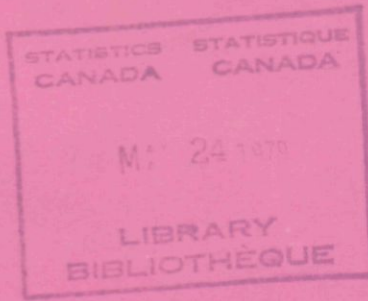


**Towards a
comprehensive
framework
for environmental
statistics: A stress-
response approach**

1979

**Projet d'établissement
d'un système général
d'information sur
l'environnement au
Canada: L'approche
agression-réaction**

1979



Note

This and other government publications may be purchased from local authorized agents and other community bookstores or by mail order.

Mail orders should be sent to Publications Distribution, Statistics Canada, Ottawa, K1A 0T6, or to Publishing Centre, Supply and Services Canada, Ottawa, K1A 0S9.

Inquiries about this publication should be addressed to:

Office of the Senior Adviser on Integration,

Statistics Canada, Ottawa, K1A 0T6 (telephone: 992-4571) or to a local office of the bureau's User Advisory Services Division:

St. John's (Nfld.)	(726-0713)
Halifax	(426-5331)
Montréal	(283-5725)
Ottawa	(992-4734)
Toronto	(966-6586)
Winnipeg	(949-4020)
Regina	(569-5405)
Edmonton	(425-5052)
Vancouver	(666-3695)

Toll-free access to the regional statistical information service is provided in Nova Scotia, New Brunswick, and Prince Edward Island by telephoning 1-800-565-7192. Throughout Saskatchewan, the Regina office can be reached by dialing 1-800-667-3524, and throughout Alberta, the Edmonton office can be reached by dialing 1-800-222-6400.

Nota

On peut se procurer cette publication, ainsi que toutes les publications du gouvernement du Canada, auprès des agents autorisés locaux, dans les librairies ordinaires ou par la poste.

Les commandes par la poste devront parvenir à Distribution des publications, Statistique Canada, Ottawa, K1A 0T6, ou à Imprimerie et édition, Approvisionnement et services Canada, Ottawa, K1A 0S9.

Toutes demandes de renseignements sur la présente publication doivent être adressées à:

Bureau du conseiller supérieur en intégration,

Statistique Canada, Ottawa, K1A 0T6 (téléphone: 992-4571) ou à un bureau local de la Division de l'assistance-utilisateurs situé aux endroits suivants:

St. John's (T.-N.)	(726-0713)
Halifax	(426-5331)
Montréal	(283-5725)
Ottawa	(992-4734)
Toronto	(966-6586)
Winnipeg	(949-4020)
Regina	(569-5405)
Edmonton	(425-5052)
Vancouver	(666-3695)

On peut obtenir une communication gratuite avec le service régional d'information statistique de la Nouvelle-Écosse, du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard en composant 1-800-565-7192. En Saskatchewan, on peut communiquer avec le bureau régional de Regina en composant 1-800-667-3524, et en Alberta, avec le bureau d'Edmonton au numéro 1-800-222-6400.

Statistics Canada
Office of the Senior Adviser
on Integration

Statistique Canada
Bureau du conseiller supérieur
en intégration

Towards a comprehensive framework for environmental statistics: A stress-response approach

1979

by David Rapport and
Anthony Friend

Projet d'établissement d'un système général d'information sur l'environnement au Canada: L'approche agression-réaction

1979

par David Rapport et
Anthony Friend

Published by authority of
The Minister of Industry, Trade and Commerce

Statistics Canada should be credited when
reproducing or quoting any part of this document

© Minister of Supply
and Services Canada 1979

May 1979
3-0001-507

Price: Canada, \$1.05
Other Countries, \$1.25

Catalogue 11-510

Ottawa

Publication autorisée par
le ministre de l'Industrie et du Commerce

Reproduction ou citation autorisées sous réserve
d'indication de la source: Statistique Canada

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1979

Mai 1979
3-0001-507

Prix: Canada, \$1.05
Autres pays, \$1.25

Catalogue 11-510

Ottawa

Preface

These papers are the outgrowth of our collaboration over a four-year period. They attempt a fusion of two usually diametrically opposite "mind-sets", that of the ecologist and the economist. To achieve that fusion, it was recognized that human activities (in their economic, political, social and demographic aspects) are but a subset of the total interrelationships in the biosphere, and thereby both influence and are influenced by transformations in the natural environment. Indeed, human activities are often a significant perturbation to natural systems and in this sense can be considered as "stresses" on these systems. These self-evident "truths" formed the antecedent considerations that led to the proposal of an integrated stress-response framework for environmental data.

Our efforts in this area have benefited considerably from the ideas and critical comments of colleagues in federal and provincial departments, universities, and particularly the Institute for Environmental Studies at the University of Toronto, with which D.J. Rapport is affiliated. A.M. Friend's paper benefited from his involvement as consultant to the Organization for Economic Co-operation and Development and his role as adviser to the United Nations Statistical Office on the Environment.

Professor Henry Regier, of the University of Toronto, played a key role in the development of the overall stress-response framework, having collaborated intensively with the authors over a four-year period. Without his active collaboration, it is fair to say that the framework would not have matured in the fashion that it has.

While the views expressed in these papers have been considered by the Interdepartmental Committee on Environmental Statistics and are published with its approval, responsibility for the contents of these papers rests with the authors.

We invite comments on these papers, particularly from those concerned with the implementation of environmental data systems throughout the many diverse regions of Canada, and from existing or potential users of environmental data. Such an interchange will undoubtedly contribute to establishing environmental information systems attuned to the complex of current and anticipated Canadian environmental concerns.

Préface

Ces études sont le fruit de quatre années de travaux communs. Nous avons tenté de concilier deux optiques d'ordinaire diamétralement opposées, celle de l'écologiste et celle de l'économiste. Pour ce faire, nous avons reconnu que les activités humaines (dans leurs caractéristiques économiques, politiques, sociales et démographiques) ne sont rien moins qu'un sous-ensemble des interrelations qui existent dans la biosphère et que, par conséquent, elles influent sur l'évolution du milieu naturel et sont marquées par les transformations que celui-ci subit. En fait, l'action de l'homme perturbe souvent de façon appréciable l'équilibre des écosystèmes naturels et peut, sous cet angle, être considérée comme une "source d'agression". C'est en constatant ces faits évidents que nous avons eu l'idée d'établir un cadre destiné à la production de données sur les effets de l'activité humaine sur l'environnement.

Nous tenons à souligner l'apport précieux de nos collègues des ministères fédéraux et provinciaux, des universités et plus particulièrement du *Institute for Environmental Studies* de l'Université de Toronto, auquel D.J. Rapport est affilié. En outre, A.M. Friend a enrichi son étude des connaissances qu'il a acquises à titre de conseiller auprès de l'Organisation de coopération et de développement économiques et du Bureau de statistique dans le domaine de l'environnement des Nations Unies.

Le professeur Henry Regier de l'Université de Toronto a joué un rôle primordial dans l'élaboration de l'approche globale agression-réaction, ayant participé activement au travail des auteurs pendant quatre ans. Il est juste d'affirmer que sans son apport, notre système n'aurait pas atteint le niveau de qualité que nous lui connaissons aujourd'hui.

Les opinions exprimées dans ces documents ont été examinées par le Comité interministériel de la statistique de l'environnement et sont publiées avec son approbation, mais la responsabilité de leur contenu revient aux auteurs.

Nous invitons les lecteurs à faire des commentaires à propos de ces documents, en particulier les utilisateurs actuels et éventuels des données de ce genre et les personnes de toutes les régions du Canada intéressées à la mise en oeuvre de systèmes d'information sur l'environnement. Les échanges favoriseront sans aucun doute l'établissement de systèmes d'information appropriés à l'ensemble des besoins actuels et futurs des Canadiens.

Table of Contents

Part	Page
I. The Need for Environmental Information, by David Rapport	7
II. Ecological Perspective and the Design of Environmental Information Systems, by David Rapport	27
III. Frameworks for Environmental Statistics: Recent Experience of Statistics Canada, by Anthony Friend	67

Table des matières

Partie	Page
I. Les besoins en données sur l'environnement, par David Rapport	7
II. L'élaboration de systèmes d'information sur l'environnement dans une perspective écologique, par David Rapport	27
III. Structures d'organisation de la statistique sur l'environnement: L'expérience récente de Statistique Canada, par Anthony Friend	67

Part I

The need for environmental
information

Partie I

Les besoins en données sur
l'environnement

TERMS OF REFERENCE

Statistics Canada has been involved in a dialogue with other departments over the past three years to explore possibilities for development of national environmental data. It was recognized at the outset that Statistics Canada's role would primarily be concerned with the development of statistical frameworks and the integration of and standardization of data provided by departments most directly concerned with environmental matters. Further, it was envisioned that at least some aspects of environmental data might eventually be linked with the base for economic data.¹ If this goal is eventually to be realized, Canada might have a suitably encompassing statistical framework with which to resolve some aspects of the complex economic-environmental issues which undoubtedly will continue to be a major focus of attention for some decades, if not centuries, to come.

One outgrowth of the initial seminar on environmental statistics held in 1973 was the formation of the permanent Interdepartmental Committee on Environmental Statistics. The committee's objectives were to specify the needs for environmental data, explore the existing sources of data, consider alternative statistical frameworks for organizing this information and recommend an appropriate environmental data framework for Canada. Many facets of the complex of issues relevant to such an ambitious task have been discussed by this committee over the past three years. Further, a number of consultant reports were prepared by Richard W. Judy Associates. Nevertheless, because of the inherent difficulties in pioneering a framework for environmental data and because the formulation of a satisfactory framework appears to require bridging the communications gap between social and natural sciences, many of the basic questions addressed at the outset of this inquiry have yet to be resolved. There remains the task of clearly specifying users' needs for environmental information both now and in the future. These users represent a rather diverse group of interests with continuously evolving transdisciplinary foci, all of which have data implications both for decision making and public information. Very generally, these interest groups include those concerned with environmental impact assessment, conservation and preservation, resource management, environmental rehabilitation, land use, regional planning, and environmental engineering.

¹ This prospect is particularly promising when it is recognized that economic and ecological systems can be viewed in terms of common principles of resource allocation. For a current review article on the transdisciplinary approach to ecology and economics, see D.J. Rapport and J.E. Turner, "Economic Models in Ecology", *Science*, Volume 195, pages 367 - 373, 1977.

RÔLE DE STATISTIQUE CANADA

Au cours des trois dernières années, Statistique Canada a examiné, en collaboration avec certains ministères, les possibilités de produire des données nationales sur l'environnement. Il a d'abord été établi que Statistique Canada se consacrerait principalement à l'élaboration de cadres statistiques ainsi qu'à l'intégration et à la normalisation des données fournies par les ministères qui s'occupent le plus directement des questions écologiques. De plus, on a envisagé la possibilité d'associer certains genres de données écologiques aux données économiques¹. Si ce couplage était un jour réalisé, le Canada disposerait d'un cadre statistique approprié pour résoudre certains aspects des problèmes économiques et écologiques complexes qui ne manqueraient pas de retenir l'attention de façon toute particulière pendant les décennies, voire les siècles, à venir.

L'un des résultats du premier colloque sur la statistique de l'environnement, qui a eu lieu en 1973, a été la formation du Comité interministériel permanent de la statistique de l'environnement. Les objectifs de ce comité étaient de déterminer les besoins en données sur l'environnement, d'étudier les sources de données existantes, d'examiner des cadres statistiques éventuels en vue de structurer l'information et de recommander un système approprié pour le Canada. Au cours des trois dernières années, le comité a discuté de nombreux points touchant cet ambitieux projet. En outre, un certain nombre de rapports d'experts-conseils ont été préparés par l'entreprise *Richard W. Judy Associates*. Néanmoins, il reste encore à régler bon nombre de questions fondamentales mentionnées au début de cette étude, vu que l'instauration d'un cadre satisfaisant comporte des difficultés et semble nécessiter la création d'un lien entre les sciences sociales et les sciences naturelles. Il faut également déterminer les besoins actuels et futurs des utilisateurs. Ceux-ci constituent un groupe assez diversifié dont les intérêts sont centrés sur des éléments de nature multidisciplinaire qui évoluent constamment et touchent à la fois les responsables politiques et le public. De façon très générale, ces intérêts portent sur l'évaluation des répercussions de l'activité humaine sur l'environnement, la conservation et la préservation, la gestion des ressources, la régénération de l'environnement, l'utilisation du sol, la planification régionale et le génie de l'environnement.

¹ Cette perspective est particulièrement prometteuse, si l'on tient compte du fait qu'il est possible de définir les systèmes économique et écologique, à partir de principes communs d'attribution des ressources. Il est question de l'application d'une méthode multidisciplinaire aux domaines de l'écologie et de l'économie dans un article de D.J. Rapport et J.E. Turner intitulé "*Economic Models in Ecology*", *Science*, volume 195, pages 367 - 373, 1977.

Once environmental data needs are identified, at least in a general way, there is the need for a systematic examination of existing or potential frameworks within which to organize the data required to meet users' needs. A number of initiatives already taken by the United Nations Statistical Commission, the Fisheries and Agricultural Organization, the World Health Organization, the United Nations Environmental Program and other international organizations, as well as the western European countries and the United States, merit consideration.²

Finally, taking into account users' needs, data availability and alternative frameworks, specific recommendations for an environmental data framework for Canada should be made. The sufficiency of the proposed framework could then be evaluated by considering its usefulness in providing information relating to specific local, regional, or national environmental issues.

In this paper the question of the needs for environmental data is addressed. It should be mentioned at the outset that the concern here is for data on the natural environment, including man-transformed landscapes, but not the special problems, largely of a human health nature, pertaining to urban centres. The urban environmental problems may be more appropriately addressed in the context of social indicator work on urban areas and human health.

NEEDS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION: AN HISTORICAL PERSPECTIVE

As was already mentioned, it is to be anticipated that the users of environmental data possess a wide spectrum of perspectives and objectives. Some are seeking a maximum sustained yield of renewable resources, others seek to preserve the environment in its natural or in some cases man-modified states, and still others seek modification of the environment along lines leading to a fruitful symbiotic relationship between man and nature. Thus with very different points of view among the potential users of the data it is clear at the outset that the data must be in a form as value neutral as possible and sufficiently encompassing to accommodate the expected continued rapid evolution of thinking in this area.

To meet an obvious general requirement for data unprejudiced to users' biases, the data must be

² For a review of the efforts of international organizations in the development of environmental data, see United Nations Statistical Commission, 1976, *Co-ordination of Environmental Statistics*, E/CN.3/491.

Après avoir déterminé, au moins de façon générale, les besoins en données, il importe d'examiner systématiquement les cadres actuels ou éventuels au sein desquels les données requises pourraient être structurées. Il vaut la peine d'étudier un certain nombre d'initiatives déjà prises par la Commission de statistique des Nations Unies, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'Organisation mondiale de la santé, le Programme des Nations Unies pour l'environnement et d'autres organisations internationales ainsi que par les pays d'Europe occidentale et les États-Unis².

Enfin, compte tenu des besoins des utilisateurs, des sources de renseignements existantes et des cadres éventuels, il faudra formuler des recommandations précises quant à l'élaboration d'un système canadien d'information sur l'environnement. On pourra ensuite évaluer la qualité du système proposé en jugeant de son efficacité à fournir des données sur des questions précises d'intérêt local, régional ou national.

Dans ce document, nous traiterons des besoins en données sur l'environnement. Il convient de mentionner dès le départ que les données auxquelles nous nous intéressons portent sur les milieux naturels, dont ceux qui ont été transformés par l'homme, mais non sur les problèmes associés en grande partie à la santé de l'homme, qui se posent dans les centres urbains. Les problèmes écologiques de cette nature sont sans doute traités de façon mieux appropriée dans le cadre d'études sociologiques sur les villes et la santé humaine.

BESOINS EN DONNÉES SUR L'ENVIRONNEMENT: PERSPECTIVE CHRONOLOGIQUE

Comme nous l'avons déjà mentionné, il est probable que les utilisateurs auront des intérêts et des objectifs très diversifiés. Certains aspirent à maximiser le rendement des ressources renouvelables, d'autres à préserver l'environnement dans son état naturel ou, dans certains cas, artificiel et d'autres, enfin, cherchent à modifier l'environnement de façon à créer des relations symbiotiques fructueuses entre l'homme et la nature. Il est clair, vu la diversité des points de vue des utilisateurs éventuels, que les données doivent être aussi neutres que possible et suffisamment complètes pour suivre l'évolution de la pensée, qui sera sans doute rapide.

Pour répondre à un besoin général évident, les données doivent rendre compte objectivement de l'état des milieux

² Pour avoir un aperçu des travaux accomplis par les organisations internationales, consulter le document de la Commission de statistique des Nations Unies, 1976, intitulé *Coordination des statistiques de l'environnement*, E/CN.3/491, 1976.

concerned with the objective measurement of the state of natural ecosystems and various human-transformed systems, focussing on factors which give rise to changes in the state of the system.

The central idea common to many potential classes of data users appears to be best expressed in the somewhat abstract mathematical language of a branch of topology known appropriately enough as catastrophe theory. This theory developed by the French geometer René Thom is concerned with the transformation of complex systems.³ These transformations of state can arise by internal dynamics of the system or by the action of external forces. The important point, however, is that system transformations may be gradual over some range and then reach a threshold which if passed may result in sudden, sometimes discontinuous and often irreversible changes in the state of the system. With sufficient understanding of the determinants of the state of natural systems and the agents causing stress or modification of the system, the potential to manage the system according to currently perceived social objectives becomes feasible.

The capability for making prudent decisions in this area is, of course, limited by the quality of the information available. Environmental decisions have more often than not been made with insufficient data, often collected in a fragmentary and piecemeal manner by different agencies concerned with rather narrow aspects of environmental problems. The converse of data paucity, namely superabundance of environmental information may also seriously hamper effective environmental management. Decision makers have in some cases been so swamped with undigested environmental information that they may be unable to effectively utilize such inputs.⁴ In such cases decision makers may become immune to information inputs and simply rely on their own preconceptions.

The urgency of providing comprehensive environmental data today and the reasons why this need has not been met earlier are best assessed in reference to historical perspectives of man's interactions with his natural environment. As is the case with any colonizing species, man transforms and alters the structure of ecosystems which he colonizes. Some of these

naturels et de divers milieux transformés par l'homme et s'attacher aux facteurs qui provoquent leur évolution.

Pour illustrer le mieux possible le point de vue que partagent de nombreux utilisateurs éventuels, nous allons recourir au langage mathématique un peu abstrait d'une branche de la topologie connue sous le nom passablement approprié de "théorie de la catastrophe". Cette théorie, conçue par le géomètre français René Thom, porte sur la transformation des systèmes complexes³. Les transformations peuvent résulter de l'application de forces internes ou externes. Mais, fait important, elles seront graduelles jusqu'à un certain seuil au-delà duquel des phénomènes soudains, parfois discontinus et souvent irréversibles peuvent se produire. En connaissant suffisamment bien les déterminants de l'état d'un système naturel et les agents qui le perturbent ou le modifient, il devient possible de diriger l'évolution du système dans le sens fixé par la société.

La qualité des renseignements fixe les limites de la sagesse dans ce domaine. Les décisions ont plus souvent qu'autrement été prises à la lumière de données insuffisantes et fragmentaires recueillies, dans bien des cas, par différents organismes intéressés à des aspects plutôt particuliers de problèmes écologiques. Par contre, la surabondance des données peut également compromettre sérieusement l'efficacité de la gestion de l'environnement. Dans certains cas, les responsables politiques sont littéralement submergés par des flots d'informations non assimilées et ils peuvent ainsi être incapables de les utiliser efficacement⁴. Ils arrivent alors à perdre tout intérêt pour les sources extérieures et à se fier simplement à leurs idées préconçues.

Pour mieux voir à quel point il est impérieux de produire des données exhaustives sur l'environnement et mieux déceler les raisons pour lesquelles on n'a pas encore répondu à ce besoin, nous ferons une rétrospective des relations entre l'homme et son milieu naturel. À l'instar de tout colonisateur, l'homme transforme la structure des écosystèmes qu'il colonise. Certaines transformations ont sans contredit été

³ R. Thom, in *Towards a Theoretical Biology*, C.H. Waddington, ed., (Chicago, Aldine Publishing Co., 1972). For more ecological applications of these general concepts see C.S. Holling, "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, Volume 4, pages 1 - 23, 1973.

⁴ Recent experience in chemical monitoring of the Great Lakes attests to this. The large number of man-made chemicals in these waters renders the chemical-by-chemical monitoring approach expensive, cumbersome, and of questionable value in gaining overall perspectives of environmental transformations.

³ Thom, R., *Towards a Theoretical Biology*, C.H. Waddington (Chicago, Aldine Publishing Co., 1972). Les lecteurs désireux de connaître d'autres applications de ces concepts généraux à l'écologie voudront bien consulter C.S. Holling, "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, volume 4, pages 1 - 23, 1973.

⁴ Une expérience tentée récemment en vue d'analyser la composition chimique des eaux des Grands Lacs atteste ce fait. Vu le grand nombre de produits chimiques synthétiques contenus dans ces eaux, il est coûteux et fastidieux de procéder à une analyse de chacun d'eux. De plus, les données globales qu'on peut en tirer au sujet des transformations produites sont d'une qualité douteuse.

alterations have been unquestionably necessary for his survival. The clearing of forests and draining of swamps has permitted the rise of civilization as we know it today. Further, land transformations may give rise to a rather pleasing landscape from man's point of view such as the hedge landscapes in the English countryside. Nevertheless, man's activities have also given rise in some cases to degraded environments. Environmental deterioration as a result of human activities is apparently as old as human history. For example, Plato records how the ancient city of Attica became "a skeleton of a body wasted by disease due to overgrazing the land and severe deforestation" as a result of human activities.⁵

Although in the not too distant past, man could easily escape a degraded environment by "moving on", today man is fast running out of new frontiers where he can escape the adverse effects of his activities. Indeed, hazardous substances are circulated globally in the earth's atmosphere and waters and there is virtually no ecosystem free of some form of contamination. Further, some of these contaminants (e.g., DDT and lead), are known to adversely affect the health of man and the ecosystems upon which he is dependent. The effects of many other pollutants upon man as well as the millions of other species with whom we share this planet are unknown but properly a matter of grave concern.

Even relatively benign landscape transformations are of increasing concern because technology is permitting vastly expanded scales of operation. For example, the forests of the Amazon basin are yielding up to 100 000 square kilometres per year of virgin forest to cultivated lands for livestock and crops.⁶ What effect will this massive deforestation have on the world's oxygen supply and weather systems?

One indicator, although admittedly indirect, of man's burgeoning impact on his environment is the increase in the rate of species extinction since the period of catastrophic extinctions during the end of the age of dinosaurs. While the estimate for that period is one species per thousand years, the estimate for 1600 - 1950 is one species every ten years, and the current rate is in the neighborhood of one species per year. With continued large scale transformation of regions such as the South American forests, the species extinction rate is expected to rise even further.⁷

The concern with the increasing rate and scope of transformations of ecosystems was reflected at the

nécessaires à sa survie. Le déboisement des forêts et l'assèchement des marécages ont permis à la civilisation de devenir ce qu'elle est aujourd'hui. De plus, la transformation du sol peut donner naissance à des paysages plutôt agréables à l'oeil, selon les critères de l'homme, comme ceux de la campagne anglaise. Dans certains cas, néanmoins, les activités humaines peuvent également provoquer une dégradation de l'environnement. Ce phénomène est, semble-t-il, aussi vieux que le monde. Par exemple, Platon relate comment la ville ancienne d'Attique est devenue un squelette, un corps ravagé par la maladie, à cause du surpâturage et du déboisement massif dont l'homme est responsable⁵.

Il n'y a pas si longtemps, l'homme pouvait facilement échapper à un milieu en proie à la dégradation en allant ailleurs; aujourd'hui, par contre, ses possibilités de conquérir de nouveaux espaces s'épuisent rapidement. En effet, des substances dangereuses se répandent dans l'atmosphère et les eaux de toute la planète, et il n'y a pour ainsi dire aucun écosystème épargné par la contamination sous une forme ou une autre. En outre, certains contaminants (par ex., le DDT et le plomb) nuisent, on le sait, à la santé de l'homme et à l'équilibre des écosystèmes dont celui-ci dépend. Nous ne connaissons pas les effets de bon nombre d'autres agents polluants sur l'homme ainsi que sur les millions d'autres espèces peuplant la planète, mais il y a lieu de s'inquiéter.

Même les transformations relativement bénignes ont une importance de plus en plus grande, car la technologie permet d'élargir considérablement le théâtre des opérations. Dans le bassin de l'Amazone, par exemple, on convertit chaque année jusqu'à 100 000 kilomètres carrés de forêts vierges en pâturages et en terres cultivées⁶. Quel sera, à l'échelle mondiale, l'effet de ce déboisement massif sur la production d'oxygène et sur les conditions climatiques?

Un phénomène témoigne, quoique indirectement, des répercussions de plus en plus fortes de l'activité humaine sur l'environnement: l'augmentation du taux d'extinction des espèces animales depuis la fin de l'ère des dinosaures, période caractérisée par un rythme d'extinction catastrophique. On estime le taux pour toute la période à une espèce tous les mille ans; de 1600 - 1950, il a disparu une espèce tous les dix ans et aujourd'hui, on constate une extinction par année environ. Le taux d'extinction devrait s'accroître encore davantage en raison de la transformation à grande échelle de régions telles les forêts d'Amérique du Sud⁷.

Lors de la conférence sur l'environnement de l'homme tenue à Stockholm en 1972, il a été question de l'augmen-

⁵ R. Dubos, "Symbiosis between Earth and Human Kind", *Science*, Volume 193, pages 459 - 462, 1976.

⁶ N. Meyers, "An Expanded Approach to the Problem of Disappearing Species", *Science*, Volume 193, pages 198 - 202, 1976.

⁷ *Ibid.*

⁵ Dubos, R., "Symbiosis between Earth and Human Kind", *Science*, volume 193, pages 459 - 462, 1976.

⁶ Meyers, N., "An Expanded Approach to the Problem of Disappearing Species", *Science*, volume 193, pages 198 - 202, 1976.

⁷ *Ibid.*

1972 Stockholm conference on the human environment. The conference declaration encouraged nations to initiate a wide range of action programs geared to the amelioration of the worrisome environmental conditions.⁸ Statistics Canada might serve a useful and essential role in such endeavours by the development of a suitable integrated framework for environmental data.

Concern with Canada's environmental problems requires the development of a comprehensive environmental data system to better record and evaluate our transactions with nature. Prime Minister Trudeau argued that "the human community is a complex organism, linked again and again within itself as well as with the biosphere upon which it is totally dependent for life. This interdependency demands of us . . . the maintenance of an equilibrium among all our activities whatever their nature. . . ."⁹

Canada's environmental legislation has attempted to translate these ideals into concrete regulations for ameliorating environmental conditions. The Environmental Contaminants Act permits the government to prohibit or restrict the manufacture or release into the environment of certain dangerous substances. The Fisheries Act prohibits more specifically the deposit of deleterious substances in aquatic systems, while the Clean Air Act limits the quantity of lead and other contaminants that can be dispersed into the atmosphere. However, as a reflection of the lack of a comprehensive framework for environmental data, these piecemeal, fragmentary legislative approaches, perhaps ignore the problems of regulating the entire complex of stressors which may impinge synergistically and sometimes antagonistically upon a given ecosystem.

Unfortunately, despite progressive environmental legislation, there is every prospect for increasing tension between economic objectives and environmental quality objectives. Population growth and the desire of the world's poor to have a higher material

tation du rythme et de l'envergure des transformations subies par les écosystèmes. Les recommandations formulées à cette occasion préconisaient que les nations amorcent une vaste gamme de programmes visant à améliorer les conditions alarmantes de l'environnement⁸. Dans ce cadre, Statistique Canada pourrait jouer un rôle prépondérant en établissant un système approprié à l'intégration des données sur l'environnement.

L'étude des problèmes écologiques qui se posent au Canada nécessite la mise au point d'un système exhaustif de données sur l'environnement, qui permettra de mieux observer et évaluer nos relations avec le milieu naturel. Le Premier ministre Trudeau a déclaré que l'humanité est un organisme complexe dont toutes les cellules sont liées entre elles et avec la biosphère dont leur vie dépend entièrement. Cette interdépendance exige que nous assurions un équilibre permanent entre toutes nos activités quelle que soit leur nature⁹.

Dans leurs lois sur l'environnement, les législateurs canadiens ont tenté de traduire ces idéaux de façon concrète sous forme de règlements destinés à améliorer la qualité de l'environnement. En vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement, le gouvernement peut interdire ou restreindre la fabrication ou l'émission de certaines substances dangereuses. La Loi des pêcheries interdit plus précisément le dépôt de substances délétères dans les milieux aquatiques, tandis que la Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique limite la quantité de plomb et d'autres contaminants qui peuvent être émis dans l'atmosphère. Toutefois, ces mesures législatives fragmentaires ne tiennent peut-être pas compte des problèmes liés à la réglementation de l'ensemble des sources d'agression qui peuvent avoir des effets synergétiques et parfois contraires sur un écosystème donné. Cette lacune s'explique par le fait qu'il n'existe pas de système d'information exhaustif sur l'environnement.

Malheureusement, en dépit de l'évolution des lois en matière d'environnement, il y a tout lieu de croire que les conflits entre les intérêts économiques et les intérêts écologiques vont s'accroître. En effet, l'accroissement démographique et la volonté des plus démunis d'accéder à un

⁸ These programs, as perceived by Canada, have rather extensive environmental data requirements including: a comprehensive resource inventory; the establishment of environmental quality objectives; and a registry of clean waters. See Environment Canada. "Canada's Environment: A Framework for Action", June 1975.

⁹ (March 13, 1975, London, England.) Similar sentiments were expressed in the Prime Minister's address a year earlier at Duke University where he stated "In 1974, we know that the resilience of this planet and its population is limited and, in some respects close to exhaustion. . . . The new responsibility . . . must extend to all space and through all time . . . it encompasses the physical planet and all its ingredients - water and air, non-renewable resources, living organisms. . . . This new maturity requires new values. Foremost among them is an acceptance that economic growth is no longer a goal to be isolated from the general aims of mankind".

⁸ Pour ce qui est du Canada, la réalisation de ces programmes nécessite un éventail plutôt vaste de données sur l'environnement dont: un répertoire exhaustif des ressources, des objectifs en matière de qualité de l'environnement et un registre des eaux propres. Consulter le document *Cadre d'action pour l'environnement canadien*, Pêches et Environnement Canada, juin 1975.

⁹ (Extrait d'une allocution prononcée le 13 mars 1975 à Londres, en Angleterre.) Dans une allocution prononcée un an auparavant à l'Université Duke, le Premier ministre Trudeau a déclaré que nous savons aujourd'hui que la faculté de récupération de la planète et de ses habitants est limitée et que, à certains égards, nous avons presque atteint le point de non-retour. L'homme doit maintenant et pour toujours assumer une nouvelle responsabilité: celle de la planète tout entière et de tout ce qui la compose - l'eau et l'air, les ressources non renouvelables, les organismes vivants, etc. Cette nouvelle maturité nécessite l'acquisition de nouvelles valeurs. En premier lieu, il faut accepter que l'essor économique ne soit plus un objectif distinct des objectifs généraux de l'humanité.

standard of living,¹⁰ coupled with dwindling supplies of non-renewable resources and endangered stocks of some critical renewable resources will make trade-offs increasingly difficult between material needs and environmental objectives.¹¹ The exhaustion of the most productive and accessible resource bases will encourage the exploration and transformation of ecosystems less accessible and perhaps more fragile (e.g., the deep sea and the tundra). Recent advisory reports by the United States National Research Council indeed portray a rather significant intensification of the conflict between economic and environmental objectives.

Given the present level of technology and what may reasonably be expected to evolve over the next decades, and given the prevailing view that materials consumption is the way to a better life, the facts indicate (1) materials throughput will double, and then double again, over the next 30 or 40 years (2) the quality of ores and other natural resources will decline and readily available sources be exhausted (3) only by increased use of energy per unit of output and per capital will the intensity of materials throughput be maintained (4) the environmental stress per unit of production will increase correspondingly.¹²

Environmental costs of materials supply, already severe, will increase still further in the absence of firm and continuing precautions, and perhaps even with them to produce, fabricate and dispose of wastes from ever larger quantities of metals obtained from ever leaner deposits demands ever larger investments of energy and creates growing potential for damage to all aspects of our environment, above, and below the land surface, including living organisms. Conservation measures are needed, not only to stretch our resources but to restore, protect and perpetuate a livable human habitat.¹³

These considerations suggest that comprehensive environmental data are needed in order to: (1) properly assess environmental - economic trade-offs (2) indicate areas in which new or modified environmental legislation is required (3) enable the public to

niveau de vie plus élevé¹⁰, d'une part, la diminution des réserves de ressources non renouvelables et la menace qui pèse sur les réserves de certaines ressources renouvelables essentielles, d'autre part, rendront les compromis de plus en plus difficiles entre les besoins matériels et les objectifs écologiques¹¹. L'épuisement des ressources les plus abondantes et les plus accessibles entraînera l'exploration et la transformation d'écosystèmes moins accessibles et peut-être plus fragiles (par ex., les eaux profondes et la toundra). De récents rapports consultatifs effectués par le *United States National Research Council* font voir que les conflits entre les intérêts économiques et écologiques s'intensifient de manière assez sensible.

On peut y lire que, compte tenu de l'état d'avancement actuel de la technologie et des progrès auxquels on peut s'attendre au cours des prochaines décennies et vu que la consommation de biens matériels est, dans l'esprit de la plupart des gens, le gage d'une vie meilleure (1) la consommation de matières va doubler, et doubler encore, au cours des trente ou quarante prochaines années (2) la qualité des minerais et des autres ressources naturelles va diminuer et les ressources directement exploitables vont s'épuiser (3) la productivité ne pourra être maintenue que par l'accroissement de l'énergie consommée par unité de production et de capital et, enfin (4) le déséquilibre écologique par unité de production va augmenter en conséquence¹².

Les effets déjà fâcheux de la production de matériaux vont s'accroître, faute de mesures énergiques et permanentes. Et même si des dispositions étaient prises, il se pourrait que la production et la fabrication, ainsi que l'évacuation des déchets, à partir de quantités de plus en plus grandes de métaux provenant de dépôts de moins en moins abondants, nécessitent un apport d'énergie de plus en plus considérable et risquent de plus en plus de détériorer l'environnement sous tous ses aspects, au-dessus et au-dessous de la surface de la terre, et de mettre en danger les organismes vivants. Il importe de prendre des mesures de conservation, non seulement pour faire durer nos ressources, mais également pour régénérer et protéger l'habitat humain et pour assurer sa survie¹³.

Ces observations nous font voir qu'il est nécessaire de produire des données exhaustives sur l'environnement afin de (1) bien évaluer les compromis qu'il faut faire entre les intérêts écologiques et économiques (2) déterminer les secteurs dans lesquels il convient d'adopter des lois en

¹⁰ N. Keyfitz, "World Resources and the World Middle Class", *Scientific American*, Volume 235, No. 1, pages 28 - 35, July 1976.

¹¹ R.A. Carpenter, "Tension Between Material and Environmental Quality", *Science*, Volume 193, pages 665 - 668, 1976.

¹² Study Committee on Environmental Aspects of a National Materials Policy, *Man, Materials and Environment*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1973.

¹³ National Materials Advisory Board, *Elements of a National Materials Policy NMAB-294*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1972.

¹⁰ Keyfitz, N., "World Resources and the World Middle Class", *Scientific American*, volume 235, n° 1, pages 28 - 35, juillet 1976.

¹¹ Carpenter, R.A., "Tension Between Material and Environmental Quality", *Science*, volume 193, pages 665 - 668, 1976.

¹² Study Committee on Environmental Aspects of a National Materials Policy, *Man, Materials and Environment*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1973.

¹³ National Materials Advisory Board, *Elements of a National Materials Policy NMAB-294*, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1972.

evaluate the "quality" of the environment and (4) preserve and rehabilitate endangered ecosystems.

To meet these objectives, environmental data must be capable of yielding information not only on the state of the environment but also on the dynamic processes (stress forces) which are changing the environment, and the dynamics of environmental response to stress. In terms of environmental responses to stress, it is desirable to document where possible thresholds of instability in natural communities, and identify systems undergoing chronic as well as acute stress.

NEEDS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION: AN ECOLOGICAL PERSPECTIVE

Potential users of environmental data, as already mentioned, possess a broad range of environmental objectives, and can be expected to have overlapping and interrelated environmental concerns. Their data needs can be gleaned from two approaches. One method would be to survey the actual biological monitoring activities which are taking place and classify these activities according to the types of data collected as well as according to the various types of environmental interests which prompted the environmental monitoring activities.¹⁴ A study of this sort was recently completed for United States monitoring activities by the United States Council on Environmental Quality. A second mode of determining data requirements would be to consider the kinds of information most relevant to the concerns of potential users. I opt for the second approach for it is free from existing biases which govern current environmental monitoring practices.¹⁵

I consider here the need for environmental information arising from the areas of environmental impact assessment, conservation, resource management, and regional planning.

Environmental Impact Assessment

The goals of environmental impact assessment are to predict the impact of socio-economic projects upon those aspects of the environment which are considered "valuable". The early prototypes of

¹⁴ This monitoring activity, however, may reflect the inadequacy of existing conceptual frameworks and monitoring techniques.

¹⁵ H.H. Harvey, "Aquatic Environmental Quality: Problems and Proposals", *Journal of Fisheries Research Board, Canada*, Volume 33, pages 2634 - 2670, 1976.

matière d'environnement ou de modifier celles qui existent déjà (3) permettre au public d'évaluer la qualité de l'environnement et (4) préserver et régénérer les écosystèmes dont l'équilibre est menacé.

Pour atteindre ces objectifs, il faut que les données traitent non seulement de l'état des milieux naturels, mais également des mécanismes (agents d'agression) qui transforment l'environnement et des réactions de l'environnement à ces transformations. À cet égard, il est souhaitable de produire dans la mesure du possible des données sur les seuils d'instabilité des milieux naturels et de déterminer quels sont les écosystèmes qui subissent des transformations chroniques et aiguës.

BESOINS EN DONNÉES SUR L'ENVIRONNEMENT: PERSPECTIVE ÉCOLOGIQUE

Comme nous l'avons déjà mentionné, les utilisateurs éventuels de données sur l'environnement ont des objectifs diversifiés et peuvent manifester des intérêts communs ou connexes. Deux méthodes permettent de déterminer leurs besoins en données. L'une consiste à examiner les activités biologiques de surveillance qui ont vraiment lieu et à les classer selon les catégories d'informations recueillies et les divers genres d'intérêts qui leur ont donné naissance¹⁴. Une étude de ce genre a récemment été effectuée par le *United States Council on Environment Quality*. L'autre méthode consiste à étudier les catégories de données les mieux appropriées aux intérêts des utilisateurs éventuels. Quant à moi, j'opte pour cette dernière méthode, car elle ne comporte pas les biais que l'on retrouve actuelle dans les méthodes de surveillance de l'environnement¹⁵.

J'étudierai ici les besoins en données concernant l'évaluation des répercussions de l'activité humaine sur l'environnement, la conservation, la gestion des ressources et la planification régionale.

Évaluation des répercussions de l'activité humaine sur l'environnement

L'évaluation des effets de l'activité humaine sur l'environnement vise à prévoir les répercussions des activités socio-économiques sur les aspects de l'environnement jugés utiles. Les premières analyses effectuées dans ce domaine traitaient

¹⁴ Ces activités de surveillance peuvent cependant refléter l'imperfection des cadres théoriques existants et des techniques de surveillance.

¹⁵ Harvey, H.H., "Qualité de l'environnement aquatique: Problèmes et suggestions", *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, volume 33, pages 2634 - 2670, 1976.

impact statements often dealt rather superficially with this question. Many contained elaborate lists of biological species found in the area and commented on the more obvious modifications of the landscape to be expected as a consequence of undertaking a project. Some statements of environmental impact even today go little beyond this format and rather than serve as a tool for evaluating the desirability of a project or as a basis for project modification, they attempt to improve public relations and justify a project already approved. However, increasingly more sophisticated analysis are being called for. These involve an assessment of the structure and function of the ecological systems affected by the project with a view towards determining how these basic aspects of ecosystems might be altered. Two fundamental needs for environmental data stem from this concern. First is the need to provide "baseline" data for representative natural environments (boreal forest, tundra, etc.). Second is the need to monitor cultural and natural stresses and ecosystem responses to these stresses, for example, departures from baseline states.

To give an example of the kind of data required to describe ecosystem responses to stress, consider possible parameters representing the state of a lake ecosystem. The most common indicators of dissolved oxygen - total phosphate concentration, primary biomass and water transparency are considered.¹⁶ Odum and Cooley have suggested that indices which integrate information about community processes are far better indicators of ecosystem health than are the kinds of data simply describing the state of the system. Traditional measures for aquatic ecosystems, such as dissolved oxygen, dissolved phosphate, and phytoplankton biomass, while yielding information on the state of the system fail to capture the more crucial dynamic features of the ecosystem. Process orientated indicators, such as diurnal oxygen metabolism and phosphate turnover rates, should be given equal emphasis. For example, supplementing dissolved oxygen measures with diurnal oxygen metabolism permits insight into the net interaction of community photosynthesis and respiration which indicates "whether the aquatic community is autotrophic, heterotrophic, or roughly steady state, information that would be very important in judging the potential impact of a producer that might increase the input of organic matter or change the temperature of the water".¹⁷

souvent de cette question de façon plutôt superficielle. Nombre d'entre elles contenaient des listes complètes des espèces biologiques trouvées dans un milieu donné et faisaient état des transformations physiques les plus évidentes susceptibles de se produire suite à la réalisation d'un projet. Aujourd'hui encore, certaines études de ce genre ne sont guère plus approfondies et, au lieu de servir à évaluer l'opportunité de réaliser ou de modifier un projet, elles ont pour but d'améliorer les relations publiques et de justifier le bien-fondé d'un projet déjà approuvé. Toutefois, il faudra à l'avenir disposer d'analyses de plus en plus approfondies, qui comportent une évaluation de la structure et des fonctions des écosystèmes en cause, visant à déterminer comment leur équilibre pourrait être perturbé. Cette question entraîne deux besoins fondamentaux: premièrement, produire des données sur l'état initial des milieux naturels représentatifs (forêts boréales, toundra, etc.) et deuxièmement, examiner les effets des activités culturelles et des phénomènes naturels sur l'environnement, ainsi que les réactions des écosystèmes, par exemple étudier les transformations subies par ces derniers par rapport à leur état initial.

Pour faire voir le genre de données nécessaires à l'analyse des réactions des écosystèmes à l'agression, nous allons étudier certains des éléments révélateurs de l'état d'un écosystème lacustre. Les indices les plus communs de la dissolution de l'oxygène, soit la concentration totale de phosphate, la biomasse primaire et la transparence de l'eau, sont pris en compte¹⁶. M.M. Odum et Cooley estiment que les informations qui font état des transformations des écosystèmes sont des indicateurs de leur vitalité de loin supérieurs aux données qui ne décrivent que leur état. Les mesures traditionnelles de la qualité des milieux aquatiques, comme la quantité d'oxygène et de phosphate dissous et les caractéristiques de la biomasse de phytoplancton, nous renseignent sur l'état d'un système, mais non sur son évaluation, ce qui est plus important. Il faut accorder autant d'importance aux indicateurs dynamiques, comme le cycle diurne de l'oxygène et les taux de renouvellement du phosphate, qu'aux indicateurs statiques. Par exemple, si l'on étoffe les données sur la quantité d'oxygène dissous au moyen de données sur le cycle diurne de l'oxygène, on peut analyser les corrélations entre la photosynthèse et la respiration, qui montrent si la communauté aquatique est autotrophe, hétérotrophe ou stable, ce qui constitue un élément d'information très important dans l'évaluation des effets éventuels d'un agent de production susceptible d'accroître la production de substances organiques ou de faire varier la température de l'eau¹⁷.

¹⁶ A description of the more widely used indices of aquatic environmental transformations can be found in F. Hooper, "Indices for Ecosystem Change" in *Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives* from the proceedings of a symposium of the National Academy of Sciences, Washington, 1969.

¹⁷ E.P. Odum, and V.L. Cooley, "Ecosystem Profile Analysis and Performance - Curves as Tools for Assessing Environmental Impact" in *Symposium on Environmental Impact*, Council on Environmental Quality, forthcoming.

¹⁶ Les lecteurs désireux de se renseigner au sujet des indicateurs les plus courants des transformations subies par les milieux aquatiques voudront bien consulter l'étude de F. Hooper, "Indices for Ecosystem Change in Eutrophication: Cause, Consequences, Correctives". Cette étude est le fruit d'un symposium de la *National Academy of Sciences* tenu à Washington en 1969.

¹⁷ Odum, E.P., et Cooley, V.L., "Ecosystem Profile Analysis and Performance - Curves as Tools for Assessing Environmental Impact", tiré de *Symposium on Environmental Impact*, Council on Environmental Quality, à paraître.

Data documenting the nature of the stresses from human activities which tend to transform natural systems provide a balanced component to the stress-response approach to environmental information. Often the project being evaluated in an impact assessment context would likely contribute additional stress on natural systems. The significance of this stress can only be properly evaluated with the knowledge of the extent to which other stresses already impinge on the same ecosystem. This is an extremely important, though often neglected point since interacting stressors often alter ecosystems in ways qualitatively different from their single effects.¹⁸

Conservation

Conservationists are dedicated to preserve ecologically important resources. Generally their focus has been at the species level and has resulted in publicizing threatened and endangered species. However, it is increasingly being recognized that the preservation of species habitats may be more critical than concern with population numbers of individual species.¹⁹ With accumulating knowledge on the habitat requirements of species, it should become feasible to designate the proper types and size of ecological reserves. This effort would call for a rather extensive habitat mapping component to the environmental data set.

To serve the overall goals of conservation or protection of species and habitats, a directory of all reserved land protected from human activities of various types would be desirable. This directory should be organized in terms of major ecological zones so that the extent to which representative habitats in each zone are adequately protected could be determined. The data requirements should entail sophisticated spatial analysis of the configuration and location of ecological reserves since it is well recognized that the degree of protection afforded a particular group of species is a function, not only of the size of the preserved area, but also of its configuration, the existence of similar areas which could serve as "stepping stones" for recolonization processes (to counteract local populations extinctions), and the location of corridors linking various

Les données sur la nature des sources d'agression d'origine humaine qui ont tendance à transformer les milieux naturels contrebalancent les données sur les réactions de l'environnement à l'activité humaine. Il arrive souvent que les projets qui font l'objet d'une évaluation constituent une menace supplémentaire. Pour bien évaluer l'importance de leurs répercussions, il importe de savoir dans quelle mesure d'autres agents perturbent déjà l'écosystème en cause. Bien qu'il soit fréquemment négligé, cet élément est très important, car les effets globaux de facteurs interdépendants sont souvent différents, d'un point de vue qualitatif, de leurs effets distincts¹⁸.

Conservation

Les partisans de la conservation veulent préserver les ressources importantes sur le plan écologique. En général, ils s'intéressent surtout aux espèces; pour cette raison, ils ont fait connaître au public les espèces menacées d'extinction. Toutefois, de plus en plus de gens reconnaissent que la préservation des habitats peut être plus importante que celle des unités d'une même espèce¹⁹. En acquérant des connaissances sur les besoins des espèces quant à leur habitat, on devrait pouvoir déterminer le genre et la taille des réserves appropriées. Cela nécessiterait que l'on incorpore à la base de données des cartes géographiques assez complètes des habitats des espèces animales.

Pour atteindre les objectifs globaux de conservation ou de protection des espèces et des habitats, il serait bon de constituer un répertoire de toutes les zones de protection à l'abri des effets des activités humaines de divers types. Ce répertoire devrait être structuré selon les grandes zones écologiques de sorte que l'on puisse déterminer la mesure dans laquelle les habitats représentatifs de chaque zone sont bien protégés. Les données requises devraient comprendre une analyse géographique approfondie de la configuration et de l'emplacement des réserves écologiques, car il est reconnu en général que le degré de protection d'un groupe particulier d'espèces dépend non seulement de la taille de la zone de conservation, mais également de sa configuration, de l'existence de zones semblables qui pourraient être utilisées pour le repeuplement (afin de contrebalancer l'extinction des populations locales) et de l'emplacement de couloirs reliant diverses réserves entre lesquelles les espèces peuvent migrer. Il

¹⁸ One example of synergistic stresses is the transformation of the Lake Erie Fishery which came about by the interaction of overfishing, eutrophication, climate change, introduction of exotic species, toxic loadings, and shoreline restructuring. See H.A. Regier and W.L. Hartman, "Lake Erie's Fish Community: 150 Years of Cultural Stresses", *Science*, Volume 180, pages 1248-1255, June 22, 1973.

¹⁹ P.A. Harcombe and P.L. Marks, "Species Preservation", *Science*, Volume 194, page 383, 1976.

¹⁸ Un exemple de déséquilibre d'ordre synergétique est la transformation des peuplements de poissons du lac Érié, sous l'effet conjugué de leur exploitation excessive, de l'eutrophisation, des changements climatiques, de l'introduction d'espèces exotiques, de la forte teneur de l'eau en toxines et de la restructuration des rives. Consulter H.A. Regier et W.L. Hartman, "Lake Erie's Fish Community: 150 years of Cultural Stresses", *Science*, volume 180, pages 1248-1255, 22 juin 1973.

¹⁹ Harcombe, P.A., et Marks, P.L., "Species Preservation", *Science*, volume 194, page 383, 1976.

preserved habitats with one another through which migration between protected zones can take place. These requirements suggest a national directory of ecological reserves in indicating for each ecoregion the degree of protection afforded and the size of the protected habitats.

Resource Management

~~Resource managers attempt to harvest renewable resources at rates which achieve maximum-sustainable yield. That their goals have not often been achieved is manifestly evident from the record of "overfishing" in the Lower Great Lakes which has resulted in the collapse of some important commercial species such as Lake Trout and Blue Pike. The loss of valuable species of commercial timber such as Western Red Cedar, or Eastern White Pine attest to similar failures to manage renewable terrestrial resources.~~

Environmental data needs of resource managers include estimates of the total amount of resource habitat, its rate of natural regeneration, and losses due to natural factors and human harvesting activities. With regard to forestry statistics, for example, it would be desirable to have a national data base by ecological (not administrative) forest zones. For each zone, it would be desirable to have data on the stock of the resource (including area covered, volume, age distribution, and "quality"), the depletions from cutting (area and volume), fire, insect, disease, weather, and land use transformations, the accruals from natural regeneration, man-induced reforestation, and other human interventions such as insect spray programs, fertilization, and thinning. The latter activities while regarded by foresters as desirable in that they tend to increase the yield of trees, may in fact decrease the resilience of the ecosystem by increasing chronic insect infestation.²⁰

Most Canadian forestry data are classified by area and volume of timber species, in terms of administrative regions. Lack of standardized definitions preclude interprovincial comparisons and thus ecological regions cannot readily be pieced together in terms of dominant tree species. Further, data on forestry depletions, accruals, and associated stressors are generally lacking with the possible exception of data on fire losses, insect spray programs, and fertilization (categorized by administrative regions).

²⁰ C.S. Holling, G.B. Dantzia, W.C. Clark, and G. Baskerville, *A Case Study of Forest Ecosystem/Pest Management*, mimeo.

faudrait donc établir un répertoire national des réserves écologiques en indiquant le degré de protection permis dans chaque écorégion et la taille des habitats protégés.

Gestion des ressources

Les spécialistes de la gestion des ressources essaient de récolter les ressources renouvelables en respectant les limites maximales du rendement soutenu. Il va sans dire qu'ils n'atteignent pas souvent leur but, si l'on en juge d'après l'exploitation excessive des peuplements de poissons du cours inférieur des Grands Lacs, qui a entraîné le déclin de certaines espèces importantes du point de vue commercial comme la truite grise et le doré. La perte d'essences commerciales de qualité comme le cèdre rouge ou le pin gris témoigne aussi de l'incapacité de ces spécialistes à gérer les ressources terrestres renouvelables.

Les données requises par les gestionnaires comprennent des estimations de la qualité totale de la ressource, de son rythme de régénération naturelle et des pertes dues aux phénomènes naturels et à l'exploitation humaine. Sur le chapitre des forêts, par exemple, il serait bon d'avoir une base de données nationale, structurée selon les zones forestières écologiques (et non administratives). Dans chaque zone, il serait souhaitable de produire des données sur les stocks (c'est-à-dire, sur la superficie boisée, le volume, la répartition des essences selon l'âge et la qualité), l'épuisement des peuplements dû aux coupes (superficie et volume), aux incendies, aux insectes, aux maladies, aux intempéries et à la transformation du sol, les résultats de la régénération naturelle, du reboisement accompli par l'homme et des autres interventions de l'homme comme les programmes de pulvérisation des insecticides, la fertilisation et les coupes d'éclaircie. Ces dernières activités sont vue d'un bon oeil par les sylviculteurs, car elles tendent à accroître le rendement des arbres, mais en fait elles réduisent la résistance des forêts en favorisant leur envahissement chronique par les insectes²⁰.

La plupart des données sur les forêts canadiennes sont classées par région administrative, selon la superficie et le volume des essences. Le manque d'uniformité dans les définitions empêche de faire des comparaisons interprovinciales et, partant, les régions écologiques ne peuvent être regroupées directement selon les essences dominantes. En outre, les données sur l'épuisement des forêts, l'augmentation des peuplements et divers facteurs connexes font généralement défaut, à l'exception peut-être des données sur les pertes causées par les incendies, les programmes de pulvérisation d'insecticides et la fertilisation (qui sont ventilées selon les régions administratives).

²⁰ Holling, C.S., Dantzia, G.B., Clark, W.C. et Baskerville, G., *A Case Study of Forest Ecosystem/Pest Management*, autocopie.

Regional Planning

Regional planners make decisions on alternative uses of land areas, attempting to channel the geographical patterns of human activities into a distribution most favorable from economic, sociological and ecological perspectives. Singling out the latter objective, the distribution of intensively, moderately and relatively unstressed natural environments is of paramount importance. Odum has suggested that the pattern of ecosystem habitats by stage of succession is particularly significant. For example, a certain percentage (depending on spatial configuration) of mature forest systems interspersed with harvested systems (cut back to earlier successional states) may provide sufficient stability to the entire ecosystem complex. If nearly all of a particular ecosystem or biome were simultaneously cut back to an early successional stage, the system might be far more vulnerable to additional stress, since in general, mature systems are better buffered against stress.²¹

Regional planning often involves land use planning taking into account the differential impacts of economic or social developments on different terrains. Ecoregion mapping documenting the ecological zones, would furnish valuable information to the planner, especially when supplemented with data on water regimes and elevation.²²

TECHNICAL, DECISION MAKING AND PUBLIC INFORMATION

We now consider the question of user groups from the standpoint of the type of information required, irrespective of particular environmental focus. From this vantage point, three user groups might be distinguished: scientists, decision makers and the general public. Ecologists require data relevant to understanding the dynamics of ecological systems under various stresses of human origin. With regard to lake ecosystems, data on phosphorus concentrations, oxygen depletion rates, primary productivity, fish community composition and diversity, and indicator species from phytoplankton, benthic, macrophyte, and zooplankton communities would be relevant. Those responsible for the formulation and adminis-

Planification régionale

Lorsqu'ils prennent des décisions quant à l'utilisation du territoire, les planificateurs régionaux essayent de regrouper les activités humaines selon des critères géographiques et de les répartir de la façon la plus favorable du point de vue économique, sociologique et écologique. Dans le domaine de l'écologie, la répartition des milieux naturels selon les effets, faibles, modérés ou prononcés, des activités humaines revêt une importance prépondérante. M. Odum estime que la répartition spatiale des habitats selon les étapes de la succession écologique est particulièrement importante. Par exemple, un écosystème peut jouir d'une stabilité suffisante si les terres cultivées (dont l'état est ramené à une étape antérieure) sont entourées de forêts parvenues à maturité (dont la superficie varie selon la configuration de l'écosystème). Si la quasi-totalité des éléments d'un écosystème donné ou d'un biome reviennent simultanément à une étape antérieure de leur évolution, l'écosystème sera beaucoup plus sensible aux effets supplémentaires de l'activité humaine puisque, en général, les écosystèmes parvenus à maturité sont mieux protégés contre les sources d'agression²¹.

Les planificateurs régionaux s'occupent souvent de planifier l'utilisation du sol: ils doivent alors tenir compte des différents effets de l'évolution socio-économique sur divers terrains. Une représentation cartographique des écorégions leur serait utile, en particulier si les données sur les zones écologiques étaient complétées par des données sur le débit des eaux et l'altitude²².

DONNÉES À L'INTENTION DES SPÉCIALISTES, DES RESPONSABLES POLITIQUES ET DU PUBLIC

Nous allons maintenant aborder la question des groupes d'utilisateurs du point de vue de leurs besoins, peu importe leur champ d'intérêt en matière d'écologie. Dans cette optique, on pourrait distinguer trois groupes: les scientifiques, les responsables politiques et le public. Les écologistes ont besoin de données appropriées pour comprendre l'évolution des écosystèmes sous l'effet de diverses sources d'agression d'origine humaine. Dans le cas des écosystèmes lacustres, il serait bon de produire des données sur les concentrations de phosphore, les taux d'épuisement de l'oxygène, la productivité primaire, la composition et la diversité des peuplements de poissons et les espèces représentatives des communautés de phytoplancton et de zooplancton, des benthos et des macrophytes. Quant aux responsables

²¹ E.P. Odum, "The Strategy of Ecosystem Development", *Science*, Volume 164, pages 262 - 270, 1969.

²² For example, Ian McHarg suggests with respect to coastal housing developments that in a mosaic seashore environment, the delicate grasslands system which tends to stabilize sand dunes ought to be left undisturbed, while the forest ecosystems that establish themselves behind the dunes might be utilized for housing with less disastrous ecosystem consequences. See I. McHarg, *Design with Nature*, Garden City, Natural History Press, 1969.

²¹ E.P. Odum, "The Strategy of Ecosystem Development", *Science*, volume 164, page 262 - 270, 1969.

²² Par exemple, Ian McHarg signale que dans les ensembles urbains situés dans des zones côtières où les divers groupements biologiques forment une mosaïque, le système fragile des herbages qui concourt à stabiliser les dunes de sable ne doit pas être perturbé, tandis que les forêts qui poussent au-delà des dunes pourraient servir aux fins domiciliaires sans que cela ait des conséquences aussi désastreuses. Consulter I. McHarg, *Design with Nature*, Garden City Natural History Press, 1969.

tration of public policies in the environmental area might relate more readily to indices of the state of the environment derived from the more technical data.²³ The public would likely be most interested in information on changes in environment from a direct use or aesthetic viewpoint. From this perspective, data on aquatic systems might include information on objectionable qualities such as odors, algal scum etc., the disappearance of preferred species of sports fisheries, the closing of beaches due to high levels of E-coli, or toxins, and levels of toxins in foods from aquatic systems.

These considerations suggest a hierarchical structure of environmental information as diagrammed in Chart 1. In this scheme, basic ecosystem characterizations (of interest to scientists) provide components for ecological indices (of interest to decision makers). Perceptual data may relate (but more loosely) to both of the above representations.

In Appendix I, the categories of information of relevance to various classes of users involved in various aspects of environmental concerns are shown. Resource managers at the technical and decision-making level ought to be most interested in data relating to the sustainable yield of the renewable resource (category b) while conservationists are most interested in the area of ecological reserves (category a) as well as the population size of endangered species (category b). Categories c (baseline data) and d (stresses of human origin) would be most relevant to impact assessment panels.

However, considering all users and foci, what emerges from an assessment of data requirements is that there is a considerable degree of overlap in data needs. This inference provides a rather strong justification for an integrated approach to environmental data systems rather than the collection of ad-hoc data by special interest groups.

MAPPING, MONITORING AND MODELING

It is clear that a comprehensive environmental accounting system meeting very diverse data users' needs will require the development of a complementary mapping, monitoring and modeling approach. Choosing an appropriate mapping of Canada that is ecologically sound and that is practical from the standpoint of the limitations of data gathering capabilities is by no means an easy task. At the

²³ Well known examples include ecological indices of water quality that indicate the degree of eutrophication.

de la formulation et de l'administration des politiques publiques en matière d'environnement, ils pourraient recourir plus directement aux indicateurs de l'état de l'environnement fondés sur des données plus techniques²³. Enfin, le public serait, selon toute probabilité, intéressé davantage par les données sur l'évolution de l'environnement qui ont une application directe ou présentent un intérêt esthétique. Dans cet esprit, les données sur les milieux aquatiques pourraient porter sur des caractéristiques négatives comme les odeurs, les déchets d'algues, etc., la disparition des espèces favorites pour la pêche sportive, la fermeture des plages en raison de la forte teneur de l'eau en E Coli ou en toxines, et la teneur en toxines des aliments provenant des milieux aquatiques.

Ces observations font ressortir la possibilité d'agencer les données écologiques de manière hiérarchique. Dans le graphique 1, les caractéristiques essentielles des écosystèmes (de nature à intéresser les scientifiques) fournissent les composantes des indicateurs écologiques (de nature à intéresser les responsables politiques). Les données de caractère perceptif peuvent s'appliquer (mais moins directement) aux deux éléments ci-dessus.

L'appendice I, fait voir les catégories de données appropriées aux divers groupes d'utilisateurs intéressés à différentes questions. Les spécialistes de la gestion des ressources aux niveaux technique et politique devraient être intéressés surtout aux données sur le rendement soutenu des ressources renouvelables (catégorie b), tandis que les spécialistes de la conservation s'attacheront principalement à la question des réserves écologiques (catégorie a) et à la taille de la population des espèces menacées (catégorie b). Les catégories c (données sur l'état initial des écosystèmes) et d (sources d'agression d'origine humaine) devraient intéresser les groupes qui travaillent à évaluer les effets de l'activité humaine sur l'environnement.

Si l'on prend en compte tous les groupes d'utilisateurs et les divers intérêts manifestés par ceux-ci, on constate que leurs besoins en données se chevauchent considérablement. Cela montre assez clairement qu'il vaut mieux créer des systèmes d'information intégrés sur l'environnement plutôt que de confier aux groupes intéressés le soin de recueillir des données au coup par coup.

ÉTABLISSEMENT DE CARTES, SURVEILLANCE ET CRÉATION DE MODÈLES

Il va sans dire que l'établissement d'un système d'information général approprié aux besoins très diversifiés des utilisateurs nécessitera la mise au point de méthodes de cartographie, de surveillance et de modélisation. Il est loin d'être facile de choisir une représentation du Canada qui soit satisfaisante du point de vue écologique et réalisable du point de vue de la collecte des données. Un récent rapport du *United States Fish and Wildlife Service* intitulé "Interim

²³ Les indices de la qualité de l'eau qui fournissent une mesure du degré d'eutrophication en sont des exemples bien connus.

micro-habitat classification level the bewildering number of ecological zones is exemplified by the recent United States Fish and Wildlife Service report on the *Interim Classification of Wetlands and Aquatic Habitats of the United States*.²⁴ The report lists and compares six classification systems for wetlands, each involving several dozen community classes, not all of which are comparable among the various classification schemes. One approach to accommodating this level of detail is to develop a nested mapping scheme which can yield information by biome, ecosystem, watershed, or other ecological zones depending on the user's needs.

The monitoring system, of course, will be designed within mapping categories and will both influence the maps chosen and be influenced by the maps themselves (see Chart 1). For example, the detail in classification of forest zones may be very much constrained by the current remote sensing detection capabilities, particularly of the earth satellite system.

Models serve the function of indicating the fundamental state variables which should be the focus of both mapping and monitoring activities. The success of the environmental data system will likely depend crucially on the adequacy of the underlying conceptual framework. Much of the environmental data already available are virtually useless because of the lack of a conceptual underpinning or because they rely on an archaic division of the environment into land, air, and water categories.²⁵ Restructuring existing environmental data and identifying data gaps should be major activities once an adequate conceptual framework is fully specified for particular ecological regions.

USER'S NEEDS AND THE NATURE OF ENVIRONMENTAL ACCOUNTS

This study of the issues surrounding the general and specific needs for environmental data suggest some of the general design principles for the development of environmental data.²⁶ First, and obvious from the outset, is that environmental problems are geographical and therefore environmental accounts must be based on a standardized, probably nested, ecological mapping of Canada. From this mapping (perhaps carried out by remote sensing) the areas of various ecological zones could be obtained and

*Classification of Wetlands and Aquatic Habitats of the United States*²⁴ illustre bien la multiplication déroutante des zones écologiques au niveau du micro-habitat. Le rapport énumère et compare six classifications de sols humides, chacune d'elles comportant plusieurs douzaines de catégories de communautés qui ne sont pas toutes comparables. Pour ventiler les données à un niveau de détail aussi poussé, il est possible de mettre au point un modèle de représentation emboîtée qui peut fournir des données selon les biomes, les écosystèmes, les bassins hydrographiques ou d'autres zones écologiques, en fonction des besoins des utilisateurs.

Le système de surveillance sera bien entendu conçu en fonction des catégories géographiques; influant sur le choix des cartes, il sera aussi déterminé par les cartes elles-mêmes (graphique 1). Par exemple, le niveau de ventilation des zones boisées peut être grandement limité par les appareils actuels de télédétection, en particulier le réseau des satellites terrestres.

Les modèles servent à indiquer les variables d'état fondamentales, qui doivent être le pivot des activités de cartographie et de surveillance. La qualité du système d'information sur l'environnement dépendra probablement beaucoup de l'efficacité du cadre théorique sous-jacent. Bon nombre de données écologiques existantes sont pour ainsi dire inutiles, parce qu'il n'existe pas de base théorique ou qu'elles sont agencées selon une division archaïque de l'environnement entre la terre, l'air et l'eau²⁵. Une fois qu'on aura déterminé un cadre théorique approprié dans le cas de zones écologiques données, il faudra d'abord restructurer les données écologiques existantes et déterminer leurs lacunes.

BESOINS DES UTILISATEURS ET NATURE DES COMPTES ÉCOLOGIQUES

Cette étude des besoins généraux et particuliers des utilisateurs fait ressortir certains principes régissant la production de données sur l'environnement²⁶. Le premier principe, qui est évident depuis le début, est que les problèmes écologiques sont d'ordre géographique et que, par conséquent, les données doivent être fondées sur une représentation écologique uniforme, probablement emboîtée, du Canada. Au moyen des cartes (peut être dressées à l'aide d'appareils de télédétection), on pourrait délimiter les diverses zones écologiques et peut-être estimer certains stocks

²⁴ Cowardin, et al, *Interim Classification of Wetlands and Aquatic Habitats of the United States*, United States Fish and Wildlife Service, 1975.

²⁵ H.A. Regier, and D.J. Rapport, "Ecology's Family Coming of Age in a Changing World", from the proceedings of the Symposium on Environmental Impact Assessment, Council on Environmental Quality, forthcoming.

²⁶ For design features of an environmental information system see Appendix II.

²⁴ Cowardin et collaborateurs, *Interim Classification of Wetlands and Aquatic Habitats of the United States*, United States Fish and Wildlife Service, 1975.

²⁵ Regier, H.A. et Rapport, D.J., "Ecology's Family Coming of Age in a Changing World", tiré du symposium sur l'évaluation des effets de l'activité humaine sur l'environnement, *Council on Environmental Quality*, à paraître.

²⁶ Pour connaître les principes relatifs à l'élaboration d'un système d'information sur l'environnement, voir l'appendice II.

perhaps estimates of some economically valuable stocks (particularly forest stands) could be made. Both the habitat and species stock data would form the ecological stock or capital accounts. Flow data would be generated from annual changes in these accounts.

Data on the quality of the environment should consist of a balance of information on human and natural stress factors as well as ecosystem response to environmental stress. Environmental responses should be in terms of a balanced set of parameters descriptive of transformations in ecological regions.

Finally, "early warning" indicators of the effects of stress on specific ecosystems might be developed. In terms of aquatic systems, excellent guidance for the development of ecosystem level indicators as related to specific stresses of human origin are provided in a comprehensive study on the response of aquatic systems to various human influences.²⁷

²⁷ H.A. Regier, et al, "*Indices for Measuring Responses of Aquatic Ecological Systems to Various Human Influences*", Fisheries Technical Paper (FIR/T151) Food and Agricultural Organization, page 66, 1976.

qui présentent une valeur économique (en particulier les milieux forestiers). Les données sur l'habitat et les peuplements formeraient le stock écologique ou compte de capital. La statistique de flux serait produite à partir des variations annuelles enregistrées.

Les données sur la qualité de l'environnement pourraient consister en un bilan de l'information sur les facteurs d'agression d'origine humaine et naturelle ainsi que sur les réactions des écosystèmes à l'agression. Les données sur les réactions de l'environnement constitueraient une série équilibrée de paramètres décrivant les transformations des régions écologiques.

Enfin, on pourrait produire des indicateurs, sorte de signaux d'alarme, qui informeraient des effets de l'activité humaine sur des écosystèmes donnés. Pour ce qui est des écosystèmes aquatiques, il existe une excellente étude générale sur les réactions de ces écosystèmes à divers facteurs d'agression d'origine humaine²⁷.

²⁷ Regier, H.A. et collaborateurs, "*Indices for Measuring Responses of Aquatic Ecological Systems to Various Human Influences*", Fisheries Technical Paper (FIR/T151), Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, page 66, 1976.

Appendix I

Appendice I

USER'S NEEDS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION

BESOINS DES UTILISATEURS EN DONNÉES SUR L'ENVIRONNEMENT

User group Groupe d'utilisateurs	Environmental foci Domaine d'intérêt			
	Impact assessment Évaluation des effets des activités humaines sur l'environnement	Conservation	Resource management Gestion des ressources	Regional planning Planification régionale
Public	e ¹	a,b	b	a,d
Management and decision makers – Gestionnaires et responsables politiques	c,d	a,b,c,d	a,b,c,d	a,c,d
Scientific and technical – Scientifiques et autres spécialistes	c,d	a,b,c,d	a,b,c,d	a,c,d

¹ Refers to the information types (see below) most relevant to user and perspective.

¹ Désigne les catégories de données (voir ci-dessous) les mieux appropriées aux besoins des utilisateurs.

Information Types

- (a) Ecological capital accounts comprising size and spatial distribution of ecological zones and their rates of transformation.
- (b) Population growth rates, range, and life history parameters for endangered species or economically important renewable resources.
- (c) Baseline data – characterization of ecosystem in terms of state variables with balance between reductionism and holism, and structure and function.
- (d) Stresses of human origin and other stresses on ecosystems classified by source and type of impact.
- (e) Perceptual indices of environmental states.

Catégories de données

- a) Données écologiques (compte de capital) portant sur la taille et la répartition géographique des zones écologiques et sur leurs taux de transformation.
- b) Données sur les taux d'accroissement des peuplements, le milieu naturel et l'histoire des espèces menacées ou des ressources renouvelables importantes sur le plan économique.
- c) Données sur l'état initial des écosystèmes – caractéristiques des écosystèmes sous l'angle de certaines variables d'état, avec équilibre entre la généralisation et la spécialisation, la structure et les fonctions.
- d) Facteurs d'agression d'origine humaine ou autres, classés selon la source et le genre de répercussion.
- e) Indices sensoriels de l'état des milieux naturels.

Appendix II

TEN COMMANDMENTS FOR THE DESIGN OF ENVIRONMENTAL INFORMATION SETS

1. Thou shalt be balanced with respect to cultural stressors and ecosystem responses.
2. Thou shalt be balanced with respect to measures of ecosystem structure and function.
3. Thou shalt be eclectic with respect to current ecosystem paradigms.
4. Thou shalt be balanced with respect to mapping, modeling and monitoring.
5. Thou shalt be ecological rather than economic in language and concept.
6. Thou shalt be transdisciplinary with regard to forestry, wildlife, aquatic, and other foci.
7. Thou shalt exclude subjective values and subjective weighting schemes.
8. Thou shalt be hierarchical with respect to scientific, management and public information.
9. Thou shalt consist of nested mappings of biomes, watersheds, ecosystems, and ecological communities.
10. Thou shalt accommodate a multiplicity of user's needs – conservation and preservation, impact assessment, environmental engineering, regional planning, resource management, land use – all within an ecosystem framework.

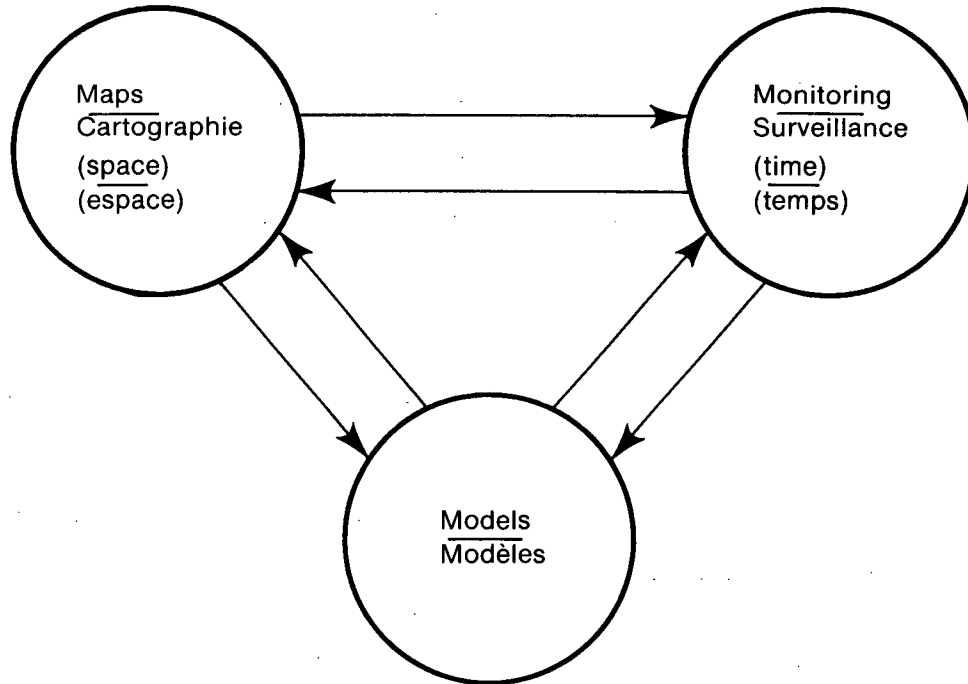
Appendice II

PRINCIPES RÉGISSANT LA PRODUCTION D'ENSEMBLE DE DONNÉES SUR L'ENVIRONNEMENT

1. Accorder une égale importance aux facteurs d'agression de caractère culturel et aux réactions de l'environnement.
2. Accorder une égale importance à la structure et aux fonctions des écosystèmes.
3. S'intéresser à tous les modèles d'écosystèmes existants.
4. Accorder une égale importance à l'établissement de cartes, à la création de modèles et à la surveillance.
5. Utiliser un langage et des concepts écologiques plutôt qu'économiques.
6. Aborder les questions touchant les forêts, la vie sauvage, les milieux aquatiques et d'autres sujets dans une optique multidisciplinaire.
7. Ne pas se fonder sur des valeurs ni des schémas de pondération subjectifs.
8. Agencer de façon hiérarchique les données à l'intention des scientifiques, des gestionnaires et du public.
9. Établir une représentation cartographique emboîtée des biomes, des bassins hydrographiques, des écosystèmes et des groupements écologiques.
10. Répondre aux divers besoins des utilisateurs – conservation et préservation, évaluation des effets de l'activité humaine sur l'environnement, génie de l'environnement, planification régionale, gestion des ressources, utilisation du sol – au moyen d'un système intégré.

Interrelationships Between Mapping, Modeling and Monitoring

Corrélations entre la cartographie, la modélisation et la surveillance



- (a) Mapping affects modeling by setting the boundary conditions for the model, i.e., identifying the physical system to which the model pertains and the degree of openness of the system. — La cartographie influe sur la modélisation en délimitant le modèle, c.-à-d. en représentant le système physique auquel le modèle se rapporte et en déterminant son degré d'ouverture.
- (b) Models affect geographical mapping by establishing the conceptual framework for defining a system of interest and identifying the key characteristics of the system whose spatial configuration is likely to be important in understanding the system. — La modélisation influe sur la cartographie en déterminant le cadre théorique destiné à définir un système intéressant et en définissant les caractéristiques du système dont la configuration est probablement importante pour la compréhension de l'ensemble.
- (c) Mapping affects monitoring by defining the region in which monitoring occurs and, as a result of the scale of mapping, suggests sampling programs and techniques for monitoring. — La cartographie influe sur la surveillance en délimitant la région qui fait l'objet d'une surveillance et, à cause de l'échelle des cartes, en suggérant les programmes et les techniques d'échantillonnage utilisables aux fins de la surveillance.
- (d) Monitoring affects mapping by providing the technical bases for mapping. For example, remote sensing might permit certain mapping configurations, but not others due to the technical limitations of current decoding schemes. — La surveillance influe sur la cartographie en lui fournissant des bases techniques. Par exemple, la télédétection peut permettre de délimiter la configuration de certains systèmes seulement, à cause des limites techniques des modèles de décodage existants.
- (e) Monitoring affects modeling by providing the information base upon which models are validated and subsequently modified. Also monitoring provides the possible sources of data for testing models and thus may influence the choice of parameters used in models. — La surveillance influe sur la modélisation en fournissant les données à la lumière desquelles les modèles sont validés, puis modifiés. En outre, la surveillance fournira éventuellement les sources d'information nécessaires pour éprouver les modèles et, par conséquent, peut influencer sur le choix des variables utilisées dans les modèles.
- (f) Modeling affects monitoring by indicating the key parameters for which data should be gathered, if possible, and the importance of spatial and temporal considerations in designing the monitoring system. — La modélisation influe sur la surveillance en faisant voir les variables-clé sur lesquelles des données doivent être recueillies, dans la mesure du possible, et l'importance des facteurs espace et temps dans l'élaboration du système de surveillance.

Part II

**Ecological perspective and the
design of environmental
information systems**

Partie II

**L'élaboration de systèmes
d'information sur l'environ-
nement dans une perspective
écologique**

Introduction

In this paper the elements of a proposed environmental information system for Canada are sketched. The approach is predicated on a division of the terrain of the country into discrete units (biomes) and their sub-components (ecosystems). These natural regions would form the primary classification of nature in contrast to the rather widespread usage of air, water, and land as a first screen. Within each of the ecological zones, a taxonomy of major stress or stimulus factors which may act to transform natural regions will be sought. At the same time, a complementary set of information indicating the ecosystem's response to cultural stress is required. An information system comprised of both stimulus and ecosystem response data enables decision makers, in a pragmatic way, to assess the options open to them, considering any future natural system transformations.

It perhaps deserves emphasis that the approach is by no means tied to a concept of leaving nature in natural states. What is envisioned is an information system which records the state of nature, whether natural or already transformed by human activities, and at the same time records the major cultural factors influencing that state and its future transformations. This, then, is the kind of information system which should be useful in terms of designing future departures from natural situations, or, of equal importance, engineering rehabilitation of natural systems which are deemed to have been transformed beyond the boundaries considered safe for mankind.

The implicit space and time frame of this system appears well matched to the space and time horizons of decision making at regional, national and international levels. We are concerned with rather large natural regions; some on the order of hundreds of thousands of square miles if the biome categories or watershed categories are utilized as a geographical base. Regarding the time frame, we are concerned with transformations which occur over a period of, in most cases, many months, if not years and decades.

It is also our conviction that choices involving value judgments as to the desirability of alternative states of nature are most effectively brought about by a political process (or an inquiry system). Attempts to prepackage value judgments in terms of "weighted" data sets produce a rather inflexible data base. It would appear far better to simply record the objective ecological transformations in the state of nature

Introduction

Le présent document fait état des éléments constitutifs du système d'information sur l'environnement proposé pour le Canada. L'approche consiste à diviser le pays en unités distinctes (biomes) et leurs sous-composantes (écosystèmes). Ces régions naturelles formeraient le premier échelon de classification de la nature, par opposition à la répartition classique entre air, eau et terre. À l'intérieur de chacune des zones écologiques, on chercherait à classer les principaux facteurs d'agression ou de stimulation qui peuvent contribuer à transformer les régions naturelles. Il faudrait en même temps élaborer une série de données complémentaires traduisant la réaction des écosystèmes aux stimuli. Un système d'information comprenant des données à la fois sur les stimuli et sur les réactions permettrait aux décideurs d'évaluer, de façon pragmatique, les possibilités qui s'offrent à eux, compte tenu de toute transformation future du système naturel.

Il faudrait peut-être souligner que cette approche ne préconise pas du tout qu'il faille laisser le milieu à l'état naturel. Ce qu'on veut avant tout, c'est un système d'information qui permette d'enregistrer l'état du milieu, qu'il soit naturel ou déjà transformé par les activités humaines, et, simultanément, de noter les principaux facteurs culturels qui influent sur cet état et sur ses transformations futures. Voilà donc le genre de système d'information qui serait utile pour découvrir de nouvelles façons de modifier les systèmes naturels ou, ce qui est tout aussi important, pour réhabiliter les systèmes naturels que l'on considère déjà transformés au-delà des limites jugées sûres pour le genre humain.

Le cadre spatial et temporel implicite de ce système semble bien correspondre aux horizons spatiaux et temporels de la prise de décisions à l'échelle régionale, nationale et internationale. Nous nous intéressons à des régions naturelles plutôt vastes; certaines ont même des centaines de milliers de milles carrés, si l'on prend comme base géographique les biomes ou les bassins hydrographiques. Pour ce qui est du cadre temporel, nous nous intéressons aux transformations qui se produisent, dans la plupart des cas, sur une période de plusieurs mois, si ce n'est de plusieurs années ou décennies.

En outre, nous sommes convaincus que les choix fondés sur des jugements de valeur quant aux états souhaitables de la nature se font le plus efficacement à l'échelon politique (ou par le biais d'un système d'enquête). On risque de produire une base de données qui manque de souplesse si l'on tente de présenter des jugements de valeur sous forme de données "pondérées". Il vaudrait beaucoup mieux enregistrer tout simplement les transformations écologiques

under various regimes of human influence, and upon that basic information, decision makers and the public may place their own value judgments and decide the most desirable options. This procedure would leave the basic environmental information system invariant to changes in environmental ethics, environmental perceptions and political exigencies of the moment.

In Part I in this volume, I dealt with the needs for environmental information from a variety of users' perspectives. Within each of three main classes of users, i.e., the general public, decision makers, and scientific and technical users, the concerns of the new generation of so-called transfer sciences that have sprung up to deal with environmental issues were explored. These transfer sciences include environmental impact assessment, regional planning, ecosystem rehabilitation, conservation, resource management, and others.

Five classes of environmental data were perceived to comprise a common information data base relevant to all users, and to the various points of view within which environmental issues are approached. These data classes include information on the size and spatial distribution of ecological zones, population growth rates and life history parameters, baseline data for ecosystems, stresses of human origin, and perceptual indices of environmental states.

As envisioned in Part I, a second step is to consider existing frameworks for environmental data (or propose new ones) in the light of the needs for environmental information. The task may be considered in three stages:

- (1) a brief commentary on existing approaches to environmental data;
- (2) a more detailed specification of our proposed framework for environmental data and
- (3) an examination of the question of feasibility of the framework for environmental data.

Despite the intense need for environmental information systems, their design has proved somewhat elusive. One of the major obstacles is that natural systems are at best only partially understood. Seldom, if ever, have we achieved the degree of understanding of these complex systems which enables one to produce highly reliable and predictive models. Yet, in the absence of such models, which provide the basis for characterizing the system in terms of key measurable attributes, structuring an environmental information system is fraught with extremely difficult choices.

Another major problem is the realization that a sufficient description of the natural system is likely to lack the common currency features so characteristic of economic systems. Although some writers

objectives de l'état de la nature sous divers régimes d'influence humaine; à partir de ces renseignements de base, les décisionnaires et le public pourraient porter leurs propres jugements de valeur et décider de l'orientation la plus souhaitable à prendre. Cela prémunirait le système d'information de base contre les changements du moment dans l'éthique de l'environnement, les perceptions du milieu et les urgences politiques.

Dans la partie I de la présente étude, j'ai traité des divers besoins en données des utilisateurs. À l'intérieur de chacune des trois principales catégories d'utilisateurs, soit le public, les responsables politiques et les scientifiques, j'ai analysé les domaines d'intérêt qui sont le propre de la génération de sciences qui a fait son apparition pour résoudre les problèmes écologiques. Je fais ici allusion à l'évaluation des répercussions de l'activité humaine sur l'environnement, à la planification régionale, à la réhabilitation des écosystèmes, à la conservation, à la gestion des ressources, etc.

J'ai également signalé que cinq catégories de données sont susceptibles d'intéresser tous les utilisateurs et de les éclairer quel que soit l'angle sous lequel ils abordent les questions écologiques. Ces données portent sur la taille et la répartition géographique des zones écologiques, les taux d'accroissement et l'histoire des peuplements, les caractéristiques fondamentales des écosystèmes, les sources d'agression d'origine humaine et des indices sensoriels de l'état de l'environnement.

Comme je l'ai mentionné dans la partie I, la deuxième phase de cette étude consistera à examiner les systèmes d'information existants sur l'environnement (ou à en proposer de nouveaux), compte tenu des besoins en données. Pour ce faire, je me propose:

- (1) de commenter brièvement les approches actuelles;
- (2) d'exposer de façon plus détaillée le système que nous préconisons et
- (3) d'examiner la possibilité de mettre ce système en oeuvre.

Bien que les besoins soient très réels, il s'est révélé difficile de concevoir des systèmes d'information sur l'environnement. L'un des principaux obstacles à leur élaboration réside en notre manque de connaissances des milieux naturels. Nous ne sommes pour ainsi dire jamais parvenus à comprendre ces systèmes complexes suffisamment pour produire des modèles prévisionnels très fiables. À défaut de ces modèles, qui permettraient de définir les systèmes en fonction de caractères mesurables, nous sommes contraints de faire des choix très difficiles quand vient le moment de structurer un système d'information sur l'environnement.

De plus, nous avons pris conscience qu'une description même complexe de l'environnement ne comporte probablement pas d'unité de mesure générale, comme c'est le cas des systèmes d'information économique. Quoique certains

have proposed that a sufficient description of ecological systems can be obtained entirely within the currency of energy, these arguments remain unconvincing, as I shall endeavour to show.

There are also geographical difficulties. Natural systems are simply not very cooperative in being amenable to politically determined boundaries, which are the usual domains of decision makers, whether at the local, provincial, or national levels.

Finally, there is the danger that at best an information system of any kind is a mixed blessing. Unless such a system aspires to "sufficiency", which could render it very expensive, the information set will generally be incomplete re a specific issue from the viewpoint of the well-informed practical user of the information, but the poorly informed may not perceive the limitations and then proceed as though the information set was sufficient. (This is true for any generalized information system: economic, health, social, environmental, industrial.) Thus, the existence of generalized information systems invites simplistic approaches to practical issues.

In this paper, I discuss briefly some of the approaches to environmental information already available, and some of the reservations about these approaches which would appear to me to preclude their adoption for our purposes. Then, the main focus of this paper, the conceptual framework for a balanced environmental information system, is discussed in some detail.

auteurs estiment que les écosystèmes peuvent être décrits de façon satisfaisante du seul point de vue de l'énergie, les principes qui dictent leur pensée ne sont pas convaincants, comme je m'efforcerai de le prouver.

L'élaboration de systèmes d'information pose également des problèmes d'ordre géographique. En effet, les écosystèmes ne sont tout simplement pas délimités selon les frontières politiques, sur lesquelles les responsables politiques se fondent en général pour prendre leurs décisions, que ce soit à l'échelle municipale, provinciale ou nationale.

Enfin, les systèmes d'information, quelle que soit leur nature, risquent d'être des cadeaux empoisonnés. À moins d'être exhaustifs, ce qui peut les rendre très coûteux, ils sont généralement incomplets aux yeux des utilisateurs avertis; cependant, les utilisateurs moins bien informés peuvent ne pas en percevoir les lacunes et s'en servir comme s'il s'agissait de sources d'information complètes. (Cette remarque vaut pour tous les systèmes généraux, que ce soit dans le domaine de l'économie, de la santé, de la sociologie, de l'environnement ou des activités économiques.) Par conséquent, les analyses de problèmes pratiques fondées sur des systèmes d'information généraux sont souvent simplistes.

Dans ce document, je traiterai brièvement de certaines approches et je formulerai des réserves qui, à mon avis, justifient leur rejet. J'exposerai ensuite de façon assez détaillée, et cela constitue l'élément essentiel de cette étude, le cadre théorique dans lequel s'inscrit le système d'information équilibré que nous préconisons.

ADEQUACY OF CURRENT FRAMEWORKS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION

Conventional Institutional Classifications

Although the initiatives for the design of comprehensive environmental statistical systems are of relatively recent origin, and consequently many efforts¹ are still directed towards identifying the types of relevant information, the development of comprehensive environmental accounting systems has scarcely been addressed from ecological perspectives. For example, the traditional approach to categorizing the environment is to invoke the primitive classification of land, air and water. True, natural systems can be classified as primarily land-based or aquatic systems, but in so doing, it should be recognized that all three components, air, land and water, play an inter-related and important role in the total functioning of the natural system. The suggestion of air as a category is devoid of ecological significance.

Conventional Cost/Benefit Accounting

Another approach often touted to be relevant to environmental analysis is an extension of economic cost/benefit calculations into the environmental realm. The presumption here, of course, is that the relevant aspects of environment are capable of being measured in terms of dollars. Undoubtedly, some aspects of the environment have this quality; for example, the use of the environment for recreational purposes, or its value as a provider of renewable resources with market values, but unquestionably the most valuable aspect of the environment to our long-term survival and well-being is the continued existence of suitable environments with which man can co-exist as a species.² No simple cost/benefit analysis can place a value on the jeopardy to man's life support system which could result, often inadvertently, from various human activities.

From the environmental perspective, the cost/benefit approach is deemed insufficient and occasionally utterly inappropriate and irrelevant. We should note here that many very important decisions that society must make (for example, in the area of human rights) would hardly be argued rationally on the basis of cost/benefit calculations. Similarly, I suggest that the integrity of ecosystems and the extinction of species are not appropriately subject to a cost/benefit calculation.

¹ United Nations 1976, *Co-ordination of Environmental Statistics*, E/CN.3/491, 12 pages mimeo.

OECD 1977, Group of Experts on the State of the Environment: *Questionnaire*, ENV/SE/77.4, 42 pages mimeo.

OECD 1977, Group of Experts on the State of the Environment: *Report on the State of Environmental Statistics*, ENV/SE/77.5, 21 pages.

² Train, R.E., "The Environment Today", *Science*, Volume 201, pages 320 - 324, July 28, 1978.

QUALITÉ DES SYSTÈMES D'INFORMATION EXISTANTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Classifications traditionnelles

L'établissement de systèmes d'information généraux sur l'environnement constitue une activité relativement récente¹ et, de ce fait, on s'attache encore aujourd'hui à déterminer la nature des données appropriées. Pourtant, il n'existe guère de systèmes conçus du point de vue écologique. Ainsi, la manière classique de découper l'environnement consiste à le répartir entre terre, air et eau. Certes, les systèmes naturels peuvent être classés comme étant des écosystèmes essentiellement terrestres ou aquatiques; ce faisant, il faut toutefois reconnaître que les trois éléments en cause, l'air, la terre et l'eau, sont interdépendants et jouent un rôle important dans le fonctionnement global du système naturel. Le découpage des systèmes selon l'air est dénué d'intérêt du point de vue écologique.

Analyse traditionnelle coût-avantage

Bien des gens estiment que les principes de l'analyse coût-avantage pourraient être appliqués dans le domaine de l'environnement. Ils supposent bien entendu que les éléments auxquels on s'intéresse peuvent être évalués en argent. Il va sans dire que certains aspects de l'environnement se prêtent à une telle évaluation: l'utilisation du milieu naturel aux fins des loisirs ou sa valeur en tant qu'agent de production des ressources renouvelables présentant une valeur commerciale, par exemple. Il est cependant incontestable que l'élément le plus important pour notre survie et notre bien-être à long terme est la sauvegarde de milieux propices à l'existence du genre humain². Aucune analyse coût-avantage élémentaire ne peut évaluer les dangers qui menacent notre milieu à cause des répercussions, souvent accidentelles, des diverses activités humaines.

Du point de vue écologique, on juge que l'approche coût-avantage est lacunaire et, parfois, carrément inappropriée. Notons ici qu'il serait difficile de démontrer le bien-fondé de bon nombre de décisions très importantes (dans le domaine des droits de l'homme, par exemple) en ne s'appuyant que sur des considérations économiques. A mon avis, l'analyse coût-avantage ne convient pas à l'étude de questions comme l'intégrité des écosystèmes et l'extinction des espèces.

¹ Nations Unies, *Coordination des statistiques de l'environnement*, E/CN.3/491, 1976, 12 pages, autocopie.

OCDE, Groupe d'experts sur l'état de l'environnement, *Questionnaire*, 1977, ENV/SE/77.4, 42 pages, autocopie.

OCDE, Groupe d'experts sur l'état de l'environnement, *Report on the State of Environmental Statistics*, ENV/SE/77.5, 21 pages.

² Train, R.E., "The Environment Today", *Science*, volume 201, pages 320 - 324, 28 juillet 1978.

To accept the sufficiency of cost/benefit analysis would be to relegate environmental matters to a class of issues of peripheral concern. Primary issues are simply not addressed in this way.

Industrial/Engineering Approaches

A third approach to environmental statistics stems largely from an engineering orientation. The effort here has been to measure economic activity in terms of material and energy components, elucidating the materials and energy flows which enter the natural environment. While such an accounting system documents very generally the nature of some chemical and energetic factors which act to transform natural ecosystems, it is hardly representative of the total array of cultural stresses which have been shown to actively alter the state of natural systems. For example, these accounts by themselves do not consider morphological restructuring of ecosystems, harvesting stresses on natural systems, or the introduction of exotic species which radically transform the natural landscape. Further, energy/materials balance accounting is not directed towards measuring ecosystem responses to cultural stress which, as will be discussed, is as important as measuring the stresses themselves. Both aspects must be considered in any balanced environmental information system.

Indices of Environmental Quality

Perhaps the most attractive environmental information systems from the standpoint of unsophisticated users, are the so-called indices of environmental quality, which purport to describe environmental states in terms of a single, dimensionless index number. Unfortunately, such indices can rarely be justified in terms of a basic causal model underlying their construction.

In practice, weights are assigned to each of the factors thought to be relevant to environmental "quality" by those who construct such quality indices. Naturally, it would be difficult to get widespread agreement on the relevant factors determining environmental quality and their relative weights in the absence of a verified model of causal mechanisms.

It should be noted that the above approaches, neither separately nor collectively, meet the needs for environmental data in a satisfactory manner. The serious difficulty with the use of such environmental information systems as have been proposed is that to the extent that they are believed to be valid and indicative of the kinds of relevant information required, they may be counterproductive and actually permit degradation of natural systems to the point where they become no longer viable. Consider the

Se fonder sur la seule approche coût-avantage, ce serait reléguer les problèmes écologiques au second plan. Des questions qui revêtent une telle importance ne peuvent tout simplement pas être abordées ainsi.

Critères industriels et techniques

Dans certains cas, se sont des considérations techniques qui dictent la structure du système d'information. L'approche consiste à mesurer les activités économiques sous l'angle de la matière et de l'énergie, en décrivant l'afflux de matière et d'énergie dans les milieux naturels. Ce système décrit de façon très générale la nature de certains agents chimiques et énergétiques de transformation écologique, mais il ne tient guère compte de la gamme complète des sources d'agression d'origine culturelle, qui influent manifestement sur la transformation des systèmes naturels. Par exemple, il ne fait pas état de la restructuration morphologique des écosystèmes, des effets de l'exploitation des ressources sur l'environnement, ni de l'introduction d'espèces exotiques qui transforment radicalement les milieux naturels. De plus, le bilan matière-énergie ne vise pas à mesurer les réactions des écosystèmes aux sources d'agression d'origine culturelle qui, nous en reparlerons, revêtent autant d'importance que les sources d'agression elles-mêmes. Ces deux éléments doivent être pris en compte dans tout système d'information équilibré sur l'environnement.

Indices de la qualité de l'environnement

Les systèmes d'information qui suscitent le plus d'intérêt auprès des utilisateurs non spécialisés sont sans doute ceux qui renferment des indices de la qualité de l'environnement; ces systèmes indiquent l'état des milieux naturels sous forme d'un indice unique, absolu. Malheureusement, les indices de ce genre sont rarement construits en fonction d'un modèle qui puisse en justifier le bien-fondé.

Dans la pratique, des coefficients de pondération sont attribués à chacun des facteurs qui, croit-on, permettent de déterminer la qualité de l'environnement. Il serait évidemment malaisé de s'entendre sur le choix des éléments appropriés et sur leur importance relative, vu que l'on ne dispose pas de modèle éprouvé des mécanismes qui entrent en jeu.

Il convient de signaler que les quatre approches exposées ci-dessus ne répondent pas de façon satisfaisante, que ce soit séparément ou collectivement, aux besoins des utilisateurs en données sur l'environnement. L'utilisation des systèmes d'information de ce genre pose une grave difficulté si l'on s'en sert à titre d'instruments valides et représentatifs, on risque d'obtenir des résultats contraires à ceux qui sont attendus et, en fait, de provoquer la dégradation des systèmes naturels au point de compromettre leur viabilité. Il suffit de penser au clivage de plus en plus profond entre les partisans

growing dichotomy in environmental circles today: one faction views the environment solely as a transmitter of pollutants back to man; the other views the environment solely in terms of renewable resources. Neither of these views alone is adequate to ensure long-term co-existence of man with nature.

A SUFFICIENT ENVIRONMENTAL INFORMATION SYSTEM

A general stress-response context for environmental data and its relationship to decision making is given in Chart 1. The information set relevant to environmental concerns comprises two basic kinds of data. First, there is information on the existence of human influences and natural stressors which impinge upon the environment and tend to transform it. Second, there is information about the ecological responses of the environment to its complex of stressors. What is of interest to the decision maker (regardless of particular environmental focus) is the state of the system and its rate of change as compared with the standards or constraints set for the particular environment. The decision maker's role is viewed as formulating policies which modify human activity in order to maintain the environment within acceptable boundaries.

The capability for making prudent decisions in this area is, of course, limited by the quality of the information available. Environmental decisions have more often than not been made with insufficient data, often collected in a fragmentary and piecemeal manner by different agencies concerned with rather narrow aspects of environmental problems. The converse of data paucity, namely superabundance of environmental information, may also seriously hamper effective environmental management. Decision makers have in some cases been so swamped with undigested environmental information that they may be unable to effectively utilize such inputs. In such cases, decision makers may become immune to information inputs and simply rely on their own preconceptions.

Mapping the Natural Environment

The first of three major components of the proposed environmental information system to be discussed in detail is mapping, the other two being monitoring cultural stress and monitoring ecosystem response.

The need for ecological mapping emerges partly from the usual spatial definitions of property rights, jurisdictional sovereignty, and responsibilities, and partly from the patterns perceived in nature, that is, the spatial interrelatedness and organization of ecological processes.

de la protection de l'environnement les uns ne voient en l'environnement qu'un agent de transmission des polluants émis par l'homme, tandis que les autres ne considèrent l'environnement que comme un agent de production des ressources renouvelables. Aucune de ces idéologies ne peut, à elle seule, permettre d'assurer la co-existence de l'homme et de la nature à long terme.

UN SYSTÈME D'INFORMATION COMPLET SUR L'ENVIRONNEMENT

Le graphique 1 illustre le cadre général agression-réaction dans lequel s'insèrent les données sur l'environnement et ses relations avec le processus de prise de décision. L'information appropriée se répartit en deux catégories fondamentales. La première se compose de données sur les sources d'agression, d'origine humaine ou naturelle, qui influent sur l'environnement et ont tendance à le transformer. La seconde est formée de données sur les réactions de l'environnement à l'ensemble des sources d'agression. Les éléments qui présentent de l'intérêt aux yeux des responsables politiques (peu importe le point de vue) ont trait à l'état des systèmes et à leur rythme de transformation, compte tenu des normes ou des contraintes fixées. Le rôle des décisionnaires consiste à formuler des politiques qui modifient les activités humaines afin d'assurer un équilibre satisfaisant de l'environnement.

La qualité des renseignements fixe les limites de la sagesse dans ce domaine. Les décisions ont plus souvent qu'autrement été prises à la lumière de données insuffisantes et fragmentaires, recueillies, dans bien des cas, par différents organismes, intéressés à des aspects plutôt particuliers des problèmes écologiques. Par contre, la surabondance des données peut également compromettre sérieusement l'efficacité de la gestion de l'environnement. Dans certains cas, les responsables politiques sont littéralement submergés par des flots d'informations non assimilées et peuvent ainsi être incapables de les utiliser efficacement. Ils arrivent alors à perdre tout intérêt pour les sources extérieures et à se fier simplement à leurs préjugés.

Représentation cartographique des milieux naturels

Les trois principaux éléments constitutifs du système d'information proposé pour le Canada sont la représentation cartographique des écosystèmes, la surveillance des sources d'agression d'origine culturelle et la surveillance des réactions de l'environnement. Nous parlerons d'abord du premier.

La nécessité d'établir des cartes tient, d'une part, à la nature géographique des définitions utilisées couramment en matière de droits fonciers, de souveraineté territoriale et de responsabilités politiques et, d'autre part, au caractère des modèles naturels, à savoir les interrelations et l'organisation spatiales des processus écologiques.

Indeed, the impact of man on nature can often be effectively presented by sequential mapping, perhaps using remote sensing. The obvious large scale transformations, for example, from forests to farms, or from farms to urban areas, or the draining of marshes and wetlands for either agricultural or urban purposes, would readily be detected by this means.

To operationalize a mapping system, a classification system for nature must be agreed upon. This poses some problems in that a number of patterns in nature might be discerned, depending on the point of view and particular purposes for which such patterns are being sought. Nevertheless, despite the problem of a good deal of arbitrariness in classifying natural communities, there has emerged a rather general consensus, at least at very aggregate levels of classification, as to the major types of natural communities in the world. Terrestrial biomes, for example, have been categorized into seven major groups. These are: desert and semi-desert, prairie, savanna, temperate deciduous forest, tropical forest, temperate coniferous forest, and tundra (Appendix II). These system classifications rest primarily on perceptions of the nature of the dominant types of vegetation occupying these areas.

Each of these biome systems may, of course, be further sub-divided: deserts into hot and cold, tundra into Arctic and Alpine, prairies into moist and dry, tropical forest into rain forests and seasonal forests, etc. Classification of aquatic systems appears to be more dependent on chemical and physical properties, the most obvious designations being fresh water and marine. Within fresh water there are categories of rapidly-flowing systems (rivers and streams), as well as relatively stagnate systems (lakes and ponds). The marine aquatic systems can be categorized in terms of shoreline systems (rocky, muddy and sandy), neritic systems (continental shelf), up-wellings, coral reefs, and pelagic systems (open sea). All of these very aggregate classifications have been designated as biomes, which refer to a rather homogeneous region of loosely connected, interacting ecosystems.

Within each of the biome categories, one could make finer distinctions, again based on vegetation. Consider, for instance, the classification system (Appendix III) which has been utilized by the Institute of Ecology project on the North American ecosystems.³ For example, a grassland biome was perceived to contain nine separate types of ecosystems, including short grass, tall grass, mixed grass

Les répercussions des activités humaines sur l'environnement peuvent d'ailleurs souvent être illustrées efficacement par représentation cartographique séquentielle, par exemple au moyen d'appareils de télédétection. Les vastes transformations de terres boisées, par exemple, en terres agricoles ou encore de terres agricoles en zones urbaines, ou les travaux d'assèchement des marécages et des sols humides aux fins de l'agriculture ou de la construction urbaine, peuvent facilement être détectés de cette façon.

La mise en oeuvre d'un système de représentation cartographique nécessite l'adoption d'une classification de l'environnement. Cela soulève des problèmes, car on peut considérer le milieu naturel sous divers angles, selon le point de vue que l'on a et le but que l'on vise. Bien que la classification des groupements naturels soit très arbitraire, on est parvenu à s'entendre, au moins à des niveaux de classification très généraux, sur le choix des grandes catégories de groupements naturels dans le monde. Les biomes terrestres, par exemple, ont été classés en sept groupes principaux. Il s'agit des déserts et des semi-déserts, des prairies, des savanes, des forêts décidées tempérées, des forêts tropicales, des forêts sempervirentes tempérées et de la toundra (appendice II). Ces classifications reflètent surtout la nature de la végétation dominante dans les zones observées.

Chacun de ces biomes peut, il va sans dire, être subdivisé: ainsi, les déserts se répartiront entre déserts chauds et déserts froids, la toundra entre toundra arctique et toundra alpine; les prairies seront humides ou sèches, les forêts tropicales ombrophiles ou saisonnières, etc. La classification des systèmes aquatiques repose davantage, semble-t-il, sur leurs propriétés chimiques et physiques, les deux grandes catégories en cause étant les eaux douces et les eaux salées. La première regroupe les eaux courantes (fleuves, rivières et ruisseaux) ainsi que les eaux stagnantes (lacs et étangs). Quant à la seconde, elle englobe les systèmes littoraux (rocheux, boueux et sablonneux), les systèmes néritiques (plateau continental), les zones d'échanges verticaux, les récifs coralliens et les systèmes pélagiques (haute mer). Chacun de ces groupes très généraux est un biome, c'est-à-dire un assemblage assez homogène d'écosystèmes vaguement liés.

Dans chacune des catégories de biomes, il serait possible d'établir des distinctions plus poussées en se fondant de nouveau sur le type de végétation. Examinons, à titre indicatif, la classification (appendice III) adoptée par le *Institute of Ecology* dans le cadre d'un projet d'établissement des écosystèmes de l'Amérique du Nord³. Par exemple, le biome que représente une prairie peut appartenir à neuf types d'écosystèmes différents: prairies basses, prairies

³ This classification was considered sufficient for purposes of organizing information on North American Ecosystems for a proposed Handbook on North American Ecosystems, a project sponsored by The Institute of Ecology.

³ C'est cette classification qui a été adoptée pour présenter des renseignements sur les écosystèmes d'Amérique du Nord dans le guide établi sous l'égide du *Institute of Ecology*.

prairie, palouse prairie, desert grassland, annual grassland, mountain grassland, everglade grassland, and sub-Arctic grassland systems. Each of the other biome categories are similarly sub-divided into a number of component ecosystems. It should be noted that any two macro community taxonomists may differ, particularly at the finer levels of classification as to the boundaries of particular systems, and even the relevant categories of systems. The important point, however, in terms of management and decision making on environmental matters, is that some classification scheme be defined in a consistent manner as a basis upon which to organize information, both as to the stresses of human influence as well as natural factors which may act to transform such systems, and as a further basis upon which to organize information regarding the response of nature to human influences.

Of course, one should guard against rigid classificatory frameworks regardless of the units. Such classifications should be used flexibly as convenient tools to be revised as necessary or convenient to achieve important new goals. The tendency for such frameworks to become rigid and constraining must be actively combatted. A kind of dialectic between custodians of frameworks who have a categorical mindset, and process-orientated scientists and decision makers, should be encouraged and fostered over the long term.

Alternatives to the categorization of natural areas in terms of ecosystems and biomes would be the definition of regions in terms of their watersheds, geological formations, oceanographic water masses, etc. For some large scale regional planning activities, a major river system and its surrounding drainage basin, which may include a number of different ecosystems or biome regions, might best be considered as a whole. The analysis of the impact of an oil-gas pipeline through the Mackenzie Valley should be possibly best considered in this light. Therefore, to preserve the maximum flexibility, it is suggested that environmental data be mapped and geocoded in a flexible manner so that a number of categorization schemes might be employed, depending on the particular level of analysis required.

Ecosystem Transformation Accounting

A sequential mapping of natural communities in terms of ecosystems, biomes, or even watersheds, would reveal dynamic changes in the system's boundaries. Such boundary shifts may be attributed both to natural forces and those directly under human control. Some transformations are rather slow and occur over long periods of time, particularly those due to gradual continental shifts, geomorphic alterations, and climatic changes which alter the range of a particular ecosystem. Consider, for example, the

hautes, prairies diversifiées, prairies de type Palouse, prairies désertiques, prairies annuelles, prairies de montagne, prairies marécageuses et prairies subarctiques. Chacune des autres catégories de biomes peut aussi être subdivisée en un certain nombre d'écosystèmes. Il convient de souligner que deux macroclassifications peuvent différer, surtout aux niveaux de classification plus poussés, quant aux limites des écosystèmes et même aux catégories appropriées. Cependant, ce qui importe du point de vue de la gestion des ressources et de la prise de décisions, c'est d'établir un programme de classification uniforme qui servira à structurer l'information tant sur les sources d'agression d'origine humaine que sur les facteurs naturels qui peuvent concourir à transformer les systèmes, ainsi qu'à agencer les données sur les réactions de l'environnement aux agents d'agression d'origine humaine.

Il faut bien entendu prendre garde d'utiliser les cadres taxonomiques de façon trop rigide, peu importe les éléments qu'ils renferment. Les classifications doivent être utilisées avec souplesse, rectifiées au besoin et adaptées aux nouvelles exigences. Il importe de combattre énergiquement la tendance qu'elles ont à devenir rigides. Il conviendrait d'encourager, à long terme, les échanges d'idées entre les partisans de systèmes définitifs et les scientifiques et les responsables politiques qui sont tournés vers le changement.

Au lieu de découper les zones naturelles en écosystèmes et en biomes, on pourrait délimiter les régions selon les bassins hydrographiques, les formations géologiques, les masses océaniques, etc. Dans le cadre de certaines activités de planification régionale à grande échelle, il vaudrait peut-être mieux considérer comme une entité le réseau fluvial et le bassin hydrographique qui l'entoure, celui-ci pouvant être composé d'un certain nombre d'écosystèmes ou de biomes différents. Peut-être serait-il préférable d'analyser les répercussions du tracé d'un pipe-line dans la Vallée du Mackenzie en se fondant sur ce critère. Pour préserver le plus possible la souplesse du système, nous proposons donc que les données sur l'environnement soient cartographiées et géocodées d'une manière souple. Ainsi, on pourra recourir à un certain nombre de classifications, compte tenu du niveau d'analyse approprié.

Transformation des écosystèmes

La représentation cartographique séquentielle des groupements naturels selon les écosystèmes, les biomes ou même les bassins hydrographiques ferait ressortir les transformations qui s'opèrent quant aux limites de ces systèmes. Ces transformations peuvent être attribuées aussi bien aux forces naturelles qu'aux activités humaines. Certaines sont plutôt lentes et s'opèrent sur de longues périodes; citons en particulier les transformations dues à la dérive graduelle des continents, aux phénomènes géomorphiques et aux variations climatiques qui influent sur les limites géographiques d'un

slowly shifting boundaries of the northern boreal forest over the past several millennia. Successional sequences, that is, the transformation of a community from immature to more mature stages, for example, grasslands to mature climax forest, may occur over periods of from 50 to 2,000 years, depending on the particular kind of natural system and the stability, or lack of it, in the physical environment. More rapid transformations may be due to such natural perturbations as fire, or forest outbreaks, which have the effect of very rapidly transforming large, mature forests to less complex stages of succession almost instantaneously. These natural perturbations themselves may have a built-in cyclical timing of from perhaps 30 to 300 years.

Transformations due to human stresses on natural communities may be characterized by less well defined and more unidirectional time constants. The loss of wetlands in Ontario and the Prairie provinces may serve as an example, and to this one might add the loss of stands of valuable Western cedar and Douglas fir trees in British Columbia. Occasionally, ecosystem rehabilitation may reverse the direction of ecosystem transformation. Reforestation programs, salmon enhancement programs, moratoria and programs to curtail major pollutants (particularly those released into aquatic systems) may well have the effect of permitting natural communities to recover and return to less stressed states.

Conceptually, land transformation accounts may be derived in terms of ecological regions. Each ecoregion can be described in terms of its area and species composition (dominant species only). Annual changes would then be attributed to specified kinds of perturbations, such as human harvesting, fire, insect outbreaks, disease, climatic factors, etc. In addition, the major sources of accruals to particular types of habitat would also be documented. Accruals occur due to natural regeneration, reforestation, or simply land use transformations which result from a depletion in one type of habitat, for example the cutting down of a forest and the accrual of a different type of habitat, for example, the early stage of grassland succession. This is the conceptual approach now being considered in the Forestry Section of Environment Canada.

Remote sensing techniques are currently employed in constructing surveys and inventories of forest regions and other natural areas and now appear well suited to the task of routine mapping of ecological zones. The species and structural diversity of vegetation, primary productivity, as indicated by chlorophyll content of vegetation, and the biomass of large mammals are some of the variables which may now be monitored by remote sensing techniques. The

écosystème donné. Prenons, par exemple, le cas du lent recul des forêts boréales des régions septentrionales au cours des derniers millénaires. Les phases de la succession écologique, c'est-à-dire le passage d'une communauté pionnière à une communauté terminale (par exemple, le processus de transformation d'une prairie en une forêt parvenue à l'étape finale de son évolution), peuvent durer de 50 à 2,000 ans selon le genre d'écosystème et le degré de stabilité ou d'instabilité du milieu physique. Les transformations plus rapides seront parfois le fait d'agents de perturbation naturels comme les incendies ou les épidémies, qui ont pour effet de transformer très rapidement de vastes forêts parvenues à maturité, les ramenant presque instantanément à une étape antérieure de leur évolution. Ces phénomènes naturels peuvent eux-mêmes se manifester de façon cyclique, à intervalles de 30 à 300 ans.

Les transformations causées par les sources d'agression d'origine humaine peuvent être caractérisées par une certaine imprécision chronologique et une réversibilité moins grande. À titre d'exemple, mentionnons l'assèchement des sols humides en Ontario et dans les Prairies ainsi que la disparition de peuplements de grande valeur commerciale de cèdres de l'ouest et de sapins de Douglas en Colombie-Britannique. La réhabilitation des écosystèmes peut parfois inverser le mouvement de transformation. Les programmes de reboisement et de repeuplement des cours d'eau en saumons, les moratoires et les programmes de réduction des principaux polluants (surtout ceux qui sont évacués dans les écosystèmes aquatiques) peuvent fort bien favoriser la régénération des groupements naturels et les ramener à un état d'équilibre plus harmonieux.

Théoriquement, les données sur la transformation du territoire peuvent être ventilées selon les régions écologiques. Chaque écorégion peut être décrite d'après sa superficie et la composition des espèces (dominantes seulement) qui s'y trouvent. Les transformations qui se sont opérées dans l'année peuvent alors être attribuées à des agents de perturbation déterminés: exploitation des ressources, incendies, invasions d'insectes, maladies, facteurs climatiques, etc. Il est en outre possible de dépister les principales causes de la progression d'habitats particuliers, soit la régénération naturelle, le reboisement ou tout simplement une nouvelle utilisation du territoire due à l'épuisement des ressources d'un habitat donné (par exemple, le déboisement d'une forêt et l'apparition subséquente d'un type d'habitat différent, disons la phase initiale de la succession des prairies). Voilà l'approche théorique qui fait actuellement l'objet d'une étude à la Section de la foresterie du ministère des Pêches et de l'Environnement.

Les techniques de télédétection servent communément à établir des levés et des inventaires des régions forestières et d'autres zones naturelles et semblent maintenant se prêter à la représentation cartographique ordinaire des zones écologiques. Elles nous permettent maintenant d'exercer une surveillance sur des éléments tels la diversité des végétaux et de leur structure, la productivité primaire, indiquée par la teneur en chlorophylle des végétaux, et la biomasse des grands mammifères. L'interprétation des données de ce genre

interpretation of such data, of course, must rely on the understanding of the natural periodicities and dynamics of ecosystem function. For example, the seasonal component of the photosynthetic activity in both hardwood and softwood forests must be reckoned with in terms of estimating plant biomass and primary plant activity. The simpler the relationships between the vegetation and the soil, the more reliable earth satellite monitoring data may be as a basic source of information on land transformations. The current technology is insufficient for complete descriptions of more complex habitats, such as the boreal zone of the Pre-Cambrian Shield, where it appears that for some years to come airborne imagery and "ground truthing" will be required as supplementary to remote sensing data.⁴

Monitoring Cultural Stress and Ecosystem Response

Taxonomy of Stress

Ideally, if the relationship between stress and ecosystem responses were fully specified, one set of data, stress, for example, might be inferred from the other (responses) and vice versa. Unfortunately, the current state of knowledge is insufficient to accomplish this except in special instances, thus necessitating the compilation of information both on stress and response sides of the ledger. The lack of knowledge mirrors in part the complexity of events between the onset of a stress agent and the ultimate impact on the natural community. Often one of the problems hindering the elucidation of the mechanisms by which stresses ultimately impact on natural communities is the long time lapse between the onset of stress and its manifestation at the ecological community level. Further, it is well known that stresses may act in geographical regions far removed from their point of release into the natural environment. Finally, stresses may be interactive with other stresses of human origin of very different types, as well as with stresses of natural origin.

The classification of cultural stresses will, of necessity, be somewhat arbitrary. It should minimally be a logical and complete system of classification, with aggregate categories broad enough to include all

nécessite de toute évidence la connaissance du cycle naturel et de la dynamique des fonctions des écosystèmes. Par exemple, il faut tenir compte de la variation saisonnière de la photosynthèse dans les forêts de feuillus et de résineux pour estimer la biomasse végétale et l'activité primaire des végétaux. Plus les relations entre la végétation et le territoire sont simples, plus les données de surveillance recueillies au moyen des satellites terrestres sont fiables en tant qu'éléments d'information sur la transformation du territoire. Compte tenu de son état d'avancement actuel, la technologie ne nous permet pas de décrire entièrement les habitats plus complexes, comme la zone boréale du bouclier précambrien; au cours des années à venir, il faudra recourir à la photographie aérienne et aux expéditions de vérification pour compléter les données recueillies au moyen des appareils de télé-détection⁴.

Surveillance des sources d'agression d'origine humaine et des réactions des écosystèmes

Classification des sources d'agression

Idealement, si le rapport entre les sources d'agression et les réactions des écosystèmes était bien établi, les données sur l'agression pourraient être déduites des données sur les réactions et vice versa. Malheureusement, l'état de nos connaissances actuelles ne nous permet pas de bien déterminer ce rapport, sauf dans des cas particuliers; c'est pourquoi nous sommes contraints de rassembler des données sur les sources d'agression et sur les réactions. Notre manque de connaissance reflète en partie la complexité des phénomènes qui interviennent entre le moment où un agent d'agression prend naissance et celui où il finit par se répercuter sur les milieux naturels. Le délai entre l'apparition et la manifestation ultime d'un agent d'agression constitue l'un des éléments qui nous empêchent de découvrir le processus selon lequel cet agent attaque le milieu. En outre, chacun sait que les sources d'agression peuvent faire sentir leurs effets dans des régions géographiques très éloignées du point où elles ont pris naissance. Enfin, elles peuvent se conjuguer à des facteurs naturels ainsi qu'à d'autres facteurs d'agression d'origine humaine, très différents d'elles.

La nomenclature des sources d'agression d'origine culturelle sera, forcément, un peu arbitraire. Elle devra néanmoins être logique et complète, et se composer de catégories générales suffisamment vastes pour prendre en compte toutes

⁴ Thie, J., Tarnocai, T.C., Mills, G.F. and Kristoff, S.J., "A Resource Inventory for Canada's North by Means of Satellite and Air-Borne Remote Sensing", pages 200 - 215, in *Procedures of the 2nd Canadian Symposium on Remote Sensing*, Guelph, Ontario, 1974.

Also see Thie, J., "An Evaluation of Remote Sensing Techniques for Ecological (Biophysical) Land Classifications in Northern Canada", in *Ecological (biophysical) Land Classification in Canada*; Ecological Land Classification Series, No. 1; edited by J. Thie and G. Ironside, Lands Directorate, Environment Canada, Catalogue EN73-3/1 ISBN:0-662-00473-6, 1976.

⁴ Thie, J.; Tarnocai, T.C.; Mills, G.F. et Kristoff, S.J., "A Resource Inventory for Canada's North by Means of Satellite and Air-Borne Remote Sensing", pages 200 - 215. Extrait de *Procedures of the 2nd Canadian Symposium on Remote Sensing*, Guelph, Ontario, 1974.

Thie, J., "An Evaluation of Remote Sensing Techniques for Ecological (Biophysical) Land Classifications in Northern Canada", tiré de *Ecological (Biophysical) Land Classification in Canada*; Série de la classification écologique du territoire, n° 1; édité par J. Thie et G. Ironside, Direction générale des terres, ministères des Pêches et de l'Environnement, n° de catalogue EN73-3/1 ISBN:0-662-00473-6, 1976.

of the major sources of cultural stress which impinge upon the functioning and well-being of natural systems. One methodological difficulty which ought to be clear at the outset is that the very definition of a stress would seem to demand *a priori* knowledge that such a force indeed has a significant impact on the functioning of the ecosystem, that is, to identify a stress almost presupposes some knowledge of its impact. Unfortunately, given limited knowledge of the buffering capabilities of ecosystems, it is sometimes taken as an article of faith that particular classes of stress are likely to impact the system in ways adverse to its viability and persistence. The determination is complicated, due to the fact that the same stress, for example, a particular toxin loading into an aquatic stream community, may adversely affect the community during some periods of the year, for example, during the low water stage in mid-summer, and be of negligible consequence during other periods, for example, during the spring runoff. Further, because stresses interact, it may well be the case that the simultaneous occurrence of two or more stresses render each significant, whereas under conditions in which any one stress was present alone, there may be no significant impact on ecosystems.

In a recent report by the Food and Agricultural Organization⁵ stresses which impinge upon aquatic systems were classified under five general groups as follows:

- (1) natural background;
- (2) harvesting or renewable resources, whether opportunistic or carefully regulated;
- (3) loading of nutrients, poisons, heat, inert suspensions, etc.;
- (4) restructuring morphometrically; e.g., damming, shoreline infilling, channelization, and major sedimentation;
- (5) introduction of non-native species (biological loading).

For all of the above classes of stress what is relevant is not only the average value of the activity, but also the spatial and temporal variability associated with stress measures, and particularly the extreme manifestations. Consider, for example, the importance of extreme values of natural stresses, both internal and external, to aquatic systems including temperature, winds, rainfall, water levels, and currents.

The major factors of the cultural stress that have transformed the Lake Erie System over the past 150

les principales sources d'agression qui entravent le fonctionnement harmonieux d'un système naturel. Mentionnons tout de suite que la classification des sources d'agression présente une difficulté méthodologique: étant donné la définition même de ce concept, il faut savoir *a priori* si le facteur considéré a réellement des répercussions importantes sur le fonctionnement de l'écosystème, c'est-à-dire que pour détecter une source d'agression, il faut déjà connaître tant soit peu ses répercussions. Malheureusement, ne connaissant pas bien la faculté de résistance des écosystèmes, nous en sommes parfois réduits à croire aveuglément que certains éléments ont des effets qui nuisent à la viabilité et à la survie des milieux naturels. Il est difficile de dépister une source d'agression, par exemple une charge de toxines dans l'écosystème aquatique que représente un cours d'eau, car elle peut avoir des effets néfastes pendant certaines périodes de l'année (au moment où l'eau atteint son niveau le plus bas au milieu de l'été), mais ne pas se manifester de façon sensible pendant d'autres périodes (au moment de la crue des eaux, par ex.). De plus, étant interdépendantes, les sources d'agression peuvent avoir des effets marqués lorsqu'elles se manifestent simultanément, alors qu'elles joueraient un rôle imperceptible si elles intervenaient isolément.

Dans un récent rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture⁵, les sources d'agression qui agissent sur les écosystèmes aquatiques ont été classées en cinq groupes généraux:

- (1) sources d'origine naturelle;
- (2) exploitation des ressources renouvelables, qu'elle soit inconsidérée ou rigoureusement réglementée;
- (3) charges de substances nutritives, poison, chaleur, corps inertes en suspension, etc.;
- (4) restructuration morphométrique (construction de barrages, remplissage du littoral, travaux de canalisation et phénomènes importants de sédimentation);
- (5) introduction d'espèces exotiques (charges biologiques).

Dans les cinq cas précités, il importe non seulement de connaître la valeur moyenne des activités en cause, mais également les variations spatiales et temporelles des mesures de l'agression, et en particulier les valeurs extrêmes. Examinons, par exemple, l'importance des manifestations extrêmes des sources d'agression d'origine naturelle, internes et externes, qui agissent sur les systèmes aquatiques, par exemple le climat, les vents, les précipitations, les niveaux d'eau et les courants.

Les principaux facteurs d'agression d'origine culturelle qui ont transformé, au cours des 150 dernières années, l'écosys-

⁵ H.A. Regier, et al. "Indices For Measuring Responses of Aquatic Ecological Systems to Various Human Influences." Food and Agricultural Organization, Fisheries Technical Paper (FIR/T151), 66 pages, 1976.

⁵ Regier, H.A., et collaborateurs, "Indices for Measuring Responses of Aquatic Ecological Systems to Various Human Influences" Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Fisheries Technical Paper (FIR/T151), 66 pages, 1976.

years were reviewed by Regier and Hartman.⁶ They identify commercial fishing, cultural eutrophication, introduction of non-indigenous aquatic species (particularly, the sea lamprey), tributary and shoreline restructuring, turbidity and the situation caused by continuing inflow of fine, inert materials, the release of toxic materials from industrial wastes, effects of movements of vessels and vehicles, and the unintended introduction of biocides as the major factors of stress impinging upon the Lake Erie System. These might be classified in terms of the five primary classification categories mentioned above and shown in Appendix IV. Appendix V contains the detailed listing of stresses affecting other Canadian systems given in a recent review of aquatic quality.⁷ These are also viewed as subcomponents of the basic categorization system suggested here. In the light of these examples, the five categories of cultural stress appear to be sufficient to account for all of the major forces of human influence which tend to modify aquatic ecosystems. It should be noted parenthetically here that the large concern with pollutants today at best reflect only a small part (perhaps 20%) of the total stress impacting aquatic systems. Terrestrial systems might be amenable to a similar classification framework.

It is suggested that the data gathered on cultural stress impinging on natural regions be coded geographically such that particular ecosystems or biomes may be singled out for analysis with regard to a particular set of cultural stresses. Stresses enter natural systems at points often rather remote from their point of origin. For example, consider the diffuse land runoff from agricultural systems impacting aquatic systems hundreds of miles away from the source of runoff, or mining or paper mill operations acidifying the atmosphere and this acid rain precipitating hundreds of miles removed from the source of the contamination. It is, therefore, crucial that point-source loadings, as well as broad-front and diffuse loadings, all be given adequate representation in terms of their geographical impact.

Ecological Indicators of Community Transformation

In order to assess the well-being of a natural community, the question might be raised as to what is the minimum number of characteristics that would be sufficient to describe the dynamics of natural systems.

⁶ H.A. Regier, and W.L. Hartman, "Lake Erie's Fish Community: 150 Years of Cultural Stresses", *Science*, Volume 180, pages 1248 - 1255, 1973.

⁷ H.H. Harvey, "Aquatic Environmental Quality: Problems and Proposals", *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, Volume 33, pages 2634 - 2670, 1976.

tème que représente le lac Érié ont fait l'objet d'une étude⁶. Les auteurs de cette étude ont découvert que les facteurs en cause étaient la pêche commerciale, l'eutrophisation liée à l'activité humaine, l'introduction d'espèces aquatiques non indigènes (en particulier la lamproie de mer), la restructuration des affluents et du littoral, la turbidité de l'eau et les phénomènes causés par l'apport continu de fines particules inertes, l'émission de matières toxiques provenant des déchets industriels, l'effet des déplacements des bateaux et autres véhicules, et l'introduction involontaire de biocides. Ces éléments pourraient être classés selon les cinq catégories susmentionnées, qui sont aussi illustrées à l'appendice IV. L'appendice V renferme la liste détaillée des sources d'agression qui influent sur d'autres écosystèmes; cette liste est tirée d'une récente étude sur la qualité des écosystèmes aquatiques⁷. Ces éléments peuvent également être considérés comme les sous-composantes de la classification de base proposée dans le présent document. À la lumière de ces exemples, il semble que les cinq catégories de sources d'agression réussissent à prendre en compte tous les principaux agents d'agression d'origine humaine qui ont tendance à modifier les écosystèmes aquatiques. Soit dit en passant, les effets des polluants ne représentent au mieux qu'une faible partie (peut-être 20 %) des répercussions de l'ensemble des sources d'agression contre les systèmes aquatiques. Les écosystèmes terrestres pourraient se prêter à une classification semblable.

On pourrait géocoder les données recueillies sur les sources d'agression d'origine culturelle qui se manifestent dans les milieux naturels; ainsi, il deviendrait possible d'analyser les agents d'agression d'un écosystème ou d'un biome donné. Les sources d'agression agissent sur les écosystèmes des zones souvent assez éloignées de leur point d'origine. Par exemple, les écosystèmes aquatiques recueillent les eaux en provenance de zones agricoles, mais l'effet de ces écoulements se fait sentir à des centaines de milles de distance. De même, les émanations en provenance des mines et des usines de pâte à papier acidifient l'atmosphère, et les précipitations acides sont enregistrées à des centaines de milles de la source de contamination. Il est donc essentiel de déterminer les répercussions géographiques des charges en provenance d'un point précis (une usine, par ex.) ainsi que des celles qui sont véhiculées par un agent (un cours d'eau, par ex.) ou qui tirent leur origine de phénomènes plus diffus (pratiques agricoles, érosion, etc.).

Indicateurs de la transformation des groupements écologiques

Pour évaluer le bien-être d'un groupement naturel, il faudrait peut-être déterminer le nombre minimal de caractéristiques qui suffirait à décrire la dynamique d'un écosystème.

⁶ Regier, H.A., et Hartman, W.L., "Lake Erie's Fish Community: 150 years of Cultural Stresses", *Science*, volume 180, pages 1248 - 1255, 1973.

⁷ Harvey, H.H. *Qualité de l'environnement aquatique: Problèmes et suggestions*, journal de l'Office de recherche sur les pêcheries du Canada, volume 33, pages 2634 - 2670, 1976.

One might identify four major thrusts in community ecology, each of which suggests characteristics of whole system structure and function, which may be used in a general diagnosis of the state, health and viability of such natural systems. The four approaches may be designated as trophic dynamics (compartment flow models in terms of energy and nutrients), biogeographical approaches, stimulus-response approaches, and resource allocation mechanisms.

1. Currently, the dominant approach to community ecology among academics is to characterize the system in terms of major energy and nutrient flows. Species are analyzed with respect to their position in the food chains of natural systems. The primary producers are the plants, which are at the first step of the food chain where they elaborate biomass through the process of photosynthesis by conversion of carbon dioxide and water to sugars, with the aid of sunlight. Primary productivity can be formally defined in terms of "the rate at which radiant energy is stored by photosynthetic and chemosynthetic activity of producer organisms (chiefly green plants) in the form of organic substances which can be used as food materials".⁸ The gross productivity is defined as the total, less respiration requirements during the period of photosynthesis.

Primary productivity is determined in part by the nature of the energy supplements and drains to the natural system, for example, rain forest productivity is enhanced by the energy of wind and rain. Similarly, estuaries benefit by tidal energy in terms of nutrient transport, while the productivity of cultivated fields is related to the energy of human and animal efforts in cultivation, as well as in burning of fossil fuels. On the other hand, drains from the system result from man's harvesting activities, pollutants, and adverse climatic factors.

As indicated in Appendix VI the estimated gross productivity in terms of the energy (cal/m²) of various types of ecosystems varies over two orders of magnitude, from the low productivity of deserts and tundra systems to the extremely high productivity of estuaries and coral reefs. Under human stress, the primary productivity may be diminished or enhanced, depending on the kind of stress. The main point, however, is that in either case, it is possible that the primary productivity may fall outside the normal range for the system in question in the unstressed state. Common examples of situations in which stress increases productivity above the normal amount are the processes of eutrophication of lakes which result

On pourrait considérer que la synécologie, ou écologie des communautés animales ou végétales, comporte quatre grandes tendances qui font toutes état des caractéristiques structurales et fonctionnelles du système tout entier et peuvent servir à effectuer un diagnostic général de l'état, de la vitalité et de la viabilité des écosystèmes. Il s'agit de l'étude des mécanismes trophiques (modèles de réseaux trophiques portant sur les transferts d'énergie et de substances nutritives), des facteurs biogéographiques et des mécanismes d'attribution des ressources, ainsi que de l'approche agression-réaction.

1. À l'heure actuelle, les universitaires considèrent en général la synécologie sous l'angle des transferts d'énergie et de substances nutritives. Les espèces sont analysées selon leur position dans la chaîne alimentaire des systèmes naturels. Les producteurs primaires sont les plantes, qui constituent la première maille de la chaîne trophique; elles élaborent la biomasse par photosynthèse en transformant le dioxyde de carbone et l'eau en sucre, à l'aide de la lumière solaire. La productivité primaire se définit comme le rythme auquel l'énergie solaire est emmagasinée, par les processus de photosynthèse et de chimiosynthèse des organismes producteurs (principalement les plantes vertes), sous forme de matières organiques pouvant servir de substances nutritives⁸. La productivité brute désigne la production totale moins les déperditions d'oxygène causées par la respiration pendant la période de photosynthèse.

La productivité primaire dépend en partie de la nature des apports et des pertes d'énergie des systèmes naturels; par exemple, la productivité des forêts ombrophiles est améliorée grâce à l'apport d'énergie du vent et de la pluie. De même, les estuaires tirent profit de l'énergie des marées parce que celles-ci véhiculent des substances nutritives, tandis que la fertilité des terres cultivées est subordonnée aux dépenses d'énergie, soit humaine, animale ou fossile. Par ailleurs, les pertes d'énergie résultent des activités humaines, de la présence de polluants et de facteurs climatiques défavorables.

Comme le montre l'appendice VI, la productivité brute estimative (cal/m²) des diverses catégories d'écosystèmes varie de plus de deux ordres de grandeur, passant d'un niveau très faible dans le cas des déserts et de la toundra à un niveau très fort dans celui des estuaires et des récifs coralliens. Sous l'influence de l'homme, la productivité primaire peut diminuer ou augmenter selon la nature de la source d'agression en cause. Dans un cas comme dans l'autre, cependant, elle peut dépasser les limites normales à l'intérieur desquelles le système se maintenait avant d'être soumis à des facteurs d'agression. Ainsi, il arrive fréquemment que la productivité des écosystèmes lacustres augmente à cause du phénomène de l'eutrophisation, ce qui entraîne la prolifération des algues en raison d'un apport excessif de substances nutritives. De

⁸ E.P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, third edition Saunders, Toronto, 574 pages, 1971.

⁸ Odum, E.P., *Fundamentals of Ecology*, troisième édition (Saunders, Toronto, 574 pages, 1971).

in excessive algal blooms due to nutrification, and thus increase primary productivity. Similarly, water impoundments as a result of dams have the effect of trapping nutrients and thus increasing the productivity of man-created lakes or impoundments, while impoverishing areas below the dam.

Primary productivity is, of course, only one example of an energetic measure of ecological community metabolism which could be used to characterize ecosystems. The ratio of gross production (that is, the total amount of biomass elaborated in a given time period), to community respiration (the energy required for community metabolism), gross production to standing-crop biomass, biomass elaborated per unit of energy flow, net community production (yield), and the structure of food chains are other measures stemming from the energetic compartment flow models which can be used as indicators of ecosystem health.

2. While the compartment flow models, in terms of energy and nutrients, tend to emphasize the steady state of the system at various stages of succession, the second major perspective, namely the stimulus-response approach, has its primary focus on attributes which indicate the likelihood of the system transforming to alternative states. Within this mode of thinking, measures of the resilience, stability and recoverability of natural systems are of prime importance. The forest system in eastern Canada, which is subject to periodic ravages of the Spruce budworm, exemplifies ecosystem resilience. As a result of this forest insect outbreak, the populations of mature Spruce and Fir trees are drastically pruned, while the Birch population, which is an early successional stage, gains a temporary foothold. The populations of Spruce budworm and Birch, Fir and Spruce fluctuate over many orders of magnitude in periodic cycles, ranging from 30 to 40 years. Nevertheless, the system as a whole persists perhaps as a result of these periodic cyclical changes.

The recovery process of fresh-water systems, particularly streams, has been investigated from this point of view.⁹ One of the factors which is apparently a key element in determining the inertia of natural systems to transformation (that is, the capability to resist displacement of structural and functional characteristics), is the functional and structural redundancy of the natural system. In the early stages of succession, systems tend to be relatively simple, with few interacting species, but each playing a rather critical role in maintaining the structure of the entire system. During this period, the loss of even

même, les bassins d'eau créés par les barrages emprisonnent les substances nutritives; on assiste alors à un accroissement de leur productivité et, simultanément, à un appauvrissement des eaux au-delà des barrages.

La productivité primaire ne constitue, bien sûr, qu'un des éléments d'évaluation du métabolisme des communautés écologiques qui pourrait servir à déterminer les caractéristiques des écosystèmes. Le rapport entre la production brute (c'est-à-dire la quantité totale de biomasse élaborée pendant une période donnée) et la respiration (énergie nécessaire au métabolisme de la communauté), ainsi qu'entre la production brute et la biomasse sur pied, ou *standing crop*, la biomasse produite par unité de flux d'énergie, la production nette de la communauté et la structure des chaînes trophiques sont d'autres éléments empruntés aux modèles de réseaux trophiques qui peuvent servir d'indicateurs de la vitalité des écosystèmes.

2. L'approche par modèle de réseaux trophiques a tendance à mettre l'accent sur les caractéristiques statiques d'un système à diverses étapes de sa succession, tandis que la deuxième, à savoir l'approche agression-réaction, vise à faire ressortir les facteurs dynamiques annonçant le passage du système à une autre étape de la succession. Dans cet esprit, il est essentiel d'évaluer la résistance, la stabilité et la faculté de récupération des systèmes naturels. L'écosystème sylvestre de l'est du Canada, qui subit périodiquement les ravages de la tordeuse de l'épinette, est un bon exemple de la résistance à un facteur d'agression. Les peuplements d'épinettes et de sapins parvenus à maturité y sont considérablement réduits, par suite de l'invasion des insectes, ce qui accorde un répit temporaire aux peuplements de bouleaux, qui constituent une étape antérieure de la succession. Les peuplements de bouleaux, d'épinettes et de sapins varient sensiblement selon des cycles de 30 à 40 ans. Néanmoins, le système dans son ensemble parvient à survivre, peut-être en raison de ces changements cycliques.

On a étudié sous cet angle le processus de récupération des écosystèmes aquatiques d'eau douce, en particulier des cours d'eau⁹. L'un des facteurs qui joue, semble-t-il, un rôle prépondérant dans la détermination du degré d'inertie des systèmes naturels au phénomène de la transformation (c'est-à-dire, la faculté de résister au changement de leurs caractéristiques structurales et fonctionnelles) est la multiplication des liens fonctionnels structuraux équivalents au sein des communautés écologiques. Dans les premières phases de leur succession, les systèmes sont en général relativement simple; peu d'espèces entretiennent des interrelations, chacun jouant un rôle assez important dans le maintien de la structure du

⁹ J. Cairns Jr., and K.L. Dickson, "Risk Analysis for Aquatic Ecosystems". President's Council on Environmental Quality, Symposium on Impact Assessment, 1978, forthcoming.

⁹ J. Cairns, Jr., et Dickson, K.L., "Risk Analysis for Aquatic Ecosystems", President's Council on Environmental Quality, symposium sur l'évaluation des répercussions de l'activité humaine sur l'environnement, 1978, à paraître.

a single species could result, for example, in the loss of an entire trophic level and cause the collapse of the community. In later successional stages there tends to be a number of species playing very closely related roles, and this creates a great deal of functional redundancy. In such cases, the loss of a single species may not be too important and, in most cases, may not jeopardize the continuation of the system. Therefore, in many cases a measure of structural and functional redundancy is indeed a valuable characteristic which indicates the likelihood of the system being vulnerable to transformations, that is, a decrease in system functional or structural redundancy may be a valuable indicator of decreasing resistance to transformation.

Another aspect germane to the stimulus-stress mode of analysis of community ecology is the concept of recoverability in the sense of the number of times that an ecosystem may be perturbed and still recover in a given time frame. The above study indicated that for a salt marsh subjected to oil spills, the system could recover rapidly when four to five exposures in close succession were applied, but if the number of exposures was increased to 16 or 17 with the same frequency, the recovery was either negligible or considerably smaller. These results indicate a lessening of resiliency with increasing frequency of exposures to cultural stress. The study concludes that although the determination of system resiliency by various techniques is difficult, even crude measures could be of enormous value from the standpoint of ecosystem management.

3. The third major perspective pertinent to the assessment of ecosystem health comes from biogeographical approaches to ecology. As already mentioned, biogeography focuses on species diversity found in various habitats. The equilibrium number of species for particular taxa in given habitats may itself serve as an indicator of stress-free environments. Cultural stress could be expected to reduce the equilibrium number in most cases, although, as already noted in the case of eutrophication, it may possibly increase the number of species of some classes. More complex indicators of cultural stress may be constructed from ratios of species in different taxa when compared to the normal ratio expected in undisturbed communities of comparable size and location.

Species diversity indices have, in fact, long been used as indicators of stress, particularly stress due to pollution. The dramatic change in the Shannon index of diversity for the Benthos community downstream

système global. Pendant cette période, la disparition d'une seule espèce peut, par exemple, entraîner la perte complète d'un maillon de la chaîne alimentaire et causer la destruction de la communauté. Dans les phases ultérieures de la succession, un certain nombre d'espèces jouent des rôles très étroitement liés, ce qui crée une abondance de liens fonctionnels équivalents. La perte d'une espèce peut alors ne pas être trop grave et, dans la plupart des cas, elle ne risque pas de compromettre la survie du système. Par conséquent, la fréquence des équivalences structurales et fonctionnelles est, dans bien des cas, un indicateur de la vulnérabilité du système aux transformations; ainsi, une diminution de cette fréquence peut être un indice révélateur de la diminution de sa résistance.

L'analyse agression-réaction repose sur un autre concept: celui du pouvoir de reconstitution des écosystèmes, mesuré par le nombre de fois qu'une communauté peut, après avoir été perturbée, recouvrer son équilibre dans un délai déterminé. Dans leur étude, Cairns et Dickson signalent qu'un marais salant dans lequel on déversait du pétrole pouvait recouvrer rapidement son état initial après quatre ou cinq déversements rapprochés, mais que sa faculté de récupération devenait négligeable ou, en tout cas, beaucoup plus faible lorsque le nombre de déversements passait à 16 ou 17. Cela montre que la faculté de reconstitution du système diminue au fur et à mesure que la fréquence des agressions d'origine humaine augmente. Les auteurs de cette étude concluent que malgré la difficulté que pose la mesure du degré de résistance des systèmes par diverses techniques, des données, mêmes approximatives, à ce sujet seraient très précieuses pour les gestionnaires des ressources.

3. La troisième méthode d'évaluation de la vitalité des écosystèmes est l'approche biogéographique. Comme nous l'avons déjà mentionné, la biogéographie étudie essentiellement la diversité des espèces qui vivent dans des habitats variés. Pour déterminer si un milieu est soumis ou non à des agents d'agression, on peut avoir recours au dénombrement de certaines espèces. Si les populations des espèces considérées sont optimales, le milieu n'est probablement pas perturbé. Les sources d'agression d'origine culturelle, en rompant l'équilibre, auront tendance à diminuer les populations; cependant, comme nous l'avons mentionné dans le cas de l'eutrophisation, elles peuvent également avoir l'effet contraire. On peut établir des indicateurs plus complexes des sources d'agression d'origine humaine en comparant le rapport entre les espèces de différentes catégories et celui qu'on obtient pour des groupements de taille semblable situés dans des zones équivalentes, mais qui ne subissent pas les effets de sources d'agression.

Les indices de la diversité des espèces servent en réalité depuis longtemps à détecter les agents d'agression, en particulier les polluants. Ainsi, on a appliqué l'indice Shannon de diversité à un groupement benthique vivant en

from industrial domestic sewage outfalls is a classic example¹⁰ (Chart 3). The diversity of the Benthos was reduced fourfold in the range 0 - 20 miles below the outfall, and depressant effects were observed up to 60 miles below the point of the sewage outfall. Comparisons of polluted and unpolluted marine estuaries for their diatome diversity reveal also a striking difference in the polluted bay (Charts 2 and 3).

4. The fourth general perspective,¹¹ namely that of resource allocation processes in natural communities, yields yet another set of characteristics which may prove valuable in documenting the status of natural areas. Ecosystems in the process of transformation may undergo shifts in food web structure and set up selective pressures for alternate resource utilization strategies. To take a well-known example, early stages of succession are more conducive to organisms with rapid population growth tactics (i.e., maximum reproduction), while later stages favour shifting life strategies to those in which parental investment in offspring plays a more decisive role. Cultural stresses essentially change the normal resource spectrum available to organisms, shifting the strategy of individual species and the community towards other resource utilization patterns, all of which may serve as ecological indicators of cultural stress.

Collectively, the above four approaches to community ecology may suggest ecological indicators of the health state of nature, perhaps akin to the medical practitioner's notion of "vital signs" of human health. If such vital signs could be identified for each representative ecosystem, this would enable the analysis of transformations in ecosystems as a result of cultural stress to be done in a manner very similar to the methodology employed in today's medical diagnostic practices. For each characteristic included as an indicator of ecosystem health, upper and lower bounds might be established empirically by measurements of undisturbed natural systems. These upper and lower bounds, as well as the variance and the mean values, would constitute baseline data. A rather rich body of empirical information of this type will enable ecosystem practitioners to derive treatment protocols for systems transformed by particular sets of cultural stresses, since such systems would likely exhibit characteristic symptoms or abnormalities in their characterization profiles.

The selection of characters which comprise such

¹⁰ These examples were reproduced from E.P. Odum's textbook in *Écologie*.

¹¹ D.J. Rapport, and J.E. Turner, "Economic Models in Ecology", *Science*, Volume 195, pages 367 - 373, January 28, 1977.

aval d'une décharge d'eaux usées industrielles¹⁰ (graphique 3). Dans un rayon de 0 - 20 milles en aval de la décharge, l'indice est quatre fois inférieur à sa valeur normale; de plus, des effets négatifs ont été observés dans un rayon pouvant atteindre 60 milles, en deçà du point de décharge des eaux usées. Si l'on compare la diversité des diatomées dans des estuaires marins pollués et non pollués, on note également une différence frappante (graphiques 2 et 3).

4. La quatrième approche¹¹, c'est-à-dire, l'étude du processus d'attribution des ressources dans les groupements naturels, met en lumière une autre série de caractéristiques qui peuvent être révélatrices quant à l'état des milieux naturels. Dans les écosystèmes en cours de transformation, la structure de la chaîne trophique peut faire l'objet de changements et il peut devenir nécessaire de recourir à d'autres modes d'utilisation des ressources. En voici un exemple bien connu: les communautés qui se trouvent à une étape primaire de leur évolution favorisent les organismes qui se reproduisent à un rythme rapide (régime de reproduction maximum) et les communautés plus évoluées, ceux qui se reproduisent moins abondamment et se consacrent davantage à leur progéniture. Les facteurs d'agression d'origine culturelle transforment sensiblement l'éventail habituel des ressources dont disposent les organismes, poussant ainsi les espèces et l'ensemble de la communauté à adopter d'autres modes d'utilisation des ressources. Ceux-ci peuvent tous servir d'indicateurs écologiques des formes d'agression d'origine culturelle.

En combinant les quatre méthodes susmentionnées, on pourrait produire des indicateurs écologiques de la vitalité des milieux naturels qui évoqueraient la notion, empruntée à la médecine, des "signes vitaux" de la santé humaine. Si les signes vitaux de la santé de tous les écosystèmes représentatifs pouvaient être déterminés, il serait possible de diagnostiquer les transformations causées par les agents d'agression d'origine culturelle selon des procédés analogues à ceux qui sont utilisés en médecine. On pourrait alors examiner chaque caractéristique de la vitalité d'un écosystème et établir, de façon empirique, les limites inférieures et supérieures au-delà desquelles l'équilibre écologique est compromis, en se fondant sur les caractéristiques des systèmes qui ne sont pas soumis à des facteurs d'agression. Ces limites ainsi que la mesure de la variance et les valeurs moyennes constitueraient des données-repères sur les systèmes. En disposant de données empiriques assez abondantes, les spécialistes pourraient établir des modes de traitement appropriés aux systèmes transformés par des sources d'agression données, puisque ceux-ci devraient manifester des symptômes ou des anomalies caractéristiques.

La difficulté la plus importante réside évidemment dans le

¹⁰ Exemples extraits du manuel de E.P. Odum.

¹¹ Rapport, D.J., et Turner, J.E., "Economic Models in Ecology", *Science*, volume 195, pages 367 - 373, 28 janvier 1977.

profiles is, of course, the crucial problem. At the outset, one should adopt a strategy of being eclectic with respect to the major paradigms in ecology described above.¹²

To be sure, a set of ecological indices could be entirely based upon the energetic compartment flow models, focusing on, for example, primary productivity, ecological efficiency, nutrient turnover rates, etc. While such information is of obvious importance and relevance to understanding ecosystem behaviour, it would be folly to ignore the contributions of other major approaches to community ecology, such as those of biogeography, with its emphasis on spatial aspects of ecosystems, including the relationships of species diversity to ecological space, and approaches primarily from the stress-response point of view, with the emphasis on the boundaries of ecological stability and the thresholds for moving systems from one kind of state to another.

In addition to the principle of eclecticism in the selection of characteristics to be included in ecosystem profiles, a second guiding principle ought to be to select those characteristics which in some sense are integrative of the complex dynamical state of ecological systems. Obviously, what are primarily sought are measures of general health of ecosystems.¹³ Characterization of ecosystems in terms of species diversity, recovery rates from human and natural disturbances, and primary productivity are likely to be measures integrative of ecosystem processes.

Interfacing Environmental Data with Users' Needs: The Role of Ecological Models

Geographical Models

We cite here examples of theoretical ecological models with possible relevance in interpreting ecological spatial patterns within the context of long-term ecological viability and stability. One of the fascinating questions is the amount of area of habitat which is required to sustain the natural diversity of species in a region. While investigating patterns of species diversity and habitat area from biogeographical perspectives, it has been found empirically that the species diversity of particular taxonomic groups is related logarithmically to the area of the habitat.¹⁴ More specifically:

¹² H.A. Regier and D.J. Rapport, "Ecological Paradigms, Once Again", Bulletin Ecological Society of America Volume 59, No. 1 pages 2-6, Spring, 1978.

¹³ D.J. Rapport, C. Thorpe and H.A. Regier, "Ecosystem Medicine", in *Perspectives on Population, Adaptation and Environment*. Ed. J. Calhoun, 1978, forthcoming.

¹⁴ MacArthur, R.H. and E.O. Wilson, *Island Biogeography*, 1967.

choix des éléments à prendre en compte dans les caractéristiques de la vitalité des écosystèmes. Il faudrait tout d'abord faire preuve d'éclectisme vis-à-vis des principaux paradigmes exposés ci-dessus¹².

Certes, il serait possible de se fonder uniquement sur les modèles de réseaux trophiques pour établir un ensemble d'indices écologiques en mettant l'accent, par exemple, sur la productivité primaire, l'efficacité écologique ou les taux de renouvellement des substances nutritives. Il est évident que nous devons utiliser cette approche pour comprendre le comportement des écosystèmes, mais il serait déraisonnable de ne pas tenir compte d'autres points de vue importants, comme celui de la biogéographie, qui fait ressortir les caractères géographiques des écosystèmes, dont les liens entre la diversité des espèces et l'espace écologique, et l'approche agression-réaction, qui traite essentiellement des limites de la stabilité écologique et des seuils au-delà desquels les systèmes passent d'un état à un autre.

En plus de faire preuve d'éclectisme dans le choix des caractéristiques à inclure dans les profils des écosystèmes, il faudrait veiller à choisir les éléments qui, d'une certaine façon, témoignent de l'évolution des écosystèmes. Bien entendu, on chercherait avant tout à établir des indices de la vitalité générale des écosystèmes¹³. La détermination des caractéristiques des écosystèmes du point de vue de la diversité des espèces, de leur faculté de récupération sous l'effet des perturbations d'origine culturelle ou naturelle et de la productivité primaire sont probablement des indices révélateurs à cet égard.

Liaison entre les données sur l'environnement et les besoins des utilisateurs: Le rôle des modèles écologiques

Modèles géographiques

Voici des exemples de modèles écologiques théoriques qui peuvent se prêter à l'interprétation des organisations spatiales des communautés écologiques sous l'angle de la viabilité et de la stabilité à long terme des milieux naturels. L'une des questions les plus intéressantes que l'on peut se poser dans ce contexte touche la superficie d'habitat nécessaire pour sauvegarder la diversité naturelle des espèces dans une région donnée. À la suite d'études biogéographiques sur la diversité des espèces et la superficie des habitats, on a constaté de façon empirique que la diversité des espèces de groupes déterminés est une fonction logarithmique de la superficie de l'habitat¹⁴. Pour être plus précis:

¹² Regier, H.A., et Rapport, D.J., "Ecological Paradigms, Once Again", *Bulletin Ecological Society of America*, volume 59, n° 1 pages 2-6, printemps 1978.

¹³ Rapport, D.J.; Thorpe, C. et Regier, H.A., "Ecosystem Medicine", extrait de *Perspectives on Population, Adaptation and Environment*. Ed., J. Calhoun, 1978, à paraître.

¹⁴ MacArthur, R.H., et Wilson, E.O., *Island Biogeography*, 1967.

$S = CA^z$, where S is the number of species,
A = land area,
C is a proportionality constant, and
z is the species area exponent.

This relationship appears to hold for a number of taxonomic groups in a wide variety of locations.

When natural areas are surrounded by regions of transformed lands (particularly transformed under human cultural factors), in effect, an island habitat is created, the island being the natural region, and the principles of island geography are relevant. There is the primary question of the sufficiency of the size of the "island" for maintaining the species diversity normally found in such habitats. The general design principles for such regions suggest that large reserves are preferable to small ones, since they contain more species at equilibrium and have, in general, lower species extinction rates. Further, in most cases a single large reserve is more desirable than several small reserves which add up to the same in total area, since there are classes of species which can survive only in large areas and fare very poorly in relatively small ones. A further design principle of interest to regional planners is that if one is forced to accept a number of small natural areas surrounded by large disturbed regions, the geometric shapes and the relationship of the natural areas to one another are absolutely critical in determining the likelihood of sufficient protection afforded to the species. With regard to shape, for example, an island that is more nearly circular is a much better protector of a species than one with a number of peninsulas because species that are locally extinct within the preserve must recolonize from other unaffected habitats in the reserve, and the fewer barriers to such dispersal from unaffected regions, the more likelihood of successful recolonization. These generalizations are subject to some qualifications¹⁵ but they illustrate the manner in which spatial information regarding natural and disturbed areas is directly relevant to questions facing decision makers in the environmental area.

Spatial Mosaics

Other aspects of the regional mosaic of disturbed versus undisturbed systems in nature have been explored. In the human use of natural systems, there is the preoccupation with maximizing the productivity of the landscape and, consequently, since most mature systems are less productive than immature systems, natural systems are routinely maintained in earlier stages of succession. The obvious example of this is the monoculture agricultural systems which

$S = CA^z$, S désignant le nombre d'espèces,
A = Superficie de la zone,
C est une constante de proportionnalité et
z est l'indice de superficie relatif aux espèces.

Ce rapport semble s'appliquer à un certain nombre de groupes dans une grande diversité de régions.

Des zones naturelles entourées de régions dont le sol a été transformé (en particulier sous l'effet de l'action de l'homme) constituent des habitats insulaires. Les principes de la géographie insulaire s'appliquent alors à leur étude. Il faut d'abord se demander si la taille de l'"île" est suffisante pour sauvegarder la diversité des espèces que l'on retrouve ordinairement dans des habitats de ce genre. Les principes généraux régissant l'aménagement des zones de ce type préconisent la création de grandes réserves de préférence à des petites, car les premières contiennent davantage d'espèces en état d'équilibre et le taux d'extinction y est en général moins élevé. En outre, comme certaines catégories d'espèces ne peuvent survivre que dans de vastes zones et supportent très mal les petits espaces, il est préférable dans la plupart des cas d'aménager une seule grande réserve que plusieurs petites de superficie équivalente. Voici un autre principe qui saura intéresser les planificateurs régionaux: si l'on est contraint d'aménager un certain nombre de petites zones naturelles entourées de grandes régions soumises à des facteurs d'agression, la configuration des zones naturelles et les liens qu'elles entretiennent les unes avec les autres jouent un rôle déterminant dans la protection des espèces qui y vivent. Ainsi, une île quasi circulaire protège beaucoup mieux les espèces qu'une autre qui est formée d'un certain nombre de péninsules, car si des espèces sont en voie d'extinction dans une zone de la réserve, le repeuplement ne peut s'effectuer qu'à partir des autres zones; or, moins il y a d'obstacles à la dispersion des espèces à partir des régions non touchées par les extinctions, plus le repeuplement a de chance d'être fructueux. Malgré les réserves qu'elles appellent¹⁵, ces généralisations font voir que les données géographiques sur les régions naturelles et les régions transformées intéressent directement les responsables politiques en matière d'environnement.

Mosaïques spatiales

D'autres aspects de la mosaïque formée dans une région par l'imbrication des systèmes transformés et naturels ont fait l'objet d'études. Lorsqu'il exploite les systèmes naturels, l'homme vise à maximiser la productivité et, comme la plupart des systèmes évolués sont moins productifs que les systèmes non parvenus à maturité, il bloque habituellement leur processus évolutif. Il en est ainsi des systèmes agricoles de monoculture qui se comparent bien aux toutes premières phases de succession des systèmes sylvestres. Malheureuse-

¹⁵ E.O. Wilson and E.O. Willis, "Applied Biogeography", in *Ecology and Evolution of Communities*. Eds. M.L. Cody and J.M. Diamond. Belknap Press, Cambridge, Massachusetts, pages 522 - 536, 1975.

¹⁵ Wilson, E.O., et Willis, E.O., "Applied Biogeography", extrait de *Ecology and Evolution of Communities*, Ed., M.L. Cody et J.M. Diamond, Belknap Press, Cambridge, Massachusetts, pages 522 - 536, 1975.

may resemble the very early pioneer stages of succession of forest systems. Unfortunately, young ecosystems, while characterized in terms of high production, sacrifice the ability to preserve the system and maintain it in the face of perturbations. That is, young monosystems are, in general, less buffered than more mature systems. Recently there has been some debate on the question of stability and ecosystem complexity, but nonetheless, the data on the distribution of ecosystems at various stages of maturity are relevant, for they have a bearing on the question of stability of the region as a whole in terms of preservation of habitats and component ecosystems. Thus, spatial information of the distribution of ecosystems classified by types and stages of succession would enable planners to assess the regional landscape in terms of balance between systems of various degrees of stability. Presumably, some sort of optimal design or natural ecosystem landscape architecture would indicate the partitioning of areas into protective environments, productive environments, compromise environments (multiple-use systems), and urban/industrial environments (less vital systems).¹⁶ The argument has been made by Odum¹⁷ that "until we can determine more precisely how far we may safely go in expanding intensive agriculture and urban sprawl at the expense of protective landscapes, it will be good insurance to inviolately hold as much of the latter as possible. Thus, the presence of natural areas is not a peripheral luxury to society, but a capital investment from which we expect to draw interest".

Successional Models

Recent work in modeling succession in the rocky intertidal regions of marine environment may lead to indicators of human stress. One approach is to characterize the rocky coastal community in terms of a "life history" of the community. The mature community's demise in this particular ecosystem may be brought about due to natural factors, such as wave action, or man-induced stress, such as the pounding of logs on the rocky shore. Once such a mature system has been so perturbed, the state of the system is essentially back to very early colonization stages in which the exposed rock becomes the settling ground of algae, and progressively the community builds up to the mussel/barnacle climax state. By examining the percentage of the region which is in various stages of early succession (practically bare rock), moderate or intermediate stages (algal colonies), and mature stages (barnacle/mussel beds), the degree of disturbance can be rather directly inferred. That is, in the absence of cultural stress, portions of the community in these various stages of succession reach some kind of a

ment, les jeunes systèmes, en dépit de leur forte productivité, sont en général moins bien protégés contre les sources d'agression que les systèmes parvenus à une plus grande maturité. La question de la stabilité et de la complexité des écosystèmes a récemment suscité une certaine controverse. Néanmoins, les données sur la répartition des écosystèmes à diverses phases de leur maturité présentent de l'intérêt, car elles touchent la question de la stabilité de la région tout entière pour ce qui concerne la préservation des habitats et des écosystèmes. Par conséquent, des données sur l'imbrication spatiale des écosystèmes selon le genre et la phase de succession permettraient aux planificateurs d'évaluer le milieu naturel d'une région sous l'angle de l'équilibre qui doit exister entre des systèmes de stabilité différente. L'aménagement optimal des écosystèmes naturels commanderait probablement la fragmentation des milieux en zones de protection, en zones productives, en zones transitoires (systèmes polyvalents) et en zones urbaines ou industrielles (systèmes moins importants)¹⁶. M. Odum a déclaré que "tant que nous ne pourrions déterminer plus précisément dans quelle mesure nous pouvons, en toute sécurité, accroître l'agriculture intensive et l'expansion urbaine sans porter préjudice aux zones de protection, il sera sage de protéger jalousement le plus de zones naturelles possible¹⁷. Par conséquent, l'aménagement des zones naturelles n'est pas un luxe accessoire, mais un investissement primordial dont nous tirerons probablement profit".

Modèles de succession

De récents travaux de modélisation, portant sur les phases de succession des communautés vivant dans les régions rocheuses intertidales, permettront peut-être de produire des indicateurs des sources d'agression d'origine humaine. Une méthode consiste à déterminer les caractéristiques évolutives des groupements rocheux du littoral. La disparition d'un groupement parvenu à maturité peut être due à des phénomènes naturels, comme l'action des vagues, ou à des activités humaines, l'écrasement de billes de bois sur les rochers du littoral, par exemple. Une fois qu'un système évolué a été perturbé de la sorte, il revient à des phases antérieures; dans un premier temps, les rochers mis à nu deviennent un terrain propice à la formation d'algues, et peu à peu on assiste à l'apparition de bancs de moules ou d'anatifes, manifestation ultime de la maturité du système. On peut déterminer assez directement le degré de déséquilibre d'un écosystème en évaluant les proportions dans lesquelles interviennent les groupements primaires (rochers pratiquement nus), intermédiaires (colonies d'algues) et avancés (bancs d'anatifes ou de moules). En l'absence de sources d'agression d'origine humaine, un équilibre s'établit entre les trois phases, à longue

¹⁶ E.P. Odum, "The Strategy of Ecosystem Development", *Science*, Volume 164, pages 262 - 270, 1969.

¹⁷ *Ibid.*

¹⁶ Odum, E.P., "The Strategy of Ecosystem Development", *Science*, volume 164, pages 262 - 270, 1969.

¹⁷ *Ibid.*

long-term balance. To the extent that perturbations and disturbances are increased by human activities, the balance of the community is shifted towards the earlier successional stages. This approach, of course, is equally applicable to developing **life history tables** for terrestrial ecosystems.

Societal Values and the Environmental Data Base

Referring again to Chart 1 in which the interrelationship between environmental information systems and decision-making processes are indicated, the question of value judgments ought to be explicitly addressed.

Naturally, alternative states of the environment have profound implications economically, culturally, aesthetically and environmentally. Thus, it is clear that in the practical realm, these considerations are taken into account. The environmental information systems can go only so far as to indicate the likely alternative possibilities as a consequence of past, current, or anticipated cultural stresses, rehabilitation schemes, etc. The acceptability of the alternative states of nature should, as in all other spheres (for example, economic, health, etc.), be left to a political process.

Of course, no information system can be conceptually entirely free of some value judgments. There are always value judgments inherent in adopting particular models and classes of information. If one deems, for example, that the natural environment is a provider of goods and services in its own right, then one makes the value judgment that the persistence and viability of the system is important. This leads to a focus on certain specific indicators of such properties.

However, what appears to me to be rather counter-productive is the tendency to construct "quality of environment" indices per se in which the index represents someone's (or some group's) personal judgment as to the relative desirability of alternative states of nature. The alternative is to emphasize community transformations and leave the question of desirability to a political process, a collegial decision-making process, or an inquiry system such as a Royal Commission.

Feasibility

We have outlines, from ecological perspectives, what appears to us to be a sufficient environmental information system for policy and decision making. The question arises however: Is it feasible? and is it an economically viable system in terms of the cost of gathering data?

échéance. Lorsque les phénomènes de perturbation sont aggravés par les activités humaines, l'équilibre est ramené à une étape antérieure de la succession. Cette approche se prête également, cela va de soi, à l'établissement de **tables de vie** pour les écosystèmes terrestres.

Les valeurs sociales et la base de données sur l'environnement

Reportons-nous de nouveau au graphique 1, qui illustre les liens entre les systèmes d'information sur l'environnement et le mécanisme de la prise de décision, et discutons de la question des jugements de valeur.

Il va sans dire que l'état de l'environnement a d'importantes répercussions économiques, culturelles, esthétiques et écologiques. Cet élément est donc pris en compte dans la pratique. Au mieux, les systèmes d'information ne peuvent que nous renseigner sur les effets probables qu'ont sur l'environnement les activités humaines passées, présentes et futures, les programmes de réhabilitation, etc. Dans le domaine de l'environnement comme dans tous les autres (économie, santé, etc.), c'est aux responsables politiques qu'il incombe de juger si un état est acceptable.

Bien entendu, aucun système d'information ne peut, sur le plan théorique, être entièrement exempt de partialité. L'adoption de modèles et de catégories d'information repose toujours sur des jugements de valeur. Si l'on estime, par exemple, que l'environnement est, de par sa nature, un pourvoyeur de biens et de services, on juge donc important d'assurer sa survie et sa viabilité. Du même coup, on s'attache à examiner certains éléments révélateurs à cet égard.

Il me semble cependant que certains font fausse route en essayant de construire des indices de la "qualité de l'environnement" qui reflètent l'opinion d'individus (ou de groupes). Il vaut mieux faire ressortir les transformations dont l'environnement fait l'objet et laisser aux gouvernants, à la collectivité ou aux enquêteurs d'une commission royale le soin de déterminer la qualité qu'il faut rechercher.

Faisabilité

Nous avons décrit, du point de vue écologique, ce que devrait être, à nos yeux, un système d'information efficace pour les gouvernants et les responsables politiques. Cependant, il y a lieu de se demander si ce système peut être mis en oeuvre et s'il est financièrement viable, compte tenu du coût de la collecte des données.

In part, this system is already in place. I refer here to increasing activities in the remote sensing field where data on the distribution and geographic pattern of natural regions are gathered from existing earth satellite monitoring systems, supplemented with some closer observations by low-flying aircraft. What remains, of course, is a decision as to the appropriate land categories from ecological and perhaps other perspectives. The formidable methodological problems involved are discussed in a recent working paper on the methodological philosophy of ecological (biophysical) land classifications.¹⁸

Other kinds of information on the nature of the stresses impinging on these ecological regions and system response may also be obtained from interpreting the earth satellite and other remote sensing imagery. Naturally, however, these sources of information will have to be supplemented with more detailed groundwork. Here, intensive studies can be generated, but only at selected points within a particular region. A network of such points analogous to the point weather station system already gathering climatological data would have to be established so as to adequately sample statistically rather large natural areas.

Recent advances in computer techniques, particularly with sophisticated information-handling systems, appear uniquely well adapted to deal with the information systems proposed here. While one may point to the already burdensome amount of information gathered to date, new approaches envisioned here may well involve less information in total, that is, by taking an holistic approach, we are seeking a limited number of information sets pertaining to each ecosystem, which adequately represent the dynamics of the system. This limited information set is envisioned to replace the much greater amount of information now being generated by routine monitoring at the micro level.¹⁹ It can readily be agreed that information currently gathered is, in fact, so extensive as to swamp decision-making capabilities. At the same time, it is realized that the kinds of information most germane to decision making, for example, baseline data on ecosystem characteristics prior to the onset of major cultural stresses, are lacking.

The conceptual framework developed here envisages an evolving information system in terms of identifying the relevant stresses and the relevant whole ecosystem level responses to stress. Analysis of

Le système est déjà partiellement établi. En effet, on entreprend de plus en plus d'activités dans le domaine de la télédétection, c'est-à-dire que l'on recueille par satellite des données sur la répartition et les caractéristiques géographiques des régions naturelles et qu'on les complète en faisant des observations à bord d'avions volant à faible altitude. Naturellement, il reste à se prononcer quant au choix des classifications appropriées du point de vue écologique et peut-être aussi d'autres points de vue. Les énormes problèmes méthodologiques que cela pose font l'objet d'un document de travail paru récemment sur la méthodologie des classifications écologiques (biophysiques) des écosystèmes terrestres¹⁸.

Il est également possible de recueillir des données sur la nature des facteurs d'agression et sur les réactions de l'environnement en interprétant les photos obtenues au moyen des satellites terrestres et d'autres instruments de télédétection. Il faudra évidemment étoffer ces renseignements en exécutant des travaux plus approfondis au sol. Ainsi, on pourrait effectuer des études intensives, mais seulement en certains points d'une région donnée. Il faudrait établir un réseau de points d'observation analogue à celui qui sert déjà à produire des données météorologiques afin de pouvoir sonder des régions naturelles assez vastes d'une façon satisfaisante sur le plan statistique.

Les nouvelles techniques informatiques, en particulier dans le domaine des systèmes de traitement des données, semblent remarquablement appropriées à la réalisation des systèmes d'information décrits dans ce document. On pourra objecter qu'il existe déjà une masse considérable de données en matière d'environnement, mais les nouvelles méthodes que nous préconisons ici pourraient fort bien permettre de réduire la quantité globale de renseignements; en optant pour un système général, nous cherchons en effet à produire une quantité limitée de données sur chacun des écosystèmes, qui reflètent bien les facteurs dynamiques du système global. Ces données restreintes pourraient remplacer les renseignements beaucoup plus abondants qui sont actuellement recueillis dans le cadre de programmes de surveillance ordinaires, au niveau des microrégions¹⁹. On conviendra volontiers que la prolifération des données produites à l'heure actuelle est de nature à empêcher les responsables politiques de prendre des décisions éclairées. En outre, ceux-ci sont privés des données qui leur seraient le plus utiles, par exemple les données sur les caractéristiques des écosystèmes avant la manifestation des principales sources d'agression.

Le cadre théorique que nous avons exposé ici laisse entrevoir un système d'information dynamique sur les sources d'agression et les réactions globales des écosystèmes. L'analyse de catégories provisoires des sources d'agression qui

¹⁸ J.S. Rowe, *Methodology and Philosophy of Ecological (Biophysical) Land Classification* - Canada Committee on Ecological (Biophysical) Land Classification. Ottawa, 1977, working paper.

¹⁹ H.H. Harvey, 1976, *op. cit.*

¹⁸ Rowe, J.S., *Methodology and Philosophy of Ecological (Biophysical) Land Classification* - Comité canadien de la classification écologique du territoire, Ottawa, 1977, document de travail du groupe de travail sur les méthodes et les concepts.

¹⁹ Harvey, H.H., 1976, ouvrage cité.

preliminary taxonomies of stresses for particular ecosystems, and a set of ecosystem characteristics comprising the ecosystem profile should, over time, yield better approximations both as to what is relevant in the ecosystem profile and the kinds of stress categories most useful.

As to questions of technological feasibility, one can surmise from existing data on cultural stresses and ecosystem characterizations that there is little question that it is possible. The recent five-volume bibliography on Lake Erie alone attests to the technological possibilities of gathering data on almost anything for which there is a concept.

The economic feasibility, particularly when one considers the geographic scale of Canada, is another question. A lot will depend on the rapidly evolving technologies of remote sensing. Much also, will depend on the usefulness of intensively studied areas for extrapolations to other similar regions using statistical regression techniques. In the Lake Ecosystem Working Group at the University of Toronto's Institute for Environmental Studies, these questions are being addressed with reference to Ontario lake ecosystems.²⁰

²⁰ The Lake Ecosystem Working Group is an interdisciplinary team of University of Toronto faculty and graduate students (chaired by H.H. Harvey of the Department of Zoology). The group is comprised of scientists with research interests in limnology, ecology, statistics, engineering, systems analysis, and fisheries. Thirty small Ontario lakes (along a geological gradient from Peterborough to Nipissing) were monitored during the summer of 1978. Data were obtained on fish, zooplankton, algae and water quality parameters. Integrating this information with data on cultural stresses will, it is hoped, provide a useful taxonomy of Ontario lakes for the purpose of characterizing ecosystem responses to human influences.

agissent sur des écosystèmes données et l'établissement des caractéristiques et du profil des écosystèmes devraient, à long terme, nous permettre de mieux déterminer les éléments qu'il convient de prendre en compte dans le profil des écosystèmes et les catégories de sources d'agression les plus utiles.

Quant à la possibilité de mettre le système en oeuvre, elle est quasi assurée: les données existantes sur les sources d'agression d'origine culturelle et les caractéristiques des écosystèmes en font foi. La bibliographie en cinq volumes parue récemment sur le lac Érié, pour ne citer que cet ouvrage, atteste qu'il est techniquement possible de recueillir des données sur presque tous les éléments pour lesquels il existe un concept.

La question du financement pose toutefois des problèmes, surtout si l'on tient compte de la superficie du territoire canadien. Le succès de notre entreprise dépendra beaucoup du rythme d'évolution des techniques de télédétection. Qui plus est, il faudra que les données produites sur les régions qui font l'objet d'études intensives puissent servir à faire des extrapolations, à l'aide de techniques de régression statistique, pour d'autres régions semblables. Le groupe de travail sur les écosystèmes lacustres du *Institute for Environmental Studies* de l'Université de Toronto a traité ces questions dans le cadre d'une étude sur les écosystèmes lacustres de l'Ontario²⁰.

²⁰ Ce groupe consiste en une équipe interdisciplinaire composée d'enseignants et de diplômés de l'Université de Toronto (présidée par M. H.H. Harvey, du département de zoologie). Il regroupe des scientifiques qui font de la recherche en limnologie, en écologie, en statistique, en génie, en analyse fonctionnelle et en pêcheries. Trente petits lacs de l'Ontario (situés le long de l'axe géologique s'étendant de Peterborough à Nipissing) ont été observés au cours de l'été 1978. Les membres du groupe ont recueilli des données sur les poissons, le zooplancton, les algues et la qualité de l'eau. Nous espérons que ces données, combinées à l'information sur les facteurs d'agression d'origine culturelle, nous permettront de constituer une classification intéressante des lacs de l'Ontario, qui servira à déterminer les caractéristiques des réactions des écosystèmes aux sources d'agression d'origine humaine.

Appendix I

STATISTICAL CONSIDERATIONS

In this appendix, which is primarily intended for those who will be considering this environmental data framework from a statistician's point of view, we attempt to elucidate more definitively the categories of information that are contained in the environmental information system.

1. How are the Units of Account and Other Elements in the Environmental Information Set Defined?

To begin with, one should make clear that, strictly speaking, only the land use accounting part of the framework is an accounting system, that is, transformations of land from one ecological category to another would follow strict rules of balance accounting. Other elements of the environmental data system are more akin to indicators in that there is no common unit by which the various measures of stress, or measures of ecosystem response can be equated. The units for land transformation accounts will be in terms of land area. Units for stresses due to human influences might be expressed as follows:

- (a) Harvesting Renewable Resources:
 - Quantities per unit area.
 - Kilocalories per metre squared.
 - Volume.
 - Commercial value.
- (b) Loading (nutrient, poison, heat, and inert suspensions):
 - Concentration or weight.
 - Ion concentrations per unit area or unit volume.
- (c) Restructuring Morphometrically:
 - Number of dams per watershed.
 - Miles of shoreline dredging or filling.
 - Miles of road, pipeline, etc.
- (d) Introduction of Non-native Species:
 - Species lists and population sizes of non-native fauna and flora.

The units in which ecosystem responses to human and natural stresses will be measured vary depending on the ecological indicators. The following list contains a few examples:

Appendice I

CONSIDÉRATIONS STATISTIQUES

La présente appendice s'adresse principalement aux lecteurs qui étudieront le contenu du document du point de vue statistique. Nous nous efforcerons en effet de mieux déterminer les catégories de renseignements contenues dans le système d'information sur l'environnement.

1. Comment les unités de compte et les autres éléments du système seront-ils définis?

Il faut d'abord signaler que seule, à proprement parler, la partie consacrée à l'utilisation du territoire constituerait un système comptable, dans le cadre duquel le passage d'une zone d'une catégorie écologique à une autre serait soumis aux règles strictes de la comptabilité. Les autres éléments du système d'information seraient plutôt des indicateurs, car il n'existe pas d'unité qui s'applique à toutes les mesures de l'agression ou à toutes celles des réactions. Les données du compte de la transformation du territoire seraient exprimées en unités de superficie. Les unités de mesure des facteurs d'agression d'origine humaine pourraient être exprimées de la façon suivante:

- a) Récolte des ressources renouvelables:
 - Quantités par unité de superficie.
 - Kilocalories par mètre carré.
 - Volume.
 - Valeur commerciale.
- b) Charges (substances nutritives, poison, chaleur et corps inertes en suspension):
 - Concentration ou poids.
 - Concentrations ioniques par unité de superficie ou de volume.
- c) Restructuration morphologique:
 - Nombre de barrages par bassin hydrographique.
 - Nombre de milles de littoral de dragage ou de remplissage.
 - Nombre de milles de routes, de pipe-lines, etc.
- d) Introduction d'espèces exotiques:
 - Listes des espèces et taille des peuplements floristiques et faunistiques non indigènes.

Les unités de mesure des réactions des écosystèmes aux sources d'agression d'origine humaine et naturelle varieront d'un indicateur écologique à l'autre. La liste qui suit contient quelques exemples:

Species diversity – number of species per unit area.

Shannon-Weaver diversity index.

Primary productivity per metre squared per unit time (in kilocalories).

Biomass (in grams) of plants and animals per metre squared.

Nutrient turnover ratios – quantity of nutrients released per unit time per unit area, or per volume.

Diversité des espèces – nombre d'espèces par unité de superficie.

Indice de diversité Shannon-Weaver.

Productivité primaire par mètre carré et par unité de temps (en kilocalories).

Biomasse (en grammes) des végétaux et des animaux par mètre carré.

Rapport de renouvellement des substances nutritives – quantité de substances nutritives émises par unité de temps et par unité de superficie, ou par volume.

2. What Classification Systems Exist for Geographical Regions, Stressors and Eco-system Response?

Appendices II and III give representative classification systems of the natural landscape in terms of ecological units or zones. It should be mentioned that there are other systems that are also in wide-spread use including, in Canada, a characterization of land systems by forest zones. It will be necessary to make a choice among these systems, all of which, as mentioned in the paper, have some degree of arbitrariness. In addition, it is relatively easy to characterize land area by watersheds. This has already been done for the Canadian landscape.

With respect to responses of natural communities, there exists no ready classification system. Here is the area in which for each ecological region it will be necessary to identify the key characteristics of the ecosystems which measure adequately the changes in the state of the system.

3. What are the Relationships Between the Three Basic Elements of the Environmental Information System Envisaged Here?

The ecological mapping provides the basic geographical units within which the measurement of stress and ecosystem response will be carried out. The measurement of human activities which tend to stimulate or transform ecosystems, along with natural perturbations (climatological events, for example), are the forces which tend to transform these natural regions from one stage to another. The ecosystem responses which comprise the so-called ecosystem profile represent the change in the nature of the natural system. Thus, to summarize the environmental information, there are geographical regions characterizing natural communities, the forces which tend to transform these natural systems to alternative states, and the measurements of the state of the natural system itself. It should be mentioned that often the man-induced perturbations of natural systems are sufficient, not to change it drastically from one category of ecosystem or biome to another,

2. De quelles classifications disposons-nous pour les régions géographiques, les sources d'agression et les réactions des écosystèmes?

Les appendices II et III font état de deux classifications représentatives de l'environnement naturel; elles se fondent sur un découpage en unités ou zones écologiques. Il convient de mentionner qu'il existe d'autres classifications, également fort répandues: au Canada, par exemple, nous disposons d'une nomenclature des écosystèmes terrestres selon les zones boisées. Il faudra faire un choix entre ces classifications qui, il en a déjà été question, sont toutes arbitraires jusqu'à un certain point. En outre, il est relativement facile de ventiler les zones terrestres selon les bassins hydrographiques. Ce travail a déjà été accompli pour notre pays.

Pour ce qui concerne les réactions des groupements naturels aux sources d'agression, il n'existe aucune classification à l'heure actuelle. À l'intérieur de chaque région écologique, il faudra déterminer les caractéristiques fondamentales des écosystèmes qui permettent de bien mesurer les transformations qui se sont opérées.

3. Quels sont les liens entre les trois éléments fondamentaux du système d'information sur l'environnement dont nous avons traité dans ce document?

La représentation cartographique fournit les unités géographiques fondamentales à l'intérieur desquelles les sources d'agression et les réactions des écosystèmes seront observées. Les activités humaines qui ont tendance à stimuler ou à transformer les écosystèmes ainsi que les phénomènes naturels (climatiques, par exemple) constituent les agents de transformation des régions naturelles. Les réactions des écosystèmes, qui en composent ce que nous appelons le profil, traduisent le changement qui s'opère au sein des milieux naturels. En résumé, les données porteront sur les régions géographiques représentatives des groupements naturels, les agents provoquent la transformation de ces groupements et les indices de l'état de l'environnement en soi. Il convient de mentionner que les transformations d'origine humaine sont souvent assez importantes, non pour changer radicalement la nature des systèmes naturels en les faisant passer d'une catégorie d'écosystème ou de biome à une autre, mais au moins pour en altérer la qualité. Les transformations de ce genre formeront la matière des profils, non celle des

but merely to change its qualitative nature. It is these sorts of changes which need to be monitored in terms of ecosystem profiles rather than ecosystem accounts. Naturally, when the perturbation is sufficient to transform the system from one ecosystem prototype to another, then this transformation will be reflected in the ecosystem transformation accounts.

comptes. Bien sûr, lorsque l'agent de perturbation est suffisamment puissant pour faire passer le système d'une catégorie d'écosystème à une autre, la transformation qui se sera produite sera enregistrée dans le compte des transformations de l'écosystème.

Appendix II

BIOME CLASSIFICATION

Aquatic

Freshwater

Lotic (rivers and streams):
Rapids
Pools

Lentic (lakes and ponds):
Littoral (shoreline)
Limnetic (upper open water)
Profundal (lower open water)

Marine

Littoral (shoreline):
Rocky
Sandy

Neritic (continental shelf)

Upwellings

Coral reefs

Pelagic (open sea):
Epipelagic (upper)
Mesopelagic (middle)
Bathypelagic (middle)
Abyssal (lower)

Terrestrial

Desert:
Hot
Cold

Tundra:
Arctic
Alpine

Prairie:
Moist
Dry

Savana

Temperate coniferous forest

Temperate deciduous forest

Tropical forest:
Rain forest
Seasonal forest

Appendice II

CLASSIFICATION DES BIOMES

Biomes aquatiques

Eaux douces

Biomes lotiques (fleuves, rivières et ruisseaux):
Rapides
Eaux calmes

Biomes lenticques (lacs et étangs):
Biomes littoraux
Biomes limnétiques (eaux libres de la surface)
Biomes des profondeurs (eaux libres du fond)

Eaux marines

Biomes littoraux:
Biomes rocheux
Biomes sablonneux

Biomes néritiques (plateau continental)

Zones d'échanges verticaux

Récifs coralliens

Biomes pélagiques (haute mer):
Biomes épipélagiques (niveau supérieur)
Biomes mésopélagiques (niveau intermédiaire)
Biomes bathypélagiques (niveau intermédiaire)
Biomes abyssaux (niveau inférieur)

Biomes terrestres

Déserts:
Chauds
Froids

Toundra:
Arctique
Alpine

Prairies:
Humides
Sèches

Savane

Forêts sempervirentes tempérées

Forêts décidues tempérées

Forêts tropicales:
Forêts ambrophiles
Forêts saisonnières

Appendix III

LIST OF BIOMES AND ECOSYSTEM COMPONENTS

Grassland Biome

Shortgrass ecosystem
Tallgrass ecosystem
Mixedgrass prairie ecosystem
Palouse prairie ecosystem
Desert grassland ecosystem
Annual grassland ecosystem
Mountain grassland ecosystem
Everglade grassland ecosystem
Subarctic grassland ecosystem

Tundra Biome

Shrub meadow ecosystem
Scrub heath ecosystem
Dwarf shrub ecosystem
Shrub-moss-lichen snowbed ecosystem
Monocotyledonous bog and mire ecosystem
Tundra meadow ecosystem
Fell field ecosystem

Temperate Coniferous Forest Biome

Appalachian extension of boreal ecosystem
Montane (Rocky Mountains) ecosystem
Subalpine (Rocky Mountains) ecosystem
Montane (Sierra Nevada) ecosystem
Subalpine (Sierra Nevada) ecosystem
Northern Pacific coast ecosystem
Pinyon-juniper ecosystem
South Eastern United States coniferous ecosystem

Broadleaf Forest Biome

Tulip-oak ecosystem
Oak-chestnut ecosystem
Oak-hickory ecosystem
Maple-beech ecosystem
Maple-basswood ecosystem
Mixed mesophytic (Smokey Mountains) ecosystem
Hemlock-hardwoods ecosystem
Magnolia maritime ecosystem
Maritime live oak ecosystem
Broad-sclerophyll ecosystem
Chaparral ecosystem
Western oak ecosystem
Sub-tropical (Florida) ecosystem

Coastal Biome

Near-land marine ecosystem
Estuarine ecosystem
Marsh ecosystem
Mangrove ecosystem
Dunes and adjacent land area ecosystem

Adjacent Ocean Biome (new addition)

Western Atlantic ecosystem
Gulf of Mexico ecosystem
Eastern Pacific ecosystem
Arctic ecosystem

Island Biome

Island forest ecosystem
Mangrove ecosystem
Coral reef ecosystem
Seagrass and algal ecosystem
Grassland and marsh ecosystem
Stream, lake and pond ecosystem

Adapted from the Institute of Ecology, feasibility study on Handbook for North American Ecosystems.

Appendice III

LISTE DES BIOMES ET DES ÉLÉMENTS CONSTITUANTS DES ÉCOSYSTÈMES

Prairies

Prairies basses
Prairies hautes
Prairies diversifiées
Prairies de type Palouse
Prairies désertiques
Prairies annuelles
Prairies de montagne
Prairies marécageuses
Prairies subarctiques

Toundra

Pelouse d'arbustes
Landes d'arbustes rabougris
Arbustes nains
Arbustes, mousse et lichen sur fond de neige
Marécages et broussiers à plantes monocotylédones
Pelouse de type toundra
Landes rases

Forêts sempervirentes tempérées

Forêts appalachiennes en prolongement de forêts boréales
Forêts montagnardes (Rocheuses)
Forêts subalpines (Rocheuses)
Forêts montagnardes (Sierra Nevada)
Forêts subalpines (Sierra Nevada)
Forêts de la côte nord du Pacifique
Forêts de pins souples et de genévriers
Forêts sempervirentes du sud-est des États-Unis

Forêts à feuilles larges

Chênaies à bois jaune
Chênaies-châtaigneraies
Chênaies à caryers
Érablières-hêtraies
Érablières à bois blanc
Forêts mésophytes mixtes (Smokey Mountains)
Forêts de pruches et de feuillus
Forêts maritimes de magnolias
Forêts maritimes de chênes verts
Forêts sclérophylles à feuilles larges
Chaparral
Forêts de chênes de l'ouest
Forêts subtropicales (Floride)

Biomes côtiers

Écosystèmes marins à proximité de la côte
Estuaires
Marais
Mangroves
Dunes et zones terrestres adjacentes

Biomes adjacents à l'océan (nouvelle catégorie)

Écosystème de l'ouest de l'Atlantique
Écosystème du Golfe du Mexique
Écosystème de l'est de l'Atlantique
Écosystème de l'Arctique

Biomes insulaires

Forêts insulaires
Mangroves
Récifs coralliens
Herbes marines et algues
Prairies et marais
Cours d'eau, lacs et étangs

Classification adaptée de l'étude de faisabilité de l'*Institute of Ecology* pour le guide des écosystèmes de l'Amérique du Nord.

Appendix IV

LAKE ERIE STRESS FACTORS¹

Appendice IV

FACTEURS D'AGRESSION DU LAC ÉRIÉ¹

Stressor category	Example from Lake Erie	Proximate impact on Lake
Catégorie de facteur d'agression	Exemple tiré du lac Érié	Répercussions immédiates
Harvesting (2). – Récolte (2).	Commercial fisheries (lake herring, whitefish, blue pike, yellow perch, rainbow smelt, etc.). – Pêche commerciale (hareng de lac, poisson blanc, doré, perchaude, capelan, etc.).	Commercial extinction of lake trout, herring, and whitefish. Biological extinction of blue pike. – Extinction commerciale de la truite de lac, du hareng et du poisson blanc. Extinction biologique du doré.
Nutrient loading (3) (from agricultural, industrial and urban sources). – Charges de substances nutritives (3) (d'origine agricole, industrielle et urbaine).	Increase in total dissolved solids. Increase in ionic concentration of Cl, Na, P, N, K, Ca. – Augmentation de la teneur totale en matière solides dissoutes. Augmentation de la concentration ionique de Cl, Na, P, N, K et Ca.	Increase in Algae-20X (1919-1963). Substitution of eutrophic for oligotrophic forms of algae. Increased BOD in sediments. Replacement of <i>Hexagenia</i> by <i>Oligochaetes</i> and <i>Chironomids</i> . – Multiplication par 20 des algues (1919-1963). Remplacement des algues eutrophiques par des algues oligotrophiques. Augmentation de la demande biochimique d'oxygène dans les sédiments. Remplacement des <i>Hexagenia</i> par les <i>Oligochètes</i> et les <i>Chironomidés</i> .
Toxin loadings (3). – Charges toxiques (3).	Toxic pollutants (persistent biocides, toxic metallic materials). – Polluants toxiques (biocide persistant, matières métalliques toxiques).	Increased concentration of mercury in walleye and white bass. – Augmentation de la concentration de mercure dans le doré et le bar blanc.
Exotics (5). – Introduction d'espèces exotiques (5).	Sea lamprey infiltrations. – Invasion de la lamproie de mer.	Increase in alewife population. – Accroissement de la population de gaspareaux.
Restructuring morphometrically (4). – Restructuration morphologique (4).	Dredging, filling, boat turbulence. – Dragage, remplissage, turbulence causée par le mouvement des bateaux.	Stress on habitat restructuring of suitable spawning, resting and feeding habitats. – Perturbation de la restructuration d'habitats propices à la fraye, au repos et à l'alimentation.

¹ Numbers refer taxonomy of stresses given in text.

¹ Les chiffres font référence aux catégories de facteurs d'agression mentionnées dans le texte.

Appendix V

FACTORS OF STRESS ON CANADIAN AQUATIC SYSTEMS¹

Appendice V

FACTEURS D'AGRESSION – ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES DU CANADA¹

Economic activity	Stress
Activité économique	Facteur d'agression
Municipal waste – Évacuation des déchets par les municipalités	Phosphate loading (3) – Charges de phosphate (3) Insecticides (3) E-coli (5) Sludge loading (3) – Charges de boue (3) Heavy metals (3) – Métaux lourds (3)
Agriculture	Chemical fertilizers (3) – Engrais chimiques (3) Animal waste loadings (3) – Charges de déchets animaux (3) Soil erosion (3) – Erosion du sol (3) Draining wetlands (4) – Assèchement des sols humides (4) Irrigation (4) Trampling of feed lot animals on stream banks (4) – Piétinement du sol par les animaux d'engraissement sur les berges des cours d'eau (4)
Forestry – Exploitation forestière	Chemical insecticides (especially fenitrothion) (3) – Insecticides chimiques (en particulier le fénitrothion) (3) Access roads (leading to stream siltation and habitat loss) (4), (3) – Voies d'accès (leur aménagement entraîne le dépôt de limon dans le lit des cours d'eau et la destruction d'habitats) (4), (3) Logging (siltation and flooding) (4) – Abattage (dépôt de limon et inondations) (4) Logging (soil nutrient leaching, nitrate loading) (3) – Abattage (épuisement des substances nutritives du sol, charges de nitrate) (3) Slimecides (3) – Myxobactéricide (3) Mercury loadings (3) – Charges de mercure (3) Paper and pulp effluents (3) – Émanations en provenance des usines de pâte et de papier (3)
Mining – Exploitation minière	Sulphuric acid loadings (3) – Charges d'acide sulfurique (3) Mining tailings, toxins and silting (3), (4) – Résidus, toxines et dépôt miniers (3), (4) SO ₂ air pollution, acid rains (3) – Pollution atmosphérique causée par les émanations de SO ₂ , précipitations acides (3)
Power generation – Production d'énergie	Dam construction (4) – Construction de barrages (4) Heat loadings (3) – Charges de chaleur (3) SO ₂ precipitation (3) – Précipitation de SO ₂ (3)
Nuclear reactors – Réacteurs nucléaires	Heat loadings (3) – Charges de chaleur (3) Filtering screens (4) – Écrans de filtration (4) Radioactivity loadings (tritiated heavy water as beta emitter) (3) – Charges radioactives (eaux lourdes contenant du tritium en tant qu'émetteurs bêta) (3)
Transportation – Transports	Oil spills (3) – Déversement de pétrole (3) Hazardous substances (3) – Substances dangereuses (3) Salting roads (3) – Utilisation du sel sur les routes (3)
Pipelines – Pipe-lines	Oil and natural gas leaks (3) – Fuites de pétrole et de gaz naturel (3)
Recreation – Loisirs	Cottage sewage (3) – Évacuation des égouts des chalets (3) Construction of sand beaches (4) – Aménagement de plages de sable (4) Draining wetlands (4) – Assèchement des sols humides (4)

¹ Numbers refer to aggregate stress categories given in text.

¹ Les chiffres font référence aux catégories générales de facteurs d'agression mentionnées dans le texte.

Appendix VI

ESTIMATED GROSS PRIMARY PRODUCTION (ANNUAL BASIS) OF THE BIOSPHERE AND ITS DISTRIBUTION AMONG MAJOR ECOSYSTEMS

Appendice VI

PRODUCTION PRIMAIRE BRUTE ESTIMATIVE (SUR UNE BASE ANNUELLE) DE LA BIOSPHÈRE, RÉPARTIE ENTRE LES PRINCIPAUX ÉCOSYSTÈMES

Ecosystem	Area (millions of square kilometres)	Gross primary productivity (thousands of calories per square metre per year)	Total gross production (thousands of calories per square metre per year)
Écosystème	Superficie (millions de kilomètres carrés)	Productivité primaire brute (milliers de calories par mètre carré par an)	Production brute totale (milliers de calories par mètre carré par an)
Marine ¹ – Marin ¹ :			
Open ocean – Haute mer	326.0	1,000	32.6
Coastal zones – Zones côtières	34.0	2,000	6.8
Upwelling zones – Zones d'échanges verticaux	0.4	6,000	0.2
Estuaries and reefs – Estuaires et récifs	2.0	20,000	4.0
Sub-total – Total partiel	362.4	–	43.6
Terrestrial ² – Terrestres ² :			
Deserts and tundras – Déserts et toundra	40.0	200	0.8
Grasslands and pastures – Prairies et pâturages	42.0	2,500	10.5
Dry forests – Forêts sèches	9.4	2,500	2.4
Boreal coniferous forests – Forêts sempervirentes boréales	10.0	3,000	3.0
Cultivated lands with little or no energy subsidy – Terres cultivées – consommation d'énergie faible ou inexistante	10.0	3,000	3.0
Moist temperate forests – Forêts tempérées humides	4.9	8,000	3.9
Fuel subsidized (mechanized) agriculture – Agriculture mécanisée – forte consommation d'énergie	4.0	12,000	4.8
Wet tropical and subtropical (broadleaved evergreen) forests – Forêts tropicales et subtropicales humides (conifères à feuilles larges)	14.7	20,000	29.0
Sub-total – Total partiel	135.0	–	57.4
TOTAL FOR BIOSPHERE, NOT INCLUDING ICE CAPS (ROUND FIGURES) – TOTAL POUR LA BIOSPHÈRE – NE COMPREND PAS LES CALOTTES GLACIAIRES (CHIFFRES APPROXIMA- TIFS)	500.0	2,000	100.0

¹ Marine productivity estimated by multiplying Ryther's (1969) net carbon production figures by 10 to get Kcal, then doubling these figures to estimate gross production and adding an estimate for estuaries (not included in his calculations).

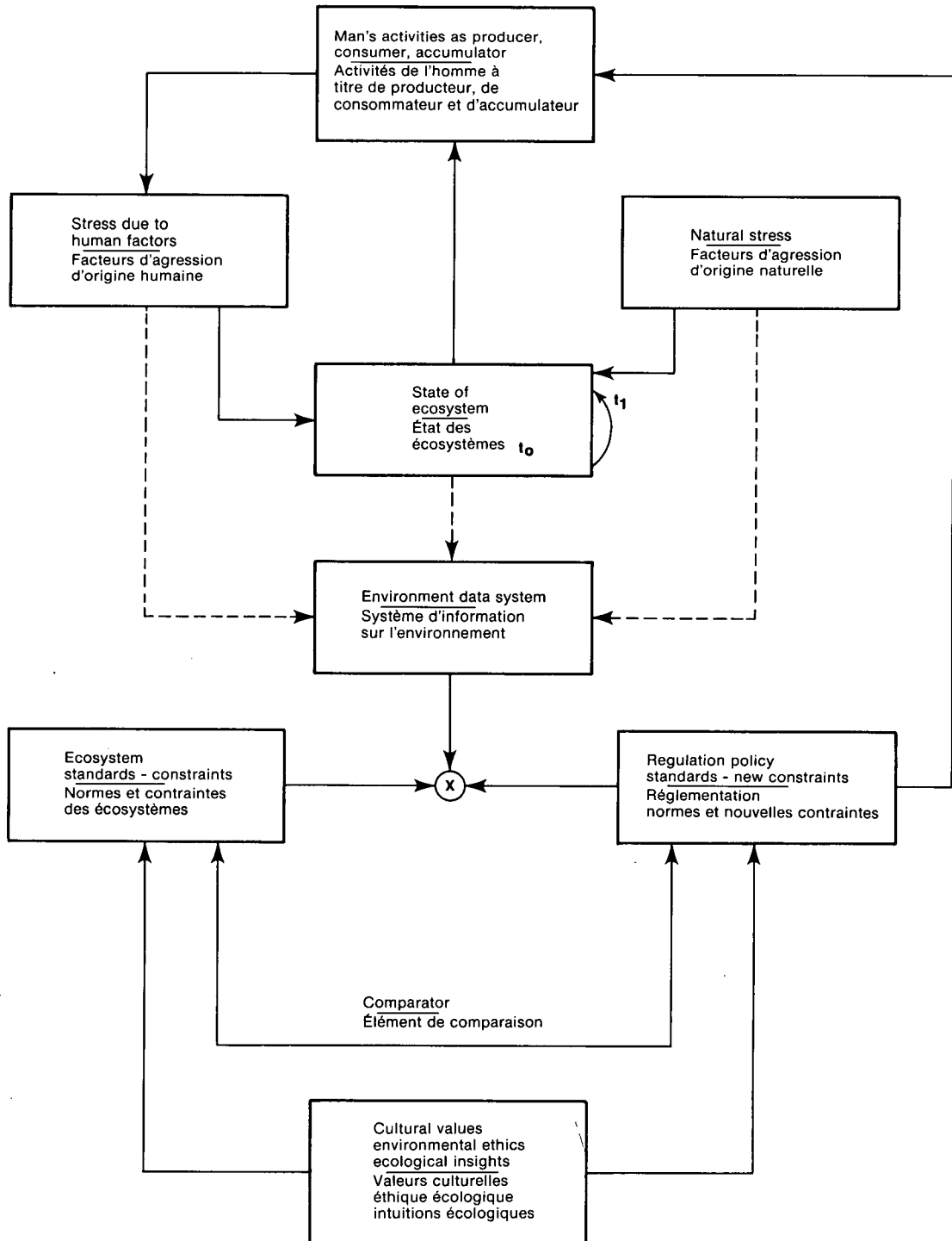
¹ Pour calculer la productivité estimative des écosystèmes marins, nous avons multiplié par 10 les chiffres de production nette de carbone de Ryther (1969) afin d'obtenir les valeurs en kcal, puis nous avons doublé le résultat obtenu pour estimer la production brute et ajouté une estimation pour les estuaires (non compris dans les calculs).

² Terrestrial productivity based on Lieth's (1963) net production figure doubled for low biomass systems and tripled for high biomass systems (which have high respiration) as estimates of gross productivity. Tropical forests have been upgraded in light of recent studies, and the industrialized (fuel subsidized) agriculture of Europe, North America, and Japan have been separated from the subsistence agriculture characteristic of most of the world's cultivated lands. (From E.P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, Tables 3-7, Page 51, 1971. Reprinted with permission from W.B. Saunders Co., Philadelphia.)

² La productivité brute des écosystèmes terrestres est fondée sur les chiffres de la production nette de Lieth (1963), doublés pour prendre en compte les systèmes à faible biomasse et triplés pour prendre en compte les systèmes à biomasse élevée (dont le niveau de respiration est élevé). La productivité des forêts tropicales a été augmentée, à la lumière d'études récentes, et celle des systèmes agricoles industrialisés (dont le rendement est accru grâce à des apports d'énergie) d'Europe, d'Amérique du Nord et du Japon a été séparée de la productivité des systèmes agricoles de subsistance propres à la plupart des terres cultivées du monde. (Données tirées de Odum, E.P., *Fundamentals of Ecology*, tableaux 3-7, page 51, 1971. Reproduit avec l'autorisation de W.B. Saunders Co., Philadelphie.)

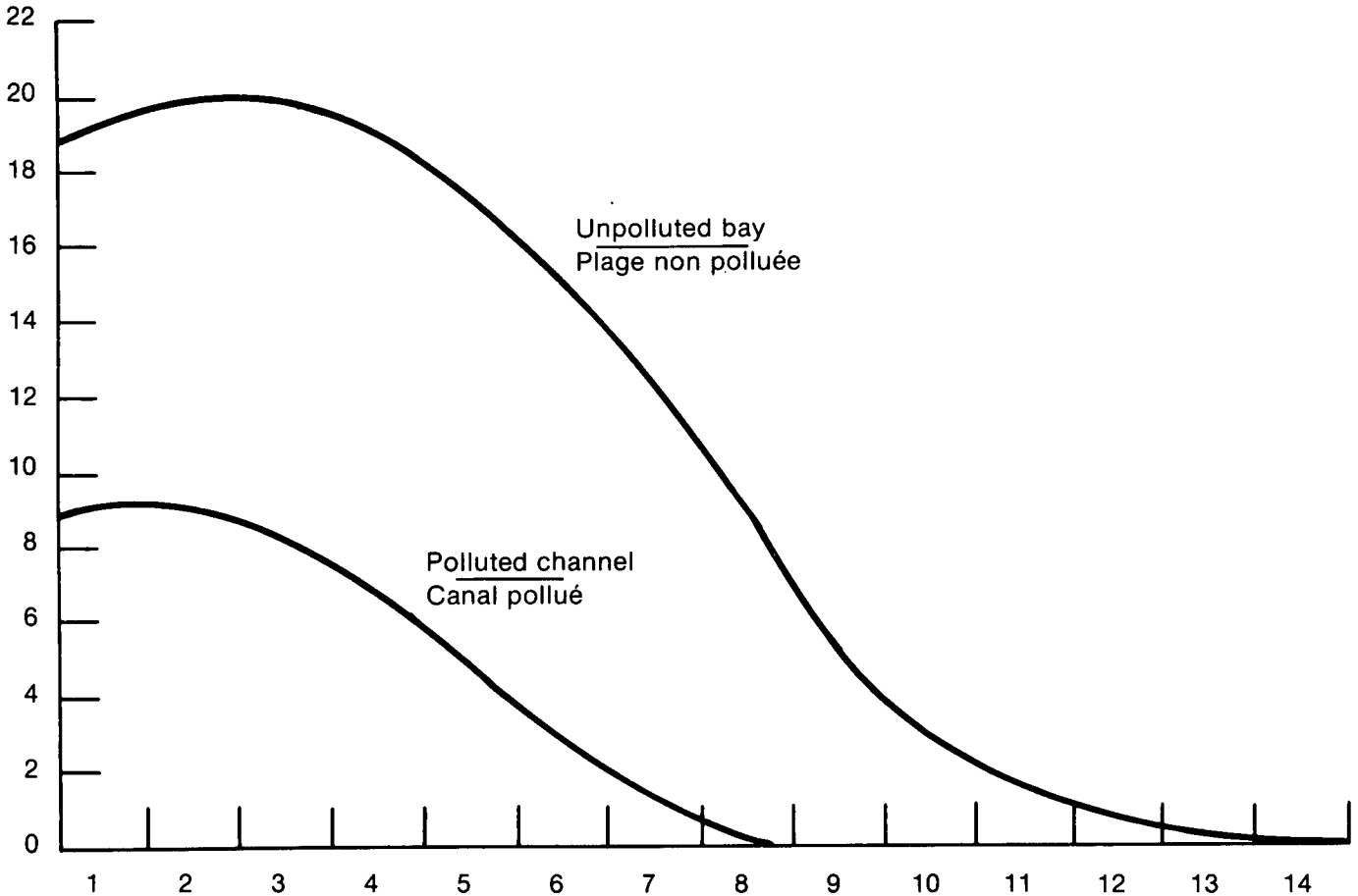
Monitoring the Transactions Between Man and Nature for the Design of Public Policy

Surveillance des échanges entre l'homme et la nature en vue de l'élaboration de politiques d'intérêt public



Diatom Species Diversity and Pollution
Diversité des variétés de diatomées et pollution

Number of species
Nombre de variétés

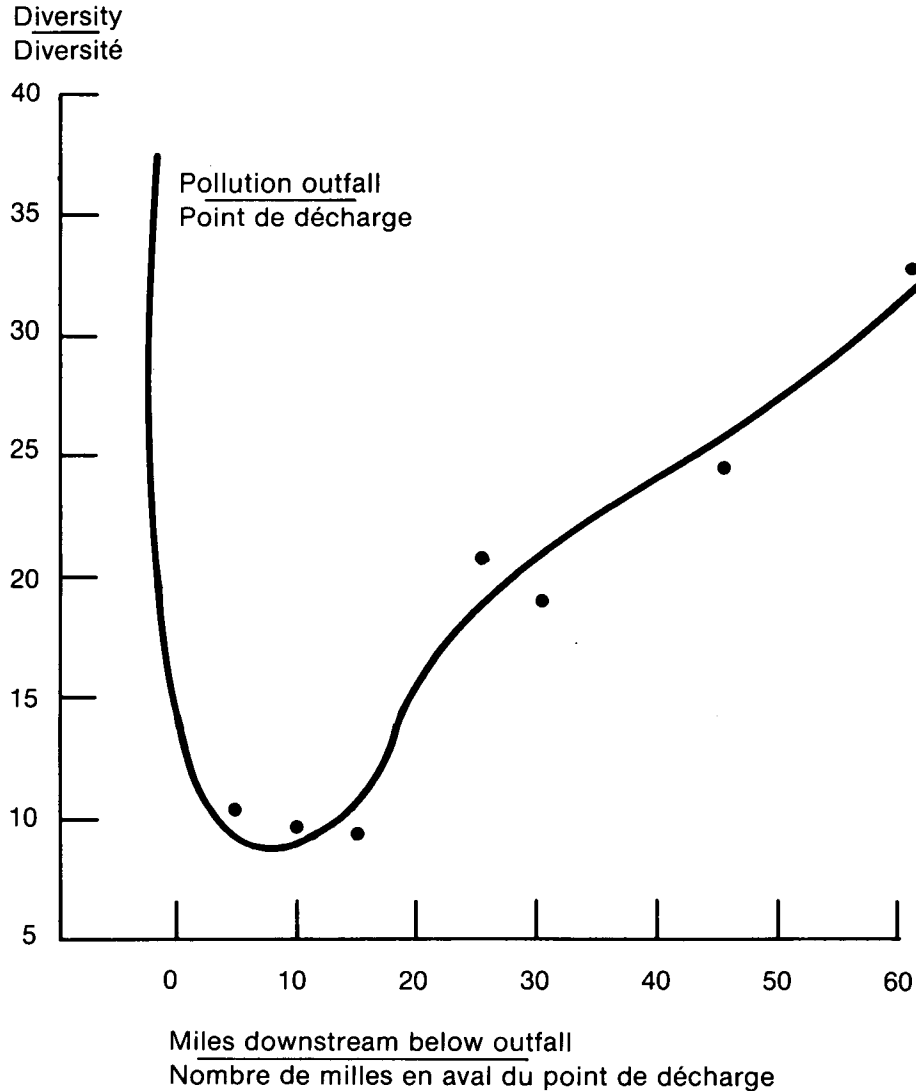


Number of individuals by geometric interval
Nombre d'unités (progression géométrique)

The species structure of the diatom component of two estuarine communities in Texas as shown by truncated normal curves obtained by plotting the number of species in successive geometric intervals of abundance; that is, 1 to 2 individuals comprise the first interval, 2 to 4 the second, 4 to 8 the third, 8 to 16 the fourth, and so on. In the polluted channel (the Houston ship channel) the number of species in all abundance classes was sharply reduced. (From E.P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, 1971 Edition, p. 151. Reprinted with permission of W.B. Saunders Co., Philadelphia). — Structure de la variété des diatomées dans deux communautés écologiques situées dans des estuaires, au Texas, illustrée par des courbes normales tronquées représentant en ordonnée le nombre de variétés et en abscisse, le nombre d'unités, selon une progression géométrique (c.-à-d., premier intervalle: une ou deux unités; deuxième: deux à quatre unités; troisième: 4 à 8 unités; quatrième: 8 à 16 unités; etc.) Dans le canal pollué (canal de Houston), le nombre d'espèces dans toutes les catégories a diminué sensiblement. (Tiré de Odum, E.P., **Fundamentals of Ecology**, édition de 1971, p. 151. Reproduit avec l'autorisation de W.B. Saunders Co., Philadelphie.)

Pollution Outfall and Species Diversity

Décharge d'eaux polluées et diversité des espèces



Changes in the Shannon index of diversity (\bar{H}) of the benthos (organisms living on the bottom) downstream from a pollution outfall (mixed domestic and industrial sewage from a small city), illustrating the marked effect of chronic pollution of a stream by inadequately treated wastes. From E.P. Odum, *Fundamentals of Ecology*, 1971 Edition, p. 150. Reprinted with permission of W.B. Saunders Co., Philadelphia). — Fluctuation de l'indice Shannon de diversité (\bar{H}) du benthon (organismes vivant sur le fond marin) en aval du point de décharge d'eaux usées (mélange d'eaux ménagères et d'eaux industrielles d'une petite ville). Illustre l'effet prononcé de la pollution chronique d'un cours d'eau à cause du traitement inefficace des eaux usées. (Tiré de Odum, E.P., **Fundamentals of Ecology**, édition de 1971, p. 150. Reproduit avec l'autorisation de W.B. Saunders Co., Philadelphie.)

Part III

**Frameworks for environmental
statistics: Recent experience
of Statistics Canada**

Partie III

**Structures d'organisation de la
statistique sur l'environnement:
L'expérience récente de Statistique
Canada**

Introduction

The first part of this paper reviews some of the issues underlying the introduction of environmental factors in the System of National Accounts (SNA) and the development of an alternative Material-Energy Balance Statistical System (MEBSS). The second part discusses a particular approach, referred to as 'Stress-Response Environmental Statistical System (S-RESS), which is currently being examined by the Bureau and the Department of Fisheries and Environment for its suitability as an overall framework for organizing statistics that are relevant for environmental analysis and assessment.

From the beginning there was recognition of the fundamental dichotomy of environmental statistics. These have been referred to as (socio-economic) statistics covering activities of man as agents of environmental change, and (scientific) monitoring data on the state of the environment.¹ It is this rather unique element of correspondence of bio-physical and socio-economic measures that distinguish environmental statistics from the traditional areas of statistics. Nevertheless, it has taken several years to understand the nature of environmental statistics and, in particular, the kind of frameworks required to integrate and coordinate their development.

It has become increasingly clear that to consider the development of environmental statistics within a single framework is unrealistic. The experience in this field at Statistics Canada suggests that two distinct, although complementary, approaches ought to be developed. These can be distinguished as systems that describe:²

- (i) The physical transformation of environmental resources, through the process of production and consumption, into economic commodities;
- (ii) The interaction of human activity and the environment, including the monitoring of "vital signs" of ecosystem transformation.

¹ See United Nations Paper, "Statistics for Environmental Studies and Policies" CES/AD/40/2, Geneva, February 1973.

² A third system, the environmental statistics on "human settlement", could also be considered. The focus of this paper, however, is on statistics on the natural resources and transformation processes and, consequently, the man-made environments will not be covered. Although it should be noted that the Bureau has considered the statistical development of this domain in context of its social indicator program.

Introduction

La première partie de ce document traite de certaines questions liées à l'introduction des facteurs environnementaux dans le Système des comptes nationaux (SCN) et à l'établissement du bilan matière-énergie (BME). La deuxième partie décrit une approche particulière connue sous le nom de système statistique agression-réaction (SSAR), dont les caractéristiques sont actuellement étudiées par Statistique Canada et le ministère des Pêches et de l'Environnement afin de voir s'il peut servir de cadre global aux statistiques relatives à l'analyse et à l'évaluation de l'environnement.

Depuis le début, on s'est entendu sur la dichotomie fondamentale qui caractérise la statistique de l'environnement. Il y a, d'une part, les statistiques (socio-économiques) sur les activités humaines en tant qu'agents de changement du milieu et, d'autre part, les données (scientifiques) provenant de la surveillance de l'état de l'environnement¹. C'est cet élément de correspondance sans précédent entre des mesures bio-physiques et socio-économiques qui distingue les statistiques sur l'environnement des statistiques traditionnelles. Il a fallu néanmoins plusieurs années pour comprendre la nature de la statistique de l'environnement et, en particulier, le genre de structures nécessaires à son élaboration de façon intégrée et coordonnée.

En effet, on s'aperçoit de plus en plus qu'il est presque impossible de concevoir la statistique de l'environnement dans une seule optique. L'expérience de Statistique Canada a révélé qu'il faut l'envisager sous au moins deux aspects distincts, mais complémentaires²:

- (i) La transformation physique des ressources de l'environnement en biens économiques, par le biais de la production et de la consommation;
- (ii) l'interaction de l'activité humaine et de l'environnement, y compris la surveillance des "signes vitaux" de la transformation des écosystèmes.

¹ Voir le document des Nations Unies intitulé "Statistics for Environmental Studies and Policies", CES/AC/2, Genève, février 1973.

² Un troisième système, celui des statistiques sur le "peuplement humain", pourrait également être examiné dans ce contexte. Toutefois, ce document s'intéresse uniquement aux ressources naturelles et aux processus évolutifs et ne tient pas compte de l'environnement artificiel. Il convient néanmoins de noter que le Bureau a déjà étudié ce dernier domaine dans le cadre de son programme d'indicateurs sociaux.

Although these frameworks are based on what might be called a "systems approach" for organizing statistical data, there is nevertheless a difference between the formal accounting of MEBSS (based on identity equations derived from the laws of conservation of matter and energy) and the more informal accounting of the Stress-Response system (where the functional relationships are, at best, stochastic). The advantages of developing statistical systems from a functional perspective is becoming increasingly evident as statistical agencies attempt to satisfy the more sophisticated demands for data which frequently cut across the traditional disciplines.³ Furthermore, introducing structural relationships at an early stage of development provides, in the long run, a more efficient method for integrating data sets. This, of course, must be weighed against the possibility that structural elements may become, at a later date, rigidities in the process of adaptation to new paradigms.

³ Statistics Canada is currently considering implementing the "systems approach" to organizing the production of data (vertical integration) and its horizontal integration (over subject matter areas). The problem was discussed in a paper presented by Statistics Canada for the Plenary Session of the Conference of European Statisticians, "An Application of Functional Analysis, Current Trends in Statistics Canada", Geneva 1977.

Bien que ces systèmes soient fondés sur ce qu'on peut appeler une "approche systémique" de l'organisation des données statistiques, il existe cependant une différence entre la comptabilisation rigoureuse du BME (basée sur des équations d'identité découlant des lois de la conservation de la matière et de l'énergie) et de la comptabilisation plus souple du système agression-réaction (où les liens fonctionnels sont, au mieux, stochastiques). On découvre de plus en plus les avantages de l'élaboration de systèmes statistiques dans une perspective fonctionnelle, au fur et à mesure que les organismes statistiques tentent de répondre aux demandes complexes de données chevauchant plusieurs disciplines traditionnelles³. De plus, lorsqu'on établit des liens structurels au départ, on dispose par la suite d'un meilleur moyen d'intégrer les séries de données. Bien entendu, il faut alors prévoir la possibilité que ces éléments structurels deviennent plus tard des entités figées difficiles à adapter à de nouveaux paradigmes.

³ Il convient de signaler que Statistique Canada envisage actuellement de mettre en oeuvre l'"approche systémique" pour la production de ses données (intégration verticale) et leur intégration horizontale (sur de multiples domaines spécialisés). La question est étudiée dans un document présenté par Statistique Canada à la séance plénière de la Conférence des statisticiens européens et intitulé "*An Application of Functional Analysis, Current Trends in Statistics Canada*", Genève, 1977.

PART I. SYSTEM OF NATIONAL ACCOUNTS AND MATERIAL-ENERGY BALANCE STATISTICAL SYSTEM

The System of National Accounts (SNA) can be described as an integrated data base of economic (institutional) transactions. From these accounts a number of national aggregates can be derived, among which are GNP, gross capital formation, consumption expenditure, government expenditure, national income. These indicators measure essentially economic performance and influence, at a high level of decision making, the allocation of resources. One of the major objectives of the "environmental movement" is to influence decision making at all levels of governments by making explicit the environmental costs of alternative options and actions. It was largely this objective that stimulated the efforts to modify the SNA to account for environmental factors.

The current methodology for assembling the SNA include environmental factors, if at all, only implicitly. Scarcity of natural resources could for example be reflected through the price mechanisms, which in turn may show up as a decline, substitution, or a relative shift in their use. Similarly the public demand for better quality environments could show up as increase in private or public expenditure on pollution abatement and environmental management. Nonetheless most of the cost-benefit of the environmental factors are hidden — cost of respiratory diseases due to pollution would be part of health expenditure, the travel time and energy used to seek out "unspoiled" recreational land would be included in travel and transportation accounts, other items such as psychic benefits from preservation of wild species would never be included as they would not enter the economic-transaction stream. The essential paradox is that most costs attributed to degraded environments contribute to the growth of GNP.

Several proposals have been forthcoming to suggest methods to modify these accounts in an effort to produce more welfare oriented aggregates. All these techniques, in the final analysis, depend on calculating the value of "goods" and "bads" to derive a net benefit of the imputed environmental (dis)services produced. To obtain a value for the "bads" except those that have a real market price, or could be given a surrogate market value, e.g., loss of property due to floods, loss of agricultural production due to urbanization, requires subjective evaluations. The introduction of "subjective value judgment" might better reflect the contribution of economic activity on the state of well-being but, at the same time, considerable confusion and even controversy could arise over the level of confidence that can be given to the measure

PARTIE I. LE SYSTÈME STATISTIQUES DES COMPTES NATIONAUX ET DU BILAN MATIÈRE-ÉNERGIE

Le Système des comptes nationaux (SCN) peut être décrit comme une base de données intégrée sur les opérations économiques institutionnelles. On peut tirer un certain nombre d'agrégats nationaux de ces comptes, notamment le PNB, la formation brute de capital, les dépenses de consommation, les dépenses du secteur public et le revenu national. Ces indicateurs mesurent surtout la performance de l'économie et influent, à un niveau élevé de décision, sur la répartition des ressources. L'un des principaux objectifs du "mouvement écologique" consiste à influencer sur la prise de décision à tous les paliers du gouvernement, en soulignant les coûts que les choix et les mesures entraînent du point de vue de l'environnement; c'est essentiellement cet objectif qui a incité à modifier les comptes nationaux de façon à tenir compte des facteurs liés à l'environnement.

Actuellement, la méthode d'établissement des comptes nationaux ne tient compte de l'environnement que de façon implicite, lorsqu'elle ne l'ignore pas tout à fait. Par exemple, la rareté des ressources naturelles peut se traduire dans les mécanismes de prix, qui peuvent à leur tour se manifester comme une diminution, une substitution ou un déplacement relatif de l'utilisation d'une ressource donnée; de même, la demande du public pour un environnement de meilleure qualité peut apparaître comme une augmentation des dépenses privées ou publiques au titre de la lutte contre la pollution et de la gestion de l'environnement. Néanmoins, l'aspect coûts-avantages des facteurs environnementaux est souvent plutôt caché: le coût des maladies respiratoires dues à la pollution est inclus dans les dépenses de santé, le temps et l'énergie consommés pour rechercher des espaces naturels "intacts" sont compris dans les comptes des voyages et des transports, et d'autres éléments, comme les bienfaits psychologiques apportés par la préservation des espèces sauvages, ne seront sans doute jamais pris en compte du fait qu'ils n'entrent pas dans les flux de transactions économiques. Le paradoxe fondamental est que la plupart des coûts imputés à la détérioration de l'environnement contribuent à la croissance du PNB.

On a proposé plusieurs méthodes pour modifier ces comptes de façon à obtenir des agrégats plus orientés vers le bien-être. En dernière analyse, toutes ces techniques dépendent du calcul d'une valeur des "biens" et des "maux" qui permettrait de connaître l'avantage net des bienfaits et méfaits produits en matière d'environnement. Or, pour établir la valeur des "maux", on doit faire des évaluations subjectives, sauf dans le cas de ceux qui ont effectivement un prix sur le marché ou de ceux auxquels on peut attribuer une valeur marchande de remplacement (par exemple, perte de biens due à une inondation ou perte de production agricole entraînée par l'urbanisation). L'introduction de "jugements de valeur subjectifs" permettrait d'obtenir une meilleure image de la contribution de l'activité à l'état de bien-être de la population, mais pourrait en même temps faire naître une certaine confusion, voire des controverses, quant au niveau

of GNP. This does not mean, however, that damage functions of environmental deterioration should never be made, but rather, that they are recognized as a separate exercise for the purpose of cost-benefit analysis.

Perhaps the most telling argument for avoiding the "market calculus" for the loss of functions of environmental assets is the severe limitations of the economist's paradigms. Among these is the concept of **time discounting** whereby future streams of benefits are discounted to **present value** by increasingly diminishing the value of the future; this makes eminent sense for capital investment theory but sounds slightly ridiculous when all environmental assets are reduced to the same parameters as any long-term investment. The problem lies in the economic theory of value based upon the assumption that all assets are either reproducible or substitutable e.g., swimming pools for polluted beaches. Thus, at least in principle, permanent loss (non-reproducible) has zero value or has a value of infinity – permitting, perhaps, the surrogate value to be a function of the whim of the calculator!

The point at issue is not so much the conceptual framework of the SNA but rather the unwarranted normative values placed on the national aggregates. The purpose of the system is to monitor economic activity within a strict economic-institutional framework, and is poorly suited to accommodate non-market concepts of value. The introduction of "damage function estimates" would merely add to the already difficult interpretation of these accounts with hardly any compensating insight into net social benefit. The damage cost approach should be clearly distinguished from the more modest "measure of economic welfare".⁴ These efforts are directed at expanding the concept of production and consumption so as to arrive at a better appreciation of their functional relationships. Thus, for example, the value of housewife services would be added to GNP whereas the cost of travel to work would be an intermediate cost of production and thus left out of GNP.

With the increasing criticism of the adequacy of the SNA as an overall indicator of socio-economic performance and the evident difficulties in introducing concepts of well-being in the accounting process, increasing thought is given to possible alternative measures of national aggregates that can satisfy the more sophisticated concepts of assessing national "performance". Indeed, from the perspective of the Bureau, the more attractive choice is to keep the National Accounting concepts intact (recognizing, of course, that its paradigm structure is deeply com-

de confiance à accorder au PNB. Cela ne signifie toutefois pas qu'il faille renoncer à des "fonctions de dommages" pour la dégradation de l'environnement, mais plutôt que ces fonctions doivent être traitées séparément dans le cadre de l'analyse coûts-avantages.

Le fait que les paradigmes utilisés par l'économiste soient aussi limités dans ce domaine nous incite peut-être plus que tout autre argument à éviter de faire un calcul "au prix du marché" dans le cas de la perte de certaines fonctions des "actifs" de l'environnement. On peut notamment citer la **notion d'actualisation**, qui consiste à ramener des avantages ultérieurs à leur **valeur actuelle** en diminuant de plus en plus fortement leur valeur future; cette notion prend tout son sens dans la théorie de l'investissement, mais devient plutôt ridicule lorsqu'on réduit tous les actifs de l'environnement aux mêmes paramètres que n'importe quel investissement à long terme. Le problème réside dans le fait que la théorie économique de la valeur est basée sur l'hypothèse que tous les actifs peuvent être reproduits ou remplacés (par exemple, substitution de piscines aux plages polluées). Ainsi, du moins en principe, une perte permanente (d'un élément non reproductible) a une valeur nulle ou infinie; le choix de la valeur substitut peut donc dépendre de la fantaisie de la personne qui fait le calcul!

En fait, nous ne remettons pas en cause le cadre conceptuel de la comptabilité nationale, mais bien les valeurs normatives qui sont attribuées sans justification aux agrégats nationaux. Le système a été conçu de façon à surveiller l'activité économique dans un cadre strictement économique institutionnel, et il convient peu aux notions non marchandes de la valeur. En introduisant des "estimations des fonctions de dommages", on ne ferait qu'accroître les difficultés d'interprétation de ces comptes sans améliorer en contrepartie la compréhension des avantages sociaux nets. Il faut distinguer clairement l'approche qui consiste à déterminer le coût des dommages de celle, plus modeste, qui conduit à la "mesure du bien-être économique"⁴. Cette dernière vise en effet à étendre les concepts de production et de consommation de façon à mieux évaluer leurs relations fonctionnelles. Ainsi, la valeur du travail ménager pourrait être ajoutée au PNB, alors que les frais de déplacement pour se rendre au travail constitueraient un coût de production intermédiaire et seraient donc exclus du PNB.

La pertinence du Système des comptes nationaux étant de plus en plus mise en doute en ce qui concerne son rôle d'indicateur global de la performance socio-économique, et l'introduction des concepts de bien-être dans le processus comptable posant d'évidentes difficultés, on songe à trouver d'autres moyens de mesurer les agrégats nationaux, de manière à correspondre aux concepts plus complexes de l'évolution de la "performance" nationale. Le Bureau préférerait évidemment conserver intacts les concepts des Comptes nationaux (reconnaissant, bien sûr, que les paradigmes du système sont étroitement liés aux concepts de la

⁴ Hawrylyshyn, Oli. *A Review of Recent Proposals for Modifying and Expanding the Measure of GNP*, Statistics Canada, Catalogue 13-558.

⁴ Hawrylyshyn, Oli: *Examen de quelques propositions récentes visant à modifier et à étendre la mesure du PNB*, Statistique Canada (n° 13-558 au catalogue).

mitted to the concepts of "economic growth" of the 40's and 50's), and to opt for alternative although complementary conceptual structures which are more in harmony with some of the issues and perceptions of the 70's. The MEBSS is considered as one of these alternatives.

The Bureau has co-operated in the past two years with the UN Statistical Office on a study of the feasibility for developing Material-Energy Balance Statistical System.⁵ The appeal of MEBSS is its formal accounting structure for organizing and integrating data sets on natural resources and their transformation into economic commodities. Furthermore, the system focuses on a more fundamental structural model of human activity where "economic transformations" are seen as physical processes rather than "economic institutional transactions". This permits, among other things, an accounting of waste residual generation and provides a sound basis for the measurement of national wealth in terms of physical assets (accumulated infrastructure) and natural resources. The system can be conceived of as a physical analogue of the economic accounts.

The Bureau, at this preliminary stage, is considering the implementation of certain modules of the system with the intent of extending and improving statistical data within the context of the existing SNA. One of the first areas to be examined will be the potential of introducing process vectors in the I/O system. This, it is hoped, will ameliorate some of the problems associated with "technology mix", and provide a more stable relationship between the input coefficients and output. The first practical step in this direction is the preparation of a "dictionary of processes".⁶ The full implementation of the MEBSS is viewed as a long-term objective, and could substantially replace the current methodology for the construction of I/O models. It should be noted that this system bridges the gap between market activity and environmental resources and thus can be considered as much an economic as an environmental statistical system.

PART II. STRESS-RESPONSE ENVIRONMENTAL STATISTICAL SYSTEM

The stress-response approach is an attempt to marry macro activities (referred to as stressor activities) with spatially identifiable environmental res-

"croissance économique" des années 40 et 50) et opter pour des structures nouvelles, mais complémentaires, qui traduisent mieux la réalité des années 70. Le BME est l'une de ces structures de rechange.

Depuis deux ans, le Bureau étudie, avec la Commission statistique des Nations Unies, la possibilité d'élaborer un bilan matière-énergie⁵. L'attrait du BME réside dans sa structure rigoureuse qui permet d'organiser et d'intégrer des séries de données sur les ressources naturelles et leur transformation en biens économiques. En outre, ce système est axé sur un modèle structurel plus fondamental de l'activité humaine dans lequel les "transformations économiques" sont perçues comme des processus physiques plutôt que des "opérations économiques institutionnelles". Cela permet, entre autres, de comptabiliser la production de déchets et d'établir une base solide pour mesurer le patrimoine national en avoirs matériels (infrastructures) et en ressources naturelles. Ce système peut donc être conçu comme le pendant matériel des comptes économiques.

À ce stade préliminaire, le Bureau envisage de mettre en oeuvre certaines parties du système en vue de compléter et d'améliorer les données statistiques dans le contexte du Système actuel des comptes nationaux. L'une des premières possibilités à étudier sera celle d'introduire des vecteurs de procédés dans le système d'entrées-sorties. On espère ainsi aplanir certaines des difficultés liées au "mélange technologique" et établir une relation plus stable entre les coefficients d'entrée et la production. Sur le plan pratique, l'élaboration d'un "dictionnaire de procédés" est le premier pas dans cette voie⁶. La mise en oeuvre intégrale du BME est considérée comme un objectif à long terme dont la réalisation modifierait profondément la méthodologie actuelle de construction des modèles d'entrées-sorties. Il faut noter que ce système comble le fossé qui sépare l'activité du marché et les ressources de l'environnement et peut donc être conçu comme un système autant économique qu'environnemental.

PARTIE II. LE SYSTÈME STATISTIQUE AGRESSION-RÉACTION

L'approche "agression-réaction" tente de concilier les activités macro-économiques (appelées sources d'agression) et la réaction spatialement identifiable de l'environnement.

⁵ For a description of the system, see "Draft Guidelines for Statistics on Material-Energy Balances", E/CN/492, Geneva, November 1976.

⁶ "Process Dictionary - Introduction and Feasibility", working paper 77-05-01, Structural Analysis Division, Statistics Canada, 1977.

⁵ Une description du système figure dans "Draft Guidelines for Statistics on Material-Energy Balances", E/CN3/492, Genève, novembre 1976.

⁶ "Process Dictionary - Introduction and Feasibility", document de travail n° 77-05-01, Division de l'analyse structurelle, Statistique Canada, 1977.

ponse. The purpose of the system can be summed up as providing the data base for three fundamental concerns:

Stewardship: The need to protect and conserve environmental assets for future generations.

Environmental quality: The need to maintain and enhance the quality of the ambient environment for quality-of-life objectives.

Irreversibility: The need to make explicit the closing of potential options by man-initiated permanent restructuring of the environment, i.e., destruction of ecosystem.

The application of these concerns ranges from very local situations to those on a world-wide scale; e.g., the destruction of the ozone layer. One of the most difficult development areas is the specification of appropriate indicators that can act as danger signals of ecosystem instability and eventual collapse.

The development of an environmental statistical data base requires the establishment of the appropriate spatial entities. The current use of administrative boundaries is on the whole unsatisfactory for describing environmental transformation. The stress-response paradigm naturally focuses on the question of how to integrate stressor activity with that of environmental response. Ecological mapping can play a crucial role in this domain, particularly if a satisfactory correspondence can be made between "stress-impact space" and "biophysical space". Unfortunately the stress-impact space is variable both with respect to types of stresses and the physical properties of the ambient receiver environment. Although we have no satisfactory answer on how to designate appropriate spatial entities we do have some idea of their desirable characteristics. Furthermore it is recognised that these spatial units will be based in essence on a compromise between "idealised" scientific criteria and the socio-political criteria, including "arbitrary" administrative boundaries. In other words the spatial entities must accommodate both the decision making space and the natural process space. The following three criteria may be useful in considering the nature and characteristics of environmental space for decision making purposes:

That the terrain of the country be divided into natural units which make sense in ecological terms.

That these natural units be classified on a hierarchical basis, i.e., biomes and their sub-component ecosystems, which can be aggregated into areas that are well matched to the space-time horizons of decision making at regional, national and international level.

That the correspondence between "stress-impact space" and natural units be designated so that the recorded information show not only indicators of the state of the environment, whether natural or

L'objectif du système est de fournir une base de données pour les trois aspects fondamentaux suivants:

La responsabilité: la nécessité de protéger et de conserver l'environnement pour les générations futures.

La qualité de l'environnement: la nécessité de maintenir et de rehausser la qualité de l'environnement en vue d'améliorer la qualité de la vie.

L'irréversibilité: la nécessité de rendre explicite le fait que de moins en moins d'options s'offrent à l'homme du fait que celui-ci ne cesse de restructurer son environnement, c.-à-d., de détruire les écosystèmes.

L'étude de ces aspects part du niveau local et va jusqu'à l'échelle globale; par ex., la destruction de la couche d'ozone. Dans ce travail d'élaboration, l'une des tâches les plus ardues consiste à construire des indicateurs qui puissent "sonner l'alarme" en cas de déséquilibre des écosystèmes ou de leur écroulement éventuel.

Avant d'établir une base de données statistiques sur l'environnement, il faut définir des entités spatiales appropriées; les frontières administratives actuellement employées ne sont généralement pas satisfaisantes lorsqu'on veut décrire la transformation de l'environnement. Le paradigme agression-réaction s'attache naturellement en premier à la façon d'intégrer l'activité des sources d'agression à celle des réactions de l'environnement. Une géographie écologique peut jouer un rôle crucial dans ce domaine, particulièrement si l'on réussit à établir une correspondance satisfaisante entre l'"espace d'impact de l'agression" et l'"espace biophysique". Malheureusement, l'espace d'impact varie en fonction des genres d'agression et des propriétés physiques de l'environnement qui subit l'agression. Nous ne savons pas exactement comment désigner les entités spatiales appropriées, mais nous avons une idée des caractéristiques qu'elles devraient posséder. De plus, ces unités spatiales devront être fondées sur un compromis entre les critères scientifiques "idéaux" et les critères socio-politiques, y compris les frontières administratives "arbitraires". En d'autres mots, ces entités spatiales devront concilier l'espace de la prise de décision et celui du processus naturel. Les trois critères suivants peuvent servir à déterminer l'essence et les caractéristiques de l'espace environnemental qui servira à la prise de décision:

Le pays doit être divisé en unités qui sont naturelles du point de vue écologique.

Ces unités naturelles doivent être classées de façon hiérarchique (c.-à-d., les biomes et les écosystèmes qui les composent) et pouvoir être réunies pour former des régions correspondant bien aux horizons spatio-temporels de la prise de décision aux niveaux régional, national et international.

La correspondance entre "l'espace d'impact de l'agression" et les unités naturelles doit être conçue de façon à ce que les données ne fournissent pas seulement des indicateurs de l'état de l'environnement, qu'il soit naturel

already transformed by human activity, but also show the major human activities which influence the state and its future transformation.

The system as outlined below was in part a response to the growing awareness of the inadequacy of a framework which organized statistics along the traditional categories of air, land, water and noise. This may seem somewhat surprising because *a priori* the development of statistics based on traditional sectors appeared both reasonable and logical, notwithstanding the inherent danger of ignoring potential interactions. Nevertheless, from the perspective of scientists, these categories were both artificial and naive, and the underlying logic appeared to have more to do with the convenience of management and administration rather than the innate qualities of the natural environment. A functional approach made more sense when the process of environmental change was taken into account. It was for this reason that the stress-response relationships were considered as useful functional concepts for integrating statistics on the state of the environment.

Another consideration in the design of the system was the recognition that for policy purposes the identification of the source of stress was often more important than merely knowing the state of the environment. This is particularly relevant when considering longer-term policies directed at the reduction of environmental stress by modifying production and consumption processes.

The two major sources of environmental statistics are those that are derived from monitoring records of the state of the environment, and those that are derived from surveys of activities that can be said to be agents of environmental stress. The latter statistics are essentially socio-economic and can be referred to as macro data showing secular trends and/or broad spatial distribution of activities. In contrast, the monitoring records are obtained from physical measures, usually with a high level of spatial and temporal specificity. These can be referred to as micro data. S-RESS is an attempt to integrate the data sets from both the macro and micro data sets within a single framework.

The motor, or lever, of the system is statistics of activities that can be identified as the major stressors (or sources of environmental stress). This, then, provides an overall background information base on the (national) activities that are presumed causes of environmental stress. These are most familiar as measures of gross production, consumption, and capital formation statistics.

These statistics, however, were generally produced for purposes other than environmental studies. The S-RESS framework, therefore, provides a methodo-

ou déjà transformé par l'homme, mais présentent aussi les principales activités humaines qui influent sur l'état et l'évolution future de l'environnement.

Le système décrit ci-dessous a été élaboré en partie parce qu'on s'est rendu compte que les grandes catégories traditionnelles de classement (air, terre, eau, bruit, etc.) ne convenaient plus. Cela peut paraître étonnant car, *a priori*, ce classement semblait raisonnable et logique, en dépit du fait qu'on risquait d'omettre certaines interactions possibles. Néanmoins, envisagées du point de vue des scientifiques, ces catégories étaient à la fois artificielles et simplistes, et la logique de ce classement semblait tenir plus à son caractère pratique et maniable pour l'administration qu'aux qualités foncières de l'environnement naturel. Il était plus sensé d'adopter une approche fonctionnelle si l'on prenait en considération le changement de l'environnement. C'est pour cette raison que les relations agression-réaction ont été retenues comme concepts fonctionnels utiles à l'intégration des statistiques sur l'état de l'environnement.

Lors de la conception du système, on s'est aperçu que, pour des fins administratives, il était souvent plus important de découvrir la source de l'agression que de sonder uniquement l'état de l'environnement. Cet aspect est particulièrement intéressant lors de l'étude des programmes à long terme visant à réduire l'agression contre l'environnement par la modification des processus de production et de consommation.

Les statistiques sur l'environnement proviennent de deux sources principales: les dossiers de surveillance de l'état de l'environnement et les enquêtes sur les activités considérées comme agents d'agression. Les statistiques tirées de cette dernière source sont de nature essentiellement socio-économique; nous les appelons macrodonnées car elle indiquent les tendances séculaires ou la répartition spatiale d'ensemble des activités. Par contre, les dossiers de surveillance sont établis à partir de mesures physiques dont le degré de précision spatiale et temporelle est ordinairement très élevé. Nous les appelons donc microdonnées. Le SSAR est une tentative d'intégration des séries de microdonnées et de macrodonnées dans un même cadre.

Les statistiques sur les activités jugées comme les principales sources d'agression constituent la base du système. Elles fournissent des renseignements (à l'échelle nationale) sur les activités qu'on suppose être les causes de l'agression contre l'environnement. Ces statistiques ont d'autres appellations qui nous sont plus familières: statistiques de la production brute, de la consommation et de la formation de capital.

Toutefois, on produit généralement ces statistiques à des fins autres que l'étude de l'environnement. Le SSAR permet donc d'identifier les variables nécessaires à cette étude. Un

logy for identifying the variables required for environmental purposes. One key aspect is to draw out the spatial dimension of socio-economic data. This could be achieved by introducing geo-codes on statistical records based on natural entities such as river basins, and ecoregion. Furthermore, existing surveys could be modified to draw out information on such items as the production and uses of hazardous substances, the content and disposal of solid wastes, the cost of installation and maintenance of pollution abatement equipment, and the use of energy. Statistical agencies are now undertaking several inquiries in response to data needs for environmental purposes, yet, on the whole, these are viewed as ad hoc inquiries rather than a systematic development of data. Appendix I lists the kinds of data that can be obtained from regular socio-economic surveys.

The Structural Framework

The major characteristic of the framework is its focus on the "interface" between the production-consumption activity of man and the transformation of the state of the environment. Not all environmental stress is man-originated, however, and recognition must also be given to the effect of natural forces. Indeed, the "ecological disasters" in the past can be largely accounted for by the synergistic effect of nature and man's activity. We need only recall the "dust bowl" of the 1930's in the American Prairie, a synergistic effect of inappropriate agricultural practices and prolonged drought.

A second characteristic of the framework is to use concepts of environmental stress and environmental response. The basic structure of the framework is based on the recognition of distinct, although related, classes of data from which different aspects of the condition of the environment can be measured. One set of data is derived from monitoring directly the state of the environment. In this set, distinctions can be made between emissions into environmental media, referred to as **stress measures**, and those that measure the effect of stresses on the quality of the media and the health of biological species (including man), referred to as **response measures**. A second set of data measures global activity with a parallel stress and response. On the stress side, they have been referred to as **stressor measures** which relate to aggregate activity. The other global measures relate to, for the most part, the response of man, or his governments, to "stressed environments". These will be referred to as **collective and individual responses**.

A third characteristic of the framework is to make explicit, as far as this is possible, the relationship between micro-measures, i.e., monitoring of the state of the environment, with measures of aggregate activity. This is a difficult task. Firstly because the knowledge of man-environmental interaction is still

aspect clé consiste à établir la dimension spatiale des données socio-économiques. Cela peut se faire en utilisant des codes géographiques fondés sur des entités naturelles telles que les bassins hydrographiques ou les écorégions. De plus, on pourrait modifier les enquêtes existantes de façon à obtenir des renseignements sur des aspects comme la production et l'utilisation de substances dangereuses, la composition et les méthodes d'élimination des déchets solides, le coût de l'installation et de l'entretien du matériel antipollution et l'utilisation de l'énergie. Les organismes statistiques mènent actuellement plusieurs enquêtes en vue de répondre aux besoins de données servant à l'étude de l'environnement; mais dans l'ensemble, ces initiatives sont isolées et ne permettent pas une collecte systématique de données. On trouvera à l'appendice I une liste des genres de données que l'on peut tirer d'enquêtes socio-économiques régulières.

Le cadre structurel

La principale caractéristique du système, c'est qu'il met l'accent sur le rapport entre l'activité de production-consommation de l'homme et la transformation de l'état de l'environnement. L'agression n'est pas toujours le fait de l'homme et il faut tenir compte aussi du jeu des forces naturelles. En effet, les "désastres écologiques" qu'on a connus dans le passé sont attribuables en grande partie à l'effet combiné de la nature et de l'activité humaine. Qu'il suffise de rappeler le "cratère de poussière" des années 30 qui s'est formé dans les grandes plaines des États-Unis: il s'agissait bien de l'effet combiné de mauvaises pratiques agricoles et d'une longue sécheresse.

Les concepts d'agression contre l'environnement et de réaction de l'environnement constituent la deuxième caractéristique du système. Il a comme fondement des catégories de données distinctes, bien que reliées entre elles, à partir desquelles on peut mesurer différents aspects de l'état de l'environnement. L'une des séries découle d'une surveillance directe de l'état de l'environnement. Dans cette série, on peut faire des distinctions entre les substances émises dans l'environnement, que nous appelons **agressants**, et les effets de ces agressants sur l'environnement et les espèces biologiques (y compris l'homme), que nous appelons **réactions**. Une seconde série de données sert à mesurer l'activité globale, avec des facteurs parallèles d'agression et de réaction. Du côté agression, les données portent le nom de **mesures des sources d'agression** et se rapportent à l'activité globale. Les autres mesures globales se rattachent, pour la plupart, à la réaction de l'homme, ou des gouvernements, à ces agressions. Nous les appelons **réactions collectives et individuelles**.

Une troisième caractéristique du système consiste à expliquer le plus possible la relation qui existe entre les micromesures, c.-à-d., la surveillance de l'état de l'environnement, et les mesures de l'activité globale. C'est une tâche difficile. Tout d'abord, notre connaissance de l'interaction homme-environnement n'est pas très poussée et il n'existe

rather fragmentary and there are no well developed models that would permit an easy selection of the relevant parameters. Secondly, although environmental managers are quite familiar with local conditions, it is quite a different matter to correlate what is happening locally in the context of overall activity; in other words, to link in real time local micro data with that of macro statistics. Nevertheless, it is precisely this kind of "cause-effect" relationship that is required for the formulation and implementation of policies and the proper allocation of national resources.

The classes of data mentioned above are essentially "activity measures"; that is, they refer to "flow data", but frequently flows are significant in the context of the available stock. Thus, to balance the picture, a third class of measures have been made explicit, those drawn from stock accounts. These could also include the mapping of environmental resources. This distinction between flows and stocks is the fourth characteristic of the framework.

In summary, the five classes of data are: stressor measures, stress measures, response measures, collective and individual responses, and related inventory measures. Appendix II provides an example of the structure of the framework in terms of data.

The basic framework of the system is shown in Text Table I. The interactive elements expressed in terms of stress-response relationships are shown along the horizontal plane, and the major activities that can be considered as sources (potential) of stress are given along the vertical plane. The system is recursive in the sense that collective and individual responses act upon (or modify) the stress elements. These can be distinguished by three types:

Those that are directed at modifying processes of production and consumption with the intent of reducing environmental stress: to the extent that these actions act upon the sources of stress (stressors) they can be classed as **preventive actions**. (Although preventive in a more fundamental sense would require an action that would stop a particular activity before the stress even occurred.)

Those that are directed at modifying the level of stresses: these are actions that act upon the stress elements, and are perhaps most familiar in pollution abatement activity. This class of activity can be classed as **curative actions** in the sense that they do not act upon the fundamental process change but rather ameliorate the conditions.

The third type relates to a whole range of actions that are directed at conservation and protection of environmental assets in the broadest sense. Although **conservation actions** could be applied to process changes, e.g., energy conservation, the more

pas de bons modèles qui puissent nous permettre de choisir aisément les paramètres nécessaires. Ensuite, bien que les gestionnaires de l'environnement connaissent très bien les conditions locales, il est très difficile pour eux d'établir une corrélation entre ces conditions et l'activité globale; en d'autres termes, il est difficile de relier entre elles dans le temps les microdonnées et les macrodonnées. Néanmoins, c'est précisément de ce genre de rapport de cause à effet qu'on a besoin pour formuler et mettre en application les décisions administratives et assurer une répartition appropriée des ressources nationales.

Les séries de données mentionnées ci-dessus sont essentiellement des "mesures de l'activité", c'est-à-dire des données de "flux" qui, souvent, n'ont un sens qu'en fonction des stocks disponibles. Ainsi, pour compléter le tableau, il faut prévoir un troisième ensemble de mesures, celles qui sont tirées des comptes de stocks. Cela pourrait également comprendre des levés des ressources de l'environnement. Cette distinction entre les flux et les stocks constitue la quatrième caractéristique du système envisagé.

Bref, les cinq catégories de données nécessaires sont les suivantes: les mesures des sources d'agression, les mesures des agresseurs, les mesures des réactions, les réactions collectives et individuelles et les mesures connexes des stocks. On trouvera à l'appendice II un exemple de la structure des données.

La structure fondamentale du système est illustrée au tableau explicatif I. Les liens interactifs agression-réaction sont représentés horizontalement et les principales activités que l'on peut considérer comme des sources (possibles) d'agression sont représentées verticalement. Le système est récursif en ce sens que les réactions collectives et individuelles agissent sur les facteurs d'agression (ou les modifient). Les actions qui en découlent sont de trois genres:

Celles qui visent à modifier les processus de production et de consommation dans le but de réduire l'agression contre l'environnement; dans la mesure où ces actions visent les sources d'agression, on peut les classer dans la catégorie des **mesures préventives** (bien que le terme "préventive" suppose essentiellement que l'action met un frein à l'activité avant que l'agression ne se fasse sentir).

Celles qui visent à modifier le niveau ou l'intensité des agresseurs: ces actions visent directement les agresseurs, leur manifestation la plus familière étant l'activité de lutte contre la pollution. On peut les classer dans la catégorie des **mesures curatives** en ce sens qu'elles ne visent pas à modifier les processus fondamentaux, mais plutôt à améliorer les conditions.

Le troisième genre comprend toute la gamme des actions qui visent à la conservation et à la protection de l'environnement dans le sens le plus large de ces termes. Bien que les **mesures de conservation** puissent se traduire par la modification des processus, par ex., l'économie d'énergie, les plus

direct actions are those that preserve and conserve renewable and non-renewable resources. Designation of land use with special legislative protection is one type of action; e.g., national parks, wildlife refuges, landscape protection, etc. Others are directed at the conservation of renewable and non-renewable resources. A sine qua non for a sound statistical basis for these actions is comprehensive inventories of natural assets ranging from the best available estimates of non-renewable resources to complex ecological mapping exercises.

Stress-response: Some Definitions and Concepts

Although the definitions and concepts given below attempt to distinguish stress from response, there is nevertheless, a degree of relativity between them. That is, stress in one system may be a response in another. Thus, a leakage of mercury into water is a stress on the life support system, which one response being the concentration of mercury in water, which itself is a stress when ingested by fish (the response being p.p.m. of mercury in fish). This in turn is a stress on human health when the same fish are eaten by man. However, for the purpose of the framework, the definitions are to be viewed as organizing principles for a set of statistical data related to man's activity and the state of the environment. The **stress-response** is then seen from the perspective of the impact of man's activity on the environment in which **stressors** are, in a sense, the independent variables and the stresses and responses the dependent variables of the system.

Stressors can be defined, for statistical purposes, as a broadly based set of activities that contains within it the potential to degrade the quality of the natural environment, to effect the health of man, to threaten the survival of species, to place pressure on non-renewable resources, and to deteriorate the quality of human settlement. They are both man-made and natural in origin. **Stressor measures** are non-specific with regard to point location and provide the statistical measures to assess the **global impact** of stress on the environment. They essentially provide the background information to assess global economic activity and the state of the environment. Examples: industrial activity, population density, transport networks.

Stress can be defined as the elements that place pressure on, and contribute to the breakdown of, the natural and man-made environment. To distinguish it from stressors, the "target" of the stress should be known. Thus, SO₂ pollution data of Toronto would be classed as stress statistics because target (the residents of the city) are a readily identifiable group,

directes sont destinées à préserver et à conserver les ressources renouvelables et non renouvelables. Les restrictions imposées par voie législative sur l'utilisation de certaines terres en sont un exemple (parcs nationaux, sanctuaires de la faune, etc.). D'autres actions de cette catégorie visent à économiser les ressources non renouvelables. Pour établir une base statistique saine dans ce domaine, il faut absolument faire un inventaire complet des ressources naturelles soit en obtenant les meilleures estimations possibles des ressources non renouvelables, soit en dressant des levés écologiques.

Agression-réaction: quelques définitions et concepts

Bien que les définitions et les concepts exposés ci-après tentent d'établir une distinction entre l'agression et la réaction, ces deux notions comportent un certain degré de relativité. En effet, l'agression dans le cadre d'un système donné peut être une réaction dans un autre. Ainsi, une fuite de mercure dans l'eau constitue une agression contre le système de vie, l'une des réactions étant la concentration de mercure dans l'eau; or cette réaction devient à son tour une agression lorsque les poissons absorbent le mercure (la réaction s'exprimant alors en milligrammes de mercure par kilogramme de poids du poisson). Le poisson contaminé est à son tour un facteur d'agression pour l'homme lorsque ce dernier le consomme. Toutefois, pour les besoins du système envisagé, les définitions doivent être considérées comme des principes d'organisation d'une série de données statistiques sur l'activité de l'homme et sur l'état de l'environnement. La **réaction à l'agression** est alors vue sous l'angle des répercussions de l'activité de l'homme sur l'environnement dans lequel les **sources d'agression** sont, en un sens, les variables indépendantes et les agressants et les réactions, les variables dépendantes du système.

À des fins statistiques, on peut définir les **sources d'agression** comme une vaste gamme d'activités susceptibles de détériorer l'environnement naturel, d'affecter la santé de l'homme, de menacer la survie des espèces, de tarir les ressources non renouvelables et d'abaisser la qualité du peuplement humain. Les sources d'agression sont aussi bien d'origine humaine que naturelle. Les **mesures des sources d'agression** ne tiennent pas compte du lieu géographique précis et servent à évaluer les **répercussions globales** de l'agression sur l'environnement. Elles fournissent les renseignements de base nécessaires pour évaluer l'activité économique globale et l'état de l'environnement. Exemples: activité industrielle, densité de la population, réseaux de transport.

On peut définir les **agressants** comme les éléments qui exercent une pression sur l'environnement naturel et artificiel et qui contribuent à sa dégradation. Pour les distinguer des sources d'agression, précisons que les agressants ont une "cible" bien déterminée. Ainsi, les données sur la pollution par le gaz sulfureux à Toronto seraient classées comme mesures d'agressants parce que la cible (les résidents de la

whereas national totals SO₂ emissions would be classed as stressors, since the response "target", the national population is too diffused to identify it with a specific response group. **Stress measures** are generally derived from micro-statistics, such as monitoring data, are from location-specific records, and provide measures to assess stress on the spatially defined environment: example, emissions of pollutants, noise, etc.

Environmental responses can be defined as the observed effects of stress upon natural and man-made environments. Assessment of the state of the environment can be viewed as a process of evaluating the response of the environment to stress. It is, however, a difficult and complex task requiring knowledge and understanding of the different levels of responses. In this framework it is proposed that the distinction be made between responses that permit a direct link with the source of stress and tend to be visible, from those that are indirect and diffused in terms of linking the source of stress with the response. The latter would include the "health" response of living organisms, the quality of life-support systems, and impacts on ecosystems. The former would include, inter alia, response of environmental media to emissions and the visible impact of infrastructures. To make the distinction between these two levels of responses, one could refer to **direct response** and **indirect response**.

Direct response measures would be made up of a class of statistics on concentration of pollutants in environmental media, concentrations of contaminants in living organisms, and land use change. **Indirect response measures** would include statistics on environmentally-caused morbidity, extinction of species, and measures of the health of ecosystems.

Collective and individual responses can be described in broad terms as man's reaction to environmental changes. These can be further distinguished by actions of governments (collective action), individuals as members of households, individuals as legal entities; i.e., enterprises, and group actions, e.g., public pressure groups. Statistical measures in this area would be those that describe and evaluate government policies, the "defensive" or "escape action" of individuals, the actions of environmental pressure groups, the expenditure of enterprises on pollution abatement, the perceptions and attitudes of people towards the environment. The actions related to conservation and protection of environmental assets would be captured as a collective response to stewardship and quality-of-life objectives.

ville) constitue un groupe facilement identifiable. Quant aux données nationales sur les émissions de gaz sulfureux, elles seraient classées comme mesures de sources d'agression parce que la "cible" (les Canadiens) n'est pas assez précise pour qu'on puisse en catégoriser les réactions. Les **mesures des agressants** proviennent généralement de microstatistiques, comme les données de surveillance tirées de registres donnant l'emplacement précis où les mesures ont été prises. Elles servent à évaluer les agressants qui agissent sur un environnement défini dans l'espace. Exemple: émissions de polluants, bruit, etc.

Les réactions de l'environnement sont les effets observés de l'agression sur les environnements naturels et artificiels. Lorsqu'on évalue l'état de l'environnement, on peut dire qu'on évalue la réaction de l'environnement à l'agression. Mais c'est là une tâche difficile et complexe qui suppose la connaissance et la compréhension des différents niveaux de réaction. Dans le système envisagé, nous nous proposons de faire la distinction entre, d'une part, les réactions qui permettent d'établir un lien direct avec les sources d'agression et qui sont souvent visibles et, d'autre part, celles qui permettent difficilement de déterminer les sources. Comme exemples de ce dernier genre de réactions, citons la "santé" des organismes vivants, la qualité des systèmes de maintien de la vie et les répercussions sur les écosystèmes. Le premier genre de réactions comprendrait, entre autres, la réaction de l'environnement aux émissions et les répercussions visibles des infrastructures. Pour bien faire ressortir la distinction entre ces deux niveaux de réaction, on pourrait les appeler respectivement **réactions directes** et **réactions indirectes**.

Les **mesures des réactions directes** représenteraient une catégorie de statistiques sur la concentration des polluants dans le milieu, la concentration des contaminants dans les organismes vivants, les changements dans l'utilisation des terres, etc. Les **mesures des réactions indirectes** comporteraient des statistiques sur la morbidité attribuable à l'environnement, l'extinction des espèces et la santé des écosystèmes.

En termes généraux, les **réactions collectives et individuelles** désignent la réaction de l'homme aux changements de l'environnement. On peut les subdiviser comme suit: actions des gouvernements (action collective), actions d'individus en tant que membres de ménages, actions d'individus en tant qu'entités juridiques (par ex., des entreprises), actions des mouvements collectifs (groupes de pression). Les mesures statistiques à retenir dans ce domaine sont celles qui décrivent les décisions administratives, les actions "défensives" ou "d'évasion" des individus, les actions des groupes s'intéressant à l'environnement, les dépenses des entreprises au titre de la lutte contre la pollution, les perceptions et l'attitude des gens face à l'environnement, etc. On pourrait considérer les dispositions prises par la société pour conserver et protéger l'environnement comme une réaction collective aux objectifs de prise en charge des responsabilités et de qualité de la vie.

TEXT TABLE I. Structural Framework for the Stress-Response Environmental Statistical System (S-RESS), Type of Statistics

TABLEAU EXPLICATIF I. Structure du système de statistiques agression-réaction (SSAR), genre de statistiques

Activity Activité	Measures to reduce environmental stress Mesures destinées à réduire l'agression		Environmental response measures Mesures des réactions de l'environnement	Policy response Réaction administrative	Conservation measures Mesures de conservation
	A	B		Collective and individual response Réactions collectives et individuelles	C
	Stressors measures Mesures des sources d'agression	Stress measures Mesures des agressants			Inventory of stock measures Mesures des stocks
I. Generation of waste residuals. - Pro- duction de déchets.	Production and consump- tion. - Production et consommation.	Pollution loadings. - Char- ges de polluants.	Monitoring of environ- mental quality. - Surveil- lance de la qualité de l'environnement.	Abatement expenditures and process change. - Dépenses de lutte contre la pollution et change- ment des procédés.	Capacity to abate pollu- tion and recycling capac- ity. - Capacité de lutte contre la pollution et de recyclage.
II. Permanent environ- mental restructur- ing. - Restructura- tion permanente de l'environnement.	Construction and land use change. - Construction et changements dans l'u- tilisation des terrains.	Construction and land use change at local level. - Construction et change- ments dans l'utilisation des terrains à l'échelle locale.	Ecosystem transforma- tion. - Transformation des écosystèmes.	Protection and conserva- tion of environmental assets. Environmental im- pact assessment. - Pro- tection de l'environne- ment. Évaluation des ré- percussions sur l'environ- nement.	Accumulated stock of man- made structures. Area of protected environmen- tal. - Stock cumulatif de bâtiments. Zones d'en- vironnement protégé.
III. Harvesting activity. - Récolte.	Production from renewable resources. - Production à partir de ressources re- nouvelables.	Over-production and tech- nological stresses. - Sur- production et agressants technologiques.	Sustainable yield re- sponse. - Maintien du rendement.	Control of technology and establishment of quota systems. - Contrôle de la technologie et contin- gement.	Stock of renewable re- sources. - Stock de re- sources renouvelables.
IV. Extraction of non- renewable re- sources. - Extrac- tion de ressources non renouvelables.	Production and consump- tion and alternative sub- stitutes. - Production et consommation et substi- tuts.	Same as I and II. - Com- me en I et II.	Same as I and II. - Com- me en I et II.	Conservation measure. - Mesures d'économie.	Stock of non-renewable resources. - Stock de re- sources non renouvela- bles.
V. Production and con- sumption of poten- tially hazardous sub- stances. - Produc- tion et consumma- tion de substances dangereuses.	Production, disposition and disposal. - Production, utilisation et élimination.	Application of potentially hazardous substances and leakage. - Utilisation et fuites de substances dan- gereuses.	Level of contaminants in the environment. - Ni- veau des contaminants dans l'environnement.	Restrictions and control of use of potentially hazard- ous substances. - Restric- tions et contrôle de l'u- tilisation des substances dangereuses.	Stock of potentially haz- ardous substances. - Stock de substances dan- gereuses.
VI. Production and con- sumption of energy. - Production et consommation d'é- nergie.	Production and use. - Pro- duction et utilisation.	Development of supporting infrastructure. Thermal loadings. Noise genera- tions. - Infrastructure de soutien. Charges thermi- ques. Bruit.	Thermal pollution, (noise) nuisance. - Pollution thermique, nuisances (bruit).	Energy conservation. - Économie d'énergie.	Stock of energy resources. Capacity of energy pro- duction. - Stock de re- sources énergétiques. Ca- pacité de production d'é- nergie.
VII. Natural activity. - Activité naturelle.	Meteorological records and geo-physical events. - Dossiers météorologiques et phénomènes géophysiq- ues.	Variation of climate and geo-physical events be- yond normal range. - Variations anormales du climat et des phénomènes géophysiques.	Drought, flood, earth- quakes and long-term biome change. - Sèche- resse, inondations, séis- mes et changements à long terme des biomes.	Socio-economic response to natural activity. - Ré- actions socio-économi- ques aux phénomènes naturels.	Mapping of climate and ecological zones. - Levés climatiques et écologi- ques.
VIII. Population dynamics (human and other biological spe- cies). - Dynamique de la population (homme et autres es- pèces biologiques).	Population change on tem- poral and spatial dimen- sions. - Changement des populations sur les plans temporel et spatial.	Population in relation to carrying capacity. - La population par rapport à l'espace.	"Over use" of natural re- sources. Increase in mor- tality and morbidity. - "Sur-utilisation" des re- sources naturelles. Ac- croissement de la morta- lité et de la morbidité.	Control of population size and habitat expansion. - Limitation des popula- tions et expansion des habitats.	Population count. - Dé- nombrement des popula- tions.

A. Preventive actions (e.g., change in processes of production and consumption).
A. Mesures préventives (par ex., changement des processus de production et de consommation).
B. Curative actions (e.g., installation of pollution abatement equipment).
B. Mesures curatives (par ex., installation de matériel antipollution).
C. Conservation actions (e.g., policies to restrain the use of, and protect, environmental assets).
C. Mesures de conservation (par ex., décisions administratives limitant l'exploitation de l'environnement et le protégeant).

Stressor Activities

Stressors (or sources of stress) are the independent variables from which the data sets are organized in S-RESS. Thus, a key aspect of the system is the identification of a set of stressors which cover the universe yet are sufficiently broken down in detail to provide a basis for concrete developmental work. This would be easier to do if the scientific knowledge of the structural parameters of man's interaction with the environment were better established. Although taxonomies, in the final analysis, are constructs for simplifying reality, they often provide the basis for the first approximations of a paradigm for "real world" behavior. The set of activities identified below can be viewed as a minimum required to cover the most fundamental environmental issues in terms of structural parameters of environmental transformation.

The first four activities listed can be said to be structural in the sense that there is a close one-to-one correspondence between the type of activity and a basic structural concern of environmental transformation. These are:

- I. Generation of waste residuals.
- II. Permanent environmental restructuring (man-made).
- III. Harvest activity (renewable resources).
- IV. Extraction of non-renewable resources.

The second set of activities relates to specific environmental concerns, although, in principle, they could be subsumed in I to IV above. They are:

- V. Production and consumption of potentially hazardous substances.
- VI. Production and consumption of energy.

Other types of activity could be considered in this context, particularly as a response to emerging environmental issues. In a country in which tourism plays a significant economic role, there may be a case for singling out this "stressor" activity for special treatment. Other examples could be urbanization, transportation, and spread of new technologies. However, it should be clearly noted that there is a "tradeoff" between a taxonomy based on a minimum set of "simple" stressor activities from those which are essentially "compound" stressor activities. The latter, if well formulated, could be built up from the simple set; a particularly important point in terms of access to data for analytical and presentation purposes.

The final two categories may be taken as "background activities" in the sense that man has little, if any, influence on the outcomes. These are:

Sources d'agression

Les sources d'agression sont les variables indépendantes qui servent à organiser les séries de données dans le cadre du SSAR. Ainsi, un aspect clé du système consiste à identifier un ensemble de sources d'agression qui couvre l'univers, mais qui est suffisamment détaillé pour donner une base concrète aux travaux d'élaboration. Cette tâche serait facile si les connaissances scientifiques sur les paramètres structurels de l'interaction homme-environnement étaient plus poussées. Bien qu'en dernière analyse, les classifications soient des systèmes destinés à simplifier la réalité, elles jettent souvent les fondements de la concrétisation d'un paradigme à l'échelle du "monde réel". Pour prendre en compte les aspects les plus fondamentaux sous forme de paramètres structurels de la transformation de l'environnement, il faudrait au moins retenir les activités énumérées ci-après.

Les quatre premières activités peuvent être qualifiées de "structurelles" parce qu'il y a une correspondance étroite entre le genre d'activité et la manifestation structurelle de la transformation de l'environnement. Les voici:

- I. Production de déchets.
- II. Restructuration permanente de l'environnement (activité humaine).
- III. Récolte (ressources renouvelables).
- IV. Extractions de ressources non renouvelables.

Le deuxième groupe d'activités se rattache à des aspects précis de l'environnement, bien qu'en principe, elles puissent constituer des subdivisions des catégories I à IV ci-dessus. Les voici:

- V. Production et consommation de substances dangereuses.
- VI. Production et consommation d'énergie.

On pourrait retenir d'autres genres d'activités dans ce contexte, en particulier pour traduire les aspects nouveaux de l'étude de l'environnement. Dans un pays où le tourisme joue un rôle important sur le plan économique, il y aurait peut-être place pour cette activité en tant que "source d'agression". D'autres exemples seraient l'urbanisation, les transports et l'adoption de nouvelles techniques. Quoi qu'il en soit, le système adopté constituera toujours un moyen terme entre une classification fondée sur un minimum d'activités "simples" et une classification comprenant un plus grand nombre d'activités essentiellement "composées". D'ailleurs, si elle est bien conçue, cette dernière peut être construite à partir de la première, ce qui facilite l'accès aux données à des fins d'analyse et de présentation.

Les deux dernières catégories peuvent être considérées comme des "activités de fond" en ce sens que l'homme n'a aucune prise, ou très peu, sur leurs résultats. Les voici:

VII. Natural activity (climate and geo-physical events).

VIII. Population dynamics (bio-physical).

Generation of waste residuals is the source of stress usually associated with environmental pollution, although not all wastes are pollutants, nor, for that matter, do all pollutants originate from waste disposal. Stressors from this activity can be defined as the "unwanted matter" originating from the process of transformation of materials (production) and the process of consumption. Pollution abatement activity does not reduce the quantity of wastes (except in the case of recycling), but, rather, changes the form.

Permanent environmental restructuring activities are associated with a class of stressors that result from a permanent transformation of the environment, in particular, the adaptation (restructuring) of natural ecologies. The environmental impact assessment of major construction projects, the expansion of urbanization, the growth of transport networks, are the major focuses of this group of statistics; nevertheless, other kinds of permanent environmental restructuring should also be included, such as the expansion of agriculture, drainage of wetlands, and reforestation. It should be noted that an important "countervailing" response to these stresses is the conservation and protection policies for highly-valued natural areas, landscapes, and designation of national parks.

Harvesting activity is the class of environmental stressors originating from man's ever-increasing demand for food, fibre and wood. Stresses occur when the exploitation of these resources is greater than their carrying capacity measured by their natural rate of regeneration. Indeed, the externalities due to the application of new technologies, introduction of hybrid species, the economic (or market) pressures that change the scale and nature of harvesting activities need also to be captured by the appropriate statistics. There is increasing interest in this field as a result of the world-wide need to improve food production.

Extraction of non-renewable resources results in a set of stressors which are in essence "potential" rather than actual. This is because they are concerned with the rate of extraction in terms of known (or anticipated) supply. Conceptual basis of a stressor measure of this class is the impact on the environment of exploiting increasingly low-grade sources, or of alternative actions required to substitute the exhausted supply. This is reflected directly in terms of the additional energy and infrastructure required to exploit increasingly low-grade deposits, the exploration costs of finding alternative supplies, the effect of recycling activity, and the impact of synthetic

VII. Activité naturelle (climat et phénomènes géophysiques).

VIII. Dynamique de la population (phénomènes biophysiques).

On associe habituellement la **production de déchets** à la pollution de l'environnement, bien que les déchets ne soient pas tous des polluants et que les polluants ne résultent pas tous de l'élimination des déchets. Les agressants qui découlent de cette activité sont les "matières de rebut" provenant des processus de transformation (production) et de consommation. La lutte contre la pollution ne réduit pas la quantité de déchets (sauf dans le cas du recyclage); elle en modifie plutôt la forme.

Les activités relatives à la **restructuration permanente de l'environnement** sont associées à une catégorie de sources d'agression qui résultent de la transformation permanente de l'environnement, en particulier de l'adaptation (restructuration) des écosystèmes naturels. L'ensemble de statistiques qui s'y rattache permet avant tout d'évaluer les répercussions sur l'environnement d'importants travaux de construction, de l'urbanisation et de l'expansion des réseaux de transport; il faudrait cependant se pencher également sur d'autres genres de restructuration permanente de l'environnement comme l'expansion de l'agriculture, l'assèchement des sols humides et le reboisement. Il convient de signaler qu'une réaction "compensatoire" importante aux sources d'agression dont il est question ici se traduit par les décisions administratives concernant la conservation et la protection des espaces naturels précieux et la désignation des parcs nationaux.

La récolte est la catégorie de sources d'agression qui naît des besoins toujours croissants de l'homme en aliments, en fibres et en bois. Il y a agression lorsque l'exploitation de ces ressources dépasse leur capacité de régénération au rythme naturel. En fait, il faut également établir des statistiques sur les facteurs externes engendrés par la découverte de nouvelles techniques, la création d'espèces hybrides et les pressions économiques (et commerciales) qui modifient l'échelle et la nature des activités de récolte. Ce domaine fait l'objet d'un intérêt croissant étant donné l'effort mondial en vue d'accroître la production d'aliments.

L'extraction de ressources non renouvelables produit une série de sources d'agression qui sont essentiellement "en puissance" plutôt que réelles. Cela s'explique par le fait que ces sources d'agression sont fonction du rythme d'extraction par rapport aux réserves connues (ou anticipées). Le fondement conceptuel d'une mesure des sources d'agression dans cette catégorie est l'incidence sur l'environnement de l'exploitation de gisements de moins en moins riches et des mesures prises pour remplacer les réserves épuisées. Cela se traduit directement par le surplus d'énergie et d'infrastructures nécessaire pour exploiter des gisements de qualité médiocre, par les coûts croissants de prospection, par les effets du recyclage et des substituts synthétiques. Il convient

substitutes. It should be noted that stress by the activity of extraction (mining) is included in categories I and II.

Production and consumption of potentially hazardous substances are essentially subsets of the stressors in I, II and III, but because of their special nature and their current topicality, it was considered useful to separate them out for special treatment. This class of stressors has been recognized quite explicitly in the various national and international efforts to control their production and consumption. The serious concern of environmental contamination provides strong incentive to give priority for the development of this part of the framework. The distinction can be made between contaminants that are a result of application of chemical aids, such as for cultivation of crops, from those that enter the environment through accidental spills or effluent discharges.

Energy production and consumption are the sources of a large number of stressors on the environment. Of major concern today are the environmental impacts of the different techniques for organizing energy in a usable form (production), the environmental impact of energy networks and exploration, and development of fossil fuel extraction in ecologically sensitive areas; e.g., seabed, and arctic. On the consumption side are the potential environmental stresses of the expansion of high-energy technology, of which the most pervasive is the use of the private automobile. On the whole, statistics on energy are well developed and, in some respects, the framework merely suggests a form of organizing these data for assessing the state of the environment.

Natural activity stressors are essentially the "deterministic forces" of the state of the environment whereby all life in its myriad forms must adapt. Meteorological records are fundamental descriptors of the state of the environment and thus form a background variable in the assessment. Of major concern are the impacts of extreme conditions (those that are far above or below the normal range). Thus, of interest are statistics which show the influence of climate on additional fuel consumption due to a particularly severe winter, or the loss of crops due to prolonged drought. Another concern would be long-term trends in change of climate.

Population dynamics are influenced both by natural activity and human activity. In its broadest aspect it includes, in the spatial context, expansion and contraction of the population's habitats, and, in the temporal context, the growth and decline of natural population. Statistics in this area, when dealing with human population, are available from

de noter que l'agression résultant de l'extraction minière est prise en compte dans les catégories I et II.

La production et la consommation de substances dangereuses sont essentiellement des sous-catégories des sources d'agression énumérées en I, II et III mais en raison de leur nature spéciale et de leur actualité, nous avons jugé bon de les faire figurer séparément. Cet ensemble de sources d'agression a été explicitement reconnu dans le cadre des divers efforts nationaux et internationaux déployés pour les contrôler. Le risque de contamination de l'environnement est une raison suffisante pour donner la priorité à cet aspect du système. Il convient à cet égard de faire la distinction entre les contaminants qui proviennent de l'utilisation délibérée de produits chimiques, dans l'agriculture par exemple, et ceux qui résultent de fuites accidentelles ou de décharges d'effluents.

La production et la consommation d'énergie représentent de multiples sources d'agression. Aujourd'hui, on se préoccupe surtout des répercussions sur l'environnement des différentes techniques visant à organiser l'énergie sous une forme utilisable (production), des réseaux de distribution de l'énergie ainsi que de la prospection et de l'extraction de combustible fossile dans de nouveaux milieux, par exemple, le fond marin, l'Arctique, etc. Du côté de la consommation, il y a les risques que comporte l'expansion des techniques utilisant d'importantes quantités d'énergie et, en particulier, la voiture privée. Dans l'ensemble, les statistiques sur l'énergie sont bien établies et, à certains égards, le système envisagé ne propose qu'un moyen de les organiser de façon à évaluer l'état de l'environnement.

Les sources d'agression au niveau de l'activité naturelle sont essentiellement les "forces déterministes" de l'état de l'environnement, auxquelles la vie sous toutes ses formes doit s'adapter. À cet égard, les dossiers météorologiques fournissent une description de base de l'état de l'environnement et constituent donc une variable fondamentale aux fins de l'évaluation. Dans ce domaine, les répercussions des conditions extrêmes, c'est-à-dire celles qui se situent bien au-dessus ou bien au-dessous de la normale, sont les plus importantes. Ainsi, on s'intéresserait aux statistiques qui montrent l'incidence du climat sur la consommation de combustible (par exemple, pendant un hiver particulièrement rigoureux) ou sur les récoltes (par exemple, par suite d'une longue sécheresse). Les tendances générales des variations climatiques constitueraient un autre domaine d'intérêt.

La dynamique de la population est touchée tant par l'activité naturelle que par l'activité humaine. Sous son aspect le plus large, elle comprend, dans le contexte spatial, l'expansion et la contraction des habitats et, dans le contexte temporel, la croissance et la baisse des populations naturelles. Les statistiques sur la population humaine se retrouvent dans les recensements et les registres de l'état civil. Le système

Census and Vital Statistics. The framework suggests new dimensions in demography for the purpose of environmental assessment. For the other "species", detailed statistical documentation is not readily available. Nevertheless, there is an increasing interest in this field, and the development of "ecological mapping" promises a potential methodology for keeping records of natural populations and their habitats.

envisagé comprendrait de nouvelles dimensions démographiques destinées à évaluer l'état de l'environnement. Pour ce qui est des autres "espèces", il est difficile d'obtenir des statistiques détaillées. Néanmoins, on s'intéresse de plus en plus à ce domaine et il semble que les levés écologiques seraient un bon moyen de tenir des registres sur les populations naturelles et leurs habitats.

Appendix I

ENVIRONMENTAL RELEVANT STATISTICAL SERIES FROM THE DEMOGRAPHIC AND SOCIO-ECONOMIC DATA BASE

Appendice I

SÉRIES STATISTIQUES RELATIVES À L'ENVIRONNEMENT PROVENANT DE LA BASE DE DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES

Data base	Data series	Environmental dimension	Data base	Data series	Environmental dimension
Base de données	Série de données	Aspect environnemental	Base de données	Série de données	Aspect environnemental
Census (population). – Recensement (population).	Growth, distribution (density), migration. – Croissance, répartition (densité), migration.	Rural-urban, river basin, biome (i.e., climate, soil, physical features). – Rural-urbain, bassins hydrographiques, biomes (climat, sol, caractéristiques physiques).	System of National Accounts. – Système des comptes nationaux.	Production and expenditure accounts. – Comptes de la production et des dépenses.	Aggregate estimates of "externalities". – Estimations globales des "facteurs extérieurs".
Health statistics. – Statistiques de la santé.	Mortality rates, morbidity rates. – Taux de mortalité, taux de morbidité.	Sickness and death rates from diseases where exposure to stressful environment is considered a key factor. Reported incidence of contaminant poisoning (e.g., insecticide spraying, food poisoning). – Taux de morbidité et de mortalité attribuables aux agressants de l'environnement. Incidence déclarée des empoisonnements dus à des polluants (pulvérisation d'insecticides, empoisonnements alimentaires).	Manufacturing statistics. – Statistiques des industries manufacturières.	Inputs and outputs. – Entrées et sorties.	Production of hazardous substances. Inputs of chemicals, fuels, electricity. Expenditure on pollution abatement equipment. Process type. Recycling activity. Water, inflow-outflow. – Production de substances dangereuses. Utilisation de produits chimiques, de combustibles, d'électricité. Dépenses au titre du matériel antipollution. Genre de procédés. Recyclage. Alimentation en eau et décharges d'eau.
Housing statistics (census and special surveys). – Statistiques du logement (recensement et enquêtes spéciales).	Individuals per dwelling unit, facilities by dwelling unit. Dwelling type (e.g., single detached, apartment, high rise, etc.). – Personnes par logement, commodités par logement. Genre de logement (par ex., maison individuelle non attenante, appartement, tour d'habitation).	Crowding index. Facilities per household. Shift in dwelling type. – Indice de peuplement. Commodités par ménage. Changement de genre de logement.	Mining. – Exploitation minière.	Inputs and outputs. – Entrées et sorties.	Same as above. – Même que ci-dessus.
Household surveys. – Enquêtes auprès des ménages.	Income and expenditure surveys. Asset surveys. – Enquêtes sur le revenu et les dépenses. Enquêtes sur les avoirs.	Environmentally directed expenditure (travel, recreation). Ownership of high environment impact goods (cars, 2nd homes, motorized recreation equipment). – Dépenses au titre de la jouissance de l'environnement (voyages, loisirs). Possession de biens ayant des répercussions importantes sur l'environnement (voitures, résidences secondaires, équipement de loisirs motorisé).	Agriculture (census and surveys). – Agriculture (recensement et enquêtes).	Land use. – Utilisation des terres.	Area used for crops, livestock, wood lots, orchards, etc. Area irrigated, improved, fertilized, etc. – Superficie utilisée pour les cultures, le bétail, le boisement, les vergers, etc. Superficie irriguée, bonifiée, fertilisée, etc.
Special surveys. – Enquêtes spéciales.	Ad-hoc surveys of special interest. – Enquêtes d'intérêt spécial.	Perception and attitudinal surveys regarding environment. Recreational use of natural resources. Travel habits, commuting and holiday. – Enquêtes sur la perception de l'environnement. Utilisation des ressources naturelles à des fins de loisirs. Voyages: déplacements entre le domicile et le lieu de travail et voyages d'agrément.	Forestry. – Exploitation forestière.	Land use. – Utilisation des terres.	Area and type of forest. – Superficie et genre de forêts.
				Stock.	Number and type of livestock, machinery. – Cheptel et machines.
				Input-output. – Entrées-sorties.	Production of food, fibres, etc. Inputs – fuels, electricity, fertilizers, pesticides, etc. – Production d'aliments, de fibres, etc. Apports de combustibles, d'électricité, d'engrais, de pesticides, etc.
				Stock.	Volume of timber. Heavy machinery stock. – Volume de bois. Stock de machines lourdes.
				Input-output. – Entrées-sorties.	Quantity of wood cut. Inputs – energy, pesticides, etc. – Quantité de bois coupé. Apports d'énergie, de pesticides, etc.

ENVIRONMENTAL RELEVANT STATISTICAL SERIES FROM THE DEMOGRAPHIC AND SOCIO-ECONOMIC DATA BASE – Concluded

SÉRIES STATISTIQUES RELATIVES À L'ENVIRONNEMENT PROVENANT DE LA BASE DE DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES – fin

Data base	Data series	Environmental dimension	Data base	Data series	Environmental dimension
Base de données	Série de données	Aspect environnemental	Base de données	Série de données	Aspect environnemental
Forestry. – Concluded – Exploitation forestière – fin:	Forestry balance. – Équili- bre forestier.	Regeneration rates, loss due to forest fires, dis- ease and cut-over. – Taux de régénération, pertes dues aux incendies de forêt, aux maladies et aux coupes excessives.		Wholesale and retail. – Vente en gros et au dé- tail.	Sales of hazardous sub- stances, e.g., fertilizers, pesticides, chemicals. Sales of high environment impact goods, e.g., cars, detergents. – Ventes de substances dangereuses, par ex., engrais, pestic- ides, produits chimiques.
Fishing. – Pêche.	Stock.	Estimates of available by type of fish. Number and types of fishing vessels. – Estimations des peuplem- ents selon le genre de poisson. Nombre et genre de bateaux de pêche.			Ventes de biens ayant des répercussions importantes sur l'environnement, par ex., automobiles, déter- gents.
	Input-output. – Entrées- sorties.	Fish catch. Fuel consump- tion. Cost per unit out- put. – Prises de poisson. Consommation de combus- tible. Coût par unité de production.	Service statistics. – Statis- tiques des services.	Input-output. – Entrées- sorties.	Fuels for heating, e.g., of- fice buildings. Waste dis- posal services. – Combus- tibles pour le chauffage, par ex., dans les immeu- bles à bureaux. Services d'élimination des déchets.
Transport.	Stock.	Network of transport sys- tem. Stock of equip- ment. – Réseaux de transport. Stock d'équi- pement.			
	Input-output. – Entrées- sorties.	Movement of goods and people. Fuel consump- tion. – Mouvements de biens et de personnes. Consommation de combus- tible.	Government statistics. – Statistiques publiques.	Expenditure. – Dépenses.	Environmental manage- ment. Water purification and waste treatment facilities. – Gestion de l'environnement. Installa- tion d'épuration de l'eau et de traitement des dé- chets.
Trade statistics. – Statisti- ques du commerce.	Imports and exports. – Importations et exporta- tions.	Imports of hazardous sub- stances. Imports of ener- gy, e.g., fuels, electricity. Exports of energy, e.g., fuels, electricity. Exports of goods from high envi- ronmental impact indus- tries. – Importation de substances dangereu- ses. Importations d'éner- gie, par ex., combustibles, électricité. Exportations d'énergie, par ex., com- bustibles, électricité. Ex- portations de biens pro- duits par des industries ayant des répercussions importantes sur l'environ- nement.		Facilities. – Installations.	Waste treatment facilities by type, e.g., primary, secondary, tertiary. Gov- ernment monitoring facil- ities for air and water. – Installations de traite- ment des déchets selon le genre, par ex., traite- ment primaire, secon- daire, tertiaire. Installa- tions gouvernementales de surveillance de l'air et de l'eau.

Appendix II

STATISTICAL DATA SETS FOR THE S-RESS (EXAMPLES)

Appendice II

SÉRIES DE DONNÉES STATISTIQUES POUR LE SSAR (EXEMPLES)

Activity	Stressors statistics	Stress statistics	Environmental response statistics	Collective and individual response	Inventory of stock statistics
Activité	Statistiques des sources d'agression	Statistiques des agresseurs	Statistiques des réactions de l'environnement	Réactions collectives et individuelles	Statistiques des stocks
I. Generations of waste residuals. – Production de déchets.	From – Provenant: (i) Industry – Des industries: Primary – Primaires Secondary – Secondaires Tertiary. – Tertiaires. (ii) Households. – Ménages. (iii) Municipalities. – Municipalités.	(i) Pollution loadings spatially identified – Charges des polluants dans des lieux précis: Air, water, land. – Air, eau, sol. (ii) Contamination (see V). – Contamination (voir V).	(i) Monitoring records of concentrations of pollutants in air, water and land. – Dossiers de surveillance de la concentration de polluants dans l'air, l'eau et le sol. (ii) Mortality and morbidity records of human health. – Dossiers de mortalité et de morbidité humaine. (iii) Monitoring of "health" of biological species. – Surveillance de la "santé" des espèces biologiques.	(i) Curative measures – Mesures curatives: Private expenditures and installation of pollution abatement equipment. – Dépenses des particuliers et installation de matériel antipollution. Public expenditure and installation of waste treatment and purification plants. – Dépenses publiques et construction d'usines de traitement des déchets et d'épuration de l'eau. Cost of environmental clean-up. – Coût du nettoyage de l'environnement. (ii) Preventive measures – Mesures préventives: Public and private investment in less environmental harmful processes. – Investissements publics et privés dans des procédés moins nuisibles à l'environnement. Recycling of waste materials. – Recyclage des déchets.	(i) Capacity – Capacité: Pollution abatement equipment. – Du matériel antipollution. Water waste treatment and purification plants. – Des usines de traitement des déchets et d'épuration de l'eau. Recycling plants. – Des usines de recyclage. (ii) Solid waste disposal sites. – Décharges pour déchets solides.
II. Permanent environmental restructuring. – Restructuration permanente de l'environnement.	(i) Major construction activity in – Importants travaux de construction: Transport networks. – Réseaux de transport. Energy networks. – Réseaux d'énergie. Water storage and irrigation networks. – Réservoirs d'eau et réseaux d'irrigation. Urban expansion. – Expansion urbaine. (ii) Change in land use – Changement dans l'utilisation des terres. Urbanization. – Urbanisation. Agriculture forestry. – Exploitation forestière. Recreation. – Activités récréatives.	(i) Local impact measures of infrastructure stressors – Mesures des répercussions locales des sources d'agression (infrastructures): Change in water regimes. – Changement dans le régime des eaux. Access roads to wilderness. – Voies d'accès aux espaces vierges. Tourist and recreational development. – Développement touristique et récréatif.	(i) Measures of ecosystem change. – Mesures de l'évolution des écosystèmes. (ii) Loss of productive lands. – Perte des terres productives. (iii) Aesthetic impact of environmental restructuring. – Répercussions esthétiques de la restructuration de l'environnement. (iv) Erosion, sedimentation. – Érosion, sédimentation.	(i) Protective and conservation policy measures – Mesures administratives touchant la protection et la conservation: National parks. – Parcs nationaux. Wildlife refuge. – Sanctuaires de la faune. (ii) Restriction of tourist development. – Limitation du développement touristique. (iii) Ecosystem rehabilitation. – Réhabilitation des écosystèmes. (iv) Expenditure to minimize adverse impact of environmental restructuring activities. – Dépenses pour réduire les effets de la restructuration de l'environnement.	(i) Stock of man-made infrastructure. – Stock d'infrastructures artistiques. (ii) Inventory of protected areas – National Parks, Wildlife refuge. – Inventaire des zones protégées – parcs nationaux, sanctuaires de la faune.

STATISTICAL DATA SETS FOR THE S-RESS (EXAMPLES) - Continued

SÉRIES DE DONNÉES STATISTIQUES POUR LE SSAR (EXEMPLES) - suite

Activity	Stressors statistics	Stress statistics	Environmental response statistics	Collective and individual response	Inventory of stock statistics
Activité	Statistiques des sources d'agression	Statistiques des agressants	Statistiques des réactions de l'environnement	Réactions collectives et individuelles	Statistiques des stocks
III. Harvesting activity. - Récolte.	(i) Production from renewable resources - Production à partir de ressources renouvelables: Food. - Aliments. Fibre. - Fibres. Wood. - Bois. (ii) Introduction and spread of new technologies. - Découverte et implantation de nouvelles techniques.	(i) Specific (biome) stressors. - Sources d'agression précises (biomes). (ii) Technological stress - Agressants d'origine technique: Fertilizer, pesticide application. - Engrais, pesticides. Monoculture, feed lots. - Monoculture, parcs d'engraissement. Introduction of exotic species. - Introduction d'espèces exotiques. Elimination of "undesired" species. - Élimination des espèces "indésirables".	(i) Changes in the rate sustainable yield. - Changements dans les taux de rendement permanent. (ii) Measurement of soil productivity. - Mesure de la productivité du sol. (iii) Other environmental impacts - Autres effets sur l'environnement. Erosion. - Érosion. Abandonment of marginal farmlands. - Abandon des terres agricoles peu productives. Salination. - Imprégnation saline.	(i) Control of the use of technology - Contrôle de l'utilisation des techniques: Restrictions on pesticide use. - Limitation de l'utilisation des pesticides. Quota or rationing of harvests. - Contingement des récoltes. Expenditure on management of renewable resources. - Dépenses au titre de la gestion des ressources renouvelables.	(i) Stock of renewable resources - Stock de ressources renouvelables: Agricultural land by degree of productivity. - Terres agricoles selon le degré de productivité. Forest lands. - Forêts. Fishing stock. - Stock de poisson. Wildlife stock. - Stock de faune. Stock of domestic animals. - Stock d'animaux domestiques. Food stock. - Stock d'aliments.
IV. Extraction of non-renewable resource. - Extraction de ressources non renouvelables.	(i) Rate of (scarce) non-renewable resources in relationship to available supply. - Taux d'extraction de ressources non renouvelables (rares) par rapport aux réserves. (ii) Rate of growth of substitutes. - Taux d'accroissement des substituts. (iii) The marginal energy use, and cost, per unit of output. - Consommation correspondante d'énergie et coût par unité de production.	Same as I and II. - Comme en I et II.	Same as I and II. - Comme en I et II.	(i) Restrictive and control measures of non-renewable resources. - Mesures restrictives et de contrôle des ressources non renouvelables. (ii) Substitution response. - Substitution.	(i) Stock of non-renewable resources - Stock de ressources non renouvelables: Minerals. - Minéraux. Fossil fuels. - Combustibles fossiles.
V. Production and consumption of potentially hazardous substances. - Production et consommation de substances dangereuses.	(i) Production and use of potentially hazardous substances (commodity balance). - Production et utilisation de substances dangereuses (bilan des produits). (ii) Transportation of potentially hazardous substances. - Transport des substances dangereuses. (iii) Disposal of potentially hazardous substances (include nuclear fuels). - Élimination des substances dangereuses (y compris les combustibles nucléaires).	(i) Leakage and spillage of potentially hazardous substances. - Décharges accidentelles de substances dangereuses. (ii) Application of fertilizers, pesticides, etc. - Utilisation d'engrais, de pesticides, etc. (iii) Use of food preservatives and additives. - Utilisation de préservateurs et d'additifs alimentaires. (iv) Radiation levels (man originated). - Niveaux de radiations (attribuables à l'homme).	(i) Concentration of contaminants in environmental media. - Concentration de contaminants dans l'environnement. (ii) Contaminants in drinking water. - Contaminants dans l'eau de boisson. (iii) Contaminants in biological species. - Contaminants dans les espèces biologiques. (iv) Incidence of contaminant poisoning and carcinogenic exposure in man. - Incidence des empoisonnement et effets cancérogènes sur l'homme.	(i) List of controlled and restricted chemicals. - Liste de produits chimiques contrôlés et à utilisation restreinte. (ii) Cost of management of control programme. - Coût de la gestion des programmes de contrôle. (iii) Cost of safety measures in industry and government. - Coût des mesures de sécurité dans les secteurs public et privé. (iv) Cost of clean up of "spillage". - Coût du nettoyage en cas de décharge accidentelle.	(i) Stock of potentially hazardous substances. - Stock de substances dangereuses. (ii) Capacity and location of potentially hazardous substances - Capacité et emplacement des sources possibles de substances dangereuses: Nuclear plants. - Centrales nucléaires. Chemical plants. - Usines chimiques.
VI. Production and consumption of energy. - Production et consommation d'énergie.	(i) Energy production. - Production d'énergie. (ii) Energy consumption. - Consommation d'énergie. (iii) Supporting infrastructures - Infrastructures de soutien: Generation distribution. - Production, distribution.	(i) Thermal pollution loadings. - Charges thermiques. (ii) Noise generation (acoustic energy). - Bruit (énergie acoustique). (iii) Emissions of pollutants from fossil fuels. - Émission de polluants à partir de combustibles fossiles.	(i) Temperature change in aquatic systems. - Variations de température dans les systèmes aquatiques. (ii) Nuisance and health stresses on humans. - Nuisances et risques pour la santé de l'homme. (iii) Concentration of energy source pollutants in environmental media. - Concentration de polluants énergétiques dans l'environnement.	(i) Energy conservation measures (performance and costs). - Mesures d'économie d'énergie (rendement et coût). (ii) Shift in energy use. - Changements dans l'utilisation de l'énergie. (iii) Shift from high to low energy technology. - Adoption de techniques consommant moins d'énergie.	(i) Stock of energy resources - Stock de ressources énergétiques: Fossil fuels. - Combustibles fossiles. Hydro potential. - Potentiel hydro-électrique. (ii) Capacity of energy production - Capacité de production d'énergie: Hydro. - Hydro-électrique. Nuclear. - Nucléaire. Fossil. - Thermique.

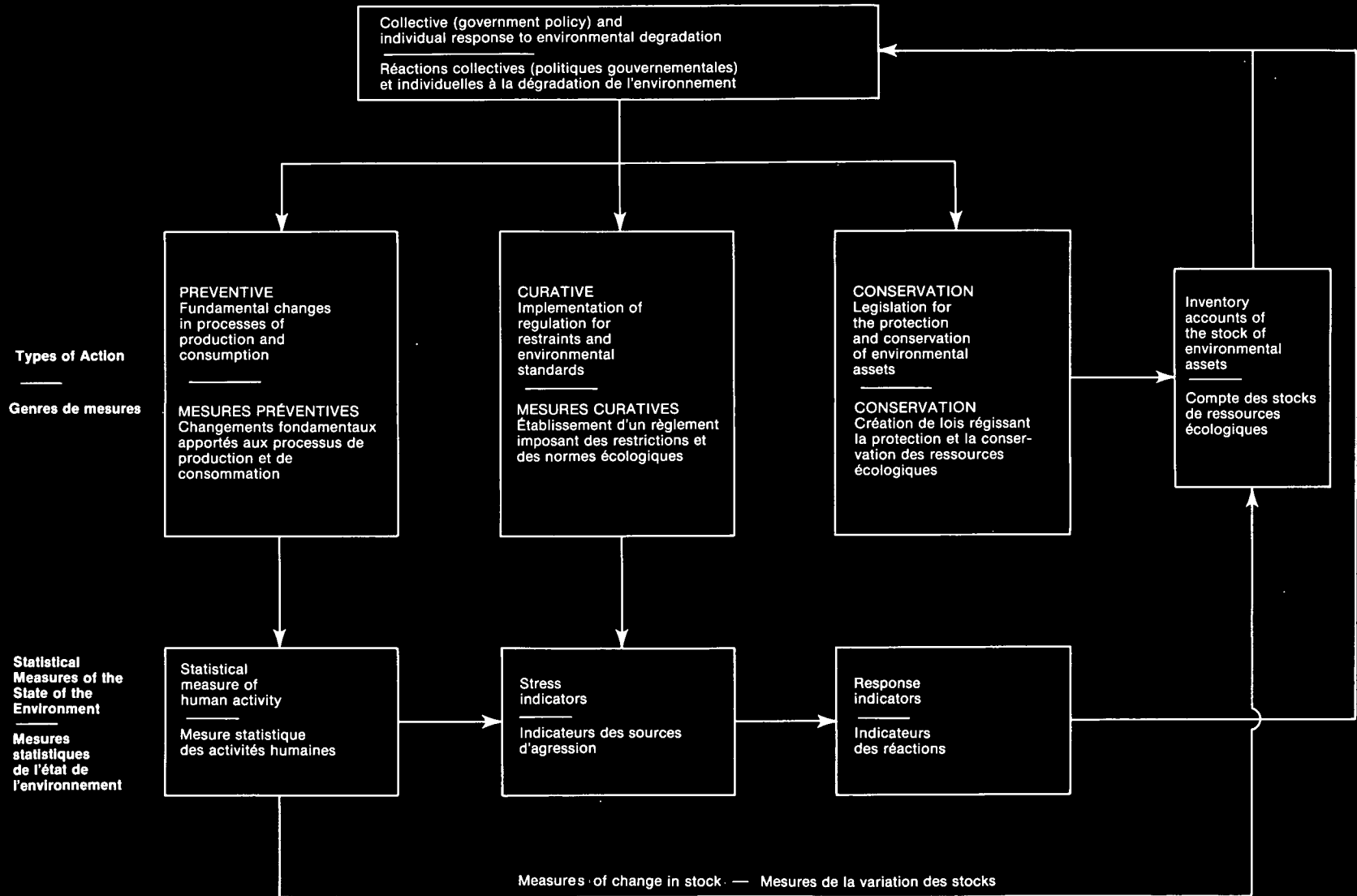
STATISTICAL DATA SETS FOR THE S-RESS (EXAMPLES) – Concluded

SÉRIES DE DONNÉES STATISTIQUES POUR LE SSAR (EXEMPLES) – fin

Activity	Stressors statistics	Stress statistics	Environmental response statistics	Collective and individual response	Inventory of stocks statistics
Activité	Statistiques des sources d'agression	Statistiques des agressants	Statistiques des réactions de l'environnement	Réactions collectives et individuelles	Statistiques des stocks
VII. Natural activity. – Activité naturelle.	(i) Meteorology records. – Dossiers météorologiques. (ii) Geo-physical events. – Phénomènes géophysiques. (iii) Long-term climate changes. – Variations climatiques à long terme.	(i) Extreme variations in climate (above and below normal range local variations). – Variations climatiques extrêmes à l'échelle locale. (ii) Geo-physical events location specific. – Phénomènes géophysiques selon le lieu géographique.	(i) Harvest variations. – Variations des récoltes. (ii) Long-term changes in "biome" due to climate change. – Changements à long terme dans les "biomes" en raison des variations climatiques. (iii) Floods, earthquakes, droughts etc. – Inondations, séismes, sécheresse, etc.	(i) Expenditure and other responses to combat extreme weather conditions and geo-physical events. – Dépenses et autres réactions face aux conditions climatiques extrêmes et aux phénomènes géophysiques.	(i) Mapping of the natural world. – Levés de la nature. Ecological mapping. – Levés écologiques. Mapping of "high probability" of geo-physical event. – Levés indiquant les régions à "forte probabilité" de phénomènes géophysiques. Mapping of climate zones. – Levés des zones climatiques.
VIII. Population dynamics. – Dynamique de la population.	(i) Growth and decline of populations. – Augmentation et diminution des populations: Human. – Humaine. Animal. – Animale. Plant. – Végétale. (ii) Expansion and contraction of habitats. – Expansion ou contraction des habitats: Human. – Humain. Animal. – Animal. Plant. – Végétal.	(i) Overpopulation – Surpopulation: Human. – Humaine. Animal. – Animale. Undesired plant species. – Espèces végétales indésirables. (ii) Spatial movement of population – Mouvement spatial de la population: Into uninhabited regions. – Vers les régions inhabitées	(i) Demand on natural resources (land water, renewable and non-renewable). – Demande de ressources naturelles (sol, eau, ressources renouvelables et non renouvelables). (ii) Mortality, fertility, and morbidity. – Mortalité, fécondité et morbidité.	(i) Control of habitat expansion. – Limitation de l'expansion des habitats. (ii) Control of population size. – Limitation des populations.	(i) Population counts – Dénombrement des populations: People. – Personnes. Wildlife. – Faune. (ii) Mapping of habitats. – Levés des habitats. Human settlements. – Peuplements humains. Wildlife habitats. – Habitats de la faune.

Relationship of the Stress Framework to Government Policy

Rapports entre le cadre des statistiques de l'environnement et les politiques gouvernementales



13.549E