

# Vers une mesure de l'intégrité écologique

---

## Rapport sommaire

Préparé pour :

La Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie

Préparé par :

Mark Anielski  
Directeur, Mesure de la durabilité  
Pembina Institute for Appropriate Development

11 décembre 2001

Le 11 décembre

## Vers une mesure de l'intégrité écologique

Nous sommes heureux de présenter ce rapport sommaire, qui résume un document de recherche de 74 pages intitulé *Towards a Measurement of Ecological Integrity* (15 novembre 2001). Commandé par la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie dans le contexte de l'Initiative sur les indicateurs du développement durable et de l'environnement (IDDE), le document de recherche analyse les stratégies théoriques et pratiques de mesure de l'intégrité des écosystèmes du Canada.

Le rapport de recherche analyse la mesure de l'intégrité des écosystèmes « à la fine pointe de la technologie » en présentant une recension documentaire des méthodes émergentes les plus pertinentes et pratiques qui pourraient guider le travail de la TRNEE dans le domaine le plus difficile de la mesure, soit l'évaluation de la santé des écosystèmes.

Nous avons essayé de trouver des moyens de réconcilier l'approche « du capital » plus linéaire proposée par Statistique Canada et une perspective écologique-biologique dans le contexte de laquelle on évaluera les écosystèmes pour ce qu'ils sont—des systèmes dynamiques et résilients qui montrent des caractéristiques pression-état-réponse.

La mesure de l'intégrité des écosystèmes devient une discipline en soi. La publication transdisciplinaire récente intitulée *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation, and Health* (D. Pimentel, L. Westra et R. Noss, eds. Island Press, Washington, DC, 2000) n'est qu'un exemple des efforts déployés pour comprendre la complexité de l'intégrité des écosystèmes. Notre document de discussion touche à peine la surface de la base de savoir émergent et ne présente qu'une fraction de l'information canadienne et mondiale disponible sur ce sujet complexe.

Nous nous attendons à ce que le document de discussion présente des idées réalistes pour aider le Comité de l'Initiative des IDDE de la TRNEE à marquer des progrès vers le résultat souhaité, soit la création d'indicateurs de la santé des écosystèmes qui évaluent de façon significative la durabilité pour la population canadienne.

Mark Anielski  
Directeur, Mesure de la durabilité  
Pembina Institute for Appropriate Development

Chercheur principal, Redefining Progress, Oakland, CA.

## Table des matières

---

<b>1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Définition de l'intégrité écologique.....</b>	<b>2</b>
2.1 Les écosystèmes comme capital.....	2
2.2 Qu'est-ce que la santé des écosystèmes?.....	2
2.3 Qu'est-ce que l'intégrité des écosystèmes? .....	3
2.4 Comment évaluer les écosystèmes comme systèmes vivants?.....	4
<b>3. Stratégie pratique de mesure de l'intégrité des écosystèmes.....</b>	<b>6</b>
3.1 Systèmes possibles d'indicateurs de l'intégrité écologique et de production de rapports.....	6
3.2 Indices composés .....	9
3.2.1 Indice de l'intégrité biologique (IIB).....	9
3.2.2 Indice « Planète vivante ».....	10
3.2.3 L'empreinte écologique .....	11
3.2.4 Bilan de l'état des écosystèmes de l'Institut des ressources mondiales.....	13
<b>4. Les comptes environnementaux de l'IPV de l'Alberta pour la mesure de l'intégrité écologique.....</b>	<b>14</b>
<b>5. Conclusions et recommandations .....</b>	<b>15</b>
<b>Annexe A : Système d'évaluation des écosystèmes de James Kay.....</b>	<b>17</b>
<b>Annexe B : Comptes des ressources naturelles et de l'environnement de l'IPV de l'Alberta .....</b>	<b>21</b>

## Liste des figures

---

Figure 1 : Continuum de l'intégrité biologique.....	3
Figure 2 : Intégration des comptes environnementaux de l'IPV de l'Alberta pour mesurer l'intégrité des écosystèmes .....	14
Figure 3 : Élaboration d'indicateurs dans le contexte de la démarche de l'écosystème adaptatif .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Démarche écosystémique d'évaluation de l'intégrité écologique de Kay .....	17
Tableau 2 : Comptes des ressources naturelles et de l'environnement de l'IPV de l'Alberta .....	21

## 1. Introduction

---

La Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) a été chargée de produire un cadre d'indicateurs nationaux de l'environnement et de l'état du développement durable au Canada. La Table ronde a créé un comité chargé de superviser l'élaboration de ces indicateurs et qui devrait terminer son travail d'ici au printemps 2003. Des groupes de concertation ont été chargés de suivre l'élaboration de quelques indicateurs choisis dans six domaines : capital humain, ressources naturelles non renouvelables, ressources naturelles renouvelables, terres et sols, qualité de l'air et conditions atmosphériques, et ressources hydriques.

La tâche qui consiste à mesurer l'intégrité écologique et à élaborer des indicateurs en la matière couvre la plupart de ces domaines, mais elle est des plus pertinentes au travail du Groupe de concertation sur les terres et les sols (qui s'occupe de la productivité des terres agricoles et des sols non boisés, de la contribution des terres à l'activité économique, à la santé et aux fonctions des écosystèmes terrestres) et à celui du Groupe de concertation sur les ressources renouvelables (en ce qui concerne les forêts). Le Groupe de concertation sur les terres et les sols a été chargé spécifiquement d'étudier la faisabilité d'un indicateur national de l'état de santé des écosystèmes terrestres non boisés, comme les écotypes que constituent les terres inondées et les prairies, et de mettre l'accent sur la dégradation ou la perte physiques (p. ex. diversité biologique, espèces en péril, zones protégées<sup>1</sup>).

L'évaluation de l'intégrité des écosystèmes constitue certainement l'aspect le plus complexe et le plus difficile de l'Initiative IDDE de la TRNEE, particulièrement dans le contexte de la démarche axée sur le « capital » préconisée par Statistique Canada (voir *Établir des indicateurs d'environnement et de développement durable en fonction du capital : Méthode proposée*<sup>2</sup>) et appuyée dans les *Directives techniques pour le choix des indicateurs*<sup>3</sup>. Pour mesurer l'intégrité d'un écosystème, il faut un cadre de diagnostic qui en reflète la nature complexe. Un tel cadre de comptabilité doit refléter les interdépendances dynamiques qui constituent l'écosystème et orienter l'évaluation de son état de santé—c'est-à-dire de sa capacité de maintenir les services.

Mesurer l'intégrité des écosystèmes équivaut à mesurer l'état de santé du corps et les outils ne se prêtent pas nécessairement à un modèle comptable linéaire, qui est la norme dans le cas des systèmes traditionnels de comptabilité du capital naturel qu'on est en train d'élaborer. Il faudra peut-être une méthode sans pareille de mesure et de comptabilité, qui tire de l'information de divers comptes de capital naturel et de qualité de l'environnement, pour construire un tableau significatif de l'intégrité des écosystèmes à diverses échelles. Il faudra à cette fin une stratégie d'évaluation des pressions, de l'état et de la réponse (résultats, sur le plan des fonctions) des écosystèmes fondée sur les systèmes vivants et réaliser que nos connaissances et notre capacité d'évaluer réellement la « santé » limitent fondamentalement la capacité de mesure.

Il y a heureusement de plus en plus de documents publiés et de recherches sur la mesure de l'intégrité écologique, et notamment les travaux récents de plusieurs experts des questions d'intégrité écologique que l'on retrouve dans *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation, and Health*<sup>4</sup>, sans oublier le travail de Michelle Boyle (1998)<sup>5</sup> et James Kay (1994)<sup>6</sup>, qui ont examiné les indicateurs de rendement pour la gestion de l'écosystème. L'analyse repère la plus récente des indicateurs de l'agriculture, de l'espace terrestre et des écosystèmes effectuée par Delaney and Associates<sup>7</sup> pour le compte du Groupe de concertation sur les terres et

les sols de la TRNEE a présenté aussi des aperçus importants du champ d'application d'indicateurs émergents et de critères significatifs de mesure servant à évaluer l'intégrité des écosystèmes. Statistique Canada<sup>8</sup> a aussi offert des conseils sur la façon de mesurer les résultats des services écosystémiques qui constituent des tremplins utiles pour une stratégie systémique intégrée de mesure de la santé des écosystèmes.

## 2. Définition de l'intégrité écologique

---

### 2.1 Les écosystèmes comme capital

Statistique Canada a reconnu que « les écosystèmes sont les plus difficiles à mesurer en tant que capital. En théorie, la bonne méthode consiste à observer les services fournis par les écosystèmes à l'économie et à mesurer la valeur que ces services représentent pour la production. Dans la pratique, même si nous pouvons définir la nature de ces services, nous ne pouvons les observer directement<sup>9</sup> ». En ce qui concerne le capital naturel, Statistique Canada en définit trois catégories : ressources naturelles, terres et écosystèmes. C'est cette dernière catégorie que nous souhaitons mesurer.

Les écosystèmes sont des systèmes vivants complexes qui peuvent ou non se prêter à la définition et à la mesure du « capital » utilisé par Statistique Canada. Comme les écosystèmes sont dynamiques et compte tenu de la comptabilité statistique, historique et linéaire des « stocks, flux et valeurs »—qu'on utilise actuellement dans des comptes du capital naturel qui ont trait aux actifs forestiers, agricoles et souterrains—l'élaboration d'un compte des « systèmes vivants » est encore plus difficile et complexe. Mesurer l'intégrité des écosystèmes, c'est comme mesurer l'état de santé de l'être humain—c'est une tâche complexe pour laquelle on utilise des indicateurs communs afin d'évaluer l'état du mieux-être, mais qui oblige les « médecins » chargés de l'évaluation à effectuer des interprétations uniques. Comme le signale Statistique Canada, « Si les résultats des écoservices sont constants au fil du temps (p. ex. si la qualité de l'air ne se détériore pas), on peut alors conclure que le capital naturel—c'est-à-dire les écosystèmes—qui sert à fournir les services produisant ces résultats est maintenu<sup>10</sup> ». Il est donc très pertinent de mesurer l'intégrité des écosystèmes au moyen de techniques d'évaluation et de contrôle biologiques pour effectuer un « examen médical » de la santé des écosystèmes<sup>11</sup>.

### 2.2 Qu'est-ce que la santé des écosystèmes?

Le Webster définit la santé en termes de mieux-être physique et psychologique, de vitalité, de solidité ou d'intégrité<sup>12</sup>. Comme le signale Karr<sup>13</sup>, santé veut dire « bon état », expression qui s'applique également à l'évaluation de l'état de santé de l'individu ou de l'humanité et de celui d'un écosystème. De plus, « un environnement est en bonne santé lorsque les réserves de biens et de services dont les résidents humains et autres ont besoin sont maintenues » (p. 211). Constanza (1992)<sup>14</sup> décrit ainsi la santé d'un écosystème :

*Sa capacité [de l'écosystème] de maintenir sa structure et son fonctionnement au fil du temps face au stress de l'extérieur.*

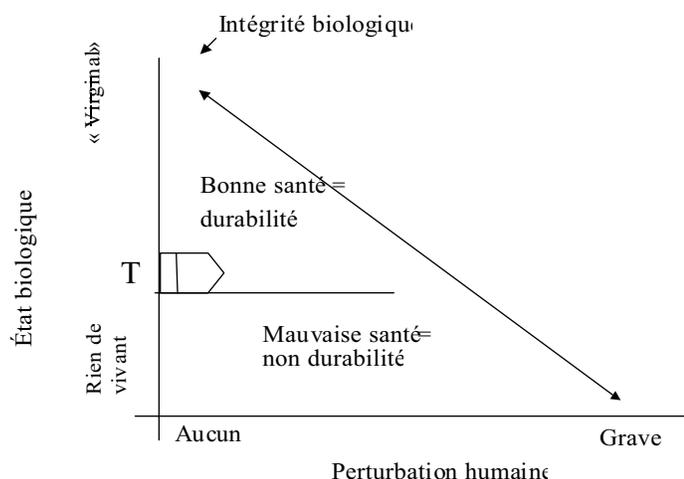
## 2.3 Qu'est-ce que l'intégrité des écosystèmes?

Ulanowicz (2000)<sup>15</sup> signale que l'intégrité écologique sous-entend explicitement le concept de « santé ». Il soutient que la fonction (vigueur) d'un système est reliée à son niveau global d'activité de transformation de matières et d'énergie et que sa structure (organisation) désigne l'efficacité des liens entre ses processus globaux. Ulanowicz ajoute une troisième dimension, soit la résistance aux perturbations. Nous avons ainsi trois points de vue possibles pour évaluer le « rendement total » ou l'état de santé des écosystèmes : fonction, structure et résilience<sup>16</sup>.

On pourrait élaborer des indicateurs qui mesurent l'état des trois dimensions d'un écosystème pour viser finalement à évaluer l'état biologique de l'écosystème en tant que système vivant et complet.

Karr (2000)<sup>17</sup> signale qu'il est possible de définir l'intégrité écologique et de la mesurer en fonction de l'état des lieux à une extrémité d'un continuum d'influence de l'humanité (figure 1). La figure 1 montre que les conditions écologiques s'écartent de l'intégrité biologique en diminuant à mesure qu'augmentent les perturbations causées par l'humanité. Karr décrit l'intégrité biologique comme l'état d'un endroit dont le patrimoine d'évolution—ses éléments constitutants (p. ex. espèces) et processus (p. ex. cycles des nutriments)—est intact. La dégradation de l'état biologique au-dessous d'un seuil (qui se situe aux environs du T) représente le point où un écosystème devient en mauvaise santé parce que sa fonctionnalité n'est plus durable. Le modèle de Karr considère l'état biologique idéal, ou « virginal » comme un biote qui constitue un système équilibré, intégré et adaptatif comportant l'éventail complet des éléments et des processus attendus dans les régions où l'influence humaine est minimale. Karr prévient que le point d'équilibre est naturellement difficile à définir avec clarté.

**Figure 1 : Continuum de l'intégrité biologique**



Karr, J.R. 2000. «Health, Integrity, and Biological Assessment: The Importance of Measuring Whole Things», dans D.Pimentel, L.Westra et R.Noss (éds.), *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation and Health* Island Press, Washington, DC, p.09–226.

Le modèle de Karr offre un cadre significatif qui permet de conceptualiser la mesure de l'intégrité des écosystèmes qui suit les tendances des pressions exercées par les perturbations causées par l'humanité (p. ex. exploitation des ressources et fragmentation de l'écosystème causée par les perturbations linéaires, la pollution et les émissions) et d'évaluer en même temps la « santé » biologique et de suivre ainsi les changements des éléments constitutants et des processus des écosystèmes vivants (p. ex. échantillonnage et surveillance pour évaluer la perte de salmonidés en fonction de l'élévation de la température des cours d'eau, ou d'oiseaux vulnérables à la superficie à mesure que les forêts sont fragmentées). Même si la surveillance des pressions que les perturbations d'origine humaine exercent sur les écosystèmes vivants peut être relativement simple, il est beaucoup plus difficile de déterminer le point au-delà duquel un système en bonne santé devient en mauvaise santé ou auquel un système durable devient non durable (c.-à-d. le point « T »). La résistance et le rendement des systèmes complexes sont de plus difficiles à mesurer.

Karr signale qu'il ne suffit pas de mesurer l'influence cumulative de la société humaine (p. ex. quantités de ressources extraites ou d'effluents produits) ou de calculer la valeur économique des écoservices pour la société humaine<sup>18</sup>. Karr signale qu'il faut suivre attentivement et de façon générale l'état du biote des endroits qui subissent l'influence de la société humaine. Il établit une distinction claire entre le « biote » et l'« écosystème » et signale qu'un écosystème peut très bien continuer d'exister indépendamment des interventions et des effets de la société humaine, mais que les impacts humains en question peuvent avoir, sur des espèces individuelles de flore et de faune, des effets différents qu'il faut suivre. Suivre l'état de ces biotes clés, c'est comme suivre le capital d'un compte en banque. En ce qui concerne les points d'équilibre (T), Karr indique que des éléments constitutants différents du biote ont des points d'équilibre différents et que des combinaisons différentes d'interventions humaines dans une région produiront des points d'équilibre dont le seuil pourra différer. Au lieu de « seuils d'équilibre » précis, Karr entrevoit un déclin monotone qui suit un gradient complexe d'interventions humaines. L'indice d'intégrité biologique (IIB) de Karr, que nous abordons plus loin, est un système de comptabilité de l'écosanté qui regroupe des mesures multiples d'états biologiques du biote dans une région donnée.

## 2.4 Comment évaluer les écosystèmes comme systèmes vivants?

Comment concevoir un système de mesure et de surveillance de l'intégrité et de l'état de santé écologiques qui (a) suit une démarche globale et (b) établit un rapprochement avec nos systèmes de mesure plus linéaires, y compris une démarche fondée sur le « capital » pour mesurer le capital naturel et les écoservices? Un débat important sur la question commence à prendre forme<sup>19</sup>.

James Kay, un des principaux penseurs du Canada dans le domaine de la mesure de l'intégrité des écosystèmes, signale que le caractère complexe, non déterminé, auto-organisateur et imprévisible de la dynamique des écosystèmes complique l'opérationnalisation du concept de l'intégrité et la production de rapports à ce sujet. Les écosystèmes connaissent des changements rapides et catastrophiques et évoluent constamment dans le temps et l'espace, ce qui exigera une stratégie à la fois d'analyse et de synthèse pour comprendre comment les interactions entre les

éléments constitutants de l'écosystème (holons) et l'influence humaine se traduisent en intégrité des écosystèmes<sup>20</sup>. Kay<sup>21</sup> semble moins certain qu'il est possible de mesurer vraiment l'intégrité des écosystèmes. Il soutient que ni une démarche réductionniste ni une approche holistique ne suffisent. Il faut adopter un point de vue axé sur des systèmes complets pour comprendre la complexité des relations entre les sous-systèmes et leurs éléments constitutants dans un cycle de naissance, de croissance, de mort et de renouvellement. Kay parle dans ce cas de succession des états ou des phases du cycle de vie « en huit » de Holling<sup>22</sup>—cycles nichés d'échelles à la fois temporelles et spatiales fondées sur la compréhension de la théorie des catastrophes. Kay montre un cycle de vie en huit qui passe de l'exploitation à la conservation à la libération et à la réorganisation et qui recommence ensuite par une nouvelle phase d'exploitation, ou passe à un état modifié complètement nouveau.

Karr et Kay appuient tous deux le concept selon lequel pour opérationnaliser la mesure de l'intégrité des écosystèmes, il faut d'abord mesurer les changements de leur structure organisationnelle, comme la diversité des espèces, ainsi que les impacts de l'humanité qui ont un effet sur l'intégrité écologique. Il faut donc définir une série de caractéristiques écologiques dont il faut suivre l'évolution par rapport à un état repère ou de référence (c.-à-d. virginal). Il faudra des mesures de l'intégrité pour plusieurs échelles et niveaux hiérarchiques différents qui sont sensibles aux enjeux biologiques et socioéconomiques à l'intérieur de biorégions. Des mesures aideront à diagnostiquer l'état global de l'écosystème, tandis que d'autres viseront avant tout des menaces à l'intégrité qui sont connues et précises. Nous devons aussi comprendre comment les éléments constitutants des écosystèmes (p. ex. espèces) réagissent aux impacts naturels et humains (que Karr considère comme les bases de son IIB).

Kay signale que la façon de traiter le comportement catastrophique des écosystèmes a des répercussions importantes sur la mesure. Les écosystèmes peuvent avoir plusieurs états stables et les changements soudains sont normaux (p. ex. incendie, épidémies de parasites). Il ne suffit pas de connaître la valeur courante des variables environnementales pour connaître l'état de l'écosystème, parce qu'il faut aussi en connaître les antécédents et la suppression de ces changements soudains ne fait que rendre le système vulnérable à des changements plus importants par la suite.

Pour quantifier les changements de la structure des écosystèmes, il faudra évaluer et contrôler périodiquement les aspects biologiques, déterminer les changements d'utilisation des terres et les types de couverture au moyen de photographies aériennes et surveiller les répercussions de l'activité humaine. Il faut à cette fin comprendre (a) la composition d'un écosystème en bonne santé selon un spectre d'intégrité (depuis l'état « virginal » jusqu'à celui où il n'y plus « aucune vie », selon la figure 1 de Karr), (b) les déterminants clés (c.-à-d. espèces indicatrices clés ou paramètres d'état clés) de la fonctionnalité de l'écosystème et (c) l'environnement plus général de fonctionnement et d'interdépendance de ces éléments constitutants. Enfin, il faut régler des questions d'évaluation. Comme le signale Kay, « Quelles valeurs des mesures de l'intégrité jugera-t-on avoir perdues? Qui prendra cette décision et qui agira<sup>23</sup>? » Kay propose un cadre utile d'évaluation de l'intégrité écologique fondé sur une approche écosystémique graduelle (voir annexe A).

Boyle et Kay (1996) ont conçu le cadre conceptuel d'une « stratégie écosystémique adaptative » pour élaborer des indicateurs de l'intégrité des écosystèmes (voir figure 3, annexe A). Leur cadre

décrit des facteurs dont il faut tenir compte dans l'élaboration d'un système efficace de surveillance de l'intégrité des écosystèmes.

Rubec et Marshall (cités dans le document de Kay<sup>24</sup>) définissent trois priorités que le Canada doit appliquer dans l'évaluation de l'intégrité des écosystèmes et dont il sera utile de tenir compte dans le contexte de l'IDDE de la TRNEE :

- Il faut d'abord intégrer et résumer l'information sur l'activité humaine et les écorégions d'un bout à l'autre du Canada.
- Pour élaborer des mesures nationales de la santé et de l'intégrité des écosystèmes, il faudra aussi créer un réseau national de sites de référence et de comparaison stables, protégés et comparables, à raison d'au moins un tel site par écorégion.
- Nous devons assurer que les sites et les réseaux actuels de surveillance interdisciplinaire sont maintenus de façon à produire l'optique à long terme essentielle à la surveillance. Ces sites et réseaux comprennent la région des lacs expérimentaux et les bassins hydrographiques de Dorset, Turkey Lakes, lac Laflamme et Kejimikujik créés dans le contexte du programme national de réduction des pluies acides.

En terminant, même si un cadre méthodologique d'évaluation de l'intégrité des écosystèmes a fait son apparition, l'application pratique de ces systèmes d'évaluation évolue encore. La production de rapports sur les tendances des pressions exercées par l'activité humaine sur diverses biorégions constituerait tout au moins un premier pas vers la mesure de la santé et de l'intégrité des écosystèmes.

### **3. Stratégie pratique de mesure de l'intégrité des écosystèmes**

---

Ce chapitre présente certains des outils et des démarches pratiques d'évaluation de l'intégrité des écosystèmes qui commencent à faire leur apparition. Des indices composés comme l'indice de l'intégrité biologique (IIB) de Karr, l'indice « Planète vivante » (Fonds mondial pour la nature<sup>25</sup>), le bilan de l'état de l'écosystème<sup>26</sup> de l'Institut des ressources mondiales, l'analyse de l'empreinte écologique et les indices de fragmentation des écosystèmes forestiers (p. ex. indice de l'intégrité et de la fragmentation des forêts de l'IPV du Pembina Institute) sont porteurs de promesses.

#### **3.1 Systèmes possibles d'indicateurs de l'intégrité écologique et de production de rapports**

Boyle (1998)<sup>27</sup> propose un cadre utile pour stratifier et structurer en trois niveaux de catégories ce qui pourrait constituer une liste importante d'indicateurs de l'intégrité écologique. Les indicateurs de l'intégrité écologique du niveau I peuvent servir immédiatement. Ils ont d'autres caractéristiques : (a) ils sont axés sur les résultats, valides sur le plan scientifique, solides sur les plans statistique et analytique, et pratiques, et (b) les données sont comparables au fil du temps, compréhensibles pour des utilisateurs éventuels, sans ambiguïté et faciles à utiliser. Les indicateurs du niveau II sont utilisables, comme on l'a démontré, mais on ne recueille pas encore de données, on manque de données historiques, ou la couverture géographique est insuffisante.

Les indicateurs du niveau III démontrent que la mesure pourrait être valable, mais d'autres recherches scientifiques ou études de cas s'imposent pour en confirmer l'utilité.

Outre cette liste produite par Boyle, l'inventaire des indicateurs d'écosystèmes établi par Delaney and Associates<sup>28</sup> pour le Groupe de concertation des terres et des sols de l'IDDE de la TRNEE constitue aussi le début d'une série possible d'indicateurs permettant de mesurer les pressions qui s'exercent sur les écosystèmes et de mesurer certains aspects de leur fonctionnalité et de leur intégrité. Cette liste est classée en catégories : indicateurs de mesure *directe*, indicateurs des *exigences* imposées aux écosystèmes et indicateurs des *résultats* des services qui en sont tirés.

#### **Indicateurs de mesure directe**

- Indicateurs de la santé des prairies dans les zones d'entraînement militaire.
- Fragmentation de l'habitat fondée sur les superficies de moins de 20 hectares, de 20 à 40 hectares et de plus de 40 hectares comparativement au nombre de fragments.
- Pourcentage estimatif de la superficie des terres forestières riveraines des provinces exploitées au cours des 20 dernières années.
- Superficie en hectares des principaux écosystèmes terrestres.

#### **Indicateurs des exigences**

- Information sur les rejets annuels de substances tirée de l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP).
- Déchets solides municipaux rejetés dans les décharges.
- Déchets domestiques et recyclage.
- Superficie où le dépôt de sulfates en milieu humide dépasse les charges critiques.
- Déversements de substances toxiques dans les écosystèmes de l'Arctique.
- Taux de contaminants dans les œufs du cormoran à aigrettes (p. ex. DDE et BPC).
- État des terres inondées de l'Alberta (indicateur n° 43 de l'IPV).

#### **Indicateurs des résultats**

- État de santé des prairies à herbe haute fondé sur des espèces indicatrices clés de coléoptères et d'araignées.
- Pourcentage des animaux connus qui sont « menacés ».
- Statut des espèces en péril selon les évaluations du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC).
- Populations d'oiseaux sauvages comme indicateur de l'habitat et de l'agroenvironnement.
- Nombre d'espèces menacées.
- Pourcentage des étangs de prairie dont les marges ou le bassin sont touchés par les méthodes d'agriculture.
- Dénombrement des oiseaux à Noël dans la ville de Calgary.
- Pourcentage de la plage historique où les populations fauniques augmentent ou diminuent.
- Phytodiversité dans des prairies semi-améliorées et au « bord des cours d'eau ».
- Bases de données ou indicateurs possibles des tendances de l'évolution de l'utilisation des terres (cet indicateur s'applique aux trois catégories).

La liste de Boyle et celle de Delaney and Associates montrent qu'il n'y a pas de façon facile d'organiser les indicateurs—ils ne s'intègrent pas dans un système comptable structuré et il n'y a pas de bonne ni de mauvaise série d'indicateurs. On pourrait mettre au point un système de comptabilité qui pourrait faire partie du système de comptabilité des ressources naturelles et de l'environnement de Statistique Canada pour (a) tirer des données de comptes auxiliaires qui incluraient des indicateurs directs, de la demande et des résultats, ou (b) dériver des indicateurs des résultats en fonction des types d'écosystèmes.

Steven Woodley (1997)<sup>29</sup> a mis au point un cadre d'évaluation de l'intégrité écologique des **parcs nationaux** du Canada et de production de rapports en la matière fondé sur les grands paramètres que constituent la biodiversité, les fonctions écosystémiques (résilience, potentiel d'évolution) et les agresseurs.

Ted Weins a utilisé des données sur les prairies tirées de l'enquête de Statistique Canada sur l'agriculture pour proposer un **indicateur de l'habitat des prairies** dans le cas des écosystèmes agricoles<sup>30</sup>. L'indicateur de l'agrobiodiversité vise à suivre l'évolution de la biodiversité dans les systèmes agricoles en mesurant les changements de disponibilité de l'habitat, ainsi que de la diversité et de l'abondance des espèces. L'indicateur permettrait de suivre les progrès réalisés vers une agriculture durable sur le plan environnemental<sup>31</sup>.

Wrona, Cash et Gummer décrivent la mise au point d'**indicateurs des écosystèmes aquatiques** dans le contexte de l'Étude sur les bassins des rivières du Nord (EBRN)<sup>32</sup>. Un des principaux objectifs de l'étude consistait à définir une série possible d'éco-indicateurs que l'on pourrait utiliser pour évaluer l'état de santé actuel et futur des écosystèmes aquatiques de ces bassins.

Les travaux de surveillance et d'évaluation des **systèmes aquatiques** réalisés par David Schindler<sup>33</sup> dans la région des lacs expérimentaux ont produit presque 30 ans de dossiers sur la température, le débit des cours d'eau, la chimie des cours d'eau et des lacs, ainsi que sur les variables physiques, chimiques et biologiques<sup>34</sup>. Cette étude longitudinale importante offre le genre de renseignements sur les écosystèmes de référence dont on a besoin pour interpréter les résultats d'expériences menées sur des systèmes vivants de lacs au complet.

Stan Boutin<sup>35</sup>, de l'University of Alberta, commence à élaborer un cadre et un mécanisme de production de rapports pour les indicateurs de l'**intégrité des écosystèmes des forêts boréales** qui pourraient servir de base à des évaluations de l'intégrité d'écosystèmes terrestres.

**La cartographie et l'analyse spatiale par satellite** (p. ex. analyse SIG) effectuées par des organismes comme Ressources naturelles Canada et Environnement Canada constituent des outils importants pour l'établissement du profil de l'intégrité d'écosystèmes et la cartographie de l'intégrité fonctionnelle d'écosystèmes fondée sur divers paramètres. Le système d'alerte rapide du Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques (RÉSÉ) d'Environnement Canada doit surveiller les activités écologiques au Canada<sup>36</sup>. « Un système national d'alerte rapide doit reposer sur notre capacité à détecter des changements écosystémiques significatifs. Nous pourrions ainsi créer un « mécanisme déclencheur » dissocié des causes<sup>37</sup> ». Il sera possible d'établir des profils écologiques fondés sur tout un éventail de domaines de recherche (p. ex. espèce, temps, lieu, agence, paramètre chimique) qui permettra de visualiser les résultats sous forme de listes de sources de données ou de carte géospatiale<sup>38</sup>.

On peut aussi utiliser l'imagerie par satellite pour construire des mesures de l'intégrité d'écosystèmes comme des profils d'indices de surface foliaire\* ou des profils de productivité primaire nette. Ces données permettraient de mettre au point des profils de productivité écosystémique codés par couleurs à des résolutions de 30 mètres ou moins. Les milieux de la recherche scientifique ont une grande partie de ces renseignements, qui ne servent toutefois pas pour la production de rapports publics<sup>39</sup>. En combinant l'imagerie par satellite et les données sur l'utilisation des terres et l'impact de l'activité humaine que l'on pourrait héberger dans les comptes des ressources naturelles et de l'environnement tenus par Statistique Canada, on pourrait créer pour le Canada un système solide de surveillance de l'intégrité des écosystèmes et de production de rapports.

## 3.2 Indices composés

La mise au point d'indices composés constitue une des façons les plus innovatrices d'aborder la production de rapports sur l'intégrité des écosystèmes. La force des indices composés réside dans leur capacité de présenter en une seule mesure une question complexe comme l'intégrité écologique. Les hypothèses qu'il faut poser au sujet de la pondération de l'importance de chaque élément constituant de l'indice composé et les jugements de valeur qu'il faut porter pour choisir les indicateurs qui constitueront l'indice composé constituent leur faiblesse.

### 3.2.1 Indice de l'intégrité biologique (IIB)

L'**Indice de l'intégrité biologique**, ou IIB, de James Karr (2001)<sup>40</sup> constitue un des indices composés les plus complexes, mais qui demeure quand même élégant. L'IIB est une mesure multiple constituée d'indicateurs biologiques qui, regroupés sous forme d'indice, peuvent servir à évaluer les tendances de l'état de santé global des écosystèmes touchés par les perturbations d'origine humaine par rapport à un état repère (c.-à-d. virginal ou sauvage). Cela signifie qu'il faut choisir des outils de veille biologique, des points de comparaison de l'état des écosystèmes et des paramètres clés qui sont sensibles aux perturbations d'origine humaine, et suivre ensuite l'état du site au fil du temps, à mesure que surviennent les perturbations d'origine humaine. Karr décrit les étapes à suivre pour produire un système d'évaluation qui déboucherait en fin de compte sur des indices biologiques comme l'IIB qui incluent des indicateurs de l'état biologique et couvrent de nombreux niveaux de l'organisation biologique—depuis la santé des individus jusqu'à la richesse en taxa et l'organisation trophique.

L'IIB repose sur un éventail d'indicateurs biologiques fondés sur des observations du monde réel et des états d'un écosystème, le tout reposant sur une théorie scientifique et biologique solide. On définit l'état idéal comme un état où les répercussions des perturbations d'origine humaine sont nulles ou minimales. On mesure ainsi le degré de santé « globale » en fonction de l'état relatif d'écosystèmes semblables déterminé à partir du point de repère de l'intégrité complète. Les méthodes utilisées pour évaluer les états ou les qualités de l'écosystème sont rigoureuses sur le plan scientifique. En ce qui concerne les critères qui régissent le choix des paramètres pertinents d'évaluation de la santé de l'écosystème, Karr adopte une méthodologie selon laquelle on choisit

---

\* Les profils sont fondés sur la cartographie détaillée du carbone qui montre les taux de fixation du carbone par la végétation.

les indicateurs parce qu'ils reflètent des réponses spécifiques et prévisibles d'organismes aux changements de l'état du paysage et aux répercussions de perturbations d'origine humaine— c'est-à-dire qu'ils sont sensibles à tout un éventail de facteurs physiques, chimiques et biologiques qui modifient les systèmes biologiques et qui sont relativement faciles à mesurer et à interpréter (Karr 2001).

Karr<sup>41</sup> décrit trois éléments constitutifs critiques nécessaires pour élaborer des IIB :

- il faut connaître les débits ou les flux économiques (production, extraction, pollution) corrigés des effets sur l'environnement;
- il faut connaître les enjeux de moindre envergure des ressources et des flux;
- il faut connaître les tendances de l'effluent produit par l'extraction des ressources naturelles.

L'IIB est solide sur le plan empirique, mais il n'a pas à trancher tous les débats théoriques sur les fonctions écologiques, car il vise avant tout les déterminants clés de la santé écologique. Les IIB sont utiles pour les stratèges puisqu'ils présentent un indice macroéconomique de l'intégrité écologique à des échelles pertinentes (p. ex. bassins hydrographiques, écosystèmes forestiers) et selon des groupements taxonomiques qui reflètent les retombées de l'activité humaine.

La méthodologie IIB de Karr<sup>42</sup> a servi à évaluer l'état des systèmes aquatiques (rivières et cours d'eau) et des efforts en cours visent à l'appliquer à des écosystèmes terrestres comme les forêts (Loucks 2000)<sup>43</sup>. Stan Boutin<sup>44</sup> l'applique en Alberta et on l'utilise maintenant aux États-Unis<sup>45</sup>. La méthodologie de l'IIB convient peut-être mieux pour évaluer les systèmes aquatiques parce que la veille biologique et les indicateurs de l'intégrité des systèmes sont mieux développés et que les systèmes aquatiques tendent vers l'équilibre plus rapidement que l'écosystème terrestre face au stress ou aux perturbations.

Dans ses travaux sur l'intégrité de l'écosystème terrestre, Loucks<sup>46</sup> établit une distinction entre les répercussions de perturbations naturelles (p. ex. vent, sécheresse, maladie, feu) et celles de l'activité humaine (comme le prélèvement de bois d'œuvre et les perturbations linéaires). Loucks a construit un **indice de l'intégrité fonctionnelle moyenne (IFM)** qui ressemble à l'IIB.

Lorsqu'on évalue la santé de l'écosystème forestier, la question clé consiste à déterminer l'ordre de grandeur de l'écart naturel par rapport à la fonctionnalité ou à l'intégrité complète. Tant qu'un système est capable de retrouver sa fonction complète, on peut dire qu'il est résilient ou en bonne santé, même s'il y a des écarts mesurables par rapport à l'intégrité totale à cause de perturbations d'origine naturelle ou humaine.

La construction d'IIB ou d'indices d'IFM portant sur des écosystèmes aquatiques et terrestres pour le système de production de rapports sur les indicateurs de l'environnement et du développement durable du Canada constitue une démarche viable, mais il faut s'engager à créer une base de données et un système de comptabilité nationaux pour compléter les mesures et les indicateurs clés<sup>47</sup>.

### 3.2.2 Indice « Planète vivante »

Le Fonds mondial pour la nature (FMN) a mis au point l'indice « Planète vivante » (IPV), qui mesure la richesse naturelle des forêts, des écosystèmes d'eau douce, des océans et des côtes de

la Terre à l'échelon de la planète et peut produire des rapports au niveau des écosystèmes et des pays. On construit l'IPV en établissant la moyenne de trois indices des changements chronologiques des populations d'espèces animales dans des écosystèmes forestiers (Indice de l'écosystème forestier mondial), d'eau douce (Indice des espèces d'eau douce) et marins (Indice des populations des espèces marines). L'IPV représente un type d'indicateur « d'état » qui vise avant tout à dénombrer des populations d'espèces animales. L'indice de chaque écosystème mesure l'évolution chronologique d'une population typique de l'échantillon d'espèces qui constituent l'indice.

L'Indice « Planète vivante » présente une mesure utile de l'état des écosystèmes en fonction des populations d'espèces fauniques clés. L'IPV est facile à transmettre et significatif puisqu'il représente les tendances au fil du temps par rapport à une année repère qu'il est possible de comparer à d'autres indicateurs du capital naturel, économique, humain et social. L'IPV est un système de comptabilité des populations d'espèces que l'on pourrait conjuguer au système de surveillance des espèces en péril du Canada mis au point par le COSEPAC pour surveiller des populations d'espèces<sup>48</sup>.

### 3.2.3 L'empreinte écologique

L'empreinte écologique (EE) mise au point par Mathis Wackernagel et Bill Rees<sup>49</sup> est une estimation conservatrice des pressions exercées par l'activité humaine sur les écosystèmes mondiaux. Cet indice est relié à la consommation d'énergie et de biens matériels des ménages par rapport à une estimation de la capacité de production biologique des écosystèmes terrestres et marins pour la génération d'écoservices essentiels dont l'humanité dépend. L'analyse de l'empreinte écologique (AEE) convertit la consommation d'aliments, d'énergie et d'autres matières (et utilise les données sur les dépenses de consommation personnelles comme substitut de la consommation de matières physiques) en superficie équivalente de terres productives sur le plan biologique qu'il faudrait pour produire les aliments, l'énergie et les autres matières nécessaires pour répondre aux besoins de l'humanité. L'EE de toute personne représente la somme de six éléments constitutants distincts :

1. la superficie de terres cultivables nécessaire pour produire les récoltes consommées par la personne;
2. la superficie de pâturages nécessaire pour produire les produits animaux nécessaires;
3. la superficie des forêts nécessaire pour produire le bois et le papier;
4. la superficie marine nécessaire pour produire le poisson et les produits de la mer d'origine marine;
5. la superficie terrestre nécessaire pour le logement et l'infrastructure;
6. la superficie forestière nécessaire pour absorber les émissions de CO<sub>2</sub> découlant de la consommation d'énergie de la personne en cause<sup>50</sup>.

Le total de la superficie terrestre requise des six catégories individuelles représente l'empreinte écologique de la collectivité—la superficie « totale appropriée » de la nature pour fournir, maintenir et enlever tous les biens de consommation<sup>51</sup>. L'EE est exprimée en « unités de superficie » terrestre (en hectares), où chaque unité correspond à un hectare de superficie productive sur le plan biologique dont la productivité équivaut à la moyenne mondiale.

Ce qui rend si intéressante la comptabilité fondée sur l'empreinte écologique, c'est qu'il s'agit d'un des rares outils qui essaient de regrouper la comptabilité des ressources en une seule entité. L'analyse de l'empreinte écologique vise à mesurer à la fois le total des pressions exercées par l'activité humaine (consommation de capital naturel et stress imposé par les déchets rejetés dans la biosphère) et la capacité de production biologique à l'intérieur de laquelle fonctionnent les économies humaines. L'analyse produit un des outils les plus élégants de mesure de la durabilité en tenant compte à la fois de la consommation humaine de capital naturel et de l'intégrité des écosystèmes nécessaires pour produire des ressources et des écoservices. L'évaluation de la capacité biologique repose sur le travail original de Vitousek et coll. (1986)<sup>52</sup>, qui évaluent l'appropriation de productivité primaire nette de la biosphère. L'analyse de l'empreinte écologique est conforme aux principes de base de la thermodynamique, car elle évite de compter en double. L'empreinte correspond ainsi approximativement à l'impact cumulatif des activités humaines et prévient de tout « dépassement »<sup>†</sup> de la capacité biologique. L'empreinte écologique a ses partisans et ses critiques, mais en dépit de ses limites, elle décrit vraiment une condition minimale de la durabilité écologique—c'est-à-dire qu'elle indique qu'un pays ou une région doit produire une empreinte écologique moindre que la capacité écologique disponible.

Comme d'autres indicateurs, l'EE et l'AEE ont leurs forces et leurs faiblesses. La livraison de mars 2000 d'*Ecological Economics: The Transdisciplinary Journal of the International Society for Ecological Economics* présente une discussion et un débat intéressants sur la méthodologie de l'empreinte écologique. Une des forces de l'AEE, c'est qu'elle bâtit sur l'importance critique du capital naturel pour le mieux-être économique et propose un cadre comparatif et intégré de comptabilité du capital naturel<sup>53</sup>.

Des critiques de la méthode de l'empreinte écologique<sup>54</sup> signalent qu'elle peut être trompeuse, car elle ne saisit pas l'éventail complet des impacts importants sur le plan écologique, comme l'effet des rejets de déchets toxiques. Van den Bergh et Verbruggen (1998) présentent cinq objections clés à l'analyse de l'empreinte écologique<sup>55</sup>. On lui reproche de trop simplifier la nature et la société, d'avoir peu de valeur prédictive et de ne pas être sensible aux changements technologiques<sup>56</sup>. Rapport (2000)<sup>57</sup> signale que le calcul de l'analyse de l'empreinte écologique ne suffit pas pour décrire la relation entre l'impact des personnes sur des systèmes naturels entiers et vivants. Ce qu'il faut, soutient Rapport, c'est évaluer comment les activités humaines ont entraîné la dégradation de nombreux écosystèmes et causé l'état pathologique où se retrouvent des systèmes auparavant en bonne santé, compromettant ainsi l'activité économique, la santé humaine et le bien-être communautaire. Rapport signale que les indicateurs de pathologie de l'écosystème et du « syndrome de détresse écosystémique » incluraient les pertes de la biodiversité, le déclin des espèces indigènes qui existent depuis longtemps et la perte de résilience.

D'autres chercheurs essaient d'améliorer le modèle EE original de nombreuses façons importantes. C'est notamment le cas de Deutsch et de ses collaborateurs (2000)<sup>58</sup>, qui établissent

---

<sup>†</sup> Les écologistes définissent le « dépassement » comme un état où les stocks de capital naturel sont exploités plus rapidement qu'ils peuvent se régénérer, ce qui les épuise. Wackernagel et Silverstein (2000) signalent que certains craignent que l'humanité dépasse la dynamique des pêches là où les taux non durables de prélèvement peuvent provoquer un effondrement rapide, soudain et systémique d'écosystèmes et causer ainsi des dommages irréversibles aux stocks de la ressource en cause.

des estimations d'EE d'aval en amont en utilisant d'abord des données écologiques disponibles et en se fondant sur leur compréhension du rendement des écosystèmes locaux et régionaux<sup>59</sup>. Deutsch et ses collaborateurs considèrent l'EE comme un « excellent moyen de diffuser la dépendance de l'humanité à l'égard des écosystèmes qui maintiennent la vie » parce que cette technique montre aux gens dans quelle mesure ils dépendent des écosystèmes pour produire des ressources et des services qu'ils auraient pu ne pas reconnaître sans une telle comptabilité. Ils soutiennent que l'EE est un moyen de mobiliser la population, de concrétiser l'effet des styles de vie sur la résilience, la capacité d'adaptation et la capacité de renouvellement d'écosystèmes complexes.

Nous sommes d'avis que la comptabilité et l'analyse EE peuvent et doivent jouer un rôle clé dans la comptabilité de la durabilité et la production de rapports en la matière. Il faut bâtir sur les forces actuelles de cette méthode et nous attaquer à ses faiblesses en augmentant la recherche et le développement. Il est possible d'effectuer une comptabilité de l'empreinte écologique en combinant le système national de comptabilité du revenu de Statistique Canada (pour mesurer l'EE en fonction des dépenses de consommation personnelles) et le système de comptabilité de l'environnement et des ressources naturelles.

### 3.2.4 Bilan de l'état des écosystèmes de l'Institut des ressources mondiales

Dans le contexte de la production de rapports conjoints en partenariat avec le Programme des Nations Unies pour le développement, le Programme des Nations Unies pour l'environnement et la Banque mondiale, l'Institut des ressources mondiales (IRM) insiste sur le fait qu'il faut rendre compte de l'état des écosystèmes du monde et a mis au point un bilan de l'état des écosystèmes. Les premiers résultats ont été publiés dans *Ressources mondiales 2000-2002—Les peuples et les écosystèmes : la dégradation du réseau vital* dans le contexte de son initiative d'évaluation du millénaire des écosystèmes mondiaux<sup>‡</sup>.

L'analyse de l'IRM repose sur « l'Analyse pilote des écosystèmes mondiaux » (APEM), qui examine l'état des écosystèmes côtiers, forestiers, agricoles, des prairies et des eaux douces en fonction de la capacité de produire les biens et les services sur lesquels le monde compte actuellement. Ces services comprennent la production d'aliments, la fourniture d'eau pure et en quantités suffisantes, le stockage du carbone atmosphérique, le maintien de la biodiversité et l'offre de possibilités récréotouristiques. Ces conditions sont indiquées dans un « bilan » où l'on présente un éventail d'états (qui varient « d'excellent à bon, moyen, médiocre, mauvais ou non évalué ») selon le type d'écosystème dans des tableaux croisés fondés sur les fonctions de l'écoservice. Ces cotes de l'état sont représentées par un code couleur, tandis que les tendances de la capacité de ces écosystèmes sont indiquées au moyen de flèches tendanciennes (à la hausse, mixte [à la hausse ou à la baisse], à la baisse ou inconnue). La cote est fondée sur des jugements d'experts (ce qui constitue sa principale faiblesse) au sujet de chaque bien ou service écosystémique au fil du temps et tirés de tout un éventail de données. Le bilan écologique de l'IRM est un bon exemple de système de comptabilité fondé sur la pression et l'état où l'on conjugue l'information sur les tendances de la consommation humaine de capital naturel et les indicateurs de l'intégrité des écosystèmes en se fondant sur des renseignements reliés à l'espèce et à la superficie des terres. Le système de production de rapports présente un attrait intuitif lorsqu'il s'agit de diffuser à la fois des états courants et des tendances des états des écosystèmes

<sup>‡</sup> Voir <http://www.wri.org/wr2000/index.html>

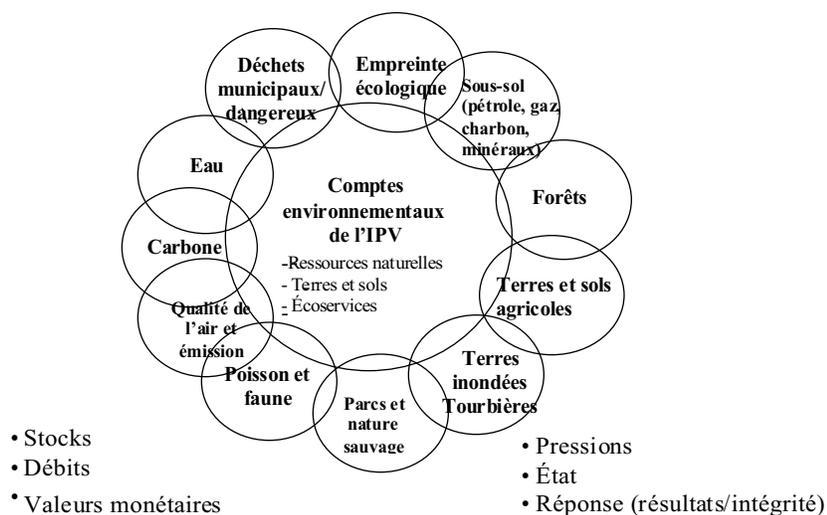
en fonction de diverses fonctions écosystémiques. Le bilan de l'état des écosystèmes de l'IRM constitue un outil véritable de comptabilité et de production de rapports sur lesquels le Canada devrait se pencher.

## 4. Les comptes environnementaux de l'IPV de l'Alberta pour la mesure de l'intégrité écologique

Les comptes du bien-être durable de l'IPV de l'Alberta (voir [www.pembina.org](http://www.pembina.org)) montrent ce qu'il est possible de faire dans l'élaboration d'un système de comptabilité du capital naturel et les services environnementaux que l'on pourrait utiliser pour rendre compte de l'intégrité des écosystèmes. Les comptes des ressources naturelles et de l'environnement de l'IPV de l'Alberta ont été structurés comme sous-comptes autonomes et ensemble intégré de comptes (voir le tableau 2 de l'annexe B qui contient une liste des indicateurs des comptes environnementaux de l'IPV).

**Figure 2 : Intégration des comptes environnementaux de l'IPV de l'Alberta pour mesurer l'intégrité des écosystèmes**

### Comptes environnementaux de l'IPV de l'Alberta



Les comptes environnementaux de l'IPV reposaient en partie sur le modèle de comptabilité des ressources naturelles et de l'environnement mis au point par Statistique Canada, à quelques exceptions près et ajouts apportés à l'ensemble des comptes auxiliaires. La structure de comptabilité de l'Alberta est conforme à la méthode de mesure du « capital » naturel préconisée par Statistique Canada pour le projet IDDE. Les comptes de durabilité de l'IPV de l'Alberta suivent 40 ans de tendances des stocks, des flux, des pressions, de l'état du capital naturel

renouvelable et non renouvelable et des écosystèmes de l'Alberta (c.-à-d. forêts, terres inondées, tourbières). Le compte inclut aussi une analyse de l'empreinte écologique. Même si elle n'est pas encore entièrement intégrée, la structure de comptabilité de l'IPV permet d'élaborer une structure de comptabilité des systèmes dynamiques « vivants » qui convient pour surveiller l'intégrité des écosystèmes et construire des indices de mesures élégants comme l'IIB de Karr, et pour en faire rapport.

## 5. Conclusions et recommandations

---

L'évaluation de la capacité biologique, de l'intégrité ou de la santé des écosystèmes est compliquée et représente un défi. Il n'y a pas de méthodologie simple ou facile : il y a plutôt des méthodes que nous pouvons utiliser pour produire des mesures et des rapports significatifs. Comprendre les écosystèmes comme des systèmes vivants, dynamiques et parfois chaotiques et comptabiliser ces caractéristiques, c'est un problème sans pareil, surtout dans les systèmes de comptabilité linéaire traditionnelle. Pour suivre une stratégie de comptabilité des systèmes vivants, il faudra un système créatif de production de rapports qui sera sensible à la phase du cycle de vie de tout écosystème observé et mesuré. Une telle comptabilité exigera un système de mesure des aspects structurels et fonctionnels de l'intégrité des écosystèmes. Cela signifie qu'il faudra organiser différents outils de mesure et de diagnostic et les gérer dans le contexte d'un système d'information globale qui combine la comptabilité des pressions exercées par l'humanité avec la cartographie spatiale.

Des mesures comme l'IIB de Karr pourraient produire un profil solide des écosystèmes tant aquatiques que terrestres, fondé sur un système intégré de surveillance biologique et de comptabilité d'évaluation. Il faudra toutefois des années pour mettre au point de tels systèmes, qu'il faut maintenir au moyen d'une veille biologique régulière. Même si l'on a réalisé des progrès dans l'élaboration d'IIB aquatiques, des mesures semblables pour les écosystèmes terrestres en sont à leurs premiers pas. D'autres indicateurs composés comme l'empreinte écologique présentent un attrait intuitif et on pourrait les construire au moyen de données existantes de Statistique Canada à l'échelon national et provincial, voire même communautaire et municipal dans certains cas. Il y a encore toutefois du travail à faire pour déterminer la capacité écologique.

Il n'y a pas de bonne ni de mauvaise façon de mesurer l'intégrité des écosystèmes compte tenu de la complexité des systèmes vivants dynamiques. On peut toutefois prendre des mesures pratiques et mettre au point des indicateurs afin de mieux connaître l'intégrité. Tout d'abord, nous pouvons comptabiliser les tendances des pressions exercées par l'activité humaine et les exigences imposées aux écosystèmes, y compris les stocks et les flux de ressources naturelles, et définir des substituts de l'état des écosystèmes (p. ex. qualité de l'air et de l'eau) à l'échelon national, provincial et écorégional. À cette fin, on pourrait utiliser les systèmes existants de comptabilité des ressources naturelles et de l'environnement que Statistique Canada est en train de mettre au point. Deuxièmement, il faut prendre un engagement à l'égard de l'imagerie spatiale continue (« en temps réel ») et de l'analyse de photographies prises par satellite contenues dans les systèmes de SIG afin de produire des images codées par couleur de l'état de santé des écosystèmes. Troisièmement, nous avons besoin d'indices composés élégants comme l'IIB, l'empreinte écologique ou les bilans de santé des écosystèmes qui traduisent un éventail

complexe d'information en un indicateur clair et significatif que tous les Canadiens peuvent comprendre et qui constitue une mesure de la santé des écosystèmes aussi importante que le PIB l'est pour l'économie.

## Annexe A : Système d'évaluation des écosystèmes de James Kay

**Tableau 1 : Démarche écosystémique d'évaluation de l'intégrité écologique de Kay**

**A. Définir l'écosystème**

- a. Hiérarchie (perspective verticale, qu'est-ce qui fait partie de quoi?)
  - i. Définir les holons nichés (systèmes vivants nichés), ce qui définit les relations contextuelles.
- b. Ordre de grandeur (perspective horizontale (où commencent et finissent les choses?))
  - i. Quelles sont les limites de l'observation?
  - ii. Quels sont les processus qui définissent le tout?
  - iii. Quelles sont les limites de l'écosystème, le holon de convergence?
- c. Structure
  - i. Les liens verticaux et horizontaux entre les holons

**B. Décrire l'écosystème comme entité qui s'auto-organise**

- a. Modèles non linéaires: les relations de synergie, les cycles, les boucles de rétroaction, les mondes virtuels.
- b. Les attracteurs (état organisationnel) et leurs domaines.
- c. Quels sont les attracteurs?
  - i. Dans quelle direction l'écosystème aura-t-il tendance à se développer? Quelles sont les tendances? (La théorie auto-organisationnelle des structures dissipatives aide à répondre à la question.)
- d. Comment se comporte l'écosystème face aux attracteurs?
  - i. Homéostatique, stable, en équilibre, instable mais persistant, chaotique?
- e. Y a-t-il des points de bifurcation?
- f. Quels sont les points d'équilibre possibles ~~des~~ attracteurs?
  - i. Qu'est-ce qui déclenche les bascules?
  - ii. Comment les surveiller?
- g. Quelle est l'interdépendance entre l'énergie, l'exergie, l'information et les conditions de l'environnement (dans l'espace et le temps) qui façonnent l'écosystème?
  - i. Réfléchir attentivement à la structure en huit, à l'échelle et à l'ordre de grandeur, aux holons nichés, à leur interaction et à leurs liens, à l'information disponible pour l'écosystème et aux conditions environnementales où il doit vivre. (L'histoire écologique et la thermodynamique sans équilibre aident à répondre à cette question.)

**C. Comment évaluer l'intégrité de cet écosystème?**

- a. Quels états de l'organisation de l'écosystème acceptons-nous?
- b. Quels sont les phénomènes écologiques (à chaque niveau des niveaux nichés) ~~quels~~ nous attachons de la valeur ou dont nous avons besoin?
- c. Comment les identifier?
- d. Comment mesurer l'état de ces phénomènes (ce qui nous ramène à l'état ~~de~~ ~~ici~~-dessus)?
- e. Quels attracteurs représentent des conditions inacceptables de l'écosystème?

**D. Cette intégrité est-elle menacée?**

- a. Quelles forces de l'extérieur pourraient jouer sur l'état organisationnel du système?
- b. Utiliser la méthodologie ABCE nichée pour identifier les facteurs de l'extérieur qui influent sur l'organisation de l'écosystème (écologie ~~stress~~ réponse).
- c. Qu'est-ce qui fait pencher l'équilibre vers les attracteurs inacceptables (états de l'organisation de l'écosystème)?
- d. Comment les surveiller pour assurer que l'on ne franchit pas ces seuils?

**E. Comment maintenir l'intégrité dans ce système?**

- a. Comment atténuer les menaces connues?
- b. Comment promouvoir les influences positives (p. ex. feu dans une prairie)?
- c. Comment surveiller l'écosystème de façon à détecter les changements attribuables à des influences extérieures identifiées auparavant?

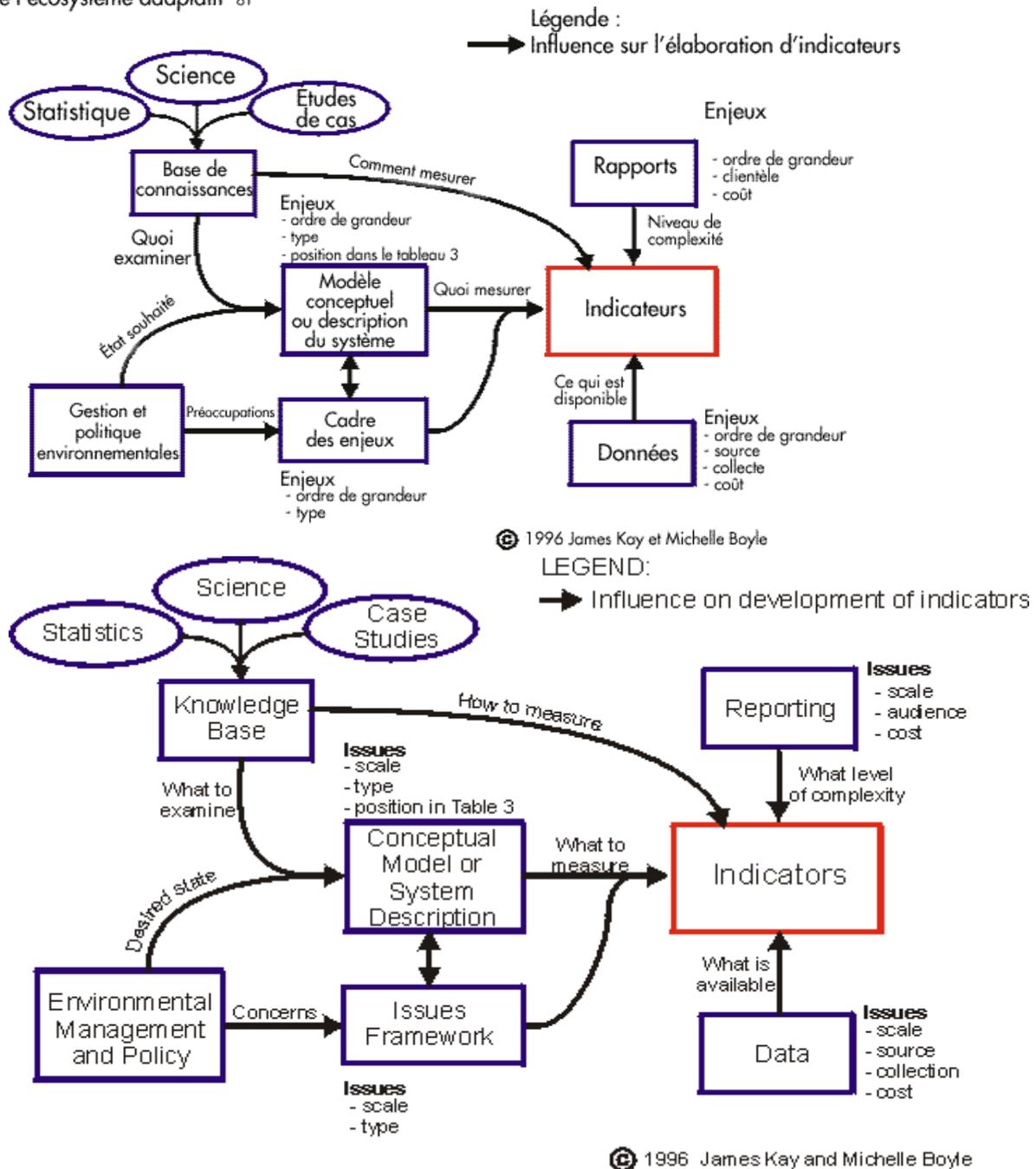
**F. Comment faire face à la complexité émergente?**

Tout compte fait, notre capacité prévisionnelle est sérieusement limitée. Il y aura des tendances et des événements inattendus. Des surprises arriveront et la complexité fera son apparition. Nous devons donc compter sur une gestion d'anticipation et d'adaptation. Voilà les défis que posent un système intégré dans

un autre système qui est intégré lui aussi dans un autre et le défi qui consiste à maintenir un système dynamique, changeant, en évolution, autoorganisateur, autoentraînant et adaptatif.

Source: Kay, James J. 1994. *Some notes on: The Ecosystem Approach, Ecosystems as Complex Systems and State of the Environment Reporting* Consulté le 3 octobre 2001 à l'adresse [www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html](http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html)

Figure 3 : Élaboration d'indicateurs dans le contexte de la démarche de l'écosystème adaptatif 61





## Annexe B : Comptes des ressources naturelles et de l'environnement de l'IPV de l'Alberta

**Tableau 2 : Comptes des ressources naturelles et de l'environnement de l'IPV de l'Alberta**

Comptes des ressources naturelles et de l'environnement de l'IPV de l'Alberta	Indicateurs de durabilité
Forêts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indice de durabilité du bois d'œuvre (ratio de la croissance annuelle sur le total annuelles épuisements)</li> <li>• Distribution selon l'âge des forêts (% des forêts restantes qui sont de «vieilles forêts»)</li> <li>• Taux de séquestration du carbone des écosystèmes forestiers</li> </ul>
Agriculture	<p>Indice de durabilité de l'agriculture, qui regroupe les paramètres suivants :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Rendement des récoltes</li> <li>b. Érosion des sols</li> <li>c. Salinité</li> <li>d. Utilisation de pesticides et d'herbicides</li> <li>e. Irrigation</li> <li>f. Dette agricole</li> </ol> <p>L'indice inclut aussi des mesures de l'utilisation des terres agricoles organiques et du carbone organique dans le sol (voir comptes du carbone)</p>
Ressources non renouvelables (pétrole, gaz naturel, sous produits du gaz et charbon)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durée des réserves de pétrole brut conventionnel</li> <li>• Durée des réserves de gaz naturel</li> <li>• Durée des réserves de pétrole brut synthétique/tiré du bitume (des sables bitumineux)</li> <li>• Durée des réserves de charbon (sous bitumineux, bitumineux)</li> </ul>
Intensité de l'utilisation de l'énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation d'énergie (GJ)</li> <li>• Émissions de GES</li> </ul>
Budget de carbone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ratio des émissions de gaz carbonique (toutes sources) sur la séquestration annuelle par les forêts, les tourbières et les terres agricoles.</li> </ul>
Intégrité des écosystèmes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indice de fragmentation des forêts (% des écosystèmes forestiers où l'on trouve un degré donné de perturbation linéaire et d'aménagement industriel).</li> <li>• Pourcentage des terres et de l'eau qui ont été désignées comme parcs, zones sauvages, «endroits spéciaux», ou qui ont une autre désignation.</li> </ul>
Biodiversité (halieutique et faunique)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveaux des populations des espèces halieutiques et fauniques</li> <li>• Liste des espèces en péril</li> </ul>
Terres inondées	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficie des terres inondées qui restent de la superficie originale (avant la colonisation)</li> </ul>
Tourbières	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficie des tourbières</li> <li>• Volume de tourbe récoltée</li> <li>• Contenu en carbone de la tourbe</li> </ul>

<b>Comptes des ressources naturelles et de l'environnement de l'IPV de l'Alberta</b>	<b>Indicateurs de durabilité</b>
Qualité de l'eau	Indice composé de la qualité de l'eau, y compris: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) effluent des usines de pâte</li> <li>b) pourcentage de la population municipale qui bénéficie d'un traitement tertiaire des eaux usées</li> <li>c) cas de <i>Giardiose</i> et de <i>Cryptosporidiose</i></li> <li>d) surveillance à long terme de l'oxygène dissous, de l'azote, du phosphore et des coliformes fécaux dans six grands cours d'eau de l'Alberta.</li> </ul>
Qualité de l'air et émissions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pourcentage du risque accru de décès pour Edmonton et Calgary attribué à des facteurs spécifiques à la ville</li> <li>• Changement des concentrations de monoxyde de carbone, de dioxyde d'azote, de dioxyde de soufre et d'ozone dans la pollution atmosphérique.</li> </ul>
Déchets toxiques (dangereux)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume des rejets et de stockage de matières toxiques</li> <li>• Volume de déchets toxiques (dangereux) éliminés</li> </ul>
Déchets dans les décharges	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume de déchets déposés dans les décharges</li> <li>• Pourcentage des déchets des décharges qui sont recyclés</li> </ul>
Empreinte écologique	Empreinte écologique par habitant (terre, eau et autres ressources nécessaires pour répondre aux besoins actuels de consommation des Albertains, aussi ventilés selon la catégorie de revenu et les principales villes).

## Notes

<sup>1</sup> Document préliminaire sur les indicateurs pour le Groupe de concertation sur les terres et les sols (GCPT) préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Delaney and Associates, 28 septembre 2001.

<sup>2</sup> Établir des indicateurs d'environnement et de développement durable en fonction du capital. Méthode proposée, préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Robert Smith et Claude Simard, Division des comptes et de la statistique de l'environnement, Statistique Canada, et par Andrew Sharpe, Centre d'étude des niveaux de vie, janvier 2001.

<sup>3</sup> Directives techniques pour le choix des indicateurs, préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Alice Born, Claude Simard et Robert Smith, Statistique Canada, octobre 2001.

<sup>4</sup> *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation, and Health*. D. Pimentel, L. Westra et R. Noss (éds.), Island Press Washington, DC, 2000.

<sup>5</sup> Boyle, M. 1998. *An Adaptive Ecosystem Approach to Monitoring: Developing policy performance indicators for Ontario Ministry of Natural Resources*. Thèse de maîtrise en études environnementales, University of Waterloo. Disponible à l'adresse [http://ersserver.uwaterloo.ca/jjkay/gard/mboyle/th\\_pdf.html](http://ersserver.uwaterloo.ca/jjkay/gard/mboyle/th_pdf.html)

<sup>6</sup> Kay, J.J. 1994. *The Ecosystem Approach, Ecosystems as Complex Systems and State of the Environment Reporting*. Disponible à l'adresse [www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html](http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html)

<sup>7</sup> Document préliminaire sur les indicateurs pour le Groupe de concertation sur les terres et les sols (GCPT) préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Delaney and Associates, 28 septembre 2001.

<sup>8</sup> Établir des indicateurs d'environnement et de développement durable en fonction du capital. Méthode proposée, préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Robert Smith et Claude Simard, Division des comptes et de la statistique de l'environnement, Statistique Canada, et par Andrew Sharpe, Centre d'étude des niveaux de vie, janvier 2001.

<sup>9</sup> Établir des indicateurs d'environnement et de développement durable en fonction du capital. Méthode proposée, préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Robert Smith et Claude Simard, Division des comptes et de la statistique de l'environnement, Statistique Canada, et par Andrew Sharpe, Centre d'étude des niveaux de vie, janvier 2001.

<sup>10</sup> Établir des indicateurs d'environnement et de développement durable en fonction du capital. Méthode proposée, préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Robert Smith et Claude Simard, Division des comptes et de la statistique de l'environnement, Statistique Canada, et par Andrew Sharpe, Centre d'étude des niveaux de vie, janvier 2001.

<sup>11</sup> Conversation personnelle avec M. James Karr, University of Washington, Seattle, Washington, 21 septembre 2001.

<sup>12</sup> *Webster's New World Dictionary*, Second College Edition, Prentice Hall Press, 1986, 645 pp.

<sup>13</sup> Karr, J.R. 2000. "Health, Integrity, and Biological Assessment: The Importance of Measuring Whole Things," dans D. Pimentel, L. Westra et R. Noss (éds.), *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation and Health*. Island Press, Washington, DC, pp. 209-226.

<sup>14</sup> Constanza, R. 1992. "Toward an operational definition of ecosystem health," dans R. Constanza, B.G. Norton et B.D. Haskell (éds.), *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Island Press, Washington, DC, pp. 239-256.

<sup>15</sup> Ulanowicz, R.E. 2000. "Toward the Measurement of Ecological Integrity," dans D. Pimentel, L. Westra et R. Noss (éds.), *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation and Health*. Island Press, Washington, DC, pp. 99-113.

<sup>16</sup> Ulanowicz, R.E. 2000. "Toward the Measurement of Ecological Integrity," dans D. Pimentel, L. Westra et R. Noss (éds.), *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation and Health*. Island Press, Washington, DC, pp. 99-113.

<sup>17</sup> Karr, J. 2000. "Health, Integrity, and Biological Assessment: The Importance of Measuring Whole Things," dans D. Pimentel, L. Westra et R. Noss (éds.), *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation and Health*. Island Press, Washington, DC, pp. 209-226.

<sup>18</sup> Message électronique personnel du 3 novembre 2001 de James Karr à Mark Anielski.

<sup>19</sup> Un important dialogue transdisciplinaire commence à prendre forme entre écologistes, économistes de l'écologie et épidémiologistes au sujet de l'enjeu que constitue l'intégrité écologique (*Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation, and Health*). D. Pimentel, L. Westra et R. Noss [éds.], 2000, Island Press, Washington, DC). Des écologistes comme James Kay, James Karr, Ellen Chu, Robert Ulanowicz, Oulie Loucks, Peter Miller, Mark Sagoff, Bill Rees, notamment (qui ont contribué à l'ouvrage susmentionné *Ecological Integrity*) ont apporté une riche masse opportune de connaissances au débat sur la façon de mesurer l'intégrité écologique.

- <sup>20</sup> Kay, J.J. 1994. *Some notes on: The Ecosystem Approach, Ecosystems as Complex Systems and State of the Environment Reporting* Consulté le 31 octobre 2001 à l'adresse [www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html](http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html)
- <sup>21</sup> Kay, J.J. 1994. *Some notes on: The Ecosystem Approach, Ecosystems as Complex Systems and State of the Environment Reporting* Consulté le 31 octobre 2001 à l'adresse [www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html](http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html)
- <sup>22</sup> Holling, C.S. 1986. "The Resilience of Terrestrial Ecosystems: Local Surprises and Global Change," dans *Sustainable Development in the Biosphere* W.M. Clark et R.E. Munn (éds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp.292–320.
- <sup>23</sup> Kay, J.J. 1994. *Some notes on: The Ecosystem Approach, Ecosystems as Complex Systems and State of the Environment Reporting* Consulté le 31 octobre 2001 à l'adresse [www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html](http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html)
- <sup>24</sup> Kay ne donne pas de référence au sujet de Rubec et Marshall.
- <sup>25</sup> Fonds mondial pour la nature. 2000 *Rapport « Planète vivante » 2000*, Gland, Suisse.
- <sup>26</sup> Voir [www.wri.org/wri/wr2000/scorecard.html](http://www.wri.org/wri/wr2000/scorecard.html) consulté le 14 septembre 2000.
- <sup>27</sup> Boyle, M. 1998. *An Adaptive Ecosystem Approach to Monitoring: Developing policy performance indicators for Ontario Ministry of Natural Resources*. Thèse de maîtrise en études environnementales, University of Waterloo. Disponible à l'adresse [http://ersserver.uwaterloo.ca/jjkay/gard/mboyle/th\\_pdf.html](http://ersserver.uwaterloo.ca/jjkay/gard/mboyle/th_pdf.html)
- <sup>28</sup> Document préliminaire sur les indicateurs pour le Groupe de concertation sur les terres et les sols (GC3) préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie par Delaney and Associates, 28 septembre 2001.
- <sup>29</sup> Woodley, S. 1997. *Développement d'indicateurs écologiquement intégrés au niveau des parcs nationaux canadiens*. Communication présentée à la Troisième réunion scientifique nationale le Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques, Saskatoon (Saskatchewan) du 21 au 25 janvier.
- <sup>30</sup> Weins, T. 1997. *Élaborer un indicateur significatif de l'habitat des Prairies*. Communication présentée à la Troisième réunion scientifique nationale le Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques, Saskatoon (Saskatchewan), 21 au 25 janvier.
- <sup>31</sup> Un système de surveillance de l'habitat agroécosystémique nous indiquerait l'importance de l'habitat en zone agricole, où il se trouve et comment on l'utilise ou le change. Dans son analyse, Weins signale que la superficie totale de terres agricoles au Canada est demeurée relativement stable depuis les années 70, tandis que celle de l'habitat faunique de qualité a diminué.
- <sup>32</sup> Wrona, F.J., Cash, K.J., et Gummer, Wm. 1997. *Développement d'un cadre de travail intégré pour la sélection d'indicateurs d'écosystèmes: l'étude des bassins des rivières du Nord en tant qu'exemple de cas*. Communication présentée à la Troisième réunion scientifique nationale le Réseau d'évaluation de surveillance écologiques, Saskatoon (Saskatchewan), du 21 au 25 janvier.
- <sup>33</sup> Schindler, D. 1997. *Que devrions-nous surveiller? Où? Pourquoi? Vingt-neuf ans de surveillance et d'évaluation écologique dans la région des lacs expérimentaux*. Communication présentée à la Troisième réunion scientifique nationale: le Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques, Saskatoon (Saskatchewan), du 21 au 25 janvier.
- <sup>34</sup> Les indicateurs comprennent la température du lac, l'azote, le phosphore, la silice et le COD (carbone organique dissous) utilisés pour surveiller l'intégrité ou la santé de ces systèmes aquatiques repères.
- <sup>35</sup> Conversation personnelle avec Stan Boutin, professeur d'écologie forestière, University of Alberta, 1<sup>er</sup> novembre 2001.
- <sup>36</sup> <http://eqb-dqe.cciw.ca/rese/emi/intro.html>
- <sup>37</sup> <http://eqb-dqe.cciw.ca/rese/research/trends/intro.html>
- <sup>38</sup> Par exemple, le RÉSE comprend un système de surveillance « Attention grenouilles » et « Attention vers ». La base de données du RÉSE sera aussi dispersée et aussi à jour que les participants la tiendront.
- <sup>39</sup> Discussions personnelles avec Jose Cihlar, Ressources naturelles Canada, 23 octobre 2001. Les systèmes de cartographie par satellite (Landsat) et de télédétection (p. ex. l'ICDG [infrastructure canadienne de données géospatiales] et GeoGratis [données par satellite et autres données géospatiales gratuites]) que Ressources naturelles est en train de mettre au point devraient aussi produire des données permettant de construire les profils de l'intégrité des écosystèmes en suivant les changements de la couverture terrestre. La couverture terrestre est souvent un déterminant clé de la biodiversité.
- <sup>40</sup> Karr, J.R. 2001. "What from ecology is relevant to design and planning?" dans Johnson et K. Hill (éds.), *Ecology and Design: Frameworks for Learning* Island Press, Washington, DC, pp133–172.
- <sup>41</sup> Conversation personnelle avec Jame Karr, University of Washington, Seattle, Washington, 2 septembre 2001.
- <sup>42</sup> Karr, J. 1981. "Assessment of biotic integrity using fish communities," *Fisheries* 6(6): 21–27.
- <sup>43</sup> Loucks, O. 2000. "Pattern of Forest Integrity in the Eastern United States and Canada: Measuring Loss and Recovery," dans D. Pimentel, L. Westra et R. Noss (éds.), *Ecological Integrity: Integrating Environment, Conservation and Health*, Island Press, Washington, DC, pp177-190.

<sup>44</sup> Conversation personnelle avec Stan Boutin, professeur d'écologie forestière, University of Alberta, 1<sup>er</sup> novembre 2001. Des scientifiques de l'Alberta ont commencé à mettre au point un système de surveillance de la biodiversité qui examine différentes formes de diversité des écosystèmes forestiers de l'Alberta en fonction d'abord de leur structure et, éventuellement, de leurs fonctions (productivité). L'initiative de l'Alberta met à contribution la télédétection pour examiner les changements de la configuration de l'habitat attribuables aux tendances de l'utilisation des terres et des perturbations causées par l'humanité. Les scientifiques examinent et critiquent plusieurs indicateurs possibles de l'intégrité des forêts boréales, en dressent une courte liste et cherchent à établir un ensemble clé d'indicateurs qui reflètent les déterminants de l'intégrité des forêts boréales. Cet exercice comporte une stratégie « dose-réponse » d'examen des tendances de la « charge » imposée par les perturbations humaines dans les écosystèmes forestiers boréaux comme les lignes sismiques, les voies de communications et la conversion de l'habitat, ainsi que leur impact mesurable sur des indicateurs clés de l'intégrité des écosystèmes des forêts boréales. Le travail en est à ses premiers pas, mais on s'attend à ce qu'il produise d'importants indicateurs (une ~~tracé~~ <sup>tracé</sup>) qui serviront à la veille biologique à long terme conjuguée à une analyse spatiale des perturbations linéaires basée sur des photographies aériennes et des images par satellite. Dans le contexte de l'initiative de l'Alberta, on examine l'étendue de la diversité taxonomique et suit ainsi une stratégie de mesure de systèmes complets. Même si l'initiative de mesure de l'intégrité de l'Alberta vise au début des indicateurs de l'intégrité structurelle des écosystèmes, on s'attend à pouvoir mesurer éventuellement l'intégrité fonctionnelle en fonction d'indicateurs de productivité semblables à ceux que Loucks est en train de mettre au point aux États-Unis. Il semblerait que l'Alberta est le chef de file au Canada dans cet important domaine de recherche.

<sup>45</sup> Conversation personnelle avec James Karr, University of Washington, Seattle, Washington, 2<sup>e</sup> septembre 2001.

<sup>46</sup> Loucks a mesuré ces fonctions dans le contexte de trois études de cas portant sur les écosystèmes forestiers des États-Unis, au cours desquelles il a évalué la réponse de chaque mesure aux agresseurs naturels comme le feu, la coupe à blanc et les perturbations causées par l'humanité.

<sup>47</sup> Il est certain qu'il faut plus de recherches scientifiques pour créer les types de repères exigés par l'IIB de Karr et l'IFM de Loucks. L'opérationnalisation de ces mesures à variables multiples qui présentent un attrait intuitif passera aussi obligatoirement par un engagement soutenu envers l'imagerie spatiale ou par satellite et par l'analyse des tendances des perturbations écosystémiques, ainsi que par l'évaluation et la veille biologique sur le terrain, appliquées de façon uniforme entre des écosystèmes semblables de l'Amérique du Nord.

<sup>48</sup> Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC), avril 1999 et mai 2000. *Espèces canadiennes en péril*.

<sup>49</sup> Wackernagel, M., et Rees, W.E. 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, île Gabriola, CB, ISBN 1-55092-521-3.

<sup>50</sup> Fonds mondial pour la nature. 2000. *Rapport « Planète vivante » 2000*, [www.panda.org/livingplanet/lpr00/ecofoot.cfm](http://www.panda.org/livingplanet/lpr00/ecofoot.cfm) consulté le 24 octobre 2000.

<sup>51</sup> Rees, W.E., et Wackernagel, M. 1994. "Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy," dans M. Jansson, M. Hammer, C. Folke et R. Costanza (éds.), *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*, Island Press, Washington, DC, pp 362-390.

<sup>52</sup> Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., et Mateson, P.A. 1986. "Human appropriation of the products of photosynthesis," *BioScience* 34 (6): 368-373.

<sup>53</sup> Rees, W.E. 2000. "Ecofootprint analysis: merits and brickbats," *Commentary Forum: The Ecological Footprint, Ecological Economics* 32: 391-394.

<sup>54</sup> Rees, W.E. 2000. "Ecofootprint analysis: merits and brickbats," *Commentary Forum: The Ecological Footprint, Ecological Economics* 32: 391-394.

<sup>55</sup> Van den Bergh et Verbruggen (1998) ont plusieurs objections à l'empreinte écologique. Tout d'abord, ils soutiennent que l'AEE oblige à convertir la consommation en équivalents de superficie de terres qui sont « nécessairement incomplets, approximatifs, fondés sur des données parfois arbitraires, tandis qu'on ne tient pas compte des caractéristiques régionales et locales des types de terres ni de l'utilisation. Deuxièmement, l'EE n'établit pas de distinction entre l'utilisation durable et non durable des terres. Ils soutiennent que les indicateurs comme l'EE devraient refléter la qualité et la quantité des ressources renouvelables et être reliés à une mesure de marge de sécurité ou de seuil de durabilité. Troisièmement, ils ne sont pas à l'aise avec la procédure de mesure et d'agrégation utilisée pour traiter les impacts environnementaux associés à la consommation d'énergie. Ils s'opposent au traitement simple de l'analyse foncière énergétique. Quatrièmement, ils s'opposent au caractère arbitraire des échelles spatiales auxquelles on calcule l'EE. Enfin, ils sont davis qu'il se peut que l'EE ne constitue pas l'outil de planification idéal pour traduire les préoccupations relatives à la durabilité en interventions publiques comme Wackernagel et Rees (1996) l'ont suggéré compte tenu des préoccupations soulevées par les pondérations arbitraires

et les méthodes d'agrégation. Beaucoup de ces critiques peuvent être valides, mais elles indiquent aussi une amélioration du processus EE et non un abandon global de l'outil dans l'évaluation de la durabilité et des impacts de l'humanité sur l'intégrité écologique.

<sup>56</sup> Rees, W.E. 2000. "Ecøfootprint analysis: merits and brickbats," Commentary Forum: The Ecological Footprint, *Ecological Economics* 32: 391–394.

<sup>57</sup> Rapport, D.J. 2000. "Ecological footprints and ecosystem health: complementary approaches to a sustainable future," Commentary Forum: The Ecological Footprint, *Ecological Economics* 32: 367–370.

<sup>58</sup> Deutsch, L., Jansson, A., Troell, M., Rönnbäck, P., Folke, C., and Kautsky, N. 2000. "The 'ecological footprint': communicating human dependence on nature's work," Commentary Forum: The Ecological Footprint, *Ecological Economics* 32: 351–355.

<sup>59</sup> Deutsch et al. signalent que la méthodologie EE ne produit qu'un instantané de la demande d'écoservices. La stratégie de comptabilité des services biophysiques que la personne moyenne approprie chaque année des écosystèmes pour son bien-être social et économique présente un attrait intuitif. Les services qu'ils suivent portent sur la production de bois d'œuvre et d'aliments terrestres, ce qui inclut le stockage du charbon, du phosphore et de l'azote, ainsi que les besoins en eau douce nécessaires pour produire ces services.

<sup>60</sup> Voir Kay, J.J. 1994. *Some notes on: The Ecosystem Approach, Ecosystems as Complex Systems and State of the Environment Reporting*. Consulté le 31 octobre 2001 [www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html](http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/nac/index.html)