

HC

120

.ES

D32H

No. 2

Recommandations relatives à un programme national de surveillance écologique

par

Bill Freedman, Cynthia Staicer et Nancy Shackell

Département de biologie et
School for Resource and Environmental Studies
Université Dalhousie
Halifax (Nouvelle-Écosse) B3H 4J1

Préparé pour l'organisation chargée du
Rapport sur l'état de l'environnement
Environnement Canada

le 2 janvier 1993

AVIS AUX LECTEURS

La Collection des publications hors-série est constituée de rapports inédits produits par l'organisation chargée du Rapport sur l'état de l'environnement, Environnement Canada. Elle permet la diffusion d'un nombre réduit de documents spécialisés comme des comptes rendus de petits ateliers ou des rapports rédigés à contrat. Les documents sont habituellement distribués dans leur langue d'origine; leur traduction est disponible sur demande. Seul un nombre limité d'exemplaires est imprimé; une fois les stocks épuisés, les rapports peuvent être obtenus par le biais des prêts interbibliothèques de la bibliothèque d'Environnement Canada.

Les opinions exprimées dans les publications hors-série sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'organisation chargée du Rapport sur l'état de l'environnement ou d'Environnement Canada.

Le présent rapport doit être cité comme suit :

Freedman, B., C. Staicer et N. Shackell. 1993 (inédit). *Recommandations relatives à un programme national de surveillance écologique*. Collection des publications hors-série, n° 2. Rapport sur l'état de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa.

Si vous désirez obtenir de plus amples renseignements sur l'organisation chargée du Rapport sur l'état de l'environnement, recevoir une liste des publications ou faire inscrire votre nom sur la liste de distribution, prière d'écrire à l'adresse suivante :

Publications
Marketing, coordination et communication
Rapport sur l'état de l'environnement
Environnement Canada
1547, ch. Merivale, 4^e étage
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

N° de télécopieur : (613) 941-9646

N° de téléphone : (613) 941-9606

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures	2
Résumé	3
<hr/>	
<i>INTRODUCTION</i>	5
<hr/>	
L'objet de la surveillance écologique	5
La production de rapports sur l'état de l'environnement	6
Les consultations sur le programme national de surveillance écologique	6
<hr/>	
<i>LA STRUCTURE THÉORIQUE</i>	7
<hr/>	
Les indicateurs environnementaux	7
Les unités de surveillance et de référence	9
La classification écologique du territoire	10
Les préoccupations entourant l'utilisation des écozones comme unités de référence	10
Les unités convenant à la surveillance des agents d'agression	12
Les catégories de sites de surveillance	12
Les sites de surveillance intensive	12
Les types de sites de surveillance intensive	13
Le réseau de sites de surveillance intensive	14
Les considérations entourant la sélection et l'établissement de sites de référence	14
Une comparaison avec le LTER des États-Unis	15
La reconnaissance des agents d'agression	15
Le choix des indicateurs	15
Les lacunes des données sur les indicateurs	16
Les sites de surveillance extensive	17
L'échelle d'échantillonnage	17
Les sources d'information	18
Les bioindicateurs	18
Le plan d'échantillonnage spatial et temporel	18
L'intégration de la surveillance écologique	19
L'intégration dans et parmi les sites de surveillance intensive	19
L'intégration dans et parmi les sites de surveillance extensive	19
L'intégration des sites de surveillance intensive et extensive	19
<hr/>	
<i>LA STRUCTURE FONCTIONNELLE</i>	22
<hr/>	
Les principaux collaborateurs	22
Les activités	23
<hr/>	
<i>LES PERSPECTIVES RELATIVES AU PROGRAMME PROPOSÉ</i>	25
<hr/>	
Les considérations financières	25
La promotion de la collaboration	26
L'acquisition de données par l'organisation chargée du RÉE	27
L'amélioration de la surveillance écologique	29
Le transfert des informations au public	31
<hr/>	
Ouvrages cités	33

Liste des figures

Figure 1 : Intégrité écologique et résistance à la modification du milieu	5
Figure 2 : Variantes théoriques de modèles d'agent d'agression-réaction.....	9
Figure 3 : Les 15 écozones terrestres du Canada	11
Figure 4 : Structure fonctionnelle du programme national de surveillance écologique proposé.....	21
Figure 5 : Liens entre les réactions et les agents d'agression.....	32

RÉSUMÉ

Dans le présent document, les auteurs font la synthèse de leur réflexion et de leur opinion sur le cadre d'un programme national de surveillance écologique pour le Canada. Les conclusions du rapport reflètent également les contributions et l'apport des personnes ayant participé à six ateliers régionaux de consultation et à des réunions tenues dans l'ensemble du Canada en 1991-1992. Le programme national de surveillance écologique proposé ici renforcerait les capacités du gouvernement fédéral et de ses partenaires au chapitre de la production de rapports sur les changements environnementaux et de la compréhension des causes et des conséquences des changements observés.

La surveillance écologique et la production de rapports permettent de s'attaquer aux questions et aux préoccupations reliées aux changements touchant :

1. les aspects de l'environnement qui reflètent la santé et l'intégrité des écosystèmes et de leurs composantes, notamment l'eau, l'air, les sols et le biote;
2. l'abondance et la productivité des ressources biologiques ayant une importance économique, comme les forêts, le poisson, le gibier et les produits agricoles; et
3. le biote et les écosystèmes qui ne sont habituellement pas perçus comme présentant un intérêt économique mais qui ont néanmoins une grande valeur intrinsèque et une grande importance écologique, notamment les espèces animales non considérées comme gibier, les fleurs sauvages et la biodiversité « invisible » des microbes et autres espèces fauniques de très petite taille.

La surveillance écologique et la production de rapports possèdent une dimension interdisciplinaire axée sur les systèmes et exigent la reconnaissance des liens entre les divers éléments et processus de systèmes complexes. La surveillance écologique requiert un engagement à long terme, car nombre de changements importants sont difficilement perceptibles et ne peuvent être détectés par des programmes de surveillance de courte durée.

Dans la mesure du possible, le programme proposé s'appuierait sur l'expertise et les capacités existantes en matière de surveillance et de recherche écologiques. On évaluerait les programmes en cours pour déterminer s'ils peuvent permettre de produire des informations adéquates dans le cadre du réseau national de sites de surveillance écologique. Les lacunes des programmes seraient comblées par l'intégration des réseaux actuels et par l'établissement de nouveaux sites s'il y a lieu. La collaboration de tous les organismes participant aux activités de surveillance pertinentes et la mise sur pied de

partenariats avec les groupes de recherche seraient déterminantes du succès du programme.

La structure théorique de ce programme vise l'intégration de la surveillance et de la recherche écologique au niveau national. Les indicateurs seraient mesurés dans deux catégories de sites de surveillance (intensive et extensive) dans chacune des 15 écozones terrestres du Canada. À l'intérieur de chaque écozone, on recenserait les indicateurs susceptibles de représenter les préoccupations et les questions les plus importantes au niveau régional. Les indicateurs seraient évalués par des groupes de travail d'experts et une série d'indicateurs pertinents serait choisie pour la surveillance des changements de la qualité de l'environnement à l'échelle régionale ou nationale. La mesure des indicateurs serait intégrée dans chaque site de surveillance intensive et extensive et d'un site à l'autre.

Les sites de surveillance intensive serviraient à l'étude relativement détaillée tant des indicateurs de la structure et de la fonction des écosystèmes que des réactions aux changements environnementaux. Ces sites incluraient :

1. des sites de référence qui seraient situés dans des réserves écologiques ou dans d'autres aires protégées et qui serviraient à l'étude de la structure et de la fonction des écosystèmes et à la surveillance des effets des changements régionaux et planétaires;
2. des sites expérimentaux, où les agents d'agression du milieu seraient manipulés dans des conditions contrôlées et où les réactions écologiques seraient étudiées; et
3. des gradients d'agression, consistant en une série de sites représentant un gradient par rapport à un agent d'agression anthropique donné, comme l'agriculture ou la foresterie. On suggère d'établir de 1 à 3 sites de surveillance intensive dans chaque écozone, selon la taille et l'hétérogénéité biogéophysique de l'écozone et l'importance des agents d'agression du milieu.

Le réseau national de sites de surveillance intensive devrait tirer parti des programmes de surveillance et de recherche écologiques en cours. Toutefois, le nouveau réseau doit combler les lacunes des programmes existants, notamment : 1) l'absence de sites de surveillance intensive dans certaines écozones; 2) l'insuffisance de l'intégration des composantes atmosphérique, aquatique et terrestre; et 3) la rareté, en général, de bioindicateurs normalisés.

Les sites de surveillance extensive seraient plus nombreux que les sites de surveillance intensive. Ils seraient dispersés dans chaque écozone et permettraient d'avoir une vue d'ensemble des changements à grande échelle

dés caractéristiques écologiques du paysage. Dans toutes les écozones, beaucoup de données de surveillance extensive sont actuellement recueillies par le biais des programmes existants des organismes sectoriels coopérants. Toutefois, ces informations présentent deux graves lacunes : 1) les indicateurs des réactions biologiques sont particulièrement insuffisants mais ils sont le plus révélateurs de l'intégrité écologique; et 2) souvent, l'organisation spatiale des programmes de surveillance sectorielle actuels ne permet pas de recueillir des données statistiquement représentatives des régions ou des écozones.

Les étapes initiales du cadre proposé sont les suivantes :

1. recenser les principales sources d'agression du milieu dans des écozones données;
2. répertorier les lacunes au niveau des indicateurs actuels de la qualité de l'environnement; et
3. élaborer des protocoles pour la sélection des indicateurs écologiques et l'évaluation de la qualité des données.

Les programmes de surveillance devraient être institutionnalisés à l'échelon gouvernemental et être intégrés aux programmes de recherche. Les recherches écologiques connexes pourraient être menées par des scientifiques à l'emploi d'organismes gouvernementaux et non gouvernementaux (p. ex., universités et secteur privé). La recherche devrait comprendre notamment : 1) la mise au point d'indicateurs; 2) la vérification des hypothèses touchant les causes et les conséquences des changements environnementaux; 3) la détermination de la compatibilité des techniques de surveillance; et 4) l'étude pluridisciplinaire de la structure et de la fonction des écosystèmes.

L'organisation chargée du Rapport sur l'état de l'environnement (RÉE) d'Environnement Canada s'appuie sur les données recueillies par d'autres organismes pour la production de rapports nationaux. Elle ne possède pas la capacité de mener des activités de surveillance et ne prévoit pas développer une telle capacité. Son rôle dans le programme proposé serait le suivant :

1. assurer la coordination des groupes de travail d'experts des organismes gouvernementaux et non gouvernementaux et de toutes les régions du Canada et aider ces groupes dans leurs diverses activités (voir ci-dessous);
2. cataloguer et évaluer les bases de données aux fins des rapports sur l'état de l'environnement;
3. demander, obtenir et tenir à jour des données aux fins des rapports sur l'état de l'environnement;
4. coordonner, intégrer, cartographier et analyser les données aux fins des rapports sur l'état de l'environnement;
5. préparer des rapports, des feuillets d'information et d'autres produits sur l'état de l'environnement et, dans

la mesure du possible, sur les tendances en matière d'environnement;

6. faciliter les partenariats tant avec les organismes sectoriels qu'au sein de ces derniers;
7. assurer la coordination d'un réseau national de sites de surveillance écologique;
8. cataloguer et tenir à jour une base de données de surveillance qui sera accessible à d'autres organismes et au public; et
9. mettre au jour les lacunes dans la surveillance écologique nationale et la recherche connexe et formuler des recommandations pour combler ces lacunes.

Les groupes de travail d'experts joueraient un rôle important dans le cadre proposé ici et ils seconderaient l'organisation chargée du RÉE dans certaines des fonctions décrites plus haut en assumant les tâches suivantes : 1) recenser les sources les plus importantes d'agression environnementale dans des écozones données; 2) suggérer des indicateurs appropriés pour la surveillance des effets des agents d'agression; 3) mettre au jour les lacunes des bases de données environnementales reliées aux effets de ces agents d'agression et recommander des modifications aux programmes sectoriels de surveillance afin de combler ces lacunes; 4) reconnaître les lacunes dans la mise au point d'indicateurs appropriés et orienter l'élaboration de protocoles pour la sélection et la mesure des indicateurs écologiques; 5) orienter la recherche visant l'élaboration de protocoles pour la comparaison de différentes techniques et l'évaluation de la qualité des données; et 6) interpréter les tendances révélées par les indicateurs et suggérer des hypothèses quant aux agents en cause.

Les principales préoccupations soulevées durant les ateliers incluent les suivantes : 1) des considérations d'ordre financier, notamment les exigences en matière de financement et de rentabilité accrue; 2) les moyens de promouvoir la collaboration entre les organismes gouvernementaux et les partenariats avec la communauté scientifique universitaire, les collectivités autochtones et les bénévoles; 3) le processus d'acquisition des données par l'organisation chargée du RÉE, y compris l'accessibilité des données, les avantages de ce processus pour les fournisseurs de données et les types d'informations demandées; 4) l'orientation future des programmes de surveillance et de recherche, y compris les questions ayant trait aux mesures, aux mandats, à l'adaptabilité des programmes, aux archives d'échantillons, à la surveillance des agents d'agression inconnus, aux indices composés et à la mise au point d'indicateurs des réactions biologiques (ces derniers font particulièrement défaut dans les programmes de surveillance actuels); 5) les questions reliées aux unités de référence pour la production de rapports sur l'état de l'environnement; et 6) la diffusion de l'information auprès du public, y compris les notions de qualité de l'environnement, l'interprétation des changements environnementaux et, dans son sens large, la sensibilisation à l'environnement.

INTRODUCTION

Le but ultime de la surveillance écologique est de prévoir et de prévenir la détérioration de l'intégrité écologique. Cet objectif s'appuie sur l'axiome selon lequel des écosystèmes sains sont nécessaires au développement durable de sociétés et de systèmes économiques sains.

L'OBJET DE LA SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE

L'objet de la surveillance écologique est de détecter ou de prévoir, par la mesure et la compréhension d'indicateurs pertinents, les changements dans l'intégrité écologique ou la santé des écosystèmes. Les changements observés chez les indicateurs sont évalués en regard de leur contexte historique connu ou par rapport à une situation témoin.

L'évaluation des conséquences des changements environnementaux observés ou prévus se fonde sur les connaissances accumu-

lées sur les principes écologiques, auxquelles s'ajoutent les recherches consacrées aux problèmes naissants. Par exemple, il est possible de surveiller la vitesse à laquelle une forêt naturelle coupée à blanc est convertie en plantations sylvicoles. Toutefois, les conséquences de cette conversion pour l'intégrité écologique sont interprétées d'après des principes écologiques s'appuyant sur des connaissances et des recherches scientifiques. Parmi les questions particulières, citons les effets de la conversion écologique sur la biodiversité, la productivité, la chimie des sols et des cours d'eau, les caractéristiques hydrologiques des bassins versants, les maladies et les infestations d'insectes et les changements environnementaux planétaires.

La définition de l'« intégrité écologique » ou de la « santé de l'écosystème » pose un pro-

blème majeur. Il faut trouver une définition satisfaisante sans faire appel à des jugements ou à des critères trop étroits, imprécis ou anthropocentriques. À l'évidence, tout changement d'origine anthropique sera avantageux pour certains organismes et processus écologiques tout en étant nuisible pour d'autres. Néanmoins, au stade actuel du développement de la science des écosystèmes, nous connaissons suffisamment les tendances en matière d'écosystèmes perturbés ou agressés pour établir que ceux ayant une plus grande intégrité : 1) sont relativement résilients et résistants à une intensification des changements environnementaux; 2) sont relativement biodiversifiés (c.-à-d. qu'ils présentent une grande variété au niveau génétique, des espèces et des communautés); 3) sont relativement complexes sur les plans structurel et fonctionnel; et 4) appartiennent à une succession naturelle stable à long terme (Odum, 1985; Schindler, 1987; Freedman, 1989; Woodley, 1990; Karr, 1991).

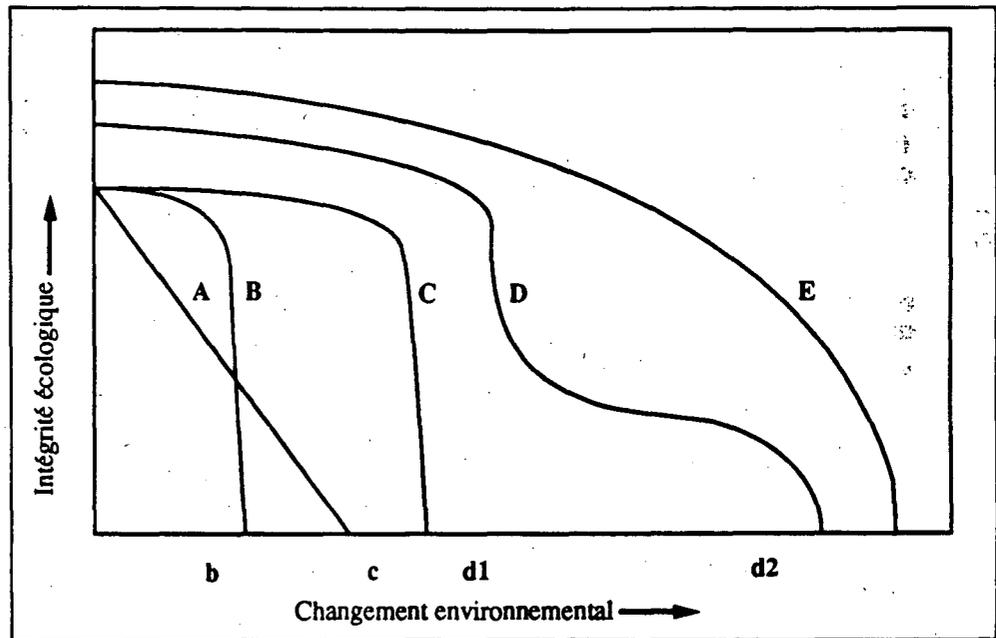


Figure 1. Intégrité écologique et résistance à la modification du milieu. Les effets du stress sur l'intégrité écologique de diverses composantes du milieu naturel (p. ex., organismes, communautés ou paysages) dépendent de la résistance de ces dernières au changement environnemental ou à l'intensification du stress. Les courbes ci-dessus illustrent les diverses réactions possibles des composantes à un changement environnemental. La hauteur de la courbe représente l'intégrité écologique, tandis que la pente correspond à la perte d'intégrité en réaction à des niveaux accrus de changements environnementaux. Au départ, l'intégrité des composantes A-C est plus faible, tandis que celle des composantes D-E est plus élevée. La réaction de la composante A à un changement environnemental accru prend la forme d'un déclin continu de l'intégrité, tandis que la réaction des composantes B et C ne devient sensible qu'après le dépassement d'un seuil de tolérance au changement environnemental (b et c, respectivement), la composante C ayant un seuil plus élevé. La composante D présente une réaction curviligne complexe au changement environnemental, avec une perte d'intégrité rapide après un premier seuil (d1), suivie d'une stabilité relative (résistance), puis d'une réaction rapide à un second seuil (d2). La composante E possède l'intégrité la plus élevée au départ, de même qu'à long terme. Aux fins de la surveillance écologique, les composantes A et B seraient les indicateurs précoces les plus utiles de la perte de l'intégrité écologique.

Les indicateurs de l'intégrité écologique peuvent inclure des mesures au niveau du métabolisme, de l'organisme, de la population, de la communauté et du paysage, qui peuvent tous réagir aux changements des conditions du milieu. Les réactions écologiques à la modification de l'environnement peuvent varier de la réaction monotone simple à la réaction curviligne complexe. La nature du changement de l'intégrité écologique dépend en partie de la résistance au changement environnemental et des seuils de tolérance aux agressions (figure 1). Idéalement, pour comprendre ce que permet de mesurer un indicateur, il faudrait déterminer la forme de la courbe de réaction de l'indicateur en question lorsqu'il est exposé à des variations d'un facteur d'agression donné (par le biais d'expériences ou par l'examen des gradients existants). Toutefois, dans la pratique, on connaît rarement la courbe de réaction.

Les indicateurs peuvent également prendre la forme d'indices composés regroupant des informations connexes ou disparates. Les indices composés de la qualité du milieu sont particulièrement souhaitables pour la communication de données au public. Bien que les indices composés de l'intégrité écologique engendrent une controverse scientifique parce qu'il est difficile de pondérer la « valeur » de chacune de leurs variables, leur formulation progresse (Steedman et Regier, 1990; Karr, 1991).

Parfois, des changements écologiques importants sont détectés sans que l'on connaisse avec certitude les causes et les conséquences de ces changements. Les causes peuvent être incertaines pour les raisons suivantes : 1) elles appartiennent à des complexes d'agents d'agression que l'on ne connaît pas encore; 2) elles sont extrinsèques à l'écosystème surveillé; ou 3) les expériences permettant de définir la relation causale n'ont pas encore été réalisées. Cependant, une fois étudiés les changements importants, on peut avancer des hypothèses causales et orienter les recherches vers la détermination des causes et des conséquences des changements observés. À toute étape du processus, on peut avoir recours à la surveillance et aux recherches connexes pour déterminer quels sont les risques importants pour l'intégrité écologique et pour prévenir (ou, ce qui est moins souhaitable, pour atténuer) les dommages prévus.

La recherche joue un rôle crucial dans la surveillance écologique. Dans la mesure du possible, une hypothèse devrait être formulée avant le début des activités de surveillance afin de polariser les travaux. La recherche est également nécessaire pour comprendre les causes et les conséquences possibles du changement et pour mettre au point les indicateurs convenant aux programmes de surveillance. Les agents causaux sont parfois évidents (c.-à-d. que des recherches ont déjà été effectuées). Cependant, on ignore souvent quel agent ou quelle com-

binaison d'agents d'agression est en cause. La santé générale des écosystèmes devrait être surveillée et les travaux de recherche appropriés sont d'une importance vitale pour la mise au point des indicateurs de l'intégrité écologique.

LA PRODUCTION DE RAPPORTS SUR L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT

La production de rapports périodiques sur l'état de l'environnement occupe une place prépondérante dans les mandats précisés dans le *Plan vert* publié en 1990 par le gouvernement fédéral (Gouvernement du Canada, 1990). Pour satisfaire à cette exigence, une nouvelle entité d'Environnement Canada, l'organisation chargée du Rapport sur l'état de l'environnement (RÉE), a été chargée de produire des bilans environnementaux. Elle jouera un rôle prépondérant dans l'engagement pris par le gouvernement fédéral face au développement d'une capacité de surveillance et d'évaluation de la qualité du milieu à long terme.

L'organisation chargée du RÉE possède quatre mandats connexes (Gouvernement du Canada, 1990; Marshall et collab., 1991) :

1. fournir au public des rapports crédibles, exacts et opportuns sur l'état de l'environnement au Canada;
2. élaborer et publier des indicateurs environnementaux qui serviront à orienter les décisions prises par le gouvernement, les entreprises et le secteur privé;
3. mettre sur pied un réseau national d'informations environnementales visant à rendre les informations facilement disponibles et accessibles au grand public; et
4. faciliter le développement d'une « capacité à long terme de surveiller et d'évaluer l'état de l'environnement afin de déceler les ressources menacées, ainsi que pour mesurer la réaction des écosystèmes et les effets des principales perturbations sur ces derniers » (Gouvernement du Canada, 1990). Un programme national de surveillance écologique permettrait de s'assurer que l'on dispose de données adéquates pour s'attaquer aux questions reliées au développement durable, pour faire des prévisions environnementales et pour appuyer la production de rapports périodiques sur l'état de l'environnement.

LES CONSULTATIONS SUR LE PROGRAMME NATIONAL DE SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE

L'organisation chargée du RÉE a pour mandat de fournir aux Canadiens des renseignements exacts, opportuns et accessibles afin de leur permettre de prendre des décisions éclairées en matière d'environnement (Gouvernement du Canada, 1990); elle n'est pas tenue de s'engager dans des activités de surveillance. Par consé-

quent, à titre d'organisme, elle ne met pas de programmes de surveillance en œuvre et ne prévoit aucune activité de ce type. Les informations utilisées par l'organisation pour la production de rapports sur l'état de l'environnement doivent être obtenues auprès d'autres organismes. Toutefois, les programmes de surveillance existants ont rarement été mis sur pied pour surveiller, à l'échelle régionale ou nationale, les changements de la qualité du milieu ou de l'intégrité écologique.

Afin de renforcer ses capacités, l'organisation chargée du RÉE tente de faciliter la mise en place d'un réseau intégré de surveillance écologique à l'échelle nationale, lequel fournirait les données nécessaires à la production de rapports sur l'état de l'environnement. Par le biais d'un contrat, l'organisation a demandé à l'Université Dalhousie de formuler des recommandations et d'organiser des consultations régionales sur les questions reliées à la structure et à la mise en œuvre d'un programme national de surveillance écologique.

Vers la fin de 1990, l'Université Dalhousie, en collaboration avec l'organisation chargée du RÉE, a élaboré le cadre théorique d'un programme national de surveillance écologique en s'appuyant à l'origine sur l'expertise des auteurs, sur des recherches documentaires et sur des entrevues avec des spécialistes de la surveillance. Ce cadre initial a ensuite été modifié en fonction des commentaires formulés lors d'une série d'ateliers régionaux tenus en 1991-1992.

Les consultations régionales sont essentielles pour élaborer un programme de surveillance écologique répondant à des besoins nationaux tout en étant compatible avec les objectifs régionaux. Au cours de notre projet, nous avons organisé six ateliers régionaux dans les unités administra-

tives d'Environnement Canada (Atlantique, Pacifique, Nord, Prairies, Ontario et Québec). Nous y avons présenté des versions préliminaires de notre cadre de programme national de surveillance écologique. Ce cadre a servi de base aux discussions sur les programmes de surveillance écologique, la mise au point d'indicateurs et autres questions pertinentes. Par suite des commentaires et des points de vue exprimés lors de chaque atelier, nous avons progressivement modifié notre cadre, dont l'aboutissement est le présent document. Les participants aux ateliers incluaient divers intervenants en surveillance environnementale, notamment dans les domaines de l'échantillonnage sur le terrain, de la conception de programmes de recherche scientifique et de surveillance ainsi que de l'administration des programmes.

Le présent document décrit le cadre théorique et fonctionnel d'un programme national de surveillance écologique pour le Canada et comprend des recommandations précises pour sa mise en œuvre. Il renferme également un résumé des préoccupations exprimées par les participants aux ateliers au sujet de l'élaboration d'un tel programme. La plupart de ces questions ont une dimension nationale, mais certaines revêtent une plus grande importance dans des régions données. Les résultats détaillés des ateliers sont résumés dans Staicer et collab., 1992.

Les opinions, préoccupations, connaissances et recommandations figurant dans le présent document constituent un amalgame de celles des auteurs et des nombreuses personnes ayant participé aux ateliers ou formulé des commentaires écrits. Nous remercions ces personnes d'avoir fait don de leur temps et d'avoir apporté nombre d'idées importantes qui ont considérablement enrichi la présente proposition de programme national de surveillance écologique.

LA STRUCTURE THÉORIQUE

La conception du programme national de surveillance écologique fait intervenir plusieurs notions, notamment la nature des indicateurs environnementaux, les unités de surveillance écologique et de référence pour la production de rapports, les sites de surveillance intensive et extensive et l'intégration des indicateurs et des sites de surveillance écologique en un programme national.

La structure théorique du présent cadre est axée sur la surveillance de trois classes d'indicateurs : l'agent d'agression, l'exposition et la réaction. Ces indicateurs feraient l'objet de rapports pour chacune des 15 écozones terrestres du Canada ainsi que pour les écozones marines et urbaines/suburbaines lorsqu'elles seront désignées. Les indicateurs seraient surveillés à l'intérieur d'un réseau constitué de deux classes de sites d'échantillonnage (intensif et extensif) dont la réunion permettrait

d'intégrer adéquatement les activités de surveillance et de recherche. Ces notions sont décrites en détail ci-dessous.

LES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX

Les indicateurs environnementaux sont des mesures de substitution reliées à des aspects importants de la qualité du milieu. Toutefois, il importe de noter que : 1) les liens entre les indicateurs et la qualité du milieu sont souvent mal définis; et (2) les relations de cause à effet entre les indicateurs ne sont pas toujours bien comprises.

Par exemple, on peut s'inquiéter du déclin de la santé des forêts dans certaines régions. Même si les causes du dépérissement des forêts ne sont peut-être pas connues, on peut supposer qu'elles sont apparentées à une certaine combinaison d'agents d'agression tels que la pollution

atmosphérique, les dommages causés par les insectes, le changement climatique, l'exploitation, etc. (Freedman, 1989). La dégradation de l'intégrité écologique de la forêt est reliée à un ensemble complexe de changements incluant la composition par espèces, la biodiversité, la productivité, la biomasse, le cyclage des éléments nutritifs, l'érosion des sols, la structure par classes d'âge, etc. Toutefois, aux fins de la surveillance écologique, on ne mesurerait qu'un seul indicateur ou un petit groupe d'indicateurs clés. La production annuelle nette des arbres pourrait être choisie comme indicateur du changement des ressources économiques forestières, tandis que l'on pourrait choisir une espèce d'oiseau ayant des exigences particulières en matière d'habitat à titre d'indicateur de l'intégrité des vieilles forêts.

Aux fins de la production de rapports sur l'état de l'environnement, les indicateurs du changement pourraient être classés d'une manière générale selon le modèle simple et largement utilisé de l'agent d'agression-exposition-réaction (AER) (d'après Hunsaker et Carpenter, 1990).

Dans le contexte écologique, l'agression ou le stress est un facteur de changement associé à des contraintes physiques, chimiques ou biologiques exercées sur l'intégrité écologique. Les indicateurs de l'*agent d'agression* sont surtout associés à des activités humaines comme l'émission de dioxyde de soufre et d'autres polluants atmosphériques primaires, l'émission de précurseurs de polluants secondaires comme l'ozone de la basse troposphère, l'emploi de pesticides et d'autres substances potentiellement toxiques et le taux de changement de l'habitat (attribuable au déboisement, p. ex.). Ces indicateurs peuvent également se rapporter à des phénomènes naturels comme les feux de friche, les ouragans, les éruptions volcaniques et le changement climatique.

Les *indicateurs de l'exposition* sont reliés à l'intensité de l'action des agents d'agression ressentie à un moment donné, de même qu'à la dose accumulée dans le temps. Comme exemples de tels indicateurs, mentionnons les concentrations ou les accumulations de substances toxiques et les changements particuliers de l'habitat associés aux incendies de forêt, à la coupe à blanc et à l'urbanisation.

Les *indicateurs de la réaction* reflètent les effets d'une exposition aux agents d'agression sur les organismes, les communautés, les processus ou les écosystèmes. Ils incluraient, par exemple, les changements touchant la physiologie, la productivité ou la mortalité des organismes, la diversité des espèces au sein des communautés ou la vitesse de cyclage des éléments nutritifs.

Le modèle AER est utile, car il suggère un lien causal raisonnable et intuitif avec les changements écologiques

se produisant en réaction à l'exposition à un agent d'agression du milieu. Toutefois, il faut se rappeler que le modèle AER est un modèle théorique simple et qu'il comporte d'importants inconvénients. Ainsi, dans de nombreux cas, les liens de cause à effet entre l'agent d'agression, l'exposition et la réaction ne sont ni connus ni quantifiés; par ailleurs, la linéarité apparente du modèle ne permet pas de tenir compte des cascades et des réseaux d'agents d'agression et d'effets (voir ci-dessous).

Il existe des variantes théoriques de modèles AER, dont les suivants :

1. Le modèle linéaire simple (figure 2.1) décrit ci-dessus indique que l'exposition à un agent d'agression peut entraîner une réaction écologique. L'intensité de l'exposition a une grande importance pour déterminer l'effet écologique, mais il peut exister des seuils de tolérance (p. ex., figure 1). Ainsi, l'exposition des oiseaux de mer aux marées noires peut occasionner une toxicité aiguë si un seuil physiologique de dose est dépassé.
2. Le modèle du réseau (figure 2.2) englobe des complexes d'agents d'agression et (ou) de réactions. L'exposition à un complexe d'agents d'agression interactifs peut entraîner une réaction écologique (figure 2.2a). Par exemple, comme il a été mentionné plus haut, le dépérissement des forêts serait attribuable, en partie, à un complexe d'influences environnementales non encore définies (Freedman, 1989). De même, un complexe de réactions écologiques peut être causé par l'exposition à un agent d'agression relativement simple (figure 2.2b). Par exemple, l'acidification d'un lac peut provoquer un grand nombre de réactions écologiques, y compris des changements de la composition chimique et de la transparence de l'eau, et avoir des effets toxiques directs sur le phytoplancton, les invertébrés, le poisson et d'autres éléments du biote (Freedman, 1989). Bien entendu, des réseaux simultanés d'agents d'agression et de réactions peuvent exister (figure 2.2c).
3. Dans le modèle de la cascade (figure 2.3), on reconnaît que les réactions écologiques peuvent devenir des agents d'agression secondaires (et d'ordre plus élevé) et provoquer des changements écologiques subséquents. Par exemple, considérons une extension de l'exemple de l'acidification susmentionné. Les effets toxiques directs de l'acidification sur certains éléments du biote peuvent se traduire par des effets secondaires et tertiaires sur d'autres éléments par suite de la modification de la structure trophique et de la dynamique de l'écosystème. Un changement survenant au niveau du phytoplancton en réaction à la toxicité directe de l'acidification peut constituer

un agent d'agression secondaire du zooplancton herbivore et avoir ainsi des effets tertiaires sur les poissons planctivores et des effets quaternaires sur les poissons prédateurs et les oiseaux piscivores (Freedman, 1989).

4. Selon le modèle de la rétroaction (figure 2.4), certaines réactions écologiques peuvent avoir pour effet une modification de l'intensité de l'agent d'agression. Par exemple, les milieux humides risquent de s'assécher en réaction au changement climatique qui pourrait être forcé de façon substantielle par des concentrations plus élevées de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Freedman, 1989). Une grande partie du carbone organique accumulé à long terme dans les milieux humides s'oxyderait dans des conditions plus sèches, ce qui se traduirait par un flux important de dioxyde de carbone vers l'atmosphère et représenterait un effet de rétroaction de l'agent d'agression-réaction.

Bien entendu, ces modèles théoriques sont tous simplistes en regard de la complexité du monde écologique réel. Lorsqu'on conçoit des indicateurs pour les programmes de surveillance du milieu, la simplicité peut être un atout opérationnel important. Toutefois, lors de l'interprétation des changements détectés chez des indicateurs simples, il faut toujours se rappeler que l'on est en présence de changements écologiques très complexes se déroulant dans un monde réel.

LES UNITÉS DE SURVEILLANCE ET DE RÉFÉRENCE

Un des objectifs de la production de rapports nationaux sur l'état de l'environnement est de décrire et d'interpréter les changements au niveau des indicateurs dans un contexte plus large. Les enjeux écologiques d'intérêt local et l'absence éventuelle d'indicateurs régionaux adéquats

ne peuvent être abordés à l'échelle nationale. Sur le plan des rapports nationaux, les questions les plus pertinentes sont celles qui, à plus grande échelle, ont trait aux principes écologiques fondamentaux. Par exemple, la biodiversité a-t-elle été touchée par les changements de l'utilisation des pesticides en agriculture ou en foresterie?

Un programme de production de rapports nationaux doit nécessairement être axé sur des unités relativement vastes basées sur les écosystèmes. Toutefois, à l'heure actuelle, les programmes sectoriels de surveillance sont menés à différentes échelles, allant des petits sites à de vastes régions englobant une ou plusieurs provinces ou territoires, selon le mandat, les intérêts et les ressources de l'organisme secto-

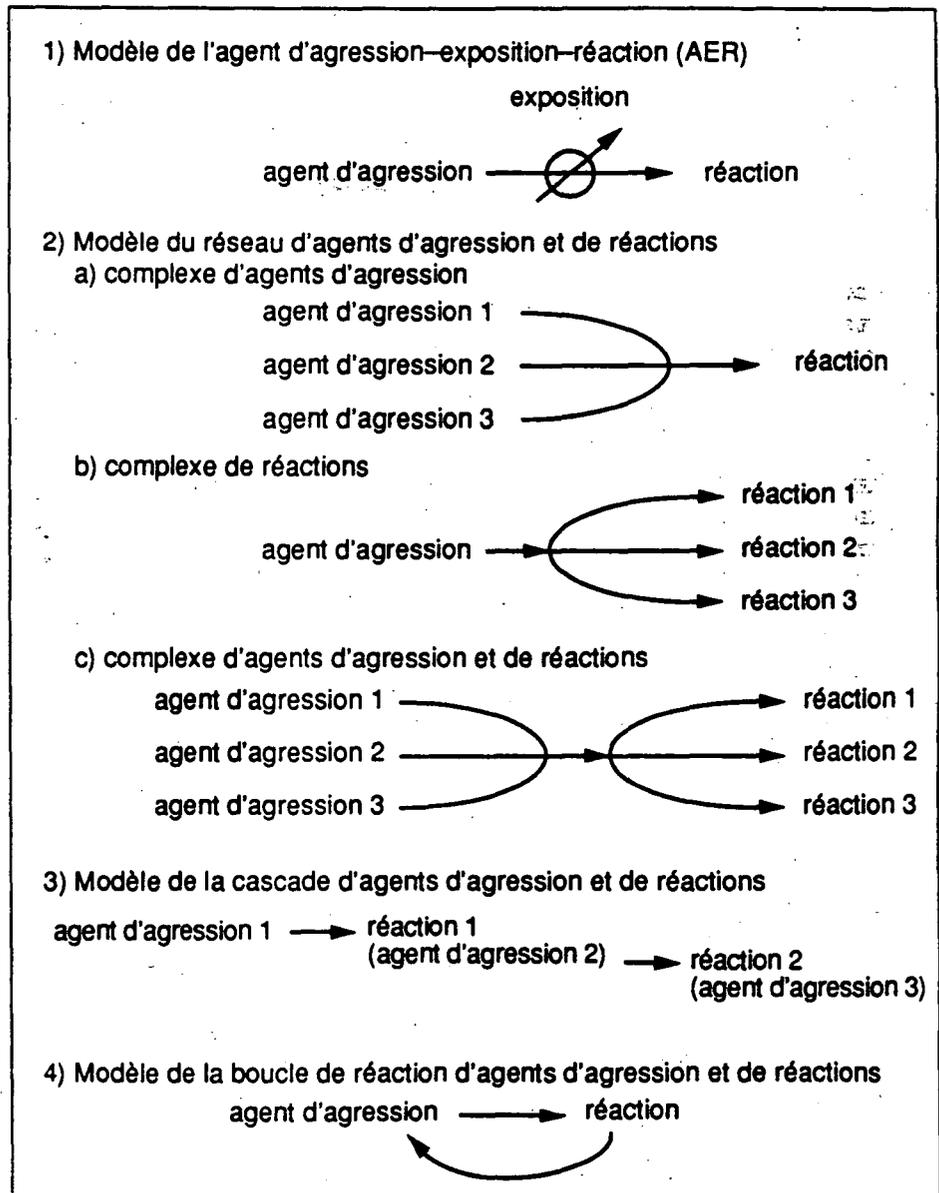


Figure 2. Variantes théoriques de modèles d'agent d'agression-réaction. Se reporter au texte plus de plus amples explications.

riel responsable. En outre, les diverses composantes des écosystèmes (p. ex., eau, sol ou air) sont mesurées à différentes échelles spatiales et dans des communautés écologiques différentes.

Par conséquent, le choix d'une échelle spatiale convenant à la production de rapports nationaux sur l'environnement est un problème complexe. Selon la question considérée, on peut utiliser différentes échelles spatiales pour surveiller les effets d'agents d'agression particuliers à l'échelle régionale. Par exemple, le changement climatique touche toutes les écozones, tandis que le brouillard acide n'est important que dans certains endroits maritimes. Dans les sections qui suivent, nous examinons une méthode de sélection des unités de surveillance et de référence pour le programme national proposé.

La classification écologique du territoire

Le Système canadien de classification écologique du territoire permet de caractériser les terrains sur la base de la géologie, du sol, de la morphologie, du climat, de la faune et de la flore. Il s'agit d'un système hiérarchique où les unités spatiales plus petites sont rassemblées en unités plus grandes qui forment, au sommet de la pyramide, des écozones. Ce système permet l'entrée de données de surveillance dans une base de données organisée sous forme de Système d'information géographique (SIG). Les données de surveillance peuvent être cartographiées à l'échelle spatiale à laquelle elles ont été recueillies ou à une échelle plus petite. À l'heure actuelle, l'organisation chargée du RÉE dispose d'un SIG lui permettant d'entrer des données de surveillance ou autres au niveau de l'écodistrict, ce qui correspond à une échelle cartographique allant de 1/250 000 à 1/500 000. Le Canada a récemment été caractérisé en fonction d'environ 5 400 écodistricts, 177 écorégions, 45 écoprovinces et 15 écozones (Wiken, 1986; figure 3).

L'écozone terrestre est l'unité écologique la plus vaste et la moins spécialisée du système canadien de classification écologique du territoire. Elle est caractérisée par des facteurs abiotiques et biotiques à la fois interactifs et adaptatifs. L'organisation chargée du RÉE se penche sur l'utilisation des écozones comme unités polyvalentes de référence pour la production de rapports sur l'état de l'environnement. Les 15 écozones présentent un intérêt à cet égard, car elles correspondent assez bien aux perceptions générales des écologistes en ce qui concerne les principaux systèmes écologiques et elles sont faciles à distinguer sur une carte du Canada (ce dernier aspect est important dans le processus de production des rapports). Les limitations des écozones (et des autres unités du Système de classification écologique du territoire) en tant qu'unités de référence sont décrites ci-dessous, de même que d'autres systèmes qui pourraient être adoptés pour la production des rapports.

Les préoccupations entourant l'utilisation des écozones comme unités de référence

Les participants aux ateliers ont exprimé plusieurs préoccupations importantes quant à l'utilisation des écozones comme unités de référence pour les rapports nationaux.

Les cours d'eau et leur bassin hydrographique peuvent transcender les limites des écozones. On ignore comment les données sur les indicateurs des principaux réseaux hydrographiques peuvent être intégrées dans un cadre constitué par des écozones terrestres. Si les écozones sont utilisées comme base des rapports nationaux, l'organisation chargée du RÉE pourrait devoir produire des rapports distincts pour des réseaux hydrographiques particulièrement importants, comme ceux des fleuves Saint-Laurent, Fraser et Mackenzie, ainsi que pour les grands réseaux lacustres, comme ceux des Grands Lacs, du lac Winnipeg, du Grand lac de l'Ours et du Grand lac des Esclaves. Il faudrait en outre élaborer un cadre basé sur les écozones pour les régions marines côtières du Canada. L'organisation est au fait de ces problèmes et tente déjà de les régler (p. ex., pour les lacs très étendus).

Les tendances et les conditions touchent souvent les écozones d'une manière très hétérogène, ce qui rend difficile la généralisation à l'intérieur de telles unités de référence. Par exemple, l'écozone du Bouclier boréal s'étend du nord de la Saskatchewan jusqu'à Terre-Neuve. L'importance de nombreux agents d'agression varie beaucoup à l'intérieur de cette écozone en raison des grandes différences existant sur le plan de la densité démographique, de l'industrialisation et des caractéristiques écologiques intrinsèques d'une extrémité à l'autre de cette vaste étendue. Dans de tels cas, on pourrait illustrer les variations des agents d'agression à l'intérieur de l'écozone à l'aide de cartes isoplèthes. Il pourrait même être utile de faire état, sous forme d'isoplèthes à l'échelle nationale, de certains indicateurs présentant une hétérogénéité spatiale; ceux-ci seraient toutefois placés dans une perspective écologique par un codage couleur de la carte des 15 écozones.

Les effets des sources ponctuelles de pollution peuvent être importants, mais ils s'intègrent difficilement à un cadre reposant sur les écozones. Seront-ils regroupés sur la base d'activités communes comme celles des fonderies, de la production d'électricité ou de fabrication de pâte, ou faudra-t-il procéder à des études de cas?

Les variations biophysiques à l'échelle moyenne ne sont pas bien représentées à l'intérieur des écozones. Il s'agit là d'un élément particulièrement important dans les régions montagneuses. En Colombie-Britannique, la forte variation biophysique reliée à la topographie, au climat et à la biodiversité (Meidinger

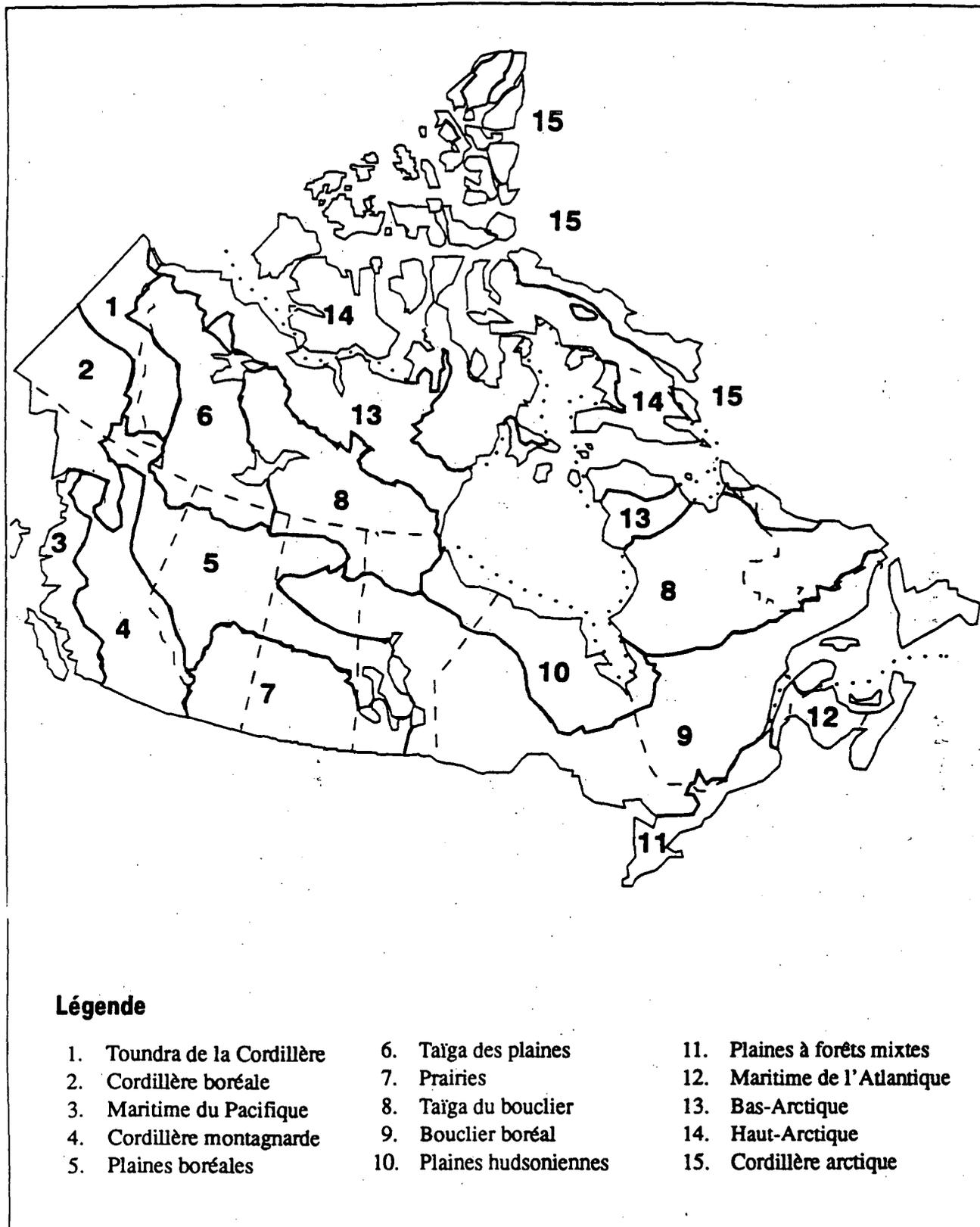


Figure 3.
Les 15 écozones terrestres du Canada (d'après Wiken, 1986).

et Pojar, 1991) est mal représentée dans un cadre cartographique constitué de seulement quatre grandes écozones, une situation qui a été soulignée lors de l'atelier de Vancouver. Toutefois, il faut se rappeler que les écozones ne sont proposées ici qu'à titre d'unités de référence pour la production de rapports nationaux sur l'état de l'environnement. Comme la classification écologique du territoire est hiérarchique, il est toujours possible de présenter des données à une plus petite échelle à des fins particulières, par exemple, pour la production de rapports au niveau de la province, de la région, du comté ou de la municipalité (en supposant, bien entendu, que les données de surveillance d'origine ont été mesurées à une échelle spatiale adéquate). Cette dernière considération est particulièrement pertinente dans le cas des indicateurs propres aux sites de surveillance extensive, lesquels sont dérivés de données provenant d'un nombre relativement élevé de sites. Le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique utilisera un cadre spatial basé sur l'écoprovince ou l'écorégion pour son prochain rapport sur l'état de l'environnement; ce système est compatible avec la proposition de cadre basé sur les écozones pour la production de rapports nationaux.

Les unités convenant à la surveillance des agents d'agression

La discussion qui précède met en lumière certains des problèmes que pose l'utilisation des écozones comme unités de référence. Il n'existe, *a priori*, aucune raison scientifiquement défendable pour laquelle tous les indicateurs d'un programme national doivent se rapporter à une même unité spatiale. Au contraire, il faudrait choisir les unités de surveillance et de référence convenant le mieux aux agents d'agression et aux indicateurs en question. Des groupes d'experts dont les travaux sont axés sur des thèmes et problèmes choisis pourraient déterminer l'échelle convenant le mieux à la surveillance d'indicateurs choisis et à la production de rapports.

Il serait souhaitable de doter le cadre de surveillance d'un certain degré de souplesse quant aux types d'unités de référence retenues. Par exemple, le système devrait permettre la production de rapports sur l'état de l'environnement en fonction d'unités plus petites pour les besoins provinciaux et plus grandes pour les besoins nationaux. Une telle souplesse est possible si l'on choisit un cadre basé sur le Système canadien de classification écologique du territoire, qui est hiérarchique (selon, bien sûr, l'échelle spatiale à laquelle les indicateurs sont mesurés). De même, pour les besoins sectoriels de la Direction générale des sciences et de l'évaluation des écosystèmes d'Environnement Canada, il pourrait être nécessaire de produire des rapports sur de petits ou de gros bassins hydrographiques, mais les données doivent

également pouvoir être intégrées à l'échelle de l'écozone afin de permettre la mise au point d'indicateurs convenant à la production de rapports nationaux sur l'état de l'environnement.

LES CATÉGORIES DE SITES DE SURVEILLANCE

Dans le programme national de surveillance écologique proposé ici, les indicateurs seraient mesurés dans deux catégories de sites de surveillance répartis dans chacune des 15 écozones terrestres du Canada.

Les sites de surveillance intensive seraient utilisés pour l'étude relativement détaillée de la structure et de la fonction des écosystèmes. Dans chaque écozone, un nombre plutôt réduit (1 à 3) de ces sites serait établi dans : a) des réserves écologiques ou d'autres aires protégées et ce, pour surveiller les effets des agents d'agression régionaux ou planétaires; b) des sites expérimentaux où l'on peut manipuler des agents d'agression et étudier des réactions; et c) des situations opérationnelles consistant en un série de sites représentant un gradient d'un agent d'agression anthropique donné.

Les sites de surveillance extensive seraient plus nombreux et répartis dans chaque écozone; ils permettraient d'avoir un aperçu des changements écologiques des paysages et de détecter les tendances régionales d'indicateurs choisis. Les données de surveillance extensive s'appuieraient sur les programmes existants et à venir des organismes sectoriels coopérants et proviendraient en grande partie de ces programmes.

L'objet et les caractéristiques des deux catégories de sites sont présentés de façon plus détaillée dans les sections qui suivent.

Les sites de surveillance intensive

Ces sites serviraient à la surveillance écologique et à des études interdisciplinaires intensives. Les principales fonctions des sites de surveillance intensive seraient les suivantes :

1. *L'amélioration de notre compréhension de la dynamique des écosystèmes sur le plan de leur structure et de leur fonction.* Les recherches menées dans les sites de surveillance intensive permettraient de comprendre les liens entre les composantes des écosystèmes et d'élaborer des modèles prédictifs de la dynamique de ces derniers. Les modèles sont importants, car ils accroissent les possibilités : a) de faire la distinction entre les causes naturelles et anthropiques des changements; et b) de prévoir avec une plus grande exactitude les tendances des changements à venir.

2. *La mise au point d'indicateurs.* Une fonction importante des recherches menées dans les sites de surveillance intensive serait le perfectionnement des indicateurs actuellement utilisés et la mise au point, s'il y a lieu, des indicateurs nouveaux ou améliorés. On élaborerait et on étudierait les indicateurs pouvant faire l'objet d'une surveillance extensive et intensive.
3. *L'étude des effets des agents d'agression par le biais d'expériences et par des analyses de gradient.* En étudiant les sites perturbés d'une façon expérimentale ou opérationnelle, on peut comprendre les effets à long terme d'agents d'agression anthropique donnés (p. ex., agriculture, foresterie ou acidification) par rapport à des conditions de référence (voir ci-dessous). Les perturbations expérimentales peuvent être continues ou épisodiques. Les perturbations continues sont utiles pour étudier les ajustements écologiques à long terme à l'intensification d'une agression, tandis que les perturbations épisodiques servent à l'étude des changements écosystémiques durant le déclenchement et l'atténuation de l'agression.
4. *La surveillance des conditions de référence.* On surveillerait les effets des problèmes d'envergure régionale ou planétaire, comme les dépôts acides et le changement climatique, afin de recueillir des informations de base sur les changements survenant dans des écosystèmes relativement matures et non agressés. Ces informations pourraient être comparées aux données provenant des études intensives sur les agents d'agression anthropique ainsi qu'aux informations issues de la surveillance extensive (voir la section suivante).

Les types de sites de surveillance intensive

Aux fins du programme national de surveillance écologique, nous recommandons les trois types suivants de sites ou de groupes de sites de surveillance intensive :

1. *Les sites témoins.* Pour répondre adéquatement aux besoins de la surveillance régionale des conditions de référence, les sites témoins devraient permettre de détecter les changements dans des endroits relativement peu agressés par les activités humaines directes. Les seuls agents d'agression importants devraient être de portée régionale ou planétaire : changement climatique, ozone de la basse troposphère, ozone stratosphérique et rayons UV-B, dépôt de substances atmosphériques acidifiantes, etc. Les sites candidats devraient inclure des aires protégées comme les parcs nationaux. On devrait privilégier la surveillance des écosystèmes relativement matures, de sorte que la dynamique de la succession ne masque pas le signal de référence du

changement environnemental causé par des agents d'agression régionaux ou planétaires.

2. *Les sites expérimentaux.* On suggère de procéder à des travaux expérimentaux à long terme dans les sites de surveillance intensive en vue de l'étude contrôlée et intégrée des effets d'agents d'agression particuliers comme la foresterie, l'agriculture, l'acidification et l'urbanisation. En général, on devrait choisir les sites de surveillance intensive destinés à la manipulation expérimentale de façon à minimiser les gradients environnementaux naturels reliés à la question ou à l'agent d'agression en cause, étant donné que ces gradients pourraient présenter des risques d'interférence avec l'interprétation des expériences.

Les perturbations expérimentales contrôlées, suivies d'une surveillance écologique à long terme de la dynamique des écosystèmes sur le plan de leur structure et de leur fonction, ont joué un rôle vital dans la compréhension des effets de certains agents d'agression. À titre d'exemple, mentionnons la surveillance à long terme des changements causés par l'eutrophisation ou l'acidification expérimentale de lacs entiers dans le nord-ouest de l'Ontario (Schindler, 1990) et celle des effets des pratiques forestières à l'échelle d'un bassin hydrographique (Hartman et Scrivener, 1990). L'incorporation d'éléments de référence dans le plan expérimental est critique pour le succès de ce type de recherche. Dans la mesure du possible, les sites expérimentaux devraient être situés à la périphérie des sites témoins de surveillance intensive.

3. *Les sites de gradient d'agression.* On peut également procéder à l'étude intensive des agents d'agression anthropique en surveillant les conditions le long d'un gradient d'agression créé par une activité humaine donnée (ici encore, par rapport à une situation témoin). Par exemple, les changements de la structure et de la fonction d'un écosystème pourraient être examinés dans des sites situés à différentes distances d'une importante source ponctuelle de gaz toxiques et de particules, comme la fonderie Coppercliff à Sudbury (Freedman, 1989). On pourrait aussi surveiller les effets de la foresterie sur certains sites choisis constituant un gradient de l'intensité de l'exploitation (coupe à blanc, par bandes ou de jardinage et aucune coupe) et des pratiques sylvicoles (p. ex., préparation du terrain, régénération naturelle vs plantation, traitement aux herbicides, etc.). Un exemple d'un gradient d'agression naturelle qui pourrait être utile est la limite forestière transversale, qui constituerait un écotone sensible pour la surveillance des modifications écologiques importantes associées au changement climatique. Les activités de surveillance des sites de

gradient d'agression seraient thématiques et axées sur les indicateurs pertinents aux agents d'agression représentés par le gradient.

Le réseau de sites de surveillance intensive

On prévoit la mise en place éventuelle d'un réseau national de sites de surveillance intensive constitué de 1 à 3 sites dans chacune des 15 écozones. Le nombre des sites témoins dans une écozone donnée dépendrait de l'étendue et de l'hétérogénéité biogéoclimatique de cette dernière, de même que de la nature et de l'intensité des influences anthropiques. Ainsi, l'écozone du Bouclier boréal s'étend du nord de la Saskatchewan jusqu'à l'est de Terre-Neuve en passant par le nord de l'Ontario et du Québec (voir la figure 3). Comme cette vaste écozone est touchée par des séries d'agents d'agression qui varient d'un endroit à l'autre, il faudrait établir un nombre relativement élevé de sites témoins. Le fait de disposer du plus grand nombre possible de sites de surveillance intensive est également important, car on crée ainsi une « redondance » qui constitue une mesure de protection contre la perte accidentelle de la fonction de surveillance des conditions de référence (à cause d'un feu de friche, p. ex).

Il faudrait établir, si possible, des sites expérimentaux dans toutes les écozones. La surveillance des conditions de référence et la recherche expérimentale sur certains agents d'agression pourraient être entreprises sur un même site. Par exemple, on pourrait entreprendre des activités de surveillance de référence dans une réserve écologique telle qu'un parc national, tandis que les travaux expérimentaux seraient menés dans une région périphérique adjacente. Pour la surveillance des gradients opérationnels, on pourrait choisir comme site de référence l'extrémité « non perturbée » du gradient. Les gradients opérationnels conviennent le mieux aux écozones dont les paysages ont été substantiellement altérés par les activités humaines (p. ex., foresterie ou agriculture), particulièrement dans le sud du Canada.

Les considérations entourant la sélection et l'établissement de sites de référence

Idéalement, le choix d'un site de surveillance intensive, y compris sa taille, sa forme et d'autres caractéristiques, devrait dépendre du degré souhaité d'extrapolation régionale. Toutefois, il peut être superflu de tout extrapoler à une échelle régionale. Il pourrait être nécessaire d'agrandir certains sites existants de surveillance et de recherche écologiques et d'établir de nouveaux sites afin d'atteindre les buts de l'extrapolation régionale, lesquels doivent être clairement formulés avant d'arrêter le choix des sites.

Les considérations entourant la sélection des sites qui conviendraient à la surveillance des conditions de référence sont les suivantes :

1. Le site devrait être représentatif de la région ou de l'écozone sur le plan du climat, de la topographie, du sol, de la flore, de la faune ainsi que des types d'habitats et de leurs proportions relatives. Toutefois, il faut se rappeler qu'aucun site de surveillance intensive ne peut être réellement représentatif d'une écozone au sens statistique. Il sera plus réaliste de considérer le site de surveillance intensive lui-même comme un indicateur de la structure et de la fonction écologiques de l'écozone.
2. Le site devrait être relativement peu perturbé par les activités humaines susceptibles de constituer des agents d'agression localisés et importants; il devrait aussi être assez vaste pour conserver son intégrité malgré les activités se déroulant à sa périphérie.
3. Le site devrait être assuré d'une protection à long terme.
4. Des ententes doivent être conclues à l'égard du financement nécessaire au maintien du programme de recherche et de surveillance dans l'avenir.
5. Il faudrait considérer la proximité d'agents d'agression localisés, la direction des vents dominants et le sens d'écoulement des cours d'eau afin de déterminer dans quelle mesure le site peut être touché par des agents d'agression locaux situés à l'extérieur de ses limites.
6. La superficie et la forme du site ainsi que sa configuration spatiale (c.-à-d. un seul vaste secteur ou plusieurs petits secteurs) devraient être en rapport avec la topographie locale, les communautés végétales, les bassins hydrographiques, les profils de déplacement des animaux, etc.
7. Le coût de l'établissement et de l'entretien du site ainsi que du maintien de son accessibilité pour les activités de recherche et de surveillance peut constituer un facteur primordial et, par conséquent, on pourrait tendre à privilégier les sites de surveillance déjà établis. Dans la mesure du possible, les sites de surveillance intensive (et extensive) seraient situés à proximité de ceux des réseaux de surveillance de la qualité de l'air ou de l'eau (p. ex., Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air, Transport à distance des polluants atmosphériques, ou TADPA) afin de faciliter la détermination des relations causales entre les différents indicateurs.
8. Il faudrait également tenir compte des utilisations humaines actuelles et historiques du secteur ainsi que de la situation sur le plan des revendications territoriales des autochtones.

9. Le choix du site devrait faire l'objet de consultations auprès des personnes des environs et être approuvé par elles.
10. Le site (en particulier dans les régions éloignées du Nord) devrait être situé à proximité d'une collectivité pouvant partager ses connaissances et fournir des renseignements, des conseils et de la main-d'œuvre.
11. Le site devrait pouvoir être utilisé toute l'année pour les activités de surveillance et de recherche; un gestionnaire du site ou un bureau d'administration devrait assurer la protection du site et coordonner les activités et la logistique.
12. Le site devrait être choisi de manière à maximiser les possibilités de partenariats entre les organismes gouvernementaux, les universités et les autres groupes de chercheurs.

Une comparaison avec le LTER des États-Unis

L'objet et la conception du réseau de sites de surveillance intensive et de recherche proposé pour le Canada diffère sur plusieurs points importants du réseau de sites de recherche écologique à long terme (LTER : *Long-term ecological research*) déjà en place aux États-Unis (Franklin et collab., 1990; Van Cleve et Martin, 1991). Le programme LTER est financé par la *National Science Foundation* et vise à appuyer les études à long terme en écologie. Ces études sont essentielles pour comprendre les changements écologiques graduels et transitoires, les réactions à ces changements, la biologie des populations d'espèces dont la durée de vie est longue et la formulation et la vérification de théories écologiques (Franklin, 1989; Likens, 1989; Risser, 1991). Cependant, le programme LTER n'est pas stratégiquement axé sur la surveillance et la recherche visant à comprendre les changements environnementaux, même si certains projets du réseau peuvent avoir une telle orientation. De plus, les activités de recherche et de surveillance ne sont pas intégrées au programme de surveillance et d'évaluation écologiques (EMAP : *Environmental Monitoring and Assessment Program*) de l'*U.S. Environmental Protection Agency* (Hunsaker et Carpenter, 1990). En outre, tandis que le programme LTER a pour mandat d'appuyer la recherche écologique intégrée à long terme, on privilégie les chercheurs universitaires, même si ces derniers travaillent parfois en étroite collaboration avec le gouvernement et d'autres chercheurs. Essentiellement, chaque site du réseau LTER sert à l'examen d'hypothèses uniques et comporte donc des plans de recherche et de surveillance écologiques qui lui sont propres, même si l'on s'efforce également de promouvoir les relations de maillage à l'intérieur du programme LTER et si les études et les analyses comparatives ont une certaine priorité.

Par opposition, le réseau canadien de sites de surveillance intensive serait stratégiquement axé sur la surveillance et la recherche permettant de décrire et de comprendre les changements environnementaux. En outre, il serait étroitement intégré à un réseau de surveillance extensive. Comme il a été indiqué plus haut, le réseau de surveillance intensive servirait de base à l'étude des conditions de référence et permettrait aux chercheurs de procéder à des expériences et à l'analyse de gradients en vue d'étudier les effets à long terme d'agents d'agression importants, de mettre au point des indicateurs pour les programmes de surveillance et d'approfondir nos connaissances fondamentales de la dynamique des écosystèmes sur le plan de leur structure et de leur fonction. Toutes ces activités sont importantes, car elles serviraient à faire la distinction entre les changements naturels et anthropiques, à prévoir les changements à venir et à mieux comprendre les conséquences des changements observés.

La reconnaissance des agents d'agression

Les agents d'agression devraient être reconnus selon le site ou la région, en fonction de l'ampleur de leur effet prévu sur le site de surveillance intensive. Cette reconnaissance pose un problème, car les sites de surveillance intensive ne seront pas statistiquement représentatifs d'une écozone entière; par conséquent, la mesure dans laquelle les résultats pourront être interprétés ou mis en relation avec les sites de surveillance extensive devra être évaluée cas par cas.

Le choix des indicateurs

Un des principaux objectifs de la surveillance intensive est l'évaluation de la dynamique des écosystèmes sur le plan de leur structure et de leur fonction. Les attributs convenant aux écosystèmes (bassin hydrographique, zone biogéoclimatique ou écorégion, p. ex.) doivent être choisis aux fins de la surveillance mais, dans la plupart des cas, on ignore au départ quels devraient être ces attributs. Dans les cas où l'on dispose de connaissances insuffisantes sur les processus écosystémiques, il faudrait commencer par un programme biophysique exhaustif où la surveillance serait soit périodique (p. ex., composition par espèces), soit continue (p. ex., température). À mesure que les connaissances sur le système s'accumulent, on peut sélectionner un ensemble réduit d'indicateurs se prêtant le mieux à la surveillance à long terme. Dans les premiers stades d'un programme de surveillance intensive, une équipe de spécialistes déterminerait si l'on dispose de connaissances suffisantes pour sélectionner un tel ensemble.

Les lacunes des données sur les indicateurs

De l'avis général des participants aux ateliers, en dépit de la disponibilité d'un grand nombre d'indicateurs des conditions abiotiques, ceux-ci ne sont pas toujours mesurés de manière approfondie. En particulier, les valeurs seuils des indicateurs abiotiques constituant des menaces importantes pour les écosystèmes sont peu connues ou mal comprises. En outre, on relève de graves insuffisances au niveau des indicateurs et des données abiotiques. C'est notamment le cas pour les ressources biologiques dont la valeur économique n'est traditionnellement pas reconnue. À l'heure actuelle, le fait que nous ne connaissons pas suffisamment les liens entre les attributs biologiques et chimiques ou physiques de la plupart des écosystèmes nous empêche de choisir de façon éclairée des indicateurs adéquats.

De toute évidence, il faut faire des recherches pour être en mesure d'interpréter les bioindicateurs et déterminer si les changements détectés par la surveillance intensive de ceux-ci sont reflétés dans les changements au niveau des indicateurs chimiques, qui sont plus faciles à mesurer grâce à la surveillance extensive. Bien entendu, ce type de recherche devrait se faire dans le contexte des principaux agents d'agression d'une écozone donnée : acidification, déboisement, changement climatique planétaire, ozone de la basse troposphère, etc.

Comme il a été mentionné plus haut, les lacunes importantes de la surveillance de l'état de l'environnement sont reliées aux inventaires de base incomplets de la faune, de la flore et de la biodiversité « invisible » des microbes et autres organismes de très petite taille, de même qu'à une compréhension insuffisante du fonctionnement des écosystèmes. Nous présentons ci-dessous une liste synoptique de certains indicateurs manquants, sous-représentés ou susceptibles de traduire une réaction. Ces indicateurs ont été discutés par les participants aux ateliers et leur pertinence en matière de surveillance intensive ou extensive varie.

1. *La diversité de l'habitat.* Les changements subis par les écosystèmes influent sur la diversité des espèces fauniques et floristiques en agissant sur la diversité et la qualité des habitats. En définitive, il serait peut-être plus facile, dans le domaine de la gestion, de viser la diversité des habitats de différents âges du cycle de succession que de tenter d'atteindre des buts touchant les populations de toutes les espèces. Par exemple, l'aménagement intensif des forêts a d'importantes répercussions sur l'habitat et ce phénomène pourrait être étudié par le biais de la surveillance extensive de la succession des types de forêts. Outre la foresterie, la perte d'habitats particuliers dans le temps pourrait être mesurée à l'aide des données de l'Inventaire des terres du Canada.

2. *Les réserves écologiques.* Les réserves écologiques sont importantes pour la conservation : a) des espèces vulnérables et menacées de disparition et de leur habitat; b) des écosystèmes en péril ou exceptionnels; et c) des types d'écosystèmes représentatifs servant de sites témoins. On pourrait surveiller les changements au niveau du nombre, de la superficie, de l'« exhaustivité » et de l'« intégrité », sur le plan de la conservation, des réserves écologiques désignées à l'intérieur de chaque écozone.
3. *Les espèces vulnérables et menacées de disparition et leur habitat.* Les espèces vulnérables et menacées de disparition sont un indicateur des menaces planant sur la biodiversité régionale et nationale. Le Comité sur le statut des espèces menacées de disparition au Canada (CSEMDC), une unité du Service canadien de la faune travaillant en collaboration avec la Fédération canadienne de la nature et le Fonds mondial pour la nature Canada, étudie périodiquement le statut des espèces menacées afin d'assurer la protection de ces espèces et de leur habitat. Au milieu de 1992, le statut de 232 espèces avait été établi en vertu de ce programme (CSEMDC, 1991, et mise à jour de 1992). Ces organismes ont lancé le programme RESCAPÉ (Rétablissement des espèces canadiennes en péril), mais les plans de rétablissement n'ont été élaborés que pour une fraction des espèces dont le statut a été établi par le CSEMDC. Les reptiles, les amphibiens, les végétaux et les invertébrés menacés de disparition sont sous-représentés, en partie parce qu'ils sont moins « attractifs » que les mammifères et les oiseaux. Les programmes de rétablissement et la mise au point d'indicateurs convenant à un contexte écologique plus large peuvent être facilités par la surveillance du statut d'un ensemble exhaustif d'espèces menacées.
4. *Les espèces opportunistes.* Les changements du statut d'organismes considérés comme des « ravageurs » (du point de vue des humains) constituent une indication de la détérioration de la qualité de l'environnement. L'altération du milieu par les humains crée des conditions favorables à certaines espèces opportunistes telles que la souris commune, l'étourneau, la carpe, le pissenlit et *Escherichia coli*.
5. *Les espèces sensibles au changement.* Les changements touchant l'abondance, la vigueur et la distribution d'espèces communes reconnues pour leur sensibilité à certains agents d'agression et types d'exposition peuvent être surveillés et servir de bioindication de la qualité du milieu. Citons, à titre d'exemple, les lichens, qui peuvent être des bioindicateurs efficaces de la présence de dioxyde de soufre, d'ozone, de métaux lourds et d'autres

produits chimiques toxiques, de même que les espèces végétales proches des limites de leur aire de répartition, qui pourraient manifester une réaction relativement forte au changement climatique.

6. *Les indicateurs structuraux et fonctionnels de la réaction au niveau de la communauté.* La perte d'éléments nutritifs dans les bassins hydrographiques ou les changements touchant le cyclage de ces éléments, la productivité biologique, la composition par espèces et l'abondance au niveau de la communauté peuvent être des indicateurs des effets à long terme des agents d'agression régionaux. Par exemple, des controverses ont récemment été soulevées tant dans les médias que dans les revues scientifiques quant à la possibilité d'un déclin marqué des populations d'oiseaux migrateurs néotropicaux, des amphibiens et de certains types de forêts. La surveillance intensive et extensive, au niveau de la communauté, de ces éléments du biote ou d'autres éléments est essentielle si l'on veut disposer d'une base de données qui soit scientifiquement crédible et qui permette de déterminer l'intensité et l'ampleur de ces types de problèmes écologiques.

Les sites de surveillance extensive

La conception spatiale du réseau de surveillance extensive devrait dépendre des effets particuliers que l'on souhaite étudier. Les sites et les types d'écosystèmes d'une écozone ne présentent pas tous la même sensibilité à un agent d'agression donné. Cette caractéristique peut être cartographiée afin de représenter les risques pour des écosystèmes ou des indicateurs donnés. Les différentes stations d'échantillonnage pourraient être situées dans un ensemble de sites dont la sensibilité varierait de faible à élevée. Il faut également tenir compte du fait qu'une réaction peut souvent être engendrée par des agents d'agression multiples. Les cartes de la sensibilité aux agents d'agression pourraient ensuite être superposées afin que l'on puisse combiner les différents agents d'agression (à l'aide du SIG). On obtiendrait ainsi une représentation, par zone, de l'intensité de l'exposition et de la réaction à divers agents d'agression.

Les sites de surveillance extensive seraient relativement nombreux et dispersés dans l'ensemble de chaque écozone. L'objet de la surveillance extensive est l'étude des tendances nationales et régionales de la qualité du milieu. Les agents d'agression relativement localisés, comme l'agriculture, la foresterie ou l'industrialisation, se prêtent particulièrement bien à la surveillance extensive. Les sites seraient conçus pour que l'on puisse surveiller : 1) les effets des activités humaines comme l'urbanisation, l'agriculture, la foresterie et l'exploitation minière se déroulant dans des endroits très distants les

uns des autres; et 2) les changements des caractéristiques écologiques de la région par suite des changements du mode d'utilisation des terres.

L'échelle d'échantillonnage

Les indicateurs devraient être mesurés à des stations d'échantillonnage permanentes réparties dans l'ensemble de chaque écozone et dans différents écosystèmes (p. ex., forêts, agrocénoses, milieux humides). L'échantillonnage devra souvent se faire à différentes échelles spatiales, selon les questions et les problèmes examinés. Le nombre et la répartition des stations d'échantillonnage extensif dépendent également de la question à l'étude. Par exemple, si l'on choisit le Pluvier siffleur comme indicateur des espèces vulnérables et menacées, ce type d'indicateur ne doit être mesuré que sur les plages de sable et dans d'autres habitats appropriés, tandis que la surveillance des effets du réchauffement du globe sur la végétation exige un plan d'échantillonnage beaucoup plus extensif.

Si l'échantillonnage est effectué à une trop grande échelle (celle de l'écorégion ou de l'écozone, p. ex.), des informations importantes risquent de passer inaperçues. Il faudrait à tout le moins que chaque écozone comporte un réseau de sites de surveillance extensive dans lesquels une série d'indicateurs ferait l'objet de mesures intégrées.

On pourrait créer une unité d'échantillonnage adéquate en combinant l'échelle spatiale de l'écodistrict et du bassin hydrographique, sur la base de la sensibilité de ceux-ci aux agents d'agression. Si un nombre excessif de stations d'échantillonnage est proposé à l'échelle de l'écodistrict et du bassin hydrographique pour les fins pratiques de la surveillance nationale, on peut réduire ce nombre en regroupant les sites similaires sur le plan de l'altitude, de l'âge, des séries de sols, de la pente, de la proximité des zones urbaines ou des sources de pollution, de la sensibilité aux agents d'agression, etc. Une fois introduites dans une base de données du SIG, les informations peuvent toujours être regroupées à un niveau supérieur, comme celui de l'écozone, pour les fins du rapport national sur l'état de l'environnement.

Les sites servant à la surveillance extensive des indicateurs écologiques devraient de préférence être choisis à proximité des stations de surveillance de la qualité de l'air et de l'eau (p. ex., TADPA, Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides, ou DNARPA). Le regroupement spatial des mesures des indicateurs présente plusieurs avantages, car la surveillance intégrée permet la détermination mathématique des liens entre les indicateurs.

Il convient également de reconnaître la grande utilité de la télédétection pour la surveillance extensive de certains indicateurs. Par exemple, on pourrait procéder à une

évaluation périodique des indicateurs de la végétation, de l'abondance des grands mammifères ou d'autres variables en différents endroits donnés en utilisant une série temporelle et normalisée de photographies aériennes ou d'images satellitaires. La télédétection est un secteur en plein essor, qui offre de grandes possibilités pour l'automatisation de la collecte et de l'interprétation des données; elle constituera certainement un outil précieux pour la surveillance extensive de certains types d'indicateurs.

Les sources d'information

Une grande partie des informations recueillies par le biais de la surveillance extensive peuvent être obtenues auprès d'organismes nationaux et provinciaux. Ceux-ci recueillent régulièrement des données sectorielles sur les indicateurs présentant un intérêt économique afin de calculer la récolte forestière admissible, les prises admissibles de poisson et de gibier, la production des denrées agricoles, etc. Ces données constituent déjà une source importante d'information pour la production de rapports sur l'état de l'environnement. Les bioindicateurs existants sont axés sur la productivité et l'abondance des espèces ayant une importance économique, tandis que les mesures non biologiques incluent la qualité chimique du sol et de l'eau, l'hydrologie et le potentiel forestier et agricole des terres.

On est en train d'évaluer les bases des données existantes en regard des besoins en matière de surveillance écologique et de production de rapports (Environnement Canada, Groupe de travail sur les indicateurs, 1991; Gouvernement du Canada, 1991). Les principales lacunes mises au jour sont les suivantes :

1. Il existe peu de bases de données à long terme dans le domaine de la surveillance sectorielle. Pour établir les tendances sans disposer de telles bases, on peut comparer les données de la surveillance extensive à une condition historique connue ou à une base de données plus ancienne sur la surveillance intensive (si elle existe).
2. Les données de la surveillance sectorielle actuellement disponibles présentent souvent des lacunes en ce qui concerne les indicateurs de la réaction biologique et le plan d'échantillonnage spatial et temporel.

Les bioindicateurs

Les indicateurs de la réaction biologique font généralement défaut dans la plupart des programmes de surveillance sectorielle. Pourtant, ils sont le plus révélateurs de l'intégrité écologique. La plupart des indicateurs mesurés à l'heure actuelle dans les programmes sectoriels sont ceux des agents d'agression (p. ex., les émissions de dioxyde de soufre) ou de l'exposition (p. ex., la concen-

tration du dioxyde de soufre dans l'air). Lorsqu'on mesure les indicateurs d'une réaction, ceux-ci ont presque toujours une importance économique directe, comme les dommages causés par le dioxyde de soufre aux forêts et aux cultures. Un bioindicateur non économique qui conviendrait à la surveillance extensive du dioxyde de soufre est la toxicité de ce dernier pour les lichens épiphytes.

Le plan d'échantillonnage spatial et temporel

Le plan spatial des programmes actuels de surveillance sectorielle ne fournit pas toujours des données réellement représentatives d'une région ou d'une écozone donnée. Idéalement, l'emplacement des stations d'échantillonnage des indicateurs devrait être choisi à partir d'un échantillon aléatoire afin qu'il soit statistiquement représentatif de la région. À grands frais, l'*U.S. Environmental Protection Agency* a réglé ce problème pour son EMAP en imposant une grille d'échantillonnage statistique couvrant l'ensemble du pays et ce, pour choisir les sites d'échantillonnage convenant à la surveillance extensive du milieu (Hunsaker et Carpenter, 1990). Dans les programmes canadiens de surveillance sectorielle, l'emplacement des stations d'échantillonnage a souvent été choisi en fonction de l'examen de problèmes locaux ou de l'étude d'un terrain ou d'un écosystème sensible à un agent d'agression, ou encore pour tirer parti des ressources administratives locales. Cette considération était importante dans le contexte canadien, car c'est dans le sud du pays que l'on trouve la majeure partie de la population et du développement économique et le plus grand nombre d'agents d'agression d'origine anthropique. En conséquence, le support logistique fait défaut sur une vaste fraction du territoire. Ces caractéristiques, conjuguées au financement plus modeste consacré à la surveillance écologique au Canada, peuvent rendre impossible l'adoption d'un plan d'échantillonnage en grille comme celui de l'EMAP.

Si l'emplacement des stations d'échantillonnage n'est pas statistiquement représentatif d'une région donnée, les tendances subtiles de la qualité du milieu ne devraient pas être généralisées au-delà de cet emplacement (les changements importants de la qualité du milieu peuvent cependant rester détectables avec certitude). Par conséquent, il faudrait éviter d'extrapoler les observations à une région entière ou reconnaître explicitement que le problème constitue une contrainte pour la production et l'interprétation des rapports sur l'état de l'environnement. Comme point de départ, il faudrait évaluer objectivement la mesure dans laquelle les différentes bases de données actuellement disponibles sont représentatives d'une région donnée.

Enfin, on utilise souvent des échelles spatiales et temporelles différentes pour l'échantillonnage de divers indicateurs. Dans la mesure du possible, la mesure des

indicateurs devrait être coordonnée au niveau tant spatial que temporel. Une telle intégration des activités de surveillance faciliterait l'étude des tendances concomitantes en matière de changement des différents indicateurs.

L'INTÉGRATION DE LA SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE

La surveillance intégrée peut avoir trait : 1) à l'intégration des activités de surveillance de différents indicateurs en un site donné; et 2) à l'intégration d'activités de surveillance de différents sites. Ces deux notions revêtent une importance fondamentale pour le programme national de surveillance écologique en ce sens que, dans la mesure du possible, les activités de surveillance devraient être intégrées à l'intérieur de chaque site et d'un site à l'autre. En outre, la recherche doit être intégrée au cadre de surveillance pour les nombreuses raisons citées précédemment. La réalisation de cette intégration nécessitera une étroite collaboration entre les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux participant aux activités de surveillance et de recherche.

L'intégration dans et parmi les sites de surveillance intensive

Il est particulièrement important que la surveillance intensive des différents indicateurs soit coordonnée aux échelles tant spatiale que temporelle de façon que l'on puisse découvrir les liens entre les agents d'agression et les indicateurs. Cette notion s'applique spécialement à la surveillance intensive des indicateurs de la structure et de la fonction des écosystèmes et ce, aux fins de la surveillance des conditions de référence et des recherches expérimentales à long terme sur les effets d'agents d'agression donnés.

Comme il a été mentionné précédemment, nous proposons un réseau de sites de surveillance intensive qui inclurait 1 à 3 sites par écozone. Il n'existe pas encore de réseau national de sites de surveillance écologique, mais il est possible d'en mettre un sur pied grâce à une nouvelle initiative en vertu du Plan vert (Anderson et collab., 1993). Parmi les récents précédents canadiens en matière de sites de surveillance écologique, citons le réseau des cinq bassins hydrographiques étalonnés pour les recherches sur les dépôts acides dans l'est du Canada et la Région des lacs expérimentaux du nord-ouest de l'Ontario (Schindler, 1990). Une fois que le réseau de sites de surveillance intensive sera en place, il sera essentiel d'intégrer judicieusement les plans et les protocoles relatifs aux indicateurs d'un site à l'autre.

L'intégration dans et parmi les sites de surveillance extensive

Dans la mesure du possible, les activités devraient être intégrées à l'intérieur des sites de surveillance extensive. On constate une absence d'intégration de la surveillance

et de l'interprétation des composantes atmosphérique, terrestre et aquatique des écosystèmes dans la plupart des programmes existants, lesquels ont tendance à être axés sur une composante en particulier. Les différents organismes sectoriels pourraient coordonner leurs activités de surveillance de façon qu'un nombre accru d'indicateurs soient surveillés sur les mêmes sites. L'intégration à ce niveau faciliterait la détermination des liens entre les différents indicateurs mesurés et la mise au jour des causes probables des changements environnementaux.

Certains indicateurs pourraient être intégrés dans un réseau national de surveillance extensive. Par exemple, dans les Territoires du Nord-Ouest, on est à mettre sur pied un projet visant à intégrer la surveillance extensive de l'hydrologie et de la chimie des eaux de surface (Direction générale des eaux intérieures), la surveillance du climat (Service de l'environnement atmosphérique) et, éventuellement, d'autres activités de surveillance extensive, afin que les installations éloignées et d'autres dépenses d'ordre logistique puissent être partagées. L'élaboration de programmes intégrés de surveillance écologique extensive exigera la création de partenariats et de réseaux et, peut-être, des fonds de démarrage.

L'intégration des sites de surveillance intensive et extensive

Les programmes de surveillance écologique intensive et extensive doivent également être intégrés. Les liens prévus entre les activités menées dans les deux catégories de sites sont décrits ci-dessous.

1. *La compréhension des liens entre les composantes de l'écosystème.* L'atout majeur de la surveillance intensive à long terme est de contribuer à la compréhension des relations de cause à effet grâce à des recherches sur les liens entre les agents d'agression et la réaction du milieu. Afin de comprendre les liens écologiques entre les indicateurs (c.-à-d. ce qu'ils montrent vraiment), il doit exister une corrélation étroite entre : a) la collecte, l'analyse et l'interprétation des données de surveillance; et b) les recherches sur les liens entre les indicateurs. En définitive, les recherches menées dans les sites de surveillance intensive permettront d'établir les bases de la conception et de l'interprétation des indicateurs utilisés dans les sites de surveillance extensive. À défaut de sites de surveillance intensive et de recherches intégrées, l'ensemble de l'exercice de surveillance aura une valeur limitée. Une fonction importante des sites de surveillance intensive est de permettre de comprendre la structure et la fonction des écosystèmes, de sorte que les liens entre les indicateurs des agents d'agression, de l'exposition et de la réaction puissent être étudiés et, en bout de ligne, compris.

Les informations recueillies dans les sites de surveillance intensive pourraient servir de base à la formulation d'hypothèses sur les liens entre les indicateurs dans les sites de surveillance extensive, où l'on mesure un plus petit nombre de variables. Par exemple, il est beaucoup plus facile de mesurer de manière extensive une diminution du pH des eaux de surface ou de l'alcalinité causée par le dépôt de substances atmosphériques acidifiantes (les dépôts acides, p. ex.) que de surveiller les changements touchant les communautés de poissons ou d'invertébrés ou d'autres variables biologiques. Cependant, toutes les variables pertinentes pourraient être mesurées dans les sites de surveillance intensive et leurs liens avec le pH et l'alcalinité pourraient servir à prévoir les effets sur le poisson, par exemple, de sites comparables de surveillance extensive où seuls le pH et l'alcalinité sont mesurés. Une surveillance rigoureuse et détaillée dans la première catégorie de sites, conjuguée à des recherches expérimentales, permettra d'élaborer des modèles pouvant ensuite être appliqués aux sites de surveillance extensive.

2. *La modélisation.* Un des liens entre les activités proposées pour les deux types de sites est l'élaboration de modèle explicatifs et prédictifs. La modélisation est un volet important des programmes de surveillance, car elle permet de prévoir les changements. Les données des programmes de surveillance écologique facilitent l'élaboration de modèles prédictifs en fournissant les valeurs initiales des paramètres et en permettant de recenser les variables clés.
3. *La vérification des notions et des hypothèses causales.* Des hypothèses sur les causes des changements écologiques peuvent être avancées à partir des données des programmes de surveillance écologique intensive ou extensive. Ces hypothèses peuvent ensuite être vérifiées dans les sites de surveillance intensive au moyen de manipulations expérimentales.
4. *La mise au point d'indicateurs.* Dans les sites de surveillance intensive, certaines des activités de recherches seraient orientées vers la mise au point d'indicateurs de l'intégrité écologique susceptibles de convenir à la surveillance intensive ou extensive. Lors de la mise au point d'indicateurs, on déterminerait : a) les réactions des indicateurs à des agents d'agression choisis, incluant la détection de seuils donnés de changement (voir la figure 1); b) la spécificité de l'indicateur face à un agent d'agression particulier; c) la facilité avec laquelle les indicateurs peuvent être mesurés avec précision; d) les protocoles de normalisation des techniques; e) la compatibilité des différentes techniques; f) les configurations spa-

tiales et temporelles appropriées à l'échantillonnage; et g) la marche à suivre pour la mise en œuvre de la surveillance de l'indicateur.

5. *La normalisation des techniques.* Un des fondements des réseaux de surveillance écologique est la normalisation des techniques. Les recherches portant sur la normalisation devraient idéalement être menées sur les sites de surveillance intensive, les résultats étant ensuite appliqués au réseau de sites de surveillance extensive. À l'heure actuelle, les divers programmes de surveillance prévoient souvent le recours à des techniques différentes pour mesurer des indicateurs similaires. Les aspects devant être normalisés sont notamment : a) les échelles d'échantillonnage, tant spatiales que temporelles, qui sont requises pour permettre la détection statistiquement significative du changement; b) les méthodes analytiques de mesure des indicateurs chimiques; et c) les protocoles de reconnaissance et de mesure des bioindicateurs. Il faudra investir des efforts considérables pour assurer la compatibilité des techniques et des cadres spatiaux des activités des organismes provinciaux, territoriaux et fédéraux, de même que des besoins en matière de production de rapports nationaux sur l'état de l'environnement.
6. *La valeur ajoutée des sites de surveillance extensive.* La surveillance intensive en quelques sites et la surveillance extensive en un grand nombre de sites sont toutes deux essentielles à un programme intégré de surveillance. Une lacune majeure du réseau de sites de surveillance intensive aura trait aux problèmes d'interprétation régionale. Il est à espérer que les sites de surveillance intensive seront caractéristiques de tous les écosystèmes importants, car les 15 écozones terrestres seraient éventuellement toutes représentées par ces sites. Néanmoins, il ne serait pas indiqué d'extrapoler les résultats obtenus sur ces sites à une région entière. Les tendances régionales de la qualité du milieu et des effets des différentes activités humaines seront dégagées à partir de la surveillance extensive.

Les atouts de la surveillance extensive pour un réseau de surveillance intensive sont les suivants : 1) elle fournit des indications de tendances plus vastes, en supposant que la conception spatiale des sites de surveillance extensive assure un réseau d'échantillonnage représentatif sur le plan spatial; b) elle permet de cerner les problèmes écologiques qui nécessiteront des recherches détaillées; et c) elle permet d'évaluer les résultats de la gestion du milieu (p. ex., les mesures d'atténuation comme la réduction des émissions polluantes ont-elles réellement l'effet désiré?).

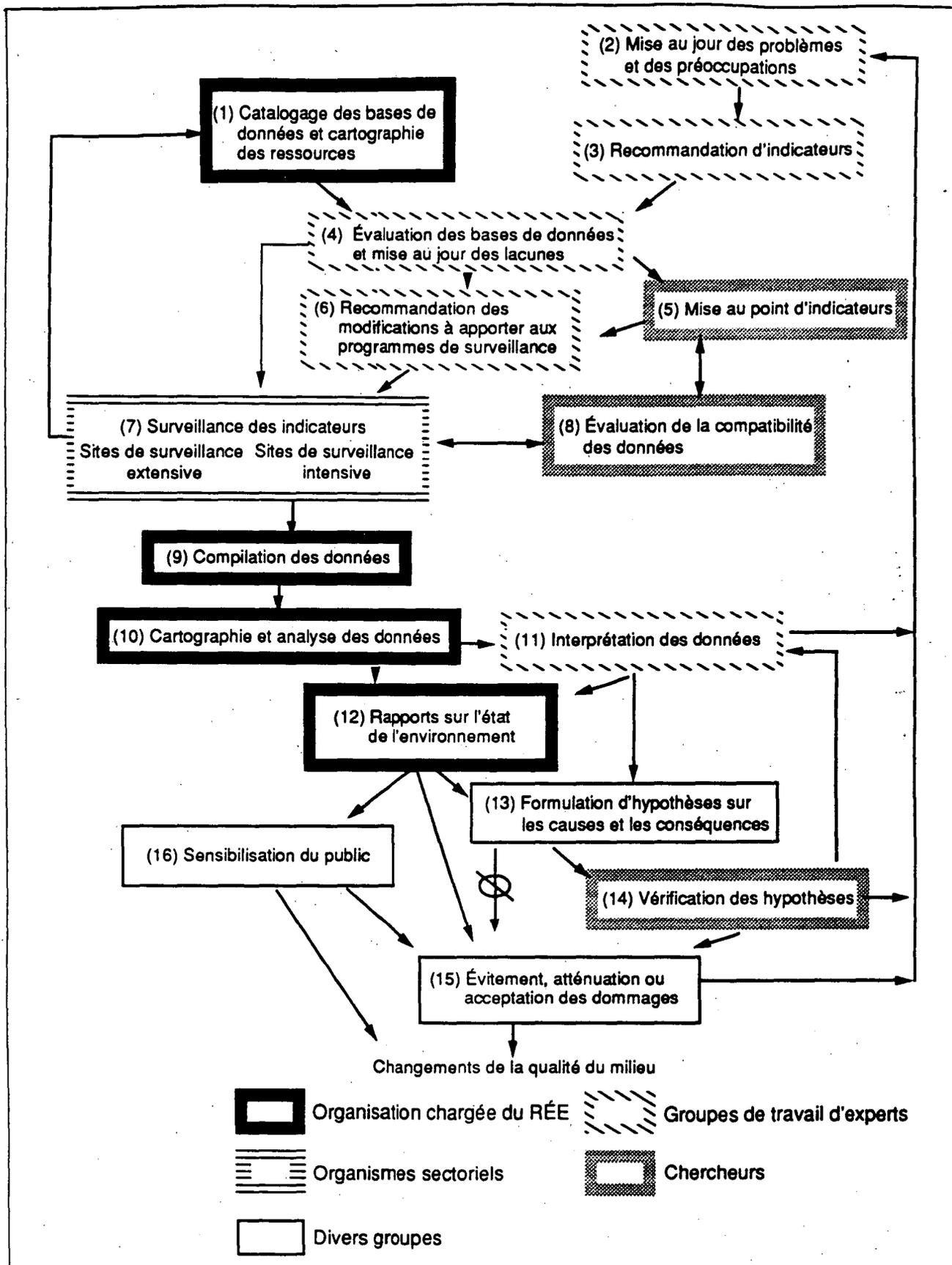


Figure 4. Structure fonctionnelle du programme national de surveillance écologique proposé. Chaque rectangle représente une activité différente du processus. Se reporter au texte pour de plus amples renseignements.

LA STRUCTURE FONCTIONNELLE

Dans la présente section, nous décrivons la structure fonctionnelle du programme proposé, y compris les corrélations entre les différentes activités en cause. Nous nous penchons également sur les collaborateurs, c'est-à-dire les organismes et les autres groupes qui se chargeraient de chacune des activités. Nous avons conçu ce plan en adaptant progressivement notre cadre de base en fonction des commentaires et des discussions des participants aux ateliers.

Une des caractéristiques importantes de la structure fonctionnelle proposée est son adaptabilité, qui repose sur la nature cyclique de la structure et sur l'inclusion de boucles de rétroaction. La structure fonctionnelle est résumée à la figure 4. On trouvera ci-dessous une description des principaux collaborateurs et des activités qui constitueraient un programme national de surveillance écologique et de production de rapports pour le Canada.

LES PRINCIPAUX COLLABORATEURS

1. *Les organismes sectoriels.* Pour que la continuité de la collecte des données soit assurée, la fonction de surveillance devrait être institutionnalisée à l'échelon gouvernemental. Les différents organismes sectoriels gouvernementaux joueront un rôle prépondérant dans la surveillance écologique. Cette fonction fait traditionnellement partie du mandat des organismes sectoriels, lesquels sont bien équipés pour mener des activités de surveillance allant de la collecte et du traitement des données à l'analyse, à la cartographie et à la synthèse des résultats. La nomination à long terme d'un grand nombre de personnes qualifiées dans les organismes sectoriels gouvernementaux facilite la continuité des activités de surveillance, dans les limites des budgets disponibles. Dans certains cas, il pourrait être judicieux et rentable de sous-traiter les activités de surveillance au secteur privé.
2. *L'organisation chargée du RÉE.* Les activités que suppose la production de rapports sur l'état de l'environnement sont diverses et complexes et requièrent une expertise à de nombreux niveaux. Étant principalement une unité administrative, l'organisation chargée du RÉE est bien équipée pour l'acquisition, le stockage, l'extraction, le traitement et le transfert des informations sur la qualité du milieu, y compris leur présentation au public. Toutefois, il est peu probable que l'organisation puisse, à l'interne, compter éventuellement sur l'expertise voulue en surveillance et en recherche pour assumer toutes les tâches entourant la production de rapports. Plus important encore, l'organisation s'appuiera sur des partenariats avec les organismes sectoriels et d'autres

collaborateurs pour obtenir les informations ayant trait aux rapports sur l'état de l'environnement. Elle ne disposera pas non plus de ressources internes suffisantes pour l'interprétation des causes et des conséquences des changements détectés dans la qualité du milieu. Nous recommandons que l'une des fonctions primordiales de l'organisation soit la coordination des groupes de travail d'experts (décrits ci-dessous) pour certaines des activités proposées.

3. *Les groupes de travail d'experts.* Les groupes de travail d'experts devraient comprendre des personnes engagées dans la recherche ou la surveillance écologique, y compris des spécialistes d'établissements gouvernementaux et non gouvernementaux (universités, p. ex.) ainsi qu'un représentant de l'organisation chargée du RÉE. Ces personnes devraient : a) bien connaître les liens écologiques; b) avoir les qualifications requises pour interpréter les données; c) connaître les techniques d'échantillonnage; d) posséder une expertise en analyse des données; et e) avoir de l'expérience dans la conception de programmes de surveillance et de recherche. Les sous-comités qui avaient été chargés de certains enjeux environnementaux par le Comité associé des critères scientifiques concernant l'état de l'environnement du Conseil national de recherches du Canada (Conseil national de recherches du Canada, 1983) pourraient constituer un modèle plus ou moins adéquat des groupes de travail d'experts. Idéalement, les activités des groupes de travail d'experts s'articuleraient autour d'agents d'agression particuliers, de types d'écosystèmes donnés (forêts, terres agricoles, milieux humides, prairies, etc.) ou de certaines classes d'éléments du biote (avifaune, invertébrés, végétation, etc.).
4. *Les chercheurs.* Les chercheurs, y compris ceux qui travaillent dans des stations de recherche ou des laboratoires gouvernementaux ou dans les universités (voir ci-dessous), seraient appelés à jouer un rôle important. Les chercheurs gouvernementaux pourraient participer tant à la surveillance qu'à la recherche. En général, les chercheurs universitaires n'ont pas d'intérêt stratégique à participer à des activités de surveillance à long terme. En effet, le financement des projets et les travaux des étudiants de 2^e et 3^e cycle s'étendent sur des périodes relativement courtes, et la plupart des professeurs sont tenus de publier assez fréquemment des articles dans des revues dotées d'un comité de lecture.

Il serait des plus indiqué que les chercheurs universitaires participent aux programmes de surveillance en se livrant à des activités de recherche à court

terme (peut-être de 1 à 5 ans) axées sur la mise au point d'indicateurs, la compréhension des causes et des conséquences des changements écologiques et la structure et la fonction des écosystèmes. Les chercheurs universitaires ont participé activement à des programmes de recherche écologique menés sur certains sites expérimentaux de surveillance à long terme (p. ex., la station biologique de la taïga au Manitoba, la station de recherche de Schefferville au Québec et l'île Bon Portage en Nouvelle-Écosse). Toutefois, la continuité à long terme des travaux sur les sites les plus importants résulte de l'engagement du secteur gouvernemental [p. ex., Région des lacs expérimentaux et Centre de recherche de Dorset en Ontario, ruisseau Carnation en Colombie-Britannique, basses terres de Truelove sur l'île Devon dans les Territoires du Nord-Ouest (en collaboration avec l'Institut arctique de l'Amérique du Nord) et Kejimikujik en Nouvelle-Écosse].

LES ACTIVITÉS

Les activités menées dans le cadre du programme national de surveillance écologique sont décrites ci-dessous (voir aussi la figure 4).

1. *Le catalogage des bases de données et la cartographie des ressources.* Une des premières étapes d'une importance vitale est le catalogage des bases de données des divers organismes provinciaux, fédéraux et non gouvernementaux. Cette activité devrait être dirigée par l'organisation chargée du RÉE. Toutes les bases de données des études intégrées ou régionales devraient être répertoriées, même si l'organisation n'utilise pas ces données à l'heure actuelle. Le catalogue des bases de données serait à la disposition de tous les organismes sectoriels, chercheurs et personnes intéressés. Le maintien à jour des données pourrait être assuré par l'organisation à titre de service national, en partie pour servir de paiement en nature des données obtenues des organismes sectoriels participants.

Une autre première étape tout aussi essentielle que la précédente est la cartographie des ressources écologiques, activité qui pourrait également être assumée par l'organisation chargée du RÉE. La cartographie est importante pour déterminer quelles sont les ressources en péril, car il est nécessaire de connaître la superficie de l'habitat et la vulnérabilité des indicateurs écologiques pour comprendre l'importance des effets des agents d'agression. Par exemple, pour évaluer les effets possibles des dépôts atmosphériques de substances acidifiantes (un agent d'agression) sur les écosystèmes lacustres de l'Ontario, il faut disposer d'informations sur la distribution spatiale et la densité des lacs par catégorie de vulnérabilité (p. ex.,

sur la base de l'alcalinité ou de l'indice de saturation calcique) et sur les éléments du biote aquatique qui sont vulnérables et intolérants à l'acidification.

Une fois ces étapes franchies, deux stratégies peuvent être adoptées : a) déterminer quels sont les agents d'agression présents et surveiller leurs effets; et b) surveiller les nouveaux problèmes ou « surprises ». Ces deux stratégies sont importantes et devraient être adoptées parallèlement. Par exemple, nombre d'agents d'agression dont on reconnaît actuellement l'importance dans les écosystèmes lacustres ont été à l'origine des « surprises » (p. ex., eutrophisation et acidification). La meilleure approche permettant de détecter les surprises est de prendre des mesures exhaustives et d'inclure des indicateurs de la réaction biologique qui sont reliés à l'intégrité écologique.

2. *La mise au jour des problèmes et des préoccupations.* La coordination des groupes de travail d'experts relèverait de l'organisation chargée du RÉE en vue de la mise au jour des plus importants problèmes et préoccupations de chaque écozone. Il s'agit d'une étape importante, car la surveillance doit être axée sur des buts précis et s'articuler autour de problèmes connus. Pour ce faire, il faut reconnaître les agents d'agression susceptibles d'exercer une influence déterminante sur le changement écologique, surveiller les indicateurs pertinents à ces agents et évaluer l'importance de ces derniers par le biais de la recherche. Tous les problèmes potentiels n'étant pas reconnus à l'heure actuelle, les programmes de surveillance doivent être adaptables et prévoir des mécanismes permettant la détection de problèmes nouveaux.
3. *La recommandation d'indicateurs pour la production de rapports sur l'état de l'environnement.* Les mêmes groupes de travail d'experts recommanderaient des indicateurs appropriés pour la production de rapports sur l'état de l'environnement. Il est essentiel d'établir des critères pour la sélection des indicateurs écologiques (Hunsaker et Carpenter, 1991; Kerr, 1991; Commission mixte internationale, 1991). Ce qu'il faut retenir dans cette sélection, c'est que les indicateurs doivent, le plus possible : a) avoir une importance écologique ou biologique; b) être sensibles et corrélés aux changements touchant d'autres composantes de l'écosystème; c) permettre le diagnostic d'agents d'agression particuliers; d) être représentatifs de la région; e) pouvoir être reliés à d'autres classes d'indicateurs; f) réagir aux mesures d'atténuation; g) pouvoir être mesurés dans des unités d'échantillonnage stables; h) permettre un échantillonnage peu coûteux, techniquement facile

- et comportant peu d'erreurs de mesure; i) pouvoir être extraits d'une série ou base de données préexistante; j) permettre une analyse rétrospective; k) permettre de prévoir les changements; l) fournir de nouvelles informations et permettre d'anticiper les surprises; m) pouvoir être mesurés en des endroits protégés qui seront accessibles à long terme aux fins de la surveillance; n) pouvoir être mis en relation avec des valeurs seuils cibles; o) être conformes aux politiques; et p) pouvoir être compris ou interprétés par le public. Il est peu probable qu'un indicateur donné réponde à tous ces critères, mais on pourrait choisir une série d'indicateurs environnementaux en tenant compte de tous ces critères de sélection.
4. *L'évaluation des bases de données et la mise au jour des lacunes.* L'organisation chargée du RÉE et les groupes de travail d'experts devraient déterminer si les bases de données existantes conviennent à la production de rapports sur l'état de l'environnement. La première activité de ces groupes devrait être d'élaborer des critères d'évaluation de la qualité des données pour ces rapports. Toujours dans l'optique des rapports, les groupes examineraient ensuite les bases de données existantes afin de relever les lacunes. Dans la plupart des cas, ce processus d'évaluation permettra de mettre en lumière des lacunes importantes dans les bases de données existantes ainsi que dans les connaissances fondamentales relatives à l'importance d'un grand nombre d'agents d'agression. Le terme « lacune » peut se référer à la disponibilité : a) de bases de données adéquates; ou b) d'indicateurs pertinents. Pour corriger le premier problème, il faudrait mettre en œuvre ou élargir un programme de surveillance; pour le deuxième, il faudrait mener des recherches sur l'élaboration de protocoles afin de surveiller les indicateurs appropriés.
 5. *La mise au point d'indicateurs.* Lorsqu'on estime que les indicateurs d'un effet particulier sont insuffisants, il faut faire des recherches pour mettre au point les indicateurs voulus. Lors de cette mise au point, il ne faut pas oublier que certains indicateurs intègrent des informations recueillies au fil du temps, tandis que d'autres illustrent des conditions à plus court terme. L'élaboration d'indicateurs inclut la détermination des liens entre l'indicateur en question et ce qu'il est censé représenter. Il faut également élaborer des protocoles pour mesurer cet indicateur, y compris les détails de l'échantillonnage spatial et temporel ainsi que les techniques de collecte et d'analyse.
 6. *La recommandation des modifications à apporter aux programmes de surveillance.* À partir de leur évaluation des bases de données, les groupes de travail d'experts soumettraient des recommandations aux organismes de surveillance afin que les lacunes des données disponibles soient comblées.
 7. *La surveillance des indicateurs.* Les activités de surveillance tant intensive qu'extensive devraient être menées par les organismes sectoriels appropriés et être institutionnalisées à l'échelon gouvernemental. Conformément à leur mandat, les organismes sectoriels continueraient de cataloguer, d'analyser, de cartographier, de publier et d'interpréter leurs données, mais celles-ci devraient également être mises à la disposition de l'organisation chargée du RÉE pour les fins de la production de rapports nationaux sur l'état de l'environnement.
 8. *L'évaluation de la compatibilité des données.* Parallèlement aux activités de surveillance, on devrait mener des recherches visant à normaliser les protocoles de mesure des indicateurs ou à évaluer la compatibilité des différentes techniques. Cette question est abordée plus en détail dans une autre section du présent rapport.
 9. *La compilation des données.* L'organisation chargée du RÉE assurerait la compilation des données pertinentes fournies par les différents organismes sectoriels de surveillance. Avant de demander des données, elle déterminerait quels sont les ensembles le plus susceptibles d'être utilisés dans ses rapports.
 10. *La cartographie et l'analyse des données.* L'organisation chargée du RÉE procéderait à la cartographie et à l'analyse des données aux fins des rapports nationaux sur l'état de l'environnement. On privilégierait la présentation des tendances de la qualité du milieu ou la mise en relation mécaniste des tendances de différents indicateurs.
 11. *L'interprétation des données.* Les groupes de travail d'experts aideraient l'organisation chargée du RÉE dans l'interprétation des changements au niveau du statut des indicateurs écologiques (voir également l'étape 13 ci-dessous).
 12. *Les rapports sur l'état de l'environnement.* L'organisation chargée du RÉE ferait état des changements de la qualité du milieu en préparant des rapports quinquennaux, des feuillets d'information, etc. En outre, elle ferait des prévisions sur la qualité du milieu (c.-à-d. sur les effets futurs des agents d'agression environnementaux) et formulerait des suggestions pour les activités ultérieures de recherche et de surveillance. Ainsi, l'organisation aurait une influence sur les activités de surveillance de différents organismes gouvernementaux.

13. *La formulation d'hypothèses sur les causes et les conséquences.* Une fois publiés les changements de la qualité du milieu, divers groupes formuleront probablement des hypothèses quant aux causes et aux conséquences de ces changements. Les groupes de travail d'experts, les chercheurs et le public, y inclus les médias, les politiciens et les groupes d'intérêts spéciaux, participeront tous à ce processus. Une fois les hypothèses formulées, il faut espérer qu'elles seront soumises à des vérifications rigoureuses (étape 14). Il y aura toutefois des cas où les mesures d'atténuation seront prises (étape 15) avant que les hypothèses n'aient été vérifiées.
14. *La vérification des hypothèses.* Les groupes de travail d'experts pourraient définir les hypothèses et suggérer les moyens les plus appropriés pour les vérifier. Les groupes de recherche travaillant sur les sites de surveillance intensive et ailleurs, y compris les laboratoires, procéderaient à des expériences visant à vérifier les hypothèses relatives aux causes et aux conséquences des changements écologiques.
15. *L'évitement, l'atténuation ou l'acceptation des dommages.* Les gouvernements peuvent utiliser les rapports sur l'état de l'environnement dans leurs processus décisionnels pour éviter, atténuer ou accepter les dommages causés à l'environnement. La façon dont les décideurs gouvernementaux utiliseront

les données dépendra en partie de la forme de présentation et d'interprétation des données.

Les rapports sur l'état de l'environnement peuvent également être utiles pour l'établissement de niveaux cibles à des fins de gestion. Cependant, la plupart des indicateurs de la réaction (p. ex., la biodiversité, la fertilité des sols forestiers ou agricoles) n'ont pas encore été étudiés suffisamment en détail pour permettre de fixer des objectifs de gestion. Néanmoins, lorsque les changements détectés sont perçus comme étant néfastes, on peut recommander des mesures d'atténuation sans référence à des valeurs seuils particulières. Ainsi, les rapports sur l'état de l'environnement peuvent influencer sur la modification de la qualité du milieu.

16. *La sensibilisation du public.* Les rapports sur l'état de l'environnement peuvent contribuer à accroître la sensibilisation aux problèmes environnementaux au Canada. Un public plus au fait des questions écologiques est en mesure de prendre des décisions et de faire des choix de nature à améliorer la qualité du milieu. Idéalement, ce but important pourrait être atteint par l'intégration institutionnalisée d'informations sur les changements de la qualité du milieu aux échelons régional, national et planétaire à tous les niveaux des programmes d'enseignement.

LES PERSPECTIVES RELATIVES AU PROGRAMME PROPOSÉ

Dans cette partie de notre rapport, nous discutons de certaines perspectives nationales et régionales mises en lumière lors des ateliers régionaux sur la conception et la l'instauration d'un programme national de surveillance écologique. Ces ateliers ont été tenus dans les unités administratives régionales d'Environnement Canada (Atlantique, Pacifique, Nord, Prairies, Ontario et Québec). D'autres commentaires sur la structure théorique et fonctionnelle du programme ont été incorporés dans les sections précédentes du présent document. Les résultats détaillés des différents ateliers et consultations sont résumés dans Staicer et collab., 1992.

LES CONSIDÉRATIONS FINANCIÈRES

Il n'est pas surprenant de constater que les premières questions posées lors des ateliers avaient trait au financement des programmes de surveillance écologique. Les discussions qui ont suivi ont principalement porté sur la façon dont les buts du programme national proposé pour détecter les changements de la qualité du milieu pouvaient être atteints avec des ressources financières limitées. Les préoccupations et les suggestions des participants aux ateliers sont résumées ci-dessous.

1. *Le financement.* Dans les régions, on doute fort que le programme proposé puisse devenir opérationnel avec peu ou pas de financement additionnel au chapitre de l'infrastructure, des années-personnes et des opérations. De l'avis des participants, même si les programmes intégrés dépendaient principalement de la coordination des activités de surveillance et des buts des différents organismes, un certain financement de démarrage serait nécessaire pour permettre cette coordination.

Un grand nombre de participants ont fait part de leur frustration à l'égard de la création et de l'expansion de l'organisation chargée du RÉE. Celle-ci *ne fera pas* de surveillance, mais les organismes qui *devront* recueillir les données de surveillance ne connaîtront pas d'expansion au niveau du personnel ou du financement. Ces frustrations ont été exprimées par un participant qui a affirmé : « Le principal problème de la production de rapports sur l'état de l'environnement est que les décisions sont prises à Ottawa. Les organismes qui recueillent les données dans les régions et qui sont le mieux placés pour les

interpréter n'ont pas droit aux fonds de l'organisation chargée du RÉE et essaient donc constamment de faire plus avec moins, tandis que la bureaucratie de l'organisation continue de prendre de l'expansion. »

2. *La rentabilité.* La rentabilité des activités de surveillance peut être accrue par l'intégration de différents programmes. À l'heure actuelle, il existe des chevauchements importants de certaines activités de surveillance, tant au sein des différents organismes gouvernementaux qu'entre eux. Fondamentalement, la surveillance gouvernementale pourraient être gérée comme une entreprise efficace. L'organisation chargée du RÉE pourrait jouer un rôle essentiel en facilitant l'intégration des efforts de surveillance. On trouve au sein des gouvernements (de même que du secteur privé et des universités) un grand nombre de personnes hautement qualifiées qui sont en mesure d'effectuer les travaux nécessaires, mais les fonds d'exploitation sont insuffisants. Un participant a fait remarquer que l'on dispose de beaucoup d'experts de grande valeur, mais que l'on n'a pas d'argent pour faire le travail.

Dans certains cas, les coûts de la surveillance sont moins élevés si cette activité est menée par des organismes consultants plutôt que par le gouvernement. Même si les programmes de surveillance et les responsabilités devraient être institutionnalisés à l'échelon gouvernemental, les activités de surveillance pourraient être confiées en partie à des consultants privés. Dans un grand nombre de cas, il devrait s'agir de contrats à relativement long terme (5 à 10 ans) afin d'assurer la continuité de la collecte des données et l'amortissement des montants investis par le secteur privé dans l'infrastructure. Toutefois, il est important que le gouvernement supervise les activités des consultants afin de s'assurer de la conformité aux normes et protocoles appropriés.

3. *Les limites.* Ce sont les administrateurs principaux et non les personnes responsables de la surveillance ou de la recherche qui prennent les décisions relatives aux priorités et qui contrôlent les budgets. Un appui solide de la part des administrateurs principaux des différents organismes sera essentiel au succès du programme national de surveillance écologique.

Lors des ateliers, les participants ont fait part de leurs préoccupations quant à l'effet possible des influences politiques sur le programme national de surveillance et de production de rapports. Les changements du climat politique peuvent influencer sur

la continuité des programmes de surveillance écologique, sur l'interprétation des données écologiques et sur la façon dont les problèmes sont corrigés par des mesures d'atténuation ou d'évitement.

LA PROMOTION DE LA COLLABORATION

Les participants aux ateliers se sont préoccupés du fait que le programme national de surveillance écologique et de production de rapports puisse soulever des problèmes sur le plan de la collaboration entre les organismes provinciaux et fédéraux. Les incertitudes se rapportent aux dispositions financières, à la mise en commun et à l'interprétation des données, aux conflits et aux obstacles interorganismes, de même qu'aux conflits d'origine politique entre les gouvernements fédéral et provinciaux. Les suggestions entourant la promotion de partenariats efficaces ont occupé une partie importante des discussions. Ces idées sont résumées ci-dessous.

1. *La structure de l'organisation chargée du RÉE.* Dans l'ensemble, les participants aux ateliers ont exprimé des réserves face à l'organisation chargée du RÉE, étant donné qu'elle est centralisée à l'échelon national, qu'elle est basée à Ottawa et qu'elle fait partie d'Environnement Canada. Pour accroître l'efficacité de l'organisation, au moins un de ses représentants devrait être basé dans chacune des régions, car c'est de cette seule façon que les contacts personnels et le travail en réseau essentiels à la promotion et au succès du programme national de surveillance écologique peuvent être assurés.

Les participants ont généralement convenu qu'il serait souhaitable que l'organisation ne soit pas rattachée à Environnement Canada, en partie parce que le réseau de surveillance dont elle dépend pour ses informations déborde largement le cadre du ministère. Par ailleurs, si l'organisation doit interpréter les données indépendamment des programmes politiques et administratifs des ministères responsables, elle devrait être détachée des autres organismes gouvernementaux. Les bases sur lesquelles l'organisation et les groupes de travail d'experts fondent leurs décisions et leur interprétation des données devraient être écologiques et non pas politiques.

2. *Les partenariats.* L'organisation chargée du RÉE ne disposera pas de ses propres ressources pour la surveillance. Pour obtenir les données de surveillance, elle doit s'appuyer sur des partenariats, en particulier avec des organismes gouvernementaux nationaux, territoriaux et provinciaux. Une partie du mandat de l'organisation est de promouvoir les partenariats et

d'établir des liens axés sur le programme national de surveillance écologique et de production de rapports. Les partenariats peuvent être favorisés par la tenue d'ateliers multidisciplinaires et par la participation à des programmes intégrés. Les partenaires éventuels d'un réseau intégré doivent faire preuve de suffisamment de souplesse pour que, au besoin, le moment et l'emplacement des activités de surveillance puissent être modifiés en fonction des besoins d'autres partenaires.

3. *Les bénévoles.* Quelques participants ont fait remarquer que certains types de données de surveillance peuvent être recueillies efficacement et à peu de frais par des bénévoles. Le Relevé des oiseaux nicheurs et le Recensement des oiseaux de Noël sont des exemples de programmes de surveillance extensive où la majorité des données sont fournies par des ornithologues amateurs mais très expérimentés. Il y a aussi le programme extensif de surveillance des effets des pesticides sur le merle-bleu et l'Hirondelle bicoloré dans les provinces des Prairies. Le public s'intéresse vivement à la qualité de l'environnement et la contribution possible de bénévoles aux programmes de surveillance ne doit pas être négligée. Il serait toutefois difficile d'assurer la continuité à long terme des programmes de surveillance reposant sur le travail des bénévoles.

4. *Les collectivités autochtones.* Une consultation ouverte et bidirectionnelle avec les collectivités du nord du Canada, où les autochtones agissent à titre d'intendants d'une partie substantielle du territoire, revêt une importance particulière. Une telle consultation sera cruciale pour le succès de la mise sur pied de programmes de surveillance. Les groupes et les collectivités autochtones devraient être invités dès le début à participer à l'élaboration du programme. Il faudra les convaincre de l'importance de la surveillance et de sa pertinence pour leurs propres activités et pour leur bien-être. Les autochtones s'intéresseront sans doute à certains problèmes environnementaux, notamment ceux reliés à la santé publique locale et à la santé des populations de gibier. Les organismes participant aux programmes de surveillance devraient communiquer leurs résultats aux collectivités locales et interpréter leur importance d'une manière facile à comprendre.

Il faudrait également tenir compte des connaissances traditionnelles des collectivités locales et les intégrer dans la mesure du possible au programme de surveillance. En outre, certaines organisations autochtones mettent sur pied leurs propres bases de données sur l'environnement (p. ex., activités de chasse, de pêche et de piégeage) dans le cadre des nouvelles respon-

sabilités qu'elles doivent assumer aux termes des règlements des revendications territoriales. Toutefois, les collectivités locales peuvent craindre que leurs données soient utilisées à leur détriment, par exemple, pour abaisser les contingents de chasse.

5. *Les conflits entre les gouvernements fédéral et provinciaux.* Ce problème peut avoir de l'importance dans toutes les régions, mais particulièrement au Québec, où la collaboration entre les organismes environnementaux et autres des gouvernements fédéral et provinciaux peut être entravée par les directives politiques reliées aux incertitudes constitutionnelles et à d'autres considérations. Cette situation peut grandement faire obstacle à la conception et à la mise en œuvre concertées d'un réseau national de surveillance écologique et de production de rapports. Il s'agit d'un problème très complexe, dont la solution est d'ordre politique plutôt qu'institutionnel.

L'ACQUISITION DE DONNÉES PAR L'ORGANISATION CHARGÉE DU RÉE

L'accès aux informations pertinentes des différents organismes sera la clé du succès du programme national de production de rapports sur l'état de l'environnement. Dès le départ, on doit convenir que les données seront librement accessibles et disponibles.

1. *L'accessibilité des données.* Bon nombre de participants ont évoqué les problèmes considérables que soulève l'accès aux données de surveillance et de recherche au sein d'un organisme ou d'un organisme à l'autre. Les données gouvernementales n'appartiennent pas nécessairement au domaine public, soit parce qu'elles sont considérées comme privées, soit pour des raisons de sécurité nationale. Les autres obstacles à l'accès à l'information au Canada incluent le manque de sensibilisation de certains organismes d'information (où une demande précise peut être déposée pour avoir accès aux données) et les frais exigés par des organismes en échange d'informations.

Les autres problèmes en matière d'acquisition des données sont les suivants : a) les gens (tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des différents paliers de gouvernement) tendent à adopter une attitude possessive vis-à-vis de leurs données; b) les gouvernements ont toujours eu tendance à dissimuler leurs données (p. ex., plusieurs participants de l'Ontario ont décrit la réticence du gouvernement à publier ses données sur les précipitations et le pH des eaux de surface au milieu des années 1970); et c) les politiciens et les administrateurs craignent que l'on rejette sur eux la responsabilité de la dégradation de la qualité du milieu et peuvent être réticents face à la diffusion à grande échelle d'informations négatives.

2. *Les avantages réciproques.* On a souligné les problèmes pouvant être engendrés par la réciprocité de l'échange et de l'analyse des données entre l'organisation chargée du RÉE et les organismes sources. De l'avis des participants, l'organisation aurait à persuader les personnes et les organismes extérieurs des avantages découlant de leur participation à la production de rapports sur l'état de l'environnement sous son égide. Il pourrait être souhaitable que chacun des collaborateurs tire des avantages directs de cette participation; ainsi, on pourrait faire en sorte que leur contribution constitue un élément important de l'évaluation de leur rendement.

Les activités de l'organisation chargée du RÉE peuvent être avantageuses pour les organismes coopérant puisqu'elles permettraient : a) de constituer une base de données nationale largement accessible; b) de faciliter l'implantation de sites de surveillance intensive, lesquels accroîtraient considérablement la valeur des activités sectorielles de surveillance; c) de compter sur une structure administrative centrale; f) de faciliter l'intégration des programmes sectoriels de surveillance; et e) de faciliter la coordination des efforts nationaux de normalisation des protocoles de surveillance et l'évaluation de la qualité des données, peut-être avec le concours des groupes de travail d'experts mentionnés précédemment.

3. *Les types d'informations.* L'organisation chargée du RÉE pourrait adopter les deux approches connexes suivantes pour obtenir les données de surveillance écologique aux fins de la production de rapports :

- a) Déterminer quelles sont les questions reliées à la surveillance et faire la synthèse des informations publiées sur ces questions. Cette approche pose toutefois le problème suivant : les informations publiées sont en général insuffisantes, le corpus des données inédites étant toujours plus riche et plus détaillé que celui des données publiées.
- b) Cataloguer et acquérir des données inédites à partir de diverses sources qui recueillent des informations, habituellement à des fins différentes. Trois catégories de données peuvent être envisagées : les données brutes, les données traitées (analysées) et les données interprétées. L'organisation doit déterminer quelles classes de données conviendront le mieux à ses besoins et évaluer l'accessibilité de ces données.

4. *La méthode d'acquisition.* De l'avis des participants aux ateliers, l'organisation chargée du RÉE doit adopter une approche structurée et ciblée face à l'acquisition des données. Certains participants qui s'étaient donné la peine de fournir des données à

l'organisation ont eu la mauvaise expérience de constater que celles-ci n'avaient finalement pas été utilisées. Dans la mesure du possible, l'organisation devrait avoir une vision claire de ses besoins avant de s'engager dans l'acquisition des données. Il serait raisonnable de s'attendre que les données soumises à l'organisation aient un effet sur les rapports produits, et les fournisseurs de données devraient être mentionnés clairement dans les rapports de l'organisation.

Lorsqu'elle demande des informations, l'organisation chargée du RÉE devrait : a) préciser dans quel but les données seront utilisées; b) déterminer si les données sont pertinentes au but visé; c) déterminer quelles sont les sources les plus appropriées d'information (il y aura souvent des chevauchements à ce chapitre); d) tenir compte des contraintes budgétaires et logistiques de l'organisme produisant les données; et e) indiquer clairement si c'est l'organisation, l'organisme source, un groupe de travail d'experts ou une combinaison de ces entités qui assumera la responsabilité de l'analyse et de l'interprétation des données.

5. *Les problèmes entourant les mesures.* Pour prévoir un événement, nous devons pouvoir nous fier aux séries de données existantes (Berkowitz et collab., 1989). Certaines questions importantes devant être prises en compte durant la mise en œuvre du programme proposé sont l'exactitude et la précision des mesures, de même que le calcul des intervalles de confiance.

- a) *L'exactitude* d'une mesure est le degré auquel les données représentent les valeurs réelles. Pour évaluer l'exactitude, on peut employer des méthodes différentes mais fiables et examiner ensuite la similarité des estimations.
- b) *La précision* a trait à la fidélité de la méthode, c'est-à-dire la mesure dans laquelle la même méthode utilisée à d'autres endroits et à des moments différents peut donner des résultats similaires. Pour évaluer la précision, on peut effectuer des mesures répétées de la même variable en utilisant une méthode jugée exacte.
- c) *Les limites de confiance* sont calculées pour les ensembles de données dont les mesures ont été répétées, au sens statistique proprement dit.

6. *L'analyse de la puissance.* L'analyse de la puissance est une technique statistique qui a été peu utilisée mais qui se prête particulièrement bien aux données écologiques (Peterman, 1990). Pour les tests par inférence, en plus de calculer la probabilité de faire

une erreur de première espèce (c.-à-d. α), il convient également de calculer et de signaler la probabilité de faire une erreur de deuxième espèce (c.-à-d. β) ou la puissance statistique (c.-à-d. $1-\beta$). Par exemple, une étude peut signaler qu'« aucun effet » n'a été détecté. Il est difficile d'interpréter ce résultat sans connaître la puissance statistique de l'ensemble de données (c.-à-d. soit qu'il n'y a réellement aucun effet, soit que la taille de l'échantillon ou le plan expérimental ne permettait pas de détecter un effet minime mais potentiellement important). L'analyse de la puissance statistique devrait être intégrée aux analyses des données écologiques, car cette technique permet de mesurer la pertinence des données pour la vérification d'une hypothèse.

L'AMÉLIORATION DE LA SURVEILLANCE ÉCOLOGIQUE

Les participants aux ateliers ont formulé plusieurs suggestions qui accroîtraient la capacité des gouvernements de détecter les changements de la qualité du milieu. Les suggestions qui permettraient d'améliorer les programmes de surveillance sont présentées ci-dessous.

1. *Un examen périodique.* Le programme national de surveillance écologique devrait comprendre des examens périodiques des activités. Il sera nécessaire en permanence de modifier les activités de surveillance afin de les adapter aux nouvelles questions, d'évaluer les protocoles de surveillance en ce qui concerne l'assurance et le contrôle de la qualité et d'incorporer de nouvelles informations (p. ex., sur les indicateurs), techniques de pointe et méthodes. Les points devant être examinés incluent les suivants : a) maintien de la pertinence des indicateurs mesurés; b) exactitude et précision des données; et c) continuité des activités de surveillance pour éviter les temps mort.
2. *La recherche sur la compatibilité des données.* Il est nécessaire d'entreprendre des recherches pour évaluer la compatibilité des techniques actuellement utilisées par les différents groupes et organismes pour la mesure d'indicateurs donnés. La disparité des techniques est attribuable à plusieurs facteurs, notamment des différences sur le plan du financement, de l'équipement, du mandat, des hypothèses et de l'orientation des différents organismes et groupes.

Il est peu probable que toutes les activités de surveillance d'un indicateur donné fassent appel à la même technique à tous les endroits et en tout temps. Il faudrait un financement important, des exercices de mesures comparatives et l'organisation d'ateliers pour convaincre les gens d'adopter une technique

particulière. Le changement de méthode en cours de route constituerait un problème majeur pour n'importe quel programme de surveillance; plus l'échelle spatiale serait réduite, plus un tel changement aurait de répercussions. Selon les écarts sur le plan de l'exactitude et de la précision, l'adoption de nouvelles méthodes en un site pourrait poser un problème de compatibilité plus grave (pour ce site) que le recours à des protocoles variant d'un site à l'autre (pour la production de rapports nationaux).

Dans certains cas, il serait peut-être plus indiqué de calculer des facteurs de compatibilité ou de correction qui pourraient être appliqués aux données après leur collecte. Il faudrait alors effectuer des recherches pour faire des comparaisons et déterminer les paramètres de correction à appliquer. Cette solution serait moins coûteuse que l'achat de nouveaux équipements et le recyclage du personnel; elle permettrait aux différents groupes et organismes de poursuivre leurs activités dans le même sens et assurerait la continuité de la collecte de données. L'organisation chargée du RÉE pourrait jouer un rôle important dans l'évaluation de la compatibilité des techniques en mettant sur pied des groupes de spécialistes et en finançant des études de comparabilité.

3. *Les techniques appropriées.* Il faut choisir les techniques convenant le mieux aux questions de surveillance particulières. On doit d'abord déterminer les indicateurs les plus pertinents, puis trouver la technique fiable la plus simple et l'utiliser pour mesurer les indicateurs. Si le recours à un équipement sophistiqué pour les programmes de surveillance peut être impressionnant, un tel équipement n'est cependant pas toujours nécessaire pour que la surveillance écologique soit adéquate.
4. *Les mandats de surveillance.* Un grand nombre d'indicateurs des réactions biologiques ne sont pas mesurés parce qu'aucun organisme n'a le mandat de le faire. Si la sauvagine est relativement bien surveillée, c'est que les dénombrements sont prévus aux termes de la *Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs* adoptée par le Canada et les États-Unis; autrement dit, termes, il existe à ce sujet des obligations internationales. Les questions relatives à la faune du Canada seulement font l'objet d'une attention beaucoup moins soutenue. Par exemple, dans beaucoup de territoires administratifs, les données de dénombrement servant à fixer les limites de prises pour les grands mammifères et la gélinotte comportent d'importantes lacunes. Il en va de même pour les programmes actuels de surveillance des populations d'oiseaux chanteurs et d'amphibiens.

De nombreuses préoccupations ont été exprimées quant à la possibilité d'une réduction à grande échelle des effectifs de ces espèces. Ces dernières devraient faire l'objet d'une surveillance à l'échelle nationale mais, jusqu'ici, aucun organisme n'a reçu ou demandé un tel mandat. En outre, la continuité des activités de surveillance écologique non prévues par la loi est tributaire des caprices des instances politiques et administratives.

5. *Les décisions de la direction.* Selon les participants, au lieu de s'attaquer directement aux changements environnementaux importants, les gouvernements ont souvent tendance à insister sur la nécessité d'intensifier la surveillance et de recueillir plus d'informations. La diminution des populations de sauvagine au Canada constitue un bon exemple à cet égard. Des fonds substantiels et de grands efforts ont été consacrés aux relevés des canards dans les Prairies; par conséquent, la réduction des effectifs de ces espèces est bien étayée. Toutefois, les mesures prises pour s'attaquer aux causes du problème sont insuffisantes. Les chercheurs peuvent formuler des recommandations appropriées — et ils le font — mais celles-ci ne sont pas toujours mises en œuvre. Ce sont les membres de la haute direction et les politiciens qui prennent les décisions finales quant à la pertinence et aux modalités des interventions visant à prévenir ou à atténuer les problèmes écologiques.
6. *L'adaptabilité des programmes de surveillance.* Les changements environnementaux sont inévitables, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique. Par conséquent, les programmes de surveillance écologique doivent être adaptables et faire l'objet d'une rationalisation continue dans le contexte de changements inexorables. Par exemple, à mesure que le changement climatique influera sur les zones agricoles des Prairies canadiennes, on observera des décalages spatiaux importants en ce qui concerne l'utilisation des cultures et les méthodes culturales. Selon les besoins, on doit ajuster les programmes de surveillance écologique à ces changements en modifiant les protocoles de surveillance et l'organisation spatiale des réseaux. La participation active des chercheurs sera essentielle pour déterminer quels ajustements doivent être faits.
7. *La surveillance d'agents d'agression inconnus.* La structure théorique du programme national de surveillance écologique s'articule autour d'un processus permettant de reconnaître les agents d'agression et de choisir les indicateurs en fonction de leur pertinence par rapport à ces derniers. Toutefois, a) les agents d'agression importants ne sont pas toujours reconnus, b) l'importance des agents d'agression

peut varier et c) le changement observé peut être le résultat de l'action d'un complexe d'agents d'agression. Un programme de surveillance réellement exhaustif devrait permettre de surveiller les agents d'agression inconnus ou les surprises.

Les stratégies suivantes ont été jugées utiles pour la surveillance des agents d'agression inconnus dans les systèmes aquatiques d'eau douce [d'après les notes de N. Yan, Centre de recherche de Dorset (Ontario)] :

- a) Déterminer l'origine et la nature la plus probable des agents d'agression inconnus et choisir l'emplacement des sites de surveillance en conséquence. Les éléments à prendre en compte devraient inclure les aménagements urbains ou les projets industriels prévus et les mouvements des masses d'air.
- b) Évaluer une vaste gamme de contaminants dans les précipitations.
- c) Suivre les changements au niveau de l'utilisation dissipative de matériaux sur le marché mondial afin de trouver d'éventuels indices de nouveaux agents d'agression chimiques.
- d) Utiliser une méthode multimédias pour choisir des indicateurs de réaction représentant tous les principaux habitats et recueillir les données sur les conditions de base de ces indicateurs.
- e) Choisir des sites d'étude représentatifs de tous les principaux types d'habitats.
- f) Choisir certains sites ayant des temps de réaction intrinsèquement rapides face au changement d'intensité des agents d'agression (p. ex., petits lacs et cours d'eau d'amont).
- g) Choisir à titre d'indicateurs de la fonction de l'écosystème des taxons qui sont les seuls occupants de niches clés de la communauté, car leur disparition peut perturber gravement la fonction de l'écosystème. Schindler (1990) a constaté que, dans un lac expérimentalement acidifié de la Région des lacs expérimentaux du nord-ouest de l'Ontario, plusieurs taxons ne possédaient pas d'analogues fonctionnels (*Mysis relicta*, *Hyalella*, *Pontoporeia* et *Oreonectes*); ainsi, leur disparition a eu des conséquences particulièrement graves pour l'écosystème acidifié.
- h) Surveiller étroitement les changements dans les communautés constituées d'un grand nombre de taxons qui se reproduisent rapidement et qui

possèdent un pouvoir de dispersion élevé (p. ex., phytoplancton, insectes aquatiques ayant un stade adulte ailé). La structure de telles communautés devrait réagir rapidement au changement d'intensité des agents d'agression (Schindler, 1987).

8. *Les archives d'échantillons.* Le maintien d'archives d'échantillons est souhaitable et remplirait plusieurs fonctions importantes. Ces archives pourraient permettre la mesure rétrospective des effets des agents d'agression chimiques qui n'ont pas encore été reconnus. Par ailleurs, si les protocoles de surveillance diffèrent sur le plan spatial et temporel, les archives d'échantillons peuvent permettre une comparaison objective des différentes méthodes.

9. *Les indices composés.* On a demandé aux participants leur avis sur la mise au point d'indices composés de la qualité de l'environnement, qui pourraient éventuellement être publiés dans les quotidiens au même titre que les indices économiques. Les politiciens et le public aimeraient qu'on leur présente de tels indices parce qu'ils sont en apparence faciles à interpréter. Néanmoins, les participants aux ateliers doutent de la faisabilité de mettre au point des indices composés significatifs sur le plan scientifique. En économie, les indices composés sont relativement aisés à formuler, car leurs éléments sont tous mesurés en fonction d'un étalon commun, le dollar. La qualité de l'environnement est un domaine beaucoup plus complexe où il n'existe pas d'étalon commun.

Les indices écologiques composés devraient tout au plus être axés sur certains aspects donnés de la qualité du milieu, comme les ressources forestières, halieutiques ou agricoles, l'air, les habitats en milieu humide, les espèces en péril ou les espaces en danger. Ils n'en posent pas moins des problèmes sur le plan de l'interprétation, car on y introduit beaucoup plus d'informations que l'on n'en tire.

10. *Les indicateurs synthétiques.* On peut souvent s'attendre que des agents d'agression concomitants aient des effets simultanés, voire synergiques, sur la qualité du milieu ou sur l'intégrité écologique. Au lieu d'un agent de stress important et unique, il peut exister des complexes d'agents. Six grands complexes d'agents d'agression ont été reconnus : a) la charge de substances toxiques; b) l'exploitation des éléments du biote; c) la modification de la structure de l'écosystème; d) la charge des espèces (p. ex., les effets des espèces exotiques); e) la disparition des matériaux (p. ex., l'érosion); et f) la modification de la fonction de l'écosystème (p. ex., le lessivage des

éléments nutritifs, les changements de la productivité, le cyclage des éléments nutritifs). Un indicateur synthétique de ces complexes d'agents d'agression dans les Grands Lacs est le touladi, pour lequel on dispose de données de surveillance et de cartographie depuis 200 ans (H. Regier, Université de Toronto, communication personnelle).

11. *Les indicateurs intégrés de la réaction biologique.* Une des plus importantes lacunes des programmes actuellement en cours au Canada est la surveillance d'indicateurs intégrés de la réaction biologique. Certains bioindicateurs (p. ex., la croissance des organismes) ont la capacité d'intégrer des informations sur le milieu à une échelle temporelle et parfois spatiale. Voici des exemples d'indicateurs intégrés de la réaction biologique pouvant être mesurés :

a) Les carnivores des niveaux trophiques supérieurs peuvent constituer des puits pour la plupart des hydrocarbures halogénés qu'ils ingèrent en se nourrissant; par conséquent, les concentrations de résidus dans leurs tissus peuvent représenter une mesure cumulative de l'exposition durant toute la vie de ces animaux.

b) Les lichens peuvent, pendant de longues périodes d'exposition, accumuler progressivement de nombreuses substances toxiques en traces provenant des dépôts atmosphériques.

c) La structure des communautés de macroinvertébrés aquatiques sédentaires, l'abondance de ces espèces et la composition chimique de leurs tissus peuvent intégrer les variations temporelles de la chimie de l'eau. L'élaboration de protocoles de surveillance des indicateurs de réaction cumulative de ce type exige beaucoup de recherche.

LE TRANSFERT DES INFORMATIONS AU PUBLIC

Une tâche importante de l'organisation chargée du RÉE est le transfert au public des informations sur l'environnement. Au sens large, cette tâche inclut la description et la justification des dépenses de l'État pour la protection du milieu ainsi que la sensibilisation du public à l'environnement. L'organisation pourrait disséminer l'information par le biais de publications (p. ex., son rapport quinquennal et exhaustif sur l'état de l'environnement), de séminaires, d'ateliers et d'expositions interactives reliées à une base de données, afin de communiquer efficacement les tendances en matière d'environnement et les informations connexes.

1. *Les objectifs environnementaux.* Les Canadiens souhaitent maintenir ou améliorer leur niveau de vie.

Malheureusement, la plupart des gens, et en particulier les économistes et les politiciens, assimilent l'augmentation du niveau de vie à l'accroissement du degré de développement économique (mesuré par des indicateurs comme le produit national brut et celui par tête, les indices boursiers, etc.). Toutefois, les indicateurs économiques « classiques » ne reflètent pas la grande dégradation écologique, qui est habituellement le prix de la croissance et du développement économiques. La notion de « développement durable sur le plan de l'environnement » doit remplacer celle de « croissance économique durable » à titre d'objectif de la société.

Par ailleurs, les Canadiens sont de plus en plus conscients de leur responsabilité face au maintien de l'intégrité de leur patrimoine écologique national. La production de rapports sur l'état de l'environnement jouera un rôle essentiel dans la sensibilisation du public à cet égard. Pour avoir une action positive sur cette fonction, l'organisation chargée du RÉE doit résister aux influences politiques indues en matière de choix des indicateurs à surveiller. En particulier, le recours non équilibré à des critères « interprétables sur le plan économique » et « axés sur les humains » pourrait poser des problèmes.

2. *Les notions de qualité du milieu naturel.* Au cours des discussions qui se sont déroulées lors des ateliers, on a observé une absence de consensus quant à ce que signifie la « qualité de l'environnement », la « santé de l'écosystème » ou l'« intégrité écologique ». Il existe chez les scientifiques des divergences fondamentales sur la définition de ces notions. Tandis que les scientifiques s'attachent à mieux comprendre ces notions, le public se soucie probablement avant tout des effets des agents d'agression sur son mode de vie. De toute évidence, des recherches et des discussions s'imposent pour mieux comprendre les notions de qualité, de santé et d'intégrité du milieu et pour mieux cerner les liens entre les agents d'agression et les objectifs de la société.

3. *Le rôle de l'organisation chargée du RÉE dans l'interprétation des données.* L'organisation cherche à combler le fossé entre les scientifiques (dont les intérêts s'articulent autour de la compréhension de l'intégrité écologique) et

le public (dont le principal intérêt est la qualité du milieu). Le public a besoin d'une interprétation adéquate et fiable des données environnementales pour comprendre leur importance. En outre, l'interprétation des tendances à partir des données environnementales est une étape décisive qui devrait influencer sur toute prise de décision gouvernementale en matière d'environnement.

Les participants aux ateliers ont pratiquement tous appuyé l'idée que l'interprétation des tendances ressortant des données environnementales nationales devrait relever de l'organisation chargée du RÉE. La coordination, par cette dernière, des groupes de travail d'experts serait la meilleure façon d'y arriver; on utiliserait ainsi, sans faire double emploi, la meilleure expertise écologique existant au Canada.

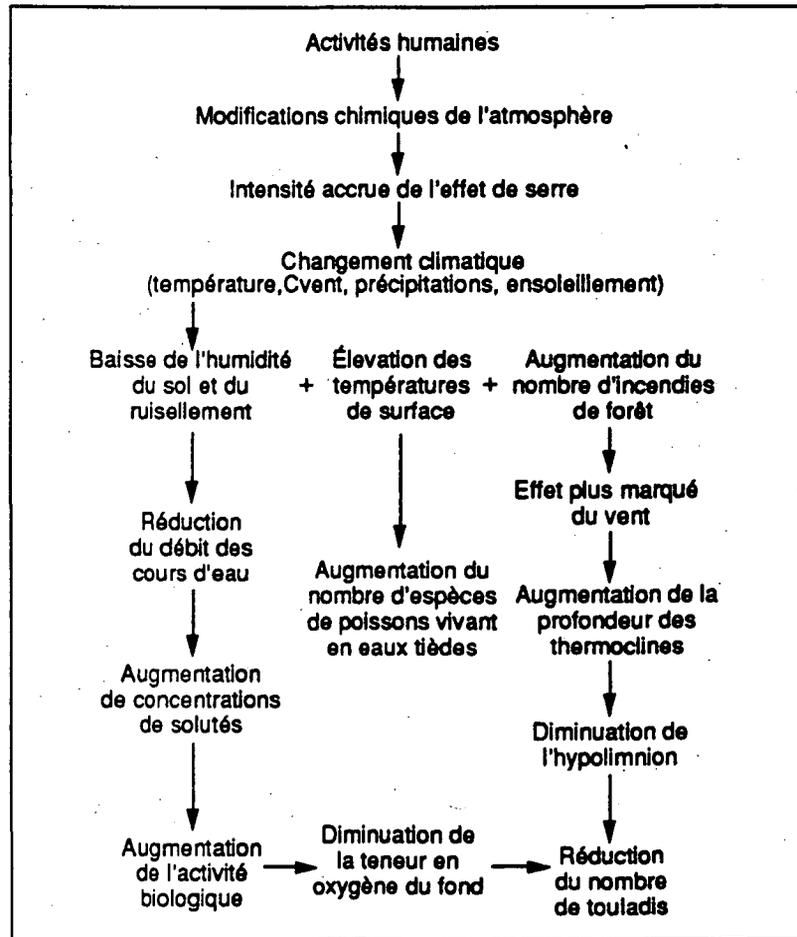


Figure 5. Liens entre les réactions et les agents d'agression. La cascade d'effets est un moyen utile de représenter les liens entre les agents d'agression et les réactions dans le processus de modification de l'environnement. Cet exemple explique comment les activités humaines peuvent modifier le climat et comment ce changement peut à son tour produire une cascade d'effets qui finissent par influencer sur les communautés de poissons, en particulier le touladi.

À titre d'« équivalent de Statistique Canada dans le domaine de la comptabilité environnementale », l'organisation chargée du RÉE fournirait au public des informations sur l'état de l'environnement et les nouvelles tendances, sans toutefois y accoler l'étiquette « bonne » ou « mauvaise ». Cependant, selon les participants aux ateliers, l'organisation devrait également offrir une interprétation suffisante des tendances. De l'avis général des participants, l'organisation devrait : a) analyser les relations causales possibles, b) indiquer si l'état de l'environnement s'améliore ou s'aggrave et c) relever les lacunes dans les connaissances importantes relatives à l'état de l'environnement. Pour certains participants, l'organisation devrait également : d) examiner les stratégies d'atténuation ou d'évitement permettant de s'attaquer à la dégradation de l'environnement et e) indiquer si les mesures d'atténuation ou d'évitement (p. ex., changement au niveau des politiques, règlements, lois ou lignes directrices) ont eu un effet sur les tendances de l'état de l'environnement.

4. *Un modèle pour la présentation des données au public.* Le modèle AER, qui est à la base de la structure théorique du programme national de surveillance écologique proposé, n'est peut-être pas le plus judicieux pour la présentation des données au public. Bien qu'il soit simple et linéaire, ce modèle peut être difficile à comprendre pour le public, car on peut interpréter différemment les termes « agent d'agression », « exposition » et « réaction ». La compréhension du public peut être entravée par une terminologie jugée déroutante.

Pour les fins de la présentation des données au public, un modèle articulé autour de la cascade des effets des agents d'agression peut être plus judicieux. Dans n'importe quel cas donné, on peut organiser les agents d'agression selon une séquence allant de l'agent primaire à l'agent secondaire, etc. Il s'agit d'une organisation pratique, car les effets d'un agent d'agression primaire peuvent secondairement devenir un agent d'agression influant sur un autre élément, et ainsi de suite. Il en résulte une cascade d'effets liés par des relations causales. La figure 5 présente un exemple de cascade expliquant comment le changement climatique peut se produire et, en définitive, avoir un effet sur le touladi, une espèce de poisson utilisée comme indicateur clé de l'intégrité écologique des lacs d'eau douce dans certaines régions. (Cet exemple a été fourni par B. Atkinson et G. Koshinsky de l'Institut des eaux douces à Winnipeg).

5. *La sensibilisation à l'environnement.* De l'avis des participants aux ateliers, l'interprétation des données

à l'intention du public est très importante en raison de l'insuffisance de la sensibilisation de la plupart des Canadiens à l'environnement. Ce problème s'explique en partie par le fait que le public s'est largement fié aux médias pour se renseigner sur l'environnement. Même si les médias présentent beaucoup d'informations sur l'environnement, les données peuvent être empreintes de parti pris et être inexactes parfois. Les médias ont pour objectif de réaliser des profits et peuvent avoir tendance à privilégier les informations qui se vendent et à les interpréter en conséquence. Les diversions peuvent devenir des questions prépondérantes dominant le plan d'action sur l'environnement et porter atteinte aux efforts visant à régler des problèmes environnementaux plus importants.

Pour ces motifs et d'autres encore, la population canadienne a grandement besoin d'une exposition institutionnalisée à une information objective sur l'état de l'environnement, par le biais du système d'enseignement et d'autres programmes. Ce besoin se fait sentir pour combler les lacunes dans la sensibilisation à l'environnement, qui ont été relevées à tous les niveaux du système d'éducation canadien, de l'école primaire à l'université en passant par l'éducation permanente du public.

OUVRAGES CITÉS

- Anderson, J., T. Kurvits et E. Wiken. 1993. « La notion de réseau national de surveillance et de recherche écologiques. » Pages 1-11 dans : *Compte rendu de l'Atelier national sur la surveillance et la recherche écologiques*. Collection des publications hors-série, n° 1. Rapport sur l'état de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa.
- Berkowitz, A.R., J. Kolasa, R.H. Peters, et S.T.A. Pickett. 1989. « How far in space and time can the results from a single long-term study be extrapolated? » Dans : Likens, G.E. (réd.). *Long-term studies in ecology: approaches and alternatives*. Springer-Verlag, New York.
- Commission mixte internationale. 1991. *A proposed framework for developing indicators of ecosystem health for the Great Lakes region*. Windsor (Ontario).
- Conseil national de recherches du Canada. 1983. *Status Report — National Research Council of Canada Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality*. Ottawa.
- CSEMDC. 1991. *Espèces canadiennes en péril*. Comité sur le statut des espèces menacées de disparition au Canada (CSEMDC), Service canadien de la faune, Environnement Canada, Ottawa.

- Environnement Canada, Groupe de travail sur les indicateurs. 1991. *Le point sur l'établissement d'un ensemble national d'indicateurs environnementaux au Canada*. Rapport EDE n° 91-1. Rapport sur l'état de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa.
- Franklin, J.F. 1989. « Importance and justification of long-term studies in ecology. » Pages 3-19 dans : Likens, G.E. (réd.). *Long-term studies in ecology: approaches and alternatives*. Springer-Verlag, New York.
- Franklin, J.F., C.S. Bledsoe et J.T. Callahan. 1990. « Contributions of the Long-term Ecological Research Program. » *BioScience*, 40 : 509-524.
- Freedman, B. 1989. *Environmental ecology*. Academic Press, San Diego, California.
- Gouvernement du Canada. 1990. *Le Plan vert du Canada pour un environnement sain*. Approvisionnement et Services Canada, Ottawa.
- Gouvernement du Canada. 1991. *L'état de l'environnement au Canada - 1991*. Approvisionnement et Services Canada, Ottawa.
- Hartman, G.F., et J.C. Scrivener. 1990. « Impacts of forestry practices on a coastal stream ecosystem. Carnation Creek, British Columbia. » *Bulletin canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, n° 223. Pêches et Océans Canada, Ottawa.
- Hunsaker, C.T., et D.E. Carpenter (réd.). 1990. *Ecological indicators for the environmental monitoring and assessment program*. EPA 600/3-90/060, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.
- Karr, J.R. 1991. « Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management. » *Ecol. Appl.*, 1: 66-74.
- Kerr, A. 1991. *Selection and presentation of a national set of preliminary indicators: Canada's experience*. Communication présentée lors de la conférence des statisticiens européens, Ottawa Ontario.
- Likens, G.E. (réd.). 1989. *Long-term studies in ecology. Approaches and alternatives*. Springer-Verlag, New York.
- Marshall, I.B., H. Hirvonen et E. Wiken. 1993. « National and regional scale measures of Canada's ecosystem health. » Dans : *Ecological integrity and the management of ecosystems*. St. Lucie Press, Delray Beach, Floride.
- Meidinger, D., et J. Pojar. 1991. *Ecosystems of British Columbia*. Ministère des Forêts de la Colombie-Britannique, Victoria.
- Odum, E.P. 1985. « Trends expected in stressed ecosystems. » *BioScience*, 35 : 419-422.
- Peterman, R.M. 1990. « Statistical power analysis can improve fisheries research and management. » *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 47 : 2-15.
- Risser, P.G. 1991. *Long-term ecological research. An international perspective*. SCOPE 47, J. Wiley & Sons, West Sussex, Angleterre.
- Schindler, D.W. 1987. « Detecting ecosystem responses to anthropogenic stress. » *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, 44 : 6-25.
- Schindler, D.W. 1990. « Experimental perturbations of whole lakes as tests of hypotheses concerning ecosystem structure and function. » *Oikos*, 57 : 25-41.
- Staicer, C., B. Freedman et N. Shackell. 1992. *Results of regional workshops on environmental monitoring and ecological indicators*. Préparé pour l'organisation chargée du Rapport sur l'état de l'environnement, Environnement Canada. Département de biologie et School for Resource and Environmental Studies, Université Dalhousie, Halifax (Nouvelle-Écosse).
- Steedman, R.J., et H.A. Regier. 1990. « Ecological bases for an understanding of ecosystem integrity in the Great Lakes basin. » Pages 257-270 dans : *An ecosystem approach to the integrity of the Great Lakes in turbulent times*. Publication spéciale 90-4. Great Lakes Fishery Commission, Ann Arbor, Michigan.
- Van Cleve, K., et S. Martin. 1991. *Long-term ecological research in the United States*. Long-term Ecological Research Network Office, University of Washington, Seattle, Washington.
- Wiken, E. 1986. *Écozones terrestres du Canada*. Série de la classification écologique du territoire, n° 19. Direction générale des terres, Environnement Canada, Ottawa.
- Woodley, S. 1990. *A data base for ecological monitoring in Canadian national parks*. Préparé pour le Service canadien des parcs, Environnement Canada. Centre des ressources du patrimoine, Université de Waterloo, Waterloo (Ontario).