravité du problème, à l'examiner en des termes moins simplistes et moins radicaux que ceux du classique dilemme malthusien fondé sur l'équation « ressources alimentaires - population ». Un grand nombre de gouvernements que ce problème concerne particulièrement ont plutôt tendance à s'inquiéter sérieusement de la diminution de leurs ressources nationales totales, imputable à une expansion démographique persistante. En outre, l'idée se répand de plus en plus que, même si l'on réussit à donner aux êtres humains les moyens techniques et économiques nécessaires à leur existence matérielle, l'augmentation démesurée de leur nombre fera perdre à la vie de l'homme une bonne part de sa signification humaine. Il est bien possible que dans certaines régions du monde on en soit déjà là, et c'est pourquoi les gouvernements et les organisations internationales s'emploient maintenant à mettre au point et à appliquer des politiques destinées à favoriser une réduction de la fréquence des naissances chez ceux qui le souhaitent. De toute façon, on ne peut pas aujourd'hui feindre d'ignorer le nombre croissant de grossesses manifestement non souhaitées ni les très graves problèmes humains, sociaux et sanitaires qui en découlent.

Il ne s'agit pas, bien entendu, de revenir sur les progrès médicaux et sanitaires auxquels est largement imputable l'augmentation des chances de survie des individus; il faut au contraire aller encore plus loin. Mais poursuivre ces progrès donnera naissance à une situation plus dangereuse, si, parallèlement, les hommes n'accomplissent pas des progrès dans la voie d'une régulation consciente de leur nombre. On n'a pas le droit de sous-estimer les difficultés d'une telle entreprise, qui implique d'établir des relations éminemment personnelles visant à susciter une réponse raisonnée au niveau le plus humble. On risque toujours de causer de graves blessures psychologiques; on doit donc, dans cette affaire, veiller particulièrement aux problèmes de psychologie sociale qui se posent. Il faudra peut-être découvrir des moyens et des méthodes très divers suivant le cadre culturel de leur application. Comme ces aspects de la question revêtent une très haute importance pour les États intéressés, ils devront faire l'objet de recherches menées avec la plus grande patience

possible. A un moment critique, il peut être plus important encore de trouver la bonne méthode que de vouloir obtenir un succès quantitatif immédiat. En attendant, il peut être encourageant de savoir comment ont déjà été surmontées bien des difficultés dans un certain nombre de pays économiquement développés, sous l'influence combinée d'une meilleure instruction, de l'urbanisation, de la diversification des activités économiques (notamment pour les femmes), de la mobilité sociale et de la régression de la mortalité infantile. Paradoxalement, la croissance démographique accélérée que connaissent actuellement nombre de régions est un obstacle sérieux à de telles réalisations, sans lesquelles il n'est pas d'exemple d'une diminution sensible du taux de natalité.

Il est incontestable que l'espace humain se transforme considérablement sous la double action de la croissance démographique et de l'extension de l'urbanisation. Devant une transformation aussi rapide, on ne s'étonne guère que les institutions et les modes d'organisation soient aujourd'hui en retard sur des besoins, qui se sont profondément modifiés. Quelques évaluations et prévisions approximatives, aussi superficielles soient-elles par rapport au problème, peuvent illustrer cette situation. Les chiffres cités portent sur les années 1920 et 2000, soit un intervalle de quatre-vingts ans, à peu près la durée de la vie d'un homme.

On peut évaluer l'ensemble de la population urbaine mondiale à 360 millions d'individus pour l'année 1920 et prévoir qu'elle dépassera 3 milliards d'individus en l'an 2000, soit huit fois plus. La population rurale mondiale atteignait un milliard et demi d'individus en 1920 et dépassera peut-être aussi les 3 milliards à la fin du siècle, ce qui veut dire qu'elle doublerait pendant cette période.

Mais, comme nous le savons, l'expansion démographique présente de grandes différences suivant qu'il s'agit des régions développées ou des régions moins développées.

Pour les régions développées, on peut évaluer la population urbaine totale à 260 millions d'individus pour l'année 1920 et elle passera peut-être à 1 160 millions en l'an 2000, c'est-à-dire qu'elle aura quadruplé en quatre-vingts ans. La population rurale des régions développées s'élevait sans doute à 415 millions d'individus en 1920 et serait ramenée à 280 millions à la fin du siècle, soit une diminution du tiers. Ainsi, dans les régions développées, deux cinquièmes environ de la population vivaient dans les villes en 1920 et, à la fin du siècle, cette proportion pourra atteindre quatre cinquièmes.

Pour les régions moins développées, la population urbaine totale peut être évaluée à 100 millions d'individus pour l'année 1920 et elle augmenterait de près de vingt fois pour atteindre 1 930 millions en l'an 2000. Toujours dans les régions moins développées, la population rurale devait s'élever à 1 085 millions d'individus en 1920 et elle passerait à 2 740 millions en l'an 2000, ce qui représente un accroissement prodigieux malgré la progression exceptionnellement rapide d'une population urbaine peu nombreuse au départ. En 1920, moins d'un dixième de la population des régions moins développées vivait dans les villes. D'après les chiffres approximatifs qui précèdent, cette proportion serait de deux cinquièmes à la fin du siècle. Le taux moyen d'urbanisation de ces régions serait alors aussi élevé que celui que connaissaient les régions développées quatre-vingts ans auparavant. Mais en raison de l'accroissement considérable du nombre et de la densité des habitants, les conditions de vie

futures dans les régions moins développées ne pourront guère se comparer à celles qui régnaient antérieurement dans les régions développées.

La population des grandes villes représente une part croissante de la population urbaine totale, tant dans les régions développées, que dans les régions moins développées. Depuis quelque temps déjà, les grandes villes des régions développées ont atteint le stade des « conurbations », des « métropoles », et finalement d'entières « régions urbanisées ». Plus récemment, certaines grandes villes des régions moins développées, même celles qui connaissent des déficits alimentaires chroniques, ont commencé à manifester les mêmes tendances.

Avec ce phénomène de conglomération des villes à l'échelle d'une région, c'est toute la notion de régions urbaines et rurales qui subit une profonde transformation. Les villes n'apparaissent plus comme des points, des enclaves, isolés au milieu du désert rural. Des régions entières se modifient lorsque l'urbanisation y devient prédominante. Les conceptions et les modes de vie s'y transforment.

La situation démographique, économique, sociale et culturelle présente des différences considérables selon qu'il s'agit des régions développées ou des régions moins développées, et elles sont aussi grandes entre les secteurs urbains des unes et des autres qu'entre leurs secteurs ruraux. On est amené à douter que l'urbanisation des régions moins développées puisse apporter une prospérité et un bien-être comparables à ceux auxquels elle a conduit dans le passé, dans ce qui constitue maintenant les régions développées. Les frais généraux économiques et sociaux de l'urbanisation sont trop élevés, compte tenu de la faiblesse des ressources.

Dans le même temps, le milieu urbain et le milieu rural présentent des différences de plus en plus grandes qui éloignent de plus en plus le second du premier. La stagnation relative des petites villes les fait apparaître comme les chaînons les plus faibles d'une structure toujours plus disproportionnée du peuplement. Les adaptations sociales que doivent accomplir les ruraux qui émigrent vers les villes dépassent de plus en plus leurs capacités psychologiques de sorte qu'une vie ne leur donne pas le temps de se réaliser pleinement. Aujourd'hui, il faut trouver de toute urgence des formes d'organisation qui permettent d'intégrer et d'absorber réellement les habitants des bidonvilles des pays pauvres.

On ne peut pas dire non plus que les problèmes d'urbanisation ont été résolus de manière satisfaisante dans les pays développés. En faisant prévaloir des critères étroitement techniques et économiques, on a trop souvent abouti à la constitution d'un milieu peu satisfaisant du point de vue de l'être humain, qui est par essence un animal à deux pieds, sociable et qui cherche le pourquoi des choses. Le désenchantement et l'aliénation sont courants dans les quartiers pauvres des villes, même les plus prospères, car le sentiment de participer à une entreprise sociale commune se perd. Le citoyen n'a plus de lien avec un voisinage le plus souvent inorganisé et les attaches qui font les motivations sont rompues. Le sentiment qui relie l'homme à un lieu, son sens de l'appartenance ont été trop souvent blessés par l'abstraite monotonie d'une architecture déprimante qui peut lui offrir un abri sans lui créer un foyer. Même les citoyens aisés ne trouvent pas le soulagement souhaité dans les banlieues résidentielles qu'ils habitent. Là aussi, la vie tend à se fragmenter en fonctions séparées et non coordonnées. Comme s'ils étaient pris dans un piège, les citoyens voient leurs objectifs esthétiques accessibles se désagréger, et les fins d'une société

de compétition, avec tous les efforts qu'elle implique, sont de moins en moins bien comprises.

La présente conférence aura à se pencher sur bien d'autres aspects de la détérioration qualitative de l'espace humain. Face à la rapacité de l'homme, la conservation des ressources naturelles est depuis longtemps une bataille perdue. Les sols s'érodent et l'on épuise leur fertilité au-delà de toute possibilité de régénération. Les ressources hydrauliques se raréfient. De nombreuses formes de vie sauvage disparaissent. Le paysage national subit sans cesse les impitoyables agressions des routes et des déchets industriels. Ces derniers temps, on s'est davantage inquiété de la pollution générale de l'air et de l'eau liée aux vastes implantations urbaines et industrielles et au règne du moteur à combustion interne. La congestion de la circulation et le bruit excessif sont d'autres formes de pollution qui font naître des déserts dans l'espace où l'homme pense et se meut. En nous attaquant à ces problèmes, nous avons la tâche immense de sauvegarder le patrimoine de l'espace dans lequel nous vivons pour que les générations futures puissent y vivre et s'y plaire, mais aussi pour nous-mêmes.

Mais après ce que nous avons dit de la dépersonnalisation et de la déshumanisation croissantes de l'espace dans lequel l'homme doit installer son foyer, il est indispensable de faire admettre que la conservation ne suffit pas. Il ne suffit pas de prévenir de nouveaux abus, de ralentir le rythme des agressions injustifiées dont la biosphère est encore l'objet fréquent. Il faut faire en sorte d'allier la notion de conservation à celle de l'utilisation rationnelle des ressources de la biosphère. Il faut d'abord recréer, reconstruire, avant d'avoir atteint le point de non-retour.

Nous sommes tous pleinement conscients de l'influence que le milieu exerce sur l'homme. Dans un milieu esthétique où ils peuvent cultiver leurs goûts, les hommes se sentent en meilleur accord avec le monde que lorsque leurs yeux et leurs oreilles subissent des agressions continuelles. Les hommes qui sont disposés à œuvrer pour se débarrasser des déchets, pour remodeler leur espace et le rendre plus conforme à des besoins réellement humains peuvent surmonter leurs difficultés plus facilement que ceux qui sont privés de toute participation personnelle à l'élaboration d'un milieu convenable. Cette œuvre doit être entreprise partout, dans les pays riches comme dans les pays pauvres, dans les villages comme dans les villes, à l'échelon des organisations internationales et régionales aussi bien que nationales.

Fort heureusement, l'homme possède aujourd'hui des moyens scientifiques et techniques dont il peut se servir pour cette œuvre de reconstruction. L'une des tâches de cette conférence consistera justement à faire l'inventaire des outils que la science et la technologie mettent à notre disposition et à esquisser les principaux types de mesures qui permettront d'employer ces outils pour une utilisation plus rationnelle et la conservation des ressources de la biosphère à l'échelon national et à l'échelon international. Il faut se prémunir contre les effets secondaires néfastes qui ont fréquemment suivi, dans le passé, l'application sans discernement de la science et de la technologie. L'utilisation des connaissances scientifiques pour la restructuration de l'espace doit contribuer à améliorer la qualité de la vie humaine. Une bonne part de la planification antérieure s'est faite par rapport à des modèles tronqués de l'homme. D'aucuns ont considéré l'homme comme une créature essentiellement politique et ont espéré qu'on pourrait assurer son bien-être en mettant au point des

formes satisfaisantes de gouvernement. D'autres ont cru que la seule croissance économique pourrait faire le bonheur de l'homme. Des spécialistes de nombreuses disciplines ont été naturellement portés à faire une place excessive à la santé, à l'éducation, aux loisirs ou à quelque autre élément de satisfaction considéré comme la préoccupation primordiale de l'homme. Mais le concept de biosphère, de milieu humain, c'est-à-dire l'aspect qualitatif et quantitatif de l'espace, ne peut être considéré que comme un tout et nous avons vu avec quelle acuité croissante se posaient les problèmes nés de la perturbation des équilibres délicats de ces différents aspects.

Les objectifs et l'œuvre des membres de la famille des Nations Unies recouvrent tous les aspects du milieu biosphérique, et la présente conférence sera un important catalyseur international de la prise de conscience des problèmes et de la volonté de dresser des plans pour les résoudre. Les membres de la famille des Nations Unies, qu'il s'agisse des gouvernements, des organisations non gouvernementales, de la communauté scientifique des pays développés et en voie de développement, des planificateurs ou des administrateurs, doivent tous participer à l'entreprise.

Nombre de ces institutions s'y emploient déjà activement. Aux Nations Unies, le Comité consultatif sur l'application de la science et de la technique au développement veille essentiellement à assurer l'application de la science et de la technologie dans l'intérêt du développement économique grâce auquel s'enrichira la qualité de la vie humaine dans les pays en voie de développement, sans que cela entraîne les effets secondaires indésirables qui se sont produits dans le passé. La deuxième décennie du développement doit s'inspirer des mêmes fins. L'œuvre des membres de la famille des Nations Unies, dans leurs domaines respectifs, a elle aussi les mêmes objectifs.

Comme la lecture de certains des documents présentés à cette conférence le démontre amplement, on ne peut attaquer un par un les problèmes qui se posent à l'humanité dans ce domaine. La biosphère et la place qui y revient à l'homme doivent être considérées d'une manière globale. L'initiative qu'a prise l'Unesco en organisant cette conférence est un premier pas dans cette direction et un pas d'une grande portée. Le gouvernement suédois a également fait une proposition importante à la dernière session du Conseil économique et social. Il a appelé l'attention sur les problèmes qui se posent à nous à cette conférence et sur le fait qu'il faut de toute urgence tirer parti des découvertes de la science et de la technologie pour améliorer la qualité de la vie humaine. La proposition suédoise prévoit la convocation éventuelle d'une grande conférence internationale destinée à promouvoir l'intensification des efforts actuels dans ce domaine et à leur donner une optique et une direction communes. Cette proposition a fait l'objet d'une résolution du Conseil économique et social qui recommande à l'Assemblée générale de rechercher, en prenant en considération les résultats qu'obtiendra la présente conférence sur la biosphère, les moyens propres à créer un cadre qui permette de procéder, au sein des Nations Unies, à un examen complet des problèmes du milieu humain, afin d'attirer l'attention des gouvernements et de l'opinion publique sur l'importance de cette question, et d'en identifier les aspects pour lesquels la seule ou la meilleure solution consiste à faire appel à la coopération et à l'entente internationales. La présente conférence doit être considérée comme un premier pas vers la création de ce cadre qui permettra à l'humanité de conserver et d'utiliser rationnellement, sur le plan quantitatif et qualitatif, l'espace dont elle dispose.

Liste des participants

ÉTATS MEMBRES DE L'UNESCO

Algérie

Dr. S. DJEBAILI, conseiller technique au cabinet du ministre de l'agriculture, Alger.

République fédérale d'Allemagne

Ministerialdirigent Kurt Petrich (chef de la délégation), Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 53 Bonn-Duisdorf, Bonner Strasse 85.

Prof. Dr. Dr. med. F. BÄR, Bundesgesundheitsamt Max von Pettenkofer-Institut, 1 Berlin 33, Unter den Eichen 82/84.

Prof. Dr. E. VON BOGUSLAWSKI, Direktor des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Justus, Liebig-Universität, 63 Giessen, Ludwigstrasse 23.

Prof. Dr. K. BUCHWALD, Direktor des Instituts für Landschaftspflege und Naturschutz der technischen Hochschule 3 Hannover, Herrenhäuser Strasse 2.

Prof. Dr. H. ELLENBERG, Systematisch Geobotanisches Institut der Universität Göttingen, 34 Göttingen, Untere Karlspüle 2.

Dr. T. KAPUNE, Deutsche Unesco-Kommission, 5 Köln, Komödienstrasse 40.

Prof. Dr. F. KORTE, 53 Bonn, Meckenheimer Allee 168.

Prof. Dr. HANS LIEBMANN, Direktor des Zoologisch-Parasitologischen, Institut der Universität München und Vorstand der Bayer Biologischen Versuchsanstalt, München, 8 München 22, Kaulbachstrasse 37.

Dr. H. OFFNER, Oberlandforstmeister im Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 53 Bonn-Duisdorf, Bonner Strasse 85.

Prof. Dr. G. OLSCHOWY, Direktor der Bundesanstalt für Vegetationskunde, Naturschutz und Landschaftspflege, 532 Bad Godesberg, Heerstrasse 110.

Dr. G. RÖNICKE, Leiter der Aeromesstelle Freiburg der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 7801 Schallstadt/Freiburg, Hinterrn Ziel.

Prof. Dr. H. SIOLI, Direktor am Max Planck-Institut für Limnologie, Abt. Tropenökologie, 232 Plön/Holstein, Postfach 165.

Dr. MACDA STAUDINGER, Mitglied der Exekutiv Rat der Unesco - National Kommission der Bundesrepublik Deutschland, D - 78 Freiburg/Breisgau, Lugostrasse 14.

Arabie saoudite

M. H. ALKHOWAITER, délégué permanent auprès de l'Unesco, Unesco, place de Fontenoy, Paris-7^e.

Argentine.

Dr. V. FOGLIA (chef de la délégation), Professor de fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires, callao 1695, Buenos Aires.

Ing. O. BOELCKE, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad de Buenos Aires, av. San Martin 4453, Buenos Aires.

Dr. R. A. RINGUELET, Facultad de Ciencias Naturales, Museo de La Plata, La Plata.

Liste des participants

Australie

- Mr. C.S. CHRISTIAN (chef de la délégation),
Member of the Executive Committee,
CSIRO, P.O. Box 109, Canberra City,
A.C.T. 2603.
- Dr. S. BOYDEN, Head, Urban Biology
Group, Australian National University,
Canberra, A.C.T.
- Prof. C. KERR, School of Public Health
and Tropical Medicine, University of
Sydney, N.S.W.
- Prof. J.D. OVINGTON, Head, Department
of Forestry, Australian National Univer-
sity, Canberra, A.C.T.
- Prof. D.E. TRIBE (adviser), Department of
Animal Husbandry, University of Mel-
bourne, Parkville, Victoria.

Autriche

- Prof. I. FINDENEKG, membre de l'Aca-
démie des sciences, 9020 Klagenfurt,
Rosenthalerstrasse 62.
- Professeur Dr G. WENDELBERGER, direc-
teur de l'Institut culturel autrichien
pour la protection de la nature, 30,
boulevard des Invalides, Paris-7^e.

Belgique

- Professeur Dr P. DUVIGNEAUD (chef de
la délégation), Université de Bruxelles,
28, avenue Paul-Heger, Bruxelles.
- Professeur C. BONNIER, président du sous-
comité belge du PBI, 6, avenue des
Vieux-Murs, Namur.
- Professeur L. EECKHOUT, Faculté des
sciences agronomiques, Université de
Gand, 46, avenue du Président-Roose-
velt, Gand.
- Professeur F.M.J.C. EVENS, vice-président
du comité national belge du PBI,
25 K. van de Woestijvelei, Borgerhout.
- Professeur A. FOUASSIN, Université de
l'État, 10, avenue Émile-Dignesse, Liège.
- Professeur G. GILBERT, Faculté des sciences
agronomiques, Kardinaal Mercier Laan,
Heverlee.
- Professeur J.P. HARROY, Université libre
de Bruxelles, 44 avenue Jeanne, Bureau
911, Bruxelles 5.

RSS de Biélorussie

- Dr L. SMOLIAK (chef de la délégation),
sous-directeur, Institut expérimental de
botanique, Minsk.

Dr A. GREEN, Institut de géographie,
Académie des sciences, F-17 Haromonetni
perculok, Moscou 29 (URSS).

Professeur SVETLANA LETOUNOVA, labo-
ratoire de géochimie, Académie des
sciences, 47-A Voroberskae chaussée,
Moscou B-333 (URSS).

Professeur S. ZONN, Institut de géographie,
Académie des sciences, F-17 Haromon-
etni perculok, Moscou 29 (URSS).

Brésil

S. Exc. M. l'ambassadeur CARLOS CHAGAS
(chef de la délégation), délégué permanent
du Brésil auprès de l'Unesco, Unesco,
place de Fontenoy, Paris-7^e.

Dr E.F. SUSZCZYNSKI, assistant général,
Ministère des mines et de l'énergie,
DG-DNPM, avenue Pasteur 404, Rio
de Janeiro.

Burundi

M. T. MUVIRA, directeur des eaux et
forêts, B.P. 631, Bujumbura.

Cambodge

S.A. ESSARO SISOWATH (chef de la délé-
gation), ambassadeur et délégué per-
manent du Cambodge auprès de l'Unesco,
Maison du Cambodge, 27bis, boule-
vard Jourdan, Paris-14^e.

M. K. IENG, délégué permanent du Cam-
bodge auprès de l'Unesco, Maison du
Cambodge, 27bis, bd Jourdan, Paris-14^e.

M. S. Ir, ingénieur des eaux et forêts,
Maison du Cambodge, 27bis, boulevard
Jourdan, Paris-14^e.

Canada

Dr. W.E. VAN STEENBURGH (chef de la dé-
légation), 838 Riddell Avenue, Ottawa,
Ont.

Dr. J.A. ANDERSON, Department of Plant
Science, University of Manitoba, Win-
nipeg.

Dr. P.A. BELANGER, Medical Officer,
National Health and Welfare, 24, ave-
nue Charles-Floquet, Paris-7^e.

Mr. R.G. BLACKBURN, Third Secretary,
délégation permanente du Canada
auprès de l'Unesco, 1, rue Chanez,
Paris-16^e.

Dr. W.H. COOK, Executive Director,
National Research Council of Canada,
Ottawa.

Mr. P.B. DEAN, Canadian Wildlife Service,
Box 878, Sackville, New Brunswick.

Dr. P.R. GORHAM, Division of Biosciences,
National Research Council, Ottawa,
Ont.

Dr. A.H. MACPHERSON, Science Adviser,
Science Secretariat, 258 Powell Avenue,
Ottawa 1, Ont.

Dr R. MARTINEAU, conseiller scientifique,
Ambassade du Canada, 35, avenue
Montaigne, Paris-8^e.

Dr E. MERCIER, conseiller spécial en
matières agricoles. 910, avenue des
Braves, Québec 6.

Prof. D.M. ROSS, Dean of the Faculty of
Science, University of Alberta, Edmon-
ton, Alberta.

Ceylan

S. Exc. l'ambassadeur FREDRICK DE
SILVA (chef de la délégation), délégué
permanent de Ceylan auprès de l'Unesco,
Ambassade de Ceylan, 41, avenue
François-I^{er}, Paris-8^e.

M. N. BALASUBRAMANIAM, délégué per-
manent adjoint de Ceylan auprès de
l'Unesco, Ambassade de Ceylan, 41,
avenue François-I^{er}, Paris-8^e.

Chili

Sr. M. CIFUENTES, Jefe de gabinete,
Ministerio de Agricultura, Ambassade
du Chili, 2, avenue de la Motte-Picquet,
Paris-7^e.

Chine

Dr L. L.-Y. CHANG, délégation permanente
de la Chine auprès de l'Unesco, Unesco,
place de Fontenoy, Paris-7^e.

République démocratique du Congo

M. M. MWENENGE, conseiller principal à
la présidence, 84, avenue Godding,
B.P. 3616, Kinshasa II.

Professeur Dr A. BOUILLON, délégué
général à l'Office national de la recherche
et du développement, Université Lova-
nium, B.P. 220, Kinshasa XI.

Professeur F. MUAMBI, Université Lova-
nium, B.P. 773, Kinshasa XI.

Côte-d'Ivoire

Professeur R. PAULIAN (chef de la délégation), recteur de l'Université d'Abidjan, Abidjan.

M. C. KAUL-MELEDJE, délégué permanent
adjoint, Ambassade de Côte-d'Ivoire,
102, avenue Raymond-Poincaré, Paris-
16^e.

Danemark

Prof. M. KÖIE (chef de la délégation),
Member of Danish National Commis-
sion, Natural History, Keilstruplund 23,
Birkerød.

Prof. H. M. THAMDRUP, Chairman, Danish
IBP National Committee, Naturhisto-
risk Museum, Aarhus.

République dominicaine

S. Exc. M. l'ambassadeur S.-E. PARADAS,
conseiller à la délégation permanente
de la République dominicaine auprès
de l'Office européen des Nations Unies,
Ambassade de la République domi-
nicaine, 41, rue d'Alsace, Paris-10^e.

Équateur

M. G. PONCE-BENAVIDES, délégué adjoint
de l'Équateur auprès de l'Unesco,
Paris.

Espagne

Dr E. BALCELLS (chef de la délégation),
Director del Centro Pirenaico de Biología
Experimental de Jaca.

Sr. A. COMPTE SART, Investigador Ento-
mólogo del Consejo superior de Investi-
gaciones Científicas, Serrano 113,
Madrid 6.

Professor Dr E. FERNÁNDEZ-GALIANO,
Catedrático de la Universidad de Sevilla,
Departamento de Botánica, Facultad de
Ciencias, Sevilla.

Dr F. GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, Jefe de la
Sección de Ecofisiología, Instituto de
Edafología, CSIC, Ayala 88 - Tripl.,
Madrid.

Professor C. GÓMEZ-CAMPO, Escuela T. S.
de Ingenieros Agrónomos, Madrid 3.

Dr V. HERNANDO FERNÁNDEZ, Vicedirec-
tor, Instituto de Edafología, CSIC,
Rosario 23, Madrid 5.

Liste des participants

- Professor R. MARGALEF, Catedrático de Ecología, Universidad de Barcelona, Ronda Guinardo, 31 5.º 2.º, Barcelona.
- D^r J. NADAL PUIGDEFÁBREGAS, Centro Pirenaico de Biología Experimental, apartado 64, Jaca (Huesca).
- D^r L. NÁJERA ÁNGULO, Secretario Técnico, de la Dirección General de Sanidad, Calle de Quintana 14, Madrid.
- D^r J.L. SOTILLO RAMOS, Jefe de Sección del Patronato de Biología Animal, Embajadores 68, Madrid.
- D^r J.A. VALVERDE GÓMEZ, Director, Estación Biológica de Doñana, C. Sup. de Invest. Científicas, Arjona 12, Sevilla.

États-Unis d'Amérique

- Dr. T.C. BYERLY (chef de la délégation), U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- Dr. I. L. BENNETT, Deputy Director, Office of Science and Technology, White House, Washington D.C.
- Prof. S.A. CAIN, Assistant Secretary of the Interior for Fish and Wildlife and Parks, Department of the Interior, Washington D.C.
- Mr. P. W. ERICKSON, Secretary, délégation permanente des États-Unis auprès de l'Unesco, 26, avenue de Ségur, Paris-7^e.
- Dr. H. GERSHINOWITZ, Chairman, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Mr. H.A. GOODWIN, Chief, Office of Endangered Species, Department of the Interior, Washington D.C.
- Dr. H.J. KELLERMANN, Foreign Service Officer, 3336 Dent Place N.W., Washington D.C. 20007.
- Dr. R. M. LINN, Deputy Chief Scientist, National Park Service, Department of Interior, Washington D.C.
- Mr. J.C. MARR, Area Director, Bureau of Commercial Fisheries, Department of the Interior, P.O. Box 3830, Honolulu, Hawaii 96812.
- Dr. C.E. OSTRUM, Director, Timber Management Research, Forest Service, Department of Agriculture, Washington D.C.
- Dr. J.H. SVORE, Associate Commissioner, Environmental Control Administration, Department of Health, Education and Welfare, Washington D.C. 20852.
- Dr. M. L. TALBOT, Field Representative for International Affairs in Ecology and

Conservation, Smithsonian Institution, Washington D.C. 20560.

Finlande

- Dr. Prof. H. LUTHER (chef de la délégation), University of Helsinki, Helsinki.
- Mr. R. KALLIOLA, Government Counsellor for Nature Conservation, Director of Bureau of Nature Conservation, Forest Research Institute, Unioninkater 40A, Helsinki 17.
- Mr. K. KARIMO, University of Helsinki, Helsinki.
- Prof. P. U. MIKOLA, Department of Forest Biology, University of Helsinki.
- M. P. RANTANEN, délégué permanent adjoint de la Finlande auprès de l'Unesco, Ambassade de Finlande, 2, rue Fabert, Paris-7^e.

France

- Professeur F. BOURLIÈRE (chef de la délégation), Faculté de médecine, 45, rue des Saints-Pères, Paris-6^e.
- Professeur E. ANGELIER, Faculté des sciences, 15, rue du Midi, 31 Toulouse.
- Professeur P. AUGER, vice-président de la Commission française pour l'Unesco, 82, rue de Lille, Paris-7^e.
- M. Y. BÉTOAUD, ingénieur en chef du génie rural des eaux et forêts, sous-directeur de l'espace naturel, 1, avenue de Lowendal, Paris-7^e.
- M. R. BITTEL, Commissariat à l'énergie atomique, B.P. n° 6, 92-Fontenay-aux-Roses.
- M. I. CHERET, chef du secrétariat permanent pour l'étude des problèmes de l'eau, DATAR, 67, boulevard Haussmann, Paris-9^e.
- D^r B. DABIN, inspecteur général de recherches, directeur de laboratoire à l'ORSTOM, 70, route d'Aulnay, 93 Bondy.
- M. G. DROUINEAU, inspecteur général de l'INRA, 149, rue de Grenelle, Paris-7^e.
- Professeur L. EMBERGER, directeur du Centre d'études phytosociologiques et écologiques (CNRS), B.P. 10-18, 34 Montpellier.
- M. H. E. A. FLON, secrétaire du Conseil national pour la protection de la nature en France, 3, rue Barthel, 77 Melun.
- M^{me} ARLETTE GARNIER, Commissariat

à l'énergie atomique, département « Protection sanitaire », B.P. n° 6, 92 Fontenay-aux-Roses.

M. J. GIBAN, directeur de recherches, INRA, 78 Jouy-en-Josas.

D^r M. GODRON, CEPE, B.P. 1018, 34 Montpellier.

M. H. JOLY, Délégation générale à la recherche scientifique, 103, rue de l'Université, Paris-7^e.

M^{me} JACQUELINE KATLAMA, secrétaire générale adjointe, Commission nationale française pour l'Unesco, 82, rue de Lille, Paris-7^e.

Professeur C. LEVI, directeur scientifique, Centre national de la recherche scientifique, 15, quai Anatole-France, Paris-7^e.

D^r J. PAGOT, directeur général, Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (IEMVT), 10, rue Pierre-Curie, 94 Maisons-Alfort.

M. B. SAILLET, chargé des parcs naturels régionaux, Délégation à l'aménagement du territoire, 1, avenue Charles-Floquet, Paris-7^e.

M. J.A. TERNISIEN, chargé de mission scientifique, DGRST, 103, rue de l'Université, Paris-7^e.

M. Y. THEREZIEN, ingénieur, Station d'hydrobiologie, B.P. 28, 64 Biarritz.

M. J. DE VAISSIÈRE, inspecteur général de l'agriculture, 21, avenue Raymond-Poincaré, Paris-16^e.

D^r R. VIBERT, directeur de recherche, Station d'hydrobiologie, 64 Biarritz.

M. A. WALLON, inspecteur général de l'agriculture, 4, rue de la Planchette, Paris-7^e.

M. FORAY, secrétaire général F.R.H., 14, boulevard Poissonnière, Paris-9^e.

M. DELAMARRE-DEBOUTTEVILLE, professeur au Muséum d'histoire naturelle, 57, rue Cuvier, Paris-5^e.

M. BOYER, directeur de recherches à l'ORSTOM, Services scientifiques centraux de l'ORSTOM, 70, route d'Aulnay, 93 Bondy.

M. RODIER, directeur de recherches à l'ORSTOM, 193, rue Eugène-Carrière, Paris-18^e.

M. BACHELIER, directeur de recherches à l'ORSTOM, 70, route d'Aulnay, 93 Bondy.

M. BOUCHET, directeur de recherches à l'INRA, service bioclimatologie, Étoile

de Choisy, route de Saint-Cyr, 78 Versailles.

Gabon

S. Exc. M. l'ambassadeur J. F. OYOE, (chef de la délégation), délégué permanent du Gabon auprès de l'Unesco, Unesco, place de Fontenoy, Paris-7^e.

D^r M. OLIVEIRA, hôtel de l'Unesco, 37, avenue de la Motte-Picquet, Paris-7^e.

Guatemala

M. O. BERTHOLIN Y GALVEZ, délégué permanent du Guatemala auprès de l'Unesco, 51 bis, rue Octave-Feuillet, Paris-16^e.

Haute-Volta

S. Exc. M. l'ambassadeur HENRI GUISSOU, délégué permanent de la Haute-Volta auprès de l'Unesco, 159, boulevard Haussmann, Paris-8^e.

Honduras

S. Exc. le professeur D^r CARLOS DEAMBROSIS-MARTINS, chef de la délégation permanente du Honduras auprès de l'Unesco, 51, rue Rémy-Dumoncel, Paris-14^e.

Hongrie

Prof. Dr. Eng. IMRE V. NAGY, Deputy Dean, Chair for Water Resources Development, Technical University, Budapest.

Dr. ISTVAN SZABOLCS, Director of the Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Chairman of the Subcommission of Salt Affected Soils, International Society of Soil Science, Budapest.

Dr. IMRE MATHE, Scientific Adviser of the Botanical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest 13.

Dr. ANDRAS GARAY, Senior Researcher, Chair of Botany, « Jozsef Attila » University, Szeged.

Inde

M. Emmanuel POUCHPA DASS, attaché culturel chargé de la liaison avec

Liste des participants

l'Unesco, conseiller culturel à l'Ambassade de l'Inde à Paris, 15, rue Alfred-Deshodencq, Paris-16^e.

Indonésie

Prof. Dr. J. KATILL, Director of the Institute of Geology and Mining, Indonesian Institute for Sciences (LIPI), Djakarta.

Irak

Dr. ISMAIL AL-AZZAWI, Secretary General. Scientific Research Council, Baghdad-Waziria.

Irlande

Miss ANN C. M. FOLAN, Nature Conservation Officer, an Foras Forbartha, National Institute for Physical Planning and Construction Research, 4 Kildare Street, Dublin 2.

Dr. LIAM O. MAOLCHATHA, Senior Inspector, Ministry for Education, Dublin 14.

Mr. OWEN MOONEY, Senior Forestry Inspector, Department of Lands, 6 Brewere Road, Dublin.

Mr. FERGUS O'GORMAN, Scientific Adviser, Game and Wildlife Branch, Department of Lands, Dublin.

Israël

Prof. MICHAEL EVENARI, Professor of Botany, Hebrew University, Jerusalem.

Prof. JONATHAN MAGNES, Professor of Physiology, Hebrew University, Jerusalem.

Mr. M. F. DORON, Counsellor, délégation permanente d'Israël auprès de l'Unesco, Unesco, place de Fontenoy, Paris-7^e.

Italie

Professeur GIUSEPPE MONTALENTI, directeur de l'Institut de génétique à la Faculté des sciences de l'Université de Rome, Rome.

Dr ALBERTO ECCHER DALL'ECO, Centre d'expérimentation agricole et forestière, C.P. 9079, Rome.

Professeur GUIDO GALEOTTI, directeur, Laboratoire de statistiques, Institut national de la nutrition, Corso Trieste 82, Rome.

Professeur Dr VALERIO GIACOMINI, professeur ordin. de botanique, Faculté de sciences mathématiques, physiques et naturelles, Université de Rome.

Professeur G. LORENZOLA, Viale Rimembranze, 90 Vercelli.

Professeur G. MORETTI, Université de Pérouse.

Professeur Dr. F. L. PETRILLI, directeur de l'Institut d'hygiène, Université de Gênes, 1, via A.-Pastore, Gênes.

Professeur V. ROSSETTI, Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro (CNEL) Latina Corso delle Repubblica 126, Rome.

Japon

Prof. Dr M. SAITO, 3-4-6 Saginomiya Nakano-Ku, Tokyo.

Prof. Dr. T. WATANABE, Nagoya University, Tokyo.

Kenya

Mr. W. M. MBOTE, Ministry of Wildlife and Tourism, Box 30027, Nairobi.

Liban

Dr M. BASBOUS, président du comité exécutif du Plan vert, B. P. 4460, Beyrouth.

Dr S. HAIDER (membre du CNSR libanais), directeur général de l'Office de la production animale, rue Verdun, Beyrouth.

Madagascar

S. Exc. M. l'ambassadeur A. RAKOTRATSIMAMANCA (chef de la délégation), Ambassade de Madagascar, 1, boulevard Suchet, Paris-16^e.

M. J.-P. RAVELOMANANTSOA RATSIMAH, Ambassade de Madagascar, 1, boulevard Suchet, Paris-16^e.

M. J. RAVOAHANGY, attaché à l'ambassade de Madagascar, 1, boulevard Suchet, Paris-16^e.

M^{me} E. RAMANANKASINA, assistante à la Faculté des sciences de Tananarive, 66, rue R.-J. de Villèle, Faravohitra.

M. G. RAMALANJOANA, secrétaire général du Comité national de la recherche scientifique et technique, directeur de recherches, Antaninarenina, Tananarive.

M. R. DUFOURNET, inspecteur général de

recherche, Institut de recherche agronomique de Madagascar, B. P. 1444, Tananarive.

Professeur S. RAHARISON, chef de service de médecine générale à l'Hôpital principal de Tananarive.

Mali

Dr B. FOFANA, directeur général adjoint de la santé publique, membre du CNRST, Bamako.

M. J.D. KEITA, chef du Service eaux et forêts, membre du CNRST, Bamako.

Maroc

M. D. TOULALI, chef du service des actions économiques, Ministère de l'agriculture, Rabat.

M. Z. MORSY, ministre plénipotentiaire, délégué permanent auprès de l'Unesco, Ambassade du Maroc, 3, rue Le Tasse, Paris-16^e.

Monaco

M. René BOCCA, conseiller de la légation de Monaco, délégué permanent adjoint auprès de l'Unesco, 2, rue du Conseiller-Collignon, Paris-16^e.

Nicaragua

S. Exc. Dr JULIO C. QUINTANA VILLANUEVA, ambassadeur du Nicaragua, 7, rue Jean-Goujon, Paris-8^e.

Norvège

Prof. Dr. R. VIK, chairman, Norwegian National, IBP Committee, Zoological Museum, Sarsgate 1, Oslo 5.

Prof. Dr. U. HAFSTEN, The Norwegian State College for Teachers, 7000 Trondheim.

Prof. R. BEGG, Director, Botanical Garden, Oslo.

Nouvelle-Zélande

Dr. J.A. GIBB, Director, Animal Ecology Division, Department of Scientific and Industrial Research, P.O. Box 30466, Lower Hutt.

Pays-Bas

Prof. Dr. M. F. MÖRZER BRUYN, Director, State Institute for Nature, Conservation Research, Laan Van Beek en Royen 40-41, Zeist.

Mr. J. P. DOETS, Head, Dept. Nature Conservation, Ministry of Cultural Affairs, Recreation and Social Welfare, Ryswyk (Z. H.).

Dr W. H. VAN DOBBEN, directeur de l'Institut écologique de l'Académie, Dorskampweg 4, Wageningen.

Dr. H. N. HASSELO, Ministry of Agriculture and Fisheries, 129 Norenburg, The Hague.

Prof. J. JANSEN, Secretary, World Veterinary Association, Bilstraat 168, Utrecht.

Dr. G. P. KRUSEMAN, International Institute Land Reclamation and Improvement, P.O. Box 45, Wageningen.

Prof. Dr. G. J. VERVELDE (chef de la délégation), Professor of Agriculture, P.O. Box 14, Wageningen.

Dr. G. A. de WELLE, Agronomical College of the Royal Meteorological Institute, Groenekanse Weg 155, de Bilt.

Pérou

Mr. J. ROMERO, Assistant permanent representative of Peru to Unesco, Paris.

Pologne

Dr. Anna MEDWECKA-KORNÁS, Director, Nature Conservation Research Centre, Polish Academy of Sciences, ul. Lesista 5, Krakow.

Roumanie

Professeur Dr N. SIMIONESCU, vice-président de la Commission de biologie et médecine du Conseil national de la recherche, Alea Straduintei 2, Bucarest.

Royaume-Uni

Sir WILLIAM SLATER (chef de la délégation), U.K. National Commission for Unesco, Two Oaks, Littleworth, Pulborough, Sussex.

Mr. M. A. BRUNT, Directorate of Overseas Surveys, Ministry of Overseas Development, 71 Church Road, Richmond, Surrey,

Liste des participants

Prof. A. R. CLAPHAM, Department of Botany, University of Sheffield, Sheffield 10.

Dr. J.S.G. McCULLOCH, Director, Hydrological Research Unit, Institute of Hydrology, Wallingford, Berkshire.

Dr. R. W. J. KEAY, Deputy Executive Secretary, The Royal Society, 6 Carlton House Terrace, London, S. W. 1

Dr. G. W. HEATH, Natural Environment Research Council, London.

Mr. R. E. BOOTE, Deputy Director, The Nature Conservancy, London S. W. 1.

Mr. A. R. BROMFIELD, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Hertfordshire.

Sénégal

M. B. DIOUM, ingénieur des eaux et forêts, directeur des eaux, forêts et chasses du Sénégal, B.P. 1831, Dakar.

Somalie

Mr. I. H. MUSSA, Foreign Ministry, Mogadiscio.

Suède

S. Exc. M. l'ambassadeur baron CARL HENRIK DE PLATEN (chef de la délégation), délégué permanent auprès de l'Unesco, 46, avenue Montaigne, Paris-8^e.

Prof. A. ENGSTRÖM, Secretary, Swedish Government Science Advisory Council, Ambassade de Suède, 46, avenue Montaigne, Paris-8^e.

Dr. K. O. HEDBERG, Institute of Systematic Botany, P.O. Box 123, Uppsala.

Dr. B. G. LUNDHOLM, Ecological Research Committee, Natural Science Research Council, Swedish National Science Research Council, Nockebyvagen 39, Boomma.

Asst. Prof. HANS PALMSTIERN, Secretary, National Nature Conservancy Office, The Royal Caroline Institute Björk-hagsvagen 42, 17273 Sundbyberg.

Dr. S.E. SVENSSON, University of Lund, Zoological Institute, Helgonavägen 3, Lund.

Mr. P. JÖDAHL, First Secretary, Délégation de la Suède auprès de l'OCDE, 46, avenue Montaigne, Paris-8^e.

Mr. M. NORDBACK, Délégation permanente

de la Suède auprès de l'Unesco, Ambassade de Suède, 46, avenue Montaigne, Paris-8^e.

Suisse

Professeur Dr J. G. BAER (chef de la délégation), Université de Neuchâtel, Institut de zoologie, CH-2000 Neuchâtel.

Dr E. DOTRENS, directeur du Muséum d'histoire naturelle, 6, quai de l'École-de-médecine, CH-1200 Genève.

Dr T. HUNZIKER, chef de la section Protection de la nature et du paysage, Département fédéral de l'intérieur, Belpstrasse 36, CH-3000 Berne 14.

Professeur Dr H. WANNER, professeur à l'Institut de botanique de l'Université de Zurich, Im Gubel 52, CH-8706 Feldmeilen.

Tchécoslovaquie

Professeur ANTOIN PFEFFER (chef de la délégation), directeur de l'Institut pour la formation et pour la protection du territoire, Académie des sciences, Raisova 2, Prague 6.

Dr J. CEROVSKY, fonctionnaire de l'Institut d'État pour la conservation des monuments et pour la protection de la nature, Budejska 27, Prague 2.

Dr L. HABAN, fonctionnaire de la section des organisations internationales, Académie tchèque des sciences, Revnice Selecka 5.

M. E. HIRS, chef de l'Institut slovaque pour la conservation des monuments et pour la protection de la nature, Budejska 27, Prague 2.

Dr J. JENIK, CSc., chaire de botanique, Faculté des sciences naturelles, Université Charles, Djvice, Na piskach 89, Prague 6.

Dr M. RUZICKA, directeur de l'Institut de biologie du territoire, Académie slovaque des sciences, Bratislava.

Thaïlande

Dr. P. INDRAMBARA, Chief Medical Officer, Department of Health, Bangkok.

Dr. S. SABHASRI, Associate Dean, Graduate School, Kasetsart University, Bangkok.

M. P. SUVANAKORN, Royal Forestry Department, Bangkok.

Togo

M. B. GNROFOUN, directeur du service des eaux, forêts et chasse, Lomé.

M. V. DE MEDEIROS, premier conseiller, Ambassade du Togo, 8, rue Alfred-Roll, Paris-17^e.

M. S. AGBOTON, Service des pêches, B.P. 1095, Lomé.

Turquie

Général FUAT ULUG, délégation de la Turquie auprès de l'OTAN, 76, boulevard Brand-Whitlock, Bruxelles 4, Belgique.

République socialiste soviétique d'Ukraine

Professeur D^r CONSTANTIN M. SYTNIK, secrétaire général du Présidium de l'Académie des sciences de la RSS d'Ukraine, Kiev.

Professeur D^r I. VOROTNITKAYA, laboratoire de géochimie, Académie des sciences de l'URSS, Vorobevskal Chaussée 47 A, Moscou, B. 333.

Professeur V. KOVALSKI, chef du laboratoire de biochimie Ceuxu de Vernadski, Académie des sciences de l'URSS, Prospect Lenina 57-4, Moscou, B. 333.

Professeur D^r P. VASILIEV, secteur des ressources forestières, Académie des sciences de l'URSS, Varilova 7, Moscou, B. 333.

Union des républiques socialistes soviétiques

Académicien I. GERASIMOV (chef de la délégation), membre actif de l'Académie des sciences de l'URSS, directeur de l'Institut de géographie, Monetni perenlok 29, Moscou.

Professeur G. ANTONOV, hôpital de Botkin, Moscou.

Professeur D. ARMAND, Institut de géographie de l'Académie des sciences de l'URSS, Malaia Kaluzkaia 12-24, Moscou B. 71.

Professeur A. BANNIKOV, Académie des sciences (Vet), Miskina Lt., 12 gy 44 Moscou, A-83.

Professeur B. BOGDANOV, chef du Centre

général pour la conservation de la nature, Ministère de l'agriculture, Moscou.

Professeur A. ERMAKOV, secrétaire général du Comité national de science et technologie, Moscou.

Professeur D^r V. HEPTNER, professeur de biologie à l'Université de Moscou, Musée de zoologie, 6, ul. Hertse, Moscou, K-9.

Professeur N. KOZLOVSKY, chef de l'organisation des recherches URSS, Trechprudny pucula 10/12, Moscou.

Professeur MIRIMANIAN, professeur à l'Institut arménien d'agriculture, Charenzi 9/20, Erevan. RSS d'Arménie.

Professeur S. OUSPENSKI, professeur à l'Université de Moscou, Moscou.

M^{me} le professeur NINA PETROUNINA, laboratoire de géochimie, Académie des sciences de l'URSS, 47 A. Vorobevskal Chaussée, Moscou, B-333.

Professeur A. ROUSTAMOV, recteur de l'Institut d'agriculture de Turkménie, Achabad.

M^{me} le D^r Zoia TCHIRENKOVA, Académie des sciences de l'URSS, 7 ul. Rakova, Leningrad.

Professeur LOUDMILA VORONOVA, Laboratoire central pour la conservation de la nature, Kravchenko Street 12, Moscou.

M^{me} le D^r RIMMA ZIMINA-GERASIMOV, Institut de géographie de l'Académie des sciences de l'URSS, Streromonetni 29, Moscou 17.

Uruguay

S. Exc. M. l'ambassadeur D^r R. BOTTO, délégué permanent auprès de l'Unesco, 10, rue Longpont, Neuilly.

Venezuela

M. J. A. CORRALES LEAL, ingeniero consultor de planificación, Ave. Barcelona Qtd. El 7, La California Norte.

Viêt-nam

Professeur PHUNG TRUNG NGAN, assesseur à la Faculté des sciences de Saïgon, délégation du Viêt-nam auprès de l'Unesco, Unesco, place de Fontenoy, Paris-7^e.

M^{me} HO THI HANH, Ministère de la santé, Saïgon, délégation du Viêt-nam auprès de l'Unesco, Unesco, place de Fontenoy, Paris-7^e.

ÉTATS NON MEMBRES

Saint-Siège

R.P. H. PERROY, 15, rue R.-Marcheron,
92 Vanves (France).

ORGANISATIONS INTERNATIONALES

ORGANISATIONS DU SYSTÈME DES NATIONS UNIES

Nations Unies

Mr. GUY GRESFORD, Director for Science
and Technology, Department of Economic
and Social Affairs, United Nations,
New York.

Professor CARLOS CHAGAS, Chairman,
U.N. Advisory Committee on Science
and Technology.

Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD)

M. E.A. BERNARD, conseiller du directeur
du PNUD, Nations Unies, New York.

Bureau international du travail (BIT)

M. E. HELLEN, Service de la sécurité et
de l'hygiène du travail, Bureau inter-
national du travail, 1211 Genève (Suisse)
22.

M^{me} JOUHAUX, directrice du Bureau de
correspondance en France, Bureau inter-
national du travail, 205, boulevard
Saint-Germain, Paris-7^e.

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Mr. A. H. BOERMA, Director-General FAO,
via delle Terme di Caracalla, Rome
(Italie).

Dr. O.E. FISCHNICH, Assistant Director-
General, Technical Department, FAO,
via delle Terme di Caracalla, Rome
(Italie).

Mr. R. PICHEL, Chief, Crop Ecology and
Genetic, Resources Branch, FAO, via
delle Terme di Caracalla, Rome (Italie).

Mr. W. DILL, Chief, Inland Fishery Branch,
Department of Fisheries, FAO, via delle
Terme di Caracalla, Rome (Italie).

Mr. M. GREHAN, Land and Water Develop-

ment Division, FAO, via delle Terme di
Caracalla, Rome (Italie).

Dr. L. D. SWINDALE, Land and Water
Development Division, FAO, via delle
Terme di Caracalla, Rome (Italie).

Mr. M. H. FRENCH, Chief, Animal Produc-
tion and Health Division, FAO, via delle
Terme di Caracalla, Rome (Italie).

Mr. DEVRED, Rural Institutions and Ser-
vices Division, FAO, via delle Terme
di Caracalla, Rome (Italie).

Mr. H. C. PEREIRA, I.H.D., co, Mr. GREHAM,
FAO, via delle Terme di Caracalla,
Rome (Italie).

Mr. T. A. RINEY, Chief of section, Wildlife,
National Parks Recreations Areas, FAO,
via delle Terme di Caracalla, Rome (Ita-
lie).

Mr. R.G. FONTAINE, Forestry and Forest
Industries Division, FAO, via delle
Terme di Caracalla, Rome (Italie).

Organisations non gouvernementales ayant un statut spécial avec la FAO

International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)

Mr. A. METRO, INRA, Étoile de Choisy,
route de Saint-Cyr, 78 Versailles (France).

Dr P. GRISON, délégué, chef de la
Commission lutte biologique, INRA,
78 La Minière, par Versailles (France).

World Veterinary Association

Prof. Dr. J. JANSEN, Secretary, Utrecht
(Pays-Bas).

Organisation météorologique mondiale (OMM)

Mr. L. P. SMITH, President of the Commis-
sion for Agricultural Meteorology of
WMO, Meteorological Office, London
Road, Bracknell, Berks (Angleterre).

Dr. C.C. WALLIN, Chief, Division of Scien-
tific Programmes and Techniques,
World Meteorological Organization, 41,
avenue Giuseppe-Motta, Genève (Suisse).

Organisation mondiale de la santé (OMS)

Dr M. G. CANDAU, directeur général de
l'OMS, Genève (Suisse).

Dr A. ARATA, division de la recherche en
épidémiologie et en informatique,
commission de la recherche, OMS,
Genève (Suisse).

M. R. PAVANELLO, chef du service de la pollution du milieu, commission de la recherche, OMS, Genève (Suisse).

Dr W. HOBSON, chef du service de perfectionnement du personnel, commission de l'éducation et commission des politiques et structures scientifiques, OMS, Genève (Suisse).

Dr J. BENGGA, chef du service de la nutrition, commission de la recherche, OMS, Genève (Suisse).

Unesco

Dr M. S. ADISESHIAH, directeur général adjoint de l'Unesco.

Professeur A. MATVEYEV, sous-directeur général pour la science.

Professeur G. BURKHARDT, directeur du Département de l'avancement des sciences.

Dr M. BATISSE, secrétaire général de la conférence.

ORGANISATIONS INTERGOUVERNEMENTALES

Conseil de l'Europe

M. H. HACOURT, Conseil de l'Europe, Strasbourg (France).

Dr. H. OFFNER, Oberlandforstmeister, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 53 Bonn (République fédérale d'Allemagne).

Prof. M. F. MORZER BRUIJNS, Director, State Institute for Nature, Conservation Research (RIVON), Lan Van Beek en Royen 40-41, Zeist (Pays-Bas).

M. G. TENDRON, sous-directeur au Muséum national d'histoire naturelle, service de la conservation de la nature, 57, rue Cuvier, Paris-5^e (France).

Inter-American Institute for Agricultural Sciences (IAIAS)

Sr. FERNANDO SUÁREZ de CASTRO, Deputy Director, Training and Research Centre, Inter-American Institute for Agricultural Sciences, Turrialba (Costa Rica).

Dr. MICHEL MONTOYA-MAQUIN, Inter-American Institute for Agricultural Sciences, Turrialba (Costa Rica).

Ligue des États arabes

Mr. RAMSES CHAFFEY, Permanent Delegate of the League of Arab States to Unesco, Room 2.25, Unesco.

Mr. ALI MEHREZ, Asst. Delegate of the League of Arab States to Unesco, 8, rue Pérignon, Paris-7^e.

Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE)

Dr RODERICK, chef de la division de la coopération scientifique internationale 12, rue Maspéro, Paris-16^e.

Dr J. HAINES, consultant, Organisation de coopération et de développement économiques, 2, rue André-Pascal, Paris-16^e.

Commission du Pacifique sud

M. P. SCHMID, section botanique, 30, rue de l'Orangerie, 78 Versailles.

Union internationale de secours

M. DANIEL CLOUZOT, secrétaire exécutif de l'UIS, 12, chemin de Malombré Genève (Suisse).

M^{me} PISSARO, Union internationale de secours, 12, chemin de Malombré, Genève (Suisse).

ORGANISATIONS INTERNATIONALES NON GOUVERNEMENTALES

Conseil international des unions scientifiques

M. F.M.G. BAKER, secrétaire exécutif, via Cornelio Celso, 5 Rome 00161 (Italie).

Professeur JEAN G. BAER, Université de Neuchâtel, Institut de zoologie, 2000 Neuchâtel 7 (Suisse).

Programme biologique international (PBI)

Professeur JEAN BAER, président du PBI, Université de Neuchâtel, Institut de zoologie, 2000 Neuchâtel 7 (Suisse).

Dr E.B. WORTHINGTON, directeur scientifique du PBI, 7, Marylebone Road, London, N.W. 4 (Angleterre).

Professeur L. GENEVOIS, laboratoire de biochimie de la Faculté des sciences,

Liste des participants

Université de Bordeaux, 351, cours de la Libération, 33 Valence (France).
M. H. SOUTHON, secrétaire exécutif du PBI, 7 Marylebone Road, London N.W.1 (Angleterre).

Union des associations techniques internationales (UATI)

M. PIOTET, ingénieur du génie rural des eaux et forêts, section technique centrale de l'aménagement des eaux, 19, avenue du Maine, Paris-15^e.

Union internationale de la conservation de la nature et de ses ressources (UICN)

M. HAROLD J. COOLIDGE, président de l'UICN, Morges (Suisse).

Dr L. HOFFMAN, vice-président de l'UICN, station biologique de la Tour du Valat, 13 Le Sambuc (France).

Professeur Th. MONOD, Laboratoire des pêches d'outre-mer, Muséum d'histoire naturelle, 57, rue Cuvier, Paris-5^e.

Professeur F. BOURLIÈRE, Faculté de médecine, 45, rue des Saints-Pères, Paris-6^e.

Sir HUGH F. I. ELLIOTT, The Nature Conservancy, 10 Belgrave Square, London, S.W. 1 (Angleterre).

Dr. LEE M. TALBOT, Office of Ecology, Smithsonian Institution, Washington D.C. 20560 (États-Unis).

Professeur N. POLUNIN, 1249 Avusy, Genève (Suisse).

Dr. JAN CEROVSKY, The Nature Conservancy, Valdstejské nám. 4, Praha 1 - Mala Strana (Tchécoslovaquie).

Professor J. B. CRAGG, Environmental Sciences Centre, c/o University of Calgary (Kananaskis), Calgary, Alberta (Canada).

Mr. JAMES L. ALDRICH, Education Development Center, 55 Chapel Street, Newton, Massachusetts 02160 (États-Unis).

Prof. A. EICHLER, University of the Andes, apartado 256, Mérida (Venezuela).

Professeur J.-P. HARROY, Université libre de Bruxelles, 44, avenue Jeanne, bureau 911, Bruxelles 5 (Belgique).

Mr. P.M. SCOTT, Chairman, Survival Service Commission, The Wildfowl Trust, Slimbridge, Glos. (Angleterre).

Dr K. CURRY-LINDAHL, vice-président de la Commission internationale des parcs

nationaux et de la Commission du service de sauvegarde de l'UICN, directeur de la section des sciences naturelles du Musée nordique, Stockholm (Suède).
Professeur Dr J. DORST, Muséum d'histoire naturelle, 55, rue Buffon, 75 Paris-5^e.

Dr C. HOLLOWAY, UICN, 1110 Morges (Suisse).

Professeur R. PAULIAN, recteur de l'Université d'Abidjan, Abidjan (Côte-d'Ivoire).

M. E.J.H. BERWICK, secrétaire général de l'UICN, 1110 Morges (Suisse).

M. N.M. SIMON, UICN, 1110 Morges (Suisse).

M. R. STANDISCH, UICN, 1110 Morges (Suisse).

Mlle M. WARLAND, UICN, 1110 Morges (Suisse).

Mr. JOHN PERRY, Assistant Director, National Zoological Park, Smithsonian Institution, Washington, D.C. 20009 (États-Unis).

Mr. HARRY A. GOODWIN, Bureau of Sport Fisheries and Wildlife, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C. 20009 (États-Unis).

Mr. H.H. MILLS, Executive Director, W.W.F., Inc. Suite 728, 910 Seventeenth St. N. W., Washington D.C. 20006 (États-Unis).

Dr. MELVILLE, Compiler of Red Data Book for Plants, 121 Mortlake Rd. Kew, Richmond, Surrey (Angleterre).

Mr. and Mrs. R.S.R. FITTER, The Fauna Preservation Society, c/o Zoological Society of London, Regent's Park, London, N.W. 1. (Angleterre).

Dr. R. G. MILLER Foresta Institute for Ocean and Mountain Studies, 620, Rt. 1, Carson City, Nevada 89701 (États-Unis).

JUDGE RUSSELL E. TRAIN, The Conservation Foundation, 1250 Connecticut Avenue N.W., Washington D.C. 20036 (États-Unis).

M. W. E. BURHENNE, président de la Commission de la législation de l'UICN, Bonn (Rép. féd. d'Allemagne).

Mr. J. GOUDSWAARD, Secretary, Education Commission IUCN, Jan Van Loonslan 20 A, Rotterdam (Pays-Bas).

Dr FRANÇOISE GUILMIN, secrétaire de la Commission de législation de l'UICN, Bonn (Rép. féd. d'Allemagne).

Mr. J. LUCAS, Survival Service Commission, Zoological Society of London, Regents Park, London (Angleterre).

Prof. G.A. PETRIDES, Michigan State University, Williamstown, Michigan (États-Unis).

Mrs. A. N. WILSON, Commission on Legislation, Washington 20003 D.C. (États-Unis).

Prof. Dr K.O. HEDBERG, Upsala Universitets Institution for Systematisk Botanik, Box 123, Upsala (Suède).

World Wildlife Fund (WWF)

Dr FRITZ VOLLMAR, c/o World Wildlife Fund, 1110 Morges (Suisse).

International Council for Bird Preservation

Professeur JEAN DORST, Muséum national d'histoire naturelle, 55, rue Buffon, Paris-5^e (France).

Dr. LEE TALBOT, Smithsonian Institution, Washington D.C. 20560 (États-Unis).

International Youth Federation for the Study and Conservation of Nature

Mr. JONATHAN HOLLIMAN, président IYFSCN, 7 A, Glazbury Road, London W. 14 (Angleterre).

Pacific Science Association

Dr. LEE TALBOT, Smithsonian Institution, Washington D.C. 20560 (États-Unis).

Fédération internationale des architectes paysagistes (IFLA)

Mr. F.G. BREMAN, Secretary-General, IFLA, Kamerlingh Onneslaan 3, Amsterdam (Pays-Bas).

Commission internationale du génie rural (UIEO)

M. M. CARLIER, secrétaire général de la Commission internationale du génie rural, 15, avenue du Maine, Paris-15^e (France).

FONDACTIONS PRIVÉES

The Conservation Foundation

JUDGE RUSSELL E. TRAIN, President, The Conservation Foundation, 1250

Connecticut avenue N.W., Washington D.C. 20036 (États-Unis).

Dr. RAYMOND F. DASMANN, The Conservation Foundation, 1250 Connecticut Avenue N.W., Washington D.C. 20036 (États-Unis).

Fondation Ford

Mr. CARL W. BORGMANN, Adviser on Science and Technology, Ford Foundation, 320 East 43rd. Street, New York N.Y. 10017 (États-Unis).

Stiftung Volkswagenwerk

Dr. RUDOLF KERSCHER, Executive of Volkswagen Foundation, 3 Hannover Schuetzenallee (Rép. féd. d'Allemagne).

COMPOSITION DU SECRÉTARIAT

Secrétaire général de la conférence
M. M. BATISSE

Assistant spécial et chargé de la liaison avec la FAO
M. R. FONTAINE

Secrétaire général adjoint
M. G. BUDOWSKI

Assistants du secrétaire général
M. F. FOURNIER
M. H. HADLEY

Consultants du secrétariat présentant des exposés introductifs et des rapports de synthèse

Professeur V. KOVDA (URSS)
Dr FRASER DARLING (Royaume-Uni)
Professeur G. AUBERT (France)
Dr K. SZESTAY (Hongrie)
Dr G.N. MITRA (Inde)
Professeur V. LEBRUN (Belgique)
Dr D.P.S. WASAWO (Kenya)
Dr C. DE MELO CARVALHO (Brésil)
Professeur A. WOLMAN (États-Unis)
Professeur Dr K. BUCHWALD (Rép. féd. d'Allemagne)

Autres consultants spéciaux

M. K. CURRY-LINDAHL (Suède)
M. C. de KLEMM (France)
M. F. ECKARDT (Danemark)
Professeur J.D. OVINGTON (Australie)
Professeur TRIBE (Australie)

Relations avec la presse

M. E. SOCHOR (Unesco)