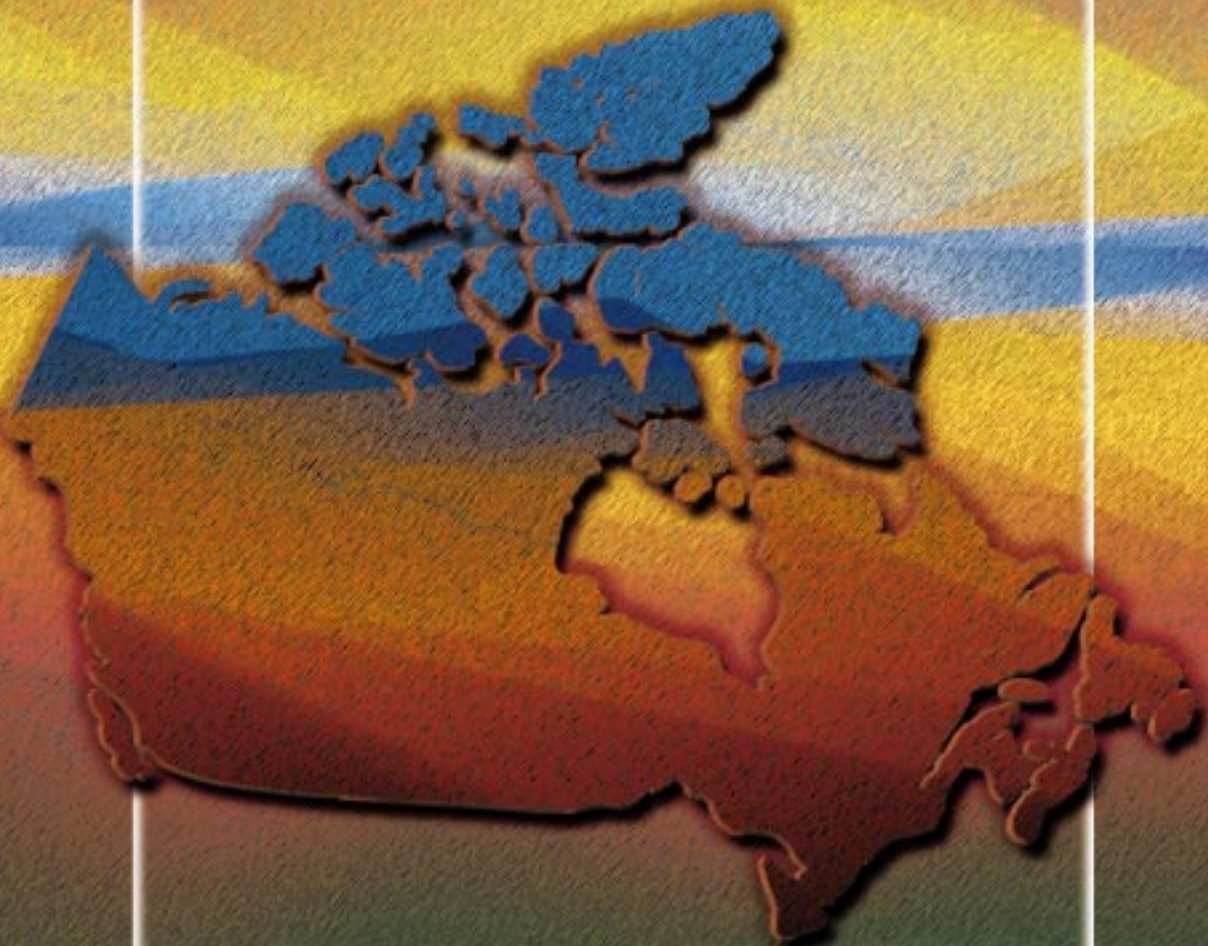




Agriculture et
Agroalimentaire Canada

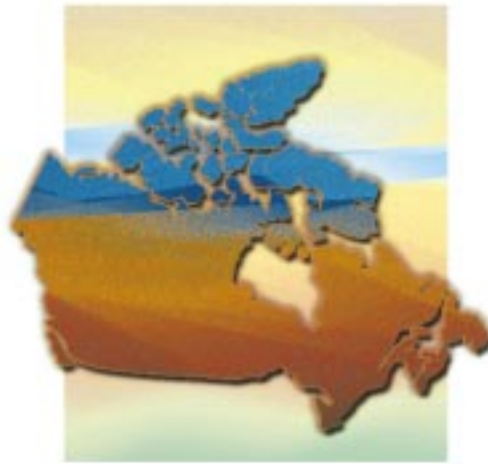
Agriculture and
Agri-Food Canada

L'AGRICULTURE ÉCOLOGIQUEMENT DURABLE AU CANADA :



rapport sur le Projet
des indicateurs
agroenvironnementaux

L'AGRICULTURE ÉCOLOGIQUEMENT DURABLE AU CANADA :



rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux

Publié sous la direction de T. McRae, C.A.S. Smith et L.J. Gregorich

Direction générale des politiques
Direction générale de la recherche
Administration du rétablissement agricole des Prairies

Agriculture et Agroalimentaire Canada
2000

© Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux du Canada 2000

Pour obtenir des exemplaires supplémentaires, s'adresser à :

Section des publications
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Édifce Sir-John-Carling
930, avenue Carling
Ottawa (Ontario) K1A 0C5
(613) 759-6626

La version électronique est aussi publiée à l'adresse www.agr.ca/policy/environment/

N° de cat. : A22-201/2000F

ISBN 0-662-84291-X

N° d'AAC : 2022/F

Données de catalogage avant publication (Canada)

Vedette principale au titre :

*L'agriculture écologiquement durable au Canada :
rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux*

Publié aussi en anglais sous le titre : *Environmental
sustainability of Canadian agriculture, report of the Agri-
environmental Indicator Project.*

Comprend des références bibliographiques.

N° de cat: A22-201/2000F

ISBN 0-662-84291-X

1. Écologie agricole—Canada. 2. Agriculture durable—
Canada. 3. Agriculture—Aspect de l'environnement—Canada.
I. Gregorich, L. J. II. McRae, Terence III. Smith, C. A. S.
(Clifton Andrew Scott) IV. Canada. Agriculture et
Agroalimentaire Canada.

S589.76.C3E5814 2000 333.76'16'0971 C00-900102-6

Le rapport peut être cité comme suit :

McRae, T., C.A.S. Smith et L.J. Gregorich (éd.). 2000. *L'agriculture écologiquement durable au Canada : rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

Chaque chapitre peut être cité comme suit :

[Nom(s) de l'auteur ou des auteurs du chapitre]. 2000. [Tête de chapitre]. Pages [...] - [...] dans McRae, T., C.A.S. Smith et L.J. Gregorich (éd.). 2000. *L'agriculture écologiquement durable au Canada : rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux*, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

 Imprimé sur papier recyclé

Table des matières

	Message du ministre au sujet du développement durable	v
	Message du Comité consultatif du projet des indicateurs agroenvironnementaux	vii
A.	Introduction et contexte	1
	1 : Introduction	3
	2 : Étude et évaluation de l'agriculture écologiquement durable	7
	3 : Facteurs influant sur l'agriculture écologiquement durable	21
B.	Gestion agroenvironnementale	31
	4 : Degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture	33
	5 : Gestion des intrants agricoles - Éléments nutritifs et pesticides	41
C.	La qualité du sol	57
	6 : Risque d'érosion hydrique	59
	7 : Risque d'érosion éolienne	69
	8 : Risque d'érosion attribuable au travail du sol	77
	9 : Le carbone organique du sol	85
	10 : Risque de compactage du sol	93
	11 : Risque de salinisation du sol	103
D.	La qualité de l'eau	113
	12 : Risque de contamination de l'eau par l'azote	115
	13 : Risque de contamination de l'eau par le phosphore	123
E.	Émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole	129
	14 : Bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole	131
F.	La biodiversité de l'agroécosystème	141
	15 : Disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles	143
G.	L'intensité de la production	157
	16 : Azote résiduel	159
	17 : Utilisation de l'énergie	169
H.	Résumé	177
	18 : Analyse régionale de l'agriculture écologiquement durable	179
	19 : Conclusions	197
	Glossaire	205
	Bibliographie	213
	Auteurs collaborateurs	221
	Remerciements	223

Ministre
de l'Agriculture et de
l'Agroalimentaire



Minister
of Agriculture and
Agri-Food

Ottawa, Canada K1A 0C5

Message du
ministre
au sujet du développement durable



La production alimentaire durable est essentielle pour l'ensemble de la population. Je suis heureux de présenter, à titre de ministre de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire du Canada, le rapport intitulé *L'agriculture écologiquement durable au Canada : rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux*. Ce rapport expose un nouvel ensemble d'outils, les indicateurs agroenvironnementaux, qui contribueront à orienter et à évaluer le rendement environnemental du secteur agricole primaire au Canada.

Agriculture et Agroalimentaire Canada a joué un rôle de premier plan dans l'élaboration de ces indicateurs, qui se fondent sur notre meilleure compréhension des écosystèmes agricoles et leurs interactions avec l'économie et les milieux naturels environnants. Grâce à la précieuse collaboration d'un comité consultatif externe, des scientifiques du Ministère ont mis au point les méthodes et recueilli l'information nécessaires à l'élaboration des indicateurs; ils en ont également fait l'analyse des résultats. Nous pouvons maintenant commencer à nous servir de ces indicateurs pour évaluer les effets de nos activités sur l'environnement. Lorsque nous enclencherons le dialogue avec nos partenaires, nous nous appuyerons sur les résultats obtenus et sur l'information connexe pour élaborer une nouvelle stratégie de développement durable. Plusieurs pourront utiliser bon nombre de méthodes et de concepts présentés ici pour évaluer le rendement environnemental de l'agriculture primaire ailleurs, notamment dans d'autres pays.

Le rapport intitulé *L'agriculture écologiquement durable au Canada : rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux* nous sera d'une aide inestimable pour mieux comprendre les liens entre l'environnement et l'économie agricole. Il démontre de façon évidente les progrès accomplis par le secteur agricole canadien pour préserver l'environnement, mais il attire également notre attention sur les domaines où il faudra multiplier les efforts. Le contenu de ce rapport complète et intègre l'information présentée dans des publications connexes d'Agriculture et Agroalimentaire Canada : *La santé de nos sols* (1995), *La santé de l'air que nous respirons* (1999) et *La santé de l'eau* (2000).

Agriculture et Agroalimentaire Canada continuera de travailler avec ses partenaires à la promotion du développement durable par la recherche fondamentale et par la mise au point et le transfert des outils dont les producteurs et d'autres décideurs ont besoin pour améliorer la gestion de l'environnement dans le domaine de l'agriculture.

Lyle Vanclief

Canada

Message du Comité consultatif du Projet des indicateurs agroenvironnementaux

L'agriculture fait partie intégrante de la société canadienne. De ce fait, elle apporte d'importantes contributions à l'économie du pays, aux collectivités rurales et à la sécurité alimentaire, sans compter qu'elle est intimement liée à l'environnement. Non seulement des ressources comme les sols et l'eau sont-elles essentielles à la productivité agricole, mais il existe une interaction entre l'agriculture et l'environnement à l'échelle locale, régionale et mondiale.

Ces dernières années, les Canadiens et les Canadiennes ont pris d'importants engagements à l'égard du développement durable. Le gouvernement du Canada a signé des conventions internationales, les gouvernements fédéral et provinciaux ont mis en place des lois, des politiques et des programmes environnementaux et des municipalités ont adopté des règlements visant à protéger les milieux naturels. La population et les entreprises ont également fait leur part de maintes façons. De leur côté, les agriculteurs n'ont pas été en reste à cet égard, et l'industrie agricole a pris de nombreuses initiatives visant à assurer une production écologiquement durable. Or, si l'on veut que l'agriculture écologique devienne réalité, il faut établir des objectifs et des indicateurs des progrès réalisés afin d'orienter l'action.

Reconnaissant la nécessité d'utiliser des indicateurs, et à la suite de recommandations formulées par plusieurs groupes, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a lancé, en 1993, le projet des indicateurs agroenvironnementaux, qui a été exécuté en majeure partie par le Bureau de l'environnement d'AAC et la Direction générale de la recherche. De nombreux scientifiques et analystes du Ministère répartis dans l'ensemble du pays ont participé à l'élaboration et à l'utilisation des indicateurs. Un grand nombre de scientifiques de l'extérieur d'AAC ont également apporté leur contribution. Les résultats de ces travaux sont présentés dans ce rapport.

En 1995, on a formé un comité consultatif chargé de canaliser les contributions des intervenants autres qu'AAC. Des représentants d'agriculteurs, de fournisseurs d'intrants agricoles, de groupes de protection de la nature, d'universités, d'organisations scientifiques, de ministères provinciaux de l'Agriculture et de ministères

fédéraux ont siégé à ce comité consultatif, qui a joué un rôle de premier plan dans l'élaboration des indicateurs agroenvironnementaux et la production du présent rapport. À la suite des travaux du comité, de nombreux indicateurs ont été modifiés, d'autres ont été éliminés et d'autres encore ont été ajoutés.

Les membres du Comité consultatif considèrent le projet comme une réussite. Les résultats obtenus montrent que les efforts consentis par le secteur agricole pour relever les défis environnementaux ont porté fruit à maints égards, mais aussi qu'il reste encore beaucoup à faire. Le projet des indicateurs agroenvironnementaux a grandement amélioré notre capacité d'évaluer la performance environnementale de l'agriculture à l'échelle nationale à partir de l'information et des ressources disponibles.

Nous prions les lecteurs du rapport d'user de prudence dans l'interprétation et l'utilisation de l'information qu'il contient, car les indicateurs présentent une première approximation. Leurs limites sont exposées au chapitre 2 ainsi qu'à chaque chapitre portant sur un indicateur particulier. Il faudra pousser la recherche et mener d'autres travaux pour accroître l'exactitude et la portée des indicateurs. Qui plus est, les indicateurs feront l'objet de mesures détaillées, ce qui constituera l'évaluation ultime de leur efficacité.

Nous sommes persuadés que les indicateurs agroenvironnementaux permettront d'enrichir le débat entourant l'établissement et la poursuite d'objectifs de développement durable dans le secteur de l'agriculture au Canada et qu'ils apporteront une contribution à des initiatives semblables en cours dans d'autres secteurs au Canada ainsi qu'à l'étranger. Nous prions instamment les dirigeants d'Agriculture et Agroalimentaire Canada de veiller à ce que les indicateurs agroenvironnementaux soient constamment améliorés et que des rapports sur l'évolution du dossier soient publiés régulièrement.

*David Lobb, Marie Boehm et Jim Farrell
Coprésidents, Comité consultatif du Projet des
indicateurs agroenvironnementaux*



A

*Introduction
et contexte*

1 Introduction

T. McRae

L'agriculture écologiquement durable, une priorité

La production d'aliments et de fibres demeurera toujours au cœur de l'activité agricole. La population et la demande de produits alimentaires ne cessent de croître à l'échelle planétaire, et le secteur agricole canadien s'est fixé d'ambitieux objectifs d'accroissement de sa part des marchés mondiaux. Toutefois l'analyse avantages-coûts de l'augmentation constante de la production agricole soulève des interrogations, notamment pour ce qui est des coûts environnementaux. Par conséquent, cette industrie doit trouver un juste équilibre entre une multitude de problèmes environnementaux et d'exigences dont la nature et la complexité sont en constante évolution.

Le caractère écologiquement durable à long terme de la production constitue un enjeu majeur auquel est confronté le secteur agricole. Ainsi en 1984, le Comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts a publié le rapport intitulé *Nos sols dégradés : le Canada compromet son avenir* où on lisait que la dégradation des sols mettait en danger toute production agricole durable. Ultérieurement, des études scientifiques et de politiques, dont celles traitées dans le rapport du Comité fédéral-provincial pour un environnement durable en agriculture paru en 1990, ont mis en lumière les incidences environnementales plus larges de l'agriculture (diminution de la qualité de l'eau, *perte d'habitats fauniques*, réduction de la biodiversité et émissions de gaz à effet de serre). En revanche les Canadiens et les Canadiennes accordent de plus en plus de valeur à l'agriculture pour les avantages qu'elle présente sur le plan de l'environnement : existence d'habitats pour la faune, beauté des terres agricoles, influence bénéfique sur l'environnement, notamment le recyclage des éléments nutritifs et l'emménagement et la filtration de l'eau.

Il y a longtemps que l'on s'occupe de questions environnementales dans le secteur agricole. Les gouvernements, les agriculteurs et d'autres intervenants ont uni leurs efforts pour promouvoir la recherche, la mise en œuvre de programmes et l'application de mesures connexes visant à résoudre les problèmes d'environnement. On s'est longtemps attaché à la conservation des ressources naturelles dont dépend l'agriculture, en particulier les sols, l'eau et les ressources génétiques servant aux cultures et à l'élevage du bétail. Or, ces 15 dernières années, les défis qui se posent à l'industrie agricole ont cru en importance parce qu'on a adopté de nouvelles méthodes et intensifié la production pour répondre à la demande croissante de produits agricoles.

Simultanément l'industrie agricole, comme d'autres secteurs d'activité, est soumise à une surveillance et à des pressions accrues l'obligeant à assurer une protection acceptable de l'environnement du point de vue qualitatif et quantitatif. Dans certains secteurs comme l'élevage, les considérations environnementales constituent désormais une entrave directe à la croissance. Dans d'autres secteurs, la dégradation des ressources menace de nuire à la croissance à plus long terme. À l'échelle internationale, la mondialisation de l'économie a élargi le marché accessible aux produits agricoles canadiens, si

bien que nos résultats environnementaux auront un effet de plus en plus marqué sur notre capacité de conserver les parts de marché récemment acquises et d'en conquérir de nouvelles.

En somme, il est plus urgent que jamais de pratiquer une agriculture écologiquement durable. Dans le secteur agricole, la nécessité de produire des retombées sociales, économiques et environnementales optimales et durables se manifeste avec une acuité et une complexité sans précédent.

Le besoin d'information

Les agriculteurs, les administrations publiques, les chercheurs, les environnementalistes et les consommateurs ont tous intérêt à assurer la pratique d'une agriculture durable au Canada, et chaque groupe peut contribuer de différentes façons à la réalisation de cet objectif. Ainsi les pouvoirs publics, de concert avec leurs partenaires, élaborent la politique agricole d'ensemble et agissent parfois sur les conditions économiques qui déterminent les décisions des agriculteurs. Les chercheurs mettent au point des technologies et des méthodes nouvelles permettant d'améliorer la productivité et la durabilité, tandis que les consommateurs influent sur le marché par leurs décisions d'achat. Les agriculteurs canadiens prennent eux-mêmes des décisions qui se répercutent directement sur l'aspect écologiquement durable, mais ces décisions se fondent aussi sur un ensemble de facteurs qui dépassent le cadre de l'exploitation agricole elle-même.

Le besoin d'information est commun à tous les décideurs concernés par la question de l'environnement durable. Il importe de comprendre les forces en jeu et les possibilités existantes pour pouvoir gérer celles-ci de manière efficace. À tous les niveaux, les décideurs doivent connaître le rendement et le fonctionnement des systèmes, déterminer si ce rendement est satisfaisant et pouvoir prévoir comment ces systèmes réagiront à l'évolution possible des politiques et d'autres facteurs. Du point de vue de l'agriculture, si nous voulons vraiment pratiquer une *agriculture écologiquement durable*, nous devons pouvoir déterminer si nous faisons fausse route ou s'il faut maintenir le cap. On peut raisonnablement supposer que s'ils disposent de l'information dont ils ont besoin, les décideurs seront mieux en mesure de savoir s'il faut modifier les systèmes et, le cas échéant, comment les modifier.

Depuis quelques dizaines d'années, les pouvoirs publics et le secteur ont consacré des ressources considérables à la promotion du développement

économique et à la mise au point de méthodes systématiques de mesure de la performance économique. Les systèmes de mesure du rendement de l'économie utilisés actuellement sont intégrés au Système de comptabilité nationale (SCN) des Nations Unies, dont découlent des indicateurs comme le produit intérieur brut. Or, le SCN ne tient pratiquement pas compte de la composante environnementale, de sorte que la plupart des indicateurs économiques les plus répandus ne prennent pas en considération l'augmentation ou la diminution de la valeur du patrimoine naturel (terres, eau et espèces sauvages). Dès lors, les décideurs qui s'appuient sur des indicateurs strictement économiques risquent d'atteindre leurs objectifs économiques au détriment des objectifs environnementaux et autres. Depuis 15 ans, on a déployé des efforts considérables pour établir de nouvelles façons de mesurer et de promouvoir les actifs et les services environnementaux, et pour comprendre les rapports existant entre l'environnement et l'économie. Ces efforts ont donné naissance aux indicateurs environnementaux, entre autres.

Objectifs du rapport sur les indicateurs agroenvironnementaux

En 1993, Agriculture et Agroalimentaire Canada a amorcé des travaux visant à établir une approche systématique pour répondre à des questions comme les suivantes :

- Dans quelle mesure les agriculteurs emploient-ils des méthodes agronomiques respectueuses de l'environnement?
- Comment les conditions et les tendances environnementales évoluent-elles dans le secteur agricole et comment peut-on expliquer leur évolution?
- Quelles ressources et quels secteurs sont encore exposés à un risque grave sur le plan de l'environnement?

Le rapport sur les *indicateurs agroenvironnementaux* présente les résultats de ces travaux. Ces indicateurs permettent de mesurer les conditions et les risques environnementaux de première importance liés à la production agricole et aux méthodes agronomiques employées par les producteurs, ainsi que l'évolution de ces conditions et de ces risques. Nous avons travaillé en étroite collaboration avec des chefs de file du secteur agricole et d'autres intervenants afin de choisir et d'établir des indicateurs appropriés, et nous estimons que ces indicateurs procureront plusieurs avantages à

l'industrie agricole et à l'environnement au Canada; ils permettent :

- d'informer les décideurs du secteur agricole et d'autres secteurs d'activité sur la performance environnementale en agriculture;
- de montrer les progrès accomplis par le secteur agricole en ce qui concerne l'adoption de principes d'intendance de l'environnement et de pratiques écologiques;
- d'appuyer l'élaboration de stratégies et de mesures destinées à réduire le risque environnemental auquel sont encore exposés certains domaines d'activité et certaines ressources;
- de faciliter l'analyse environnementale des politiques et des programmes agricoles et de surveiller l'efficacité de ces politiques et programmes à cet égard.

Portée de l'évaluation

Le présent rapport est destiné à toutes les personnes que l'agriculture écologiquement durable intéresse, et en particulier aux décideurs. Dans le secteur agricole, ces derniers ont différentes préoccupations et mènent leurs activités à différents niveaux. Ainsi, les agriculteurs décident des stratégies de production à adopter dans leur exploitation. Les chefs de file du secteur et les responsables des politiques gouvernementales touchent à des ensembles plus larges (groupes de producteurs spécialisés ou d'une région donnée) ou à des facteurs externes qui influent sur l'industrie agricole (accords internationaux relatifs à l'environnement et au commerce, par exemple). Pour leur part, les environnementalistes s'intéressent aux développements qui affectent des régions particulières, à des risques environnementaux précis posés par l'agriculture ou à des aspects particuliers de l'état de l'environnement. Il arrive souvent que les divers intervenants aient des attentes différentes envers les politiques en place et qu'ils cherchent à tirer leur épingle du jeu dans une conjoncture complexe où interviennent de nombreux acteurs. Par ailleurs, il existe de nombreux liens entre ces différents niveaux d'intervention et d'intérêts. Les agriculteurs, par exemple, tout en exploitant leur entreprise, s'intéressent aux événements nationaux et internationaux qui ont des incidences sur l'agriculture.

Dans ce contexte, nous avons tenté de produire une évaluation globale du caractère durable des *agroécosystèmes* en étudiant d'une part les principaux paramètres environnementaux de ces systèmes et les rapports entre ceux-ci, et d'autre part les écosystèmes naturels qui les englobent et les

forces agissantes avec lesquelles ils entrent en interaction. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la gestion agricole, aux sols, à l'air, à l'eau, à la biodiversité et au caractère intensif de la production.

En tant que ministère fédéral, Agriculture et Agroalimentaire Canada s'est efforcé d'établir des indicateurs agroenvironnementaux prenant en compte la diversité du secteur agricole d'une région à l'autre au pays. Toutefois certains indicateurs s'appliquent seulement à certaines régions ou à certains aspects de questions plus larges. Notre évaluation de la situation n'est vraisemblablement pas exhaustive (voir le chapitre 2); elle pourrait être complétée à l'occasion de travaux futurs. Vu la grande portée de cette évaluation, les indicateurs ne peuvent s'appliquer à l'échelle de l'exploitation agricole et le présent document n'est pas un guide des pratiques de gestion optimales. Néanmoins ce rapport pourra être utile aux agriculteurs souhaitant se familiariser avec la question de l'agriculture écologiquement durable et mieux connaître les problèmes d'environnement et les solutions possibles sur le plan de l'exploitation agricole.

De plus, dans le cadre de ce travail, nous avons contribué à l'établissement d'indicateurs agroenvironnementaux à l'échelle internationale, qui nous ont eux-mêmes été utiles (*voir* l'encadré).

Structure et contenu du rapport

Le présent rapport se divise en huit parties. La section A présente le contexte de l'étude et décrit les notions et les méthodes utilisées ainsi que les facteurs qui définissent les tendances environnementales et autres dans le domaine de l'agriculture. Les chapitres de cette section permettront au lecteur de mieux situer et comprendre les constatations et les conclusions générales du rapport. Les sections B à G présentent les indicateurs agroenvironnementaux liés aux questions suivantes : gestion agricole, qualité du sol, qualité de l'eau, émissions de gaz à effet de serre, biodiversité des agroécosystèmes et caractère intensif de la production. La section H résume les constatations relatives aux indicateurs par région, présente les conclusions générales et propose différentes façons d'utiliser le rapport.

Les auteurs du rapport ont employé un langage accessible à tous sans pour autant écarter complètement les termes et les notions techniques. Ces termes sont écrits en italiques au premier

endroit où ils apparaissent dans le texte et sont définis dans le glossaire qui se trouve à la fin du rapport. Bien que chaque chapitre forme un tout (en fait, chaque chapitre peut être considéré comme un document distinct dont on fournit la référence bibliographique à la page II), la lecture du document dans son entier est évidemment des plus profitables. Au début de chaque chapitre, un encadré en présente les points saillants.

Il existe des rapports techniques portant sur tous les indicateurs (certains en anglais seulement). Le lecteur qui souhaite obtenir une description plus détaillée des indicateurs, et en particulier de la méthode de calcul, est invité à les consulter. Ces rapports, dont on trouvera la référence dans la liste des ouvrages suggérés à la fin du présent document, contiennent une bibliographie plus détaillée que celle qui est présentée ici.

Les indicateurs agroenvironnementaux sur la scène internationale

Depuis des dizaines d'années, les activités économiques consommatrices de ressources et productrices de déchets exercent une pression sans cesse croissante sur les systèmes entretenant la vie sur la Terre. La population mondiale et l'activité économique ont atteint un tel niveau qu'elles se répercutent sur l'environnement à l'échelle planétaire. Face à cette situation, des gouvernements et des organismes internationaux ont conclu de nombreux accords de portée régionale et mondiale tels que les conventions visant la préservation de la *diversité biologique*, de la couche d'ozone stratosphérique et du climat de la Terre. De même, des accords portant sur les échanges économiques entre pays, comme l'Accord de libre-échange nord-américain (ALÉNA) et l'Accord instituant l'Organisation mondiale du commerce (OMC), comprennent des dispositions relatives aux effets environnementaux de l'expansion du commerce.

L'importance croissante qu'on accorde aux dimensions planétaires de l'environnement a suscité plusieurs initiatives d'élaboration d'indicateurs environnementaux à l'échelle mondiale. À cette échelle, ces indicateurs devraient permettre de recueillir l'information dont on a besoin pour mieux comprendre l'état de l'environnement de la planète, orienter et évaluer les initiatives des pays cherchant à réduire les pressions exercées sur l'environnement et éviter que des pays ne faussent les marchés mondiaux et n'accroissent leur compétitivité en appliquant des normes environnementales laxistes ou en accordant des subventions nuisibles à l'environnement. L'agriculture est liée à de nombreux enjeux environnementaux de portée planétaire, et les produits agricoles constituent un élément clé du commerce mondial. Il s'ensuit que plusieurs organismes internationaux travaillent à l'élaboration et à la mise en application des indicateurs environnementaux pour l'agriculture.

L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) coordonne les travaux d'élaboration d'indicateurs agroenvironnementaux menés dans les pays membres. Les indicateurs de l'OCDE sont conçus pour faciliter la réforme de politiques agricoles nationales et internationales, telle l'Entente sur l'agriculture de l'Accord de l'OMC. On a élaboré quelque 15 indicateurs devant permettre de mieux comprendre et évaluer les avantages et les coûts environnementaux externes de l'agriculture, les relations entre les politiques gouvernementales (notamment pour la stabilisation des revenus agricoles) et les conditions environnementales dans le domaine de l'agriculture, ainsi que les causes et les effets sous-jacents de l'incidence de l'agriculture sur l'environnement. Ces indicateurs se rapportent à différents aspects de la question agroenvironnementale, comme par exemple la gestion agricole, la qualité du sol et de l'eau et la biodiversité agricole.

Plusieurs initiatives relatives à des indicateurs se poursuivent sous l'égide des Nations Unies. Les secrétariats de la Convention sur la diversité biologique et de la Convention-cadre sur les changements climatiques travaillent à l'élaboration d'indicateurs touchant l'agriculture (notamment le rôle possible des sols agricoles comme puits de carbone atmosphérique). Des travaux menés par la Commission du développement durable des Nations Unies dans ce domaine ont mené à l'établissement d'une liste de 134 indicateurs de développement durable, dont plusieurs sont directement liés à l'agriculture. Vingt et un pays de toutes les régions du monde ont accepté, à titre d'essai, de tenir compte de ces indicateurs par rapport à leurs priorités et à leurs intérêts nationaux au cours des trois prochaines années.

La Banque mondiale applique une stratégie rurale dans les pays en développement en vue de promouvoir la croissance économique et la gestion durable des ressources et d'accroître la sécurité alimentaire. Dans le cadre de cette stratégie, elle coordonne une coalition internationale établissant des indicateurs de la qualité des terres en vue de leur application à l'échelle nationale et régionale. Le caractère intensif de l'utilisation des terres, la couverture des terres, la qualité du sol et la biodiversité agricole comptent parmi les indicateurs en voie d'élaboration.

Il est particulièrement difficile d'élaborer des indicateurs environnementaux à l'échelle mondiale en raison des différences existant entre les pays quant aux conditions environnementales, aux activités économiques et à l'existence même de données. Le Canada participe activement aux activités d'élaboration de tels indicateurs et bénéficie de la coopération et des échanges qu'impliquent ces activités.

T. McRae, Agriculture et Agroalimentaire Canada

2 Étude et évaluation de l'agriculture écologiquement durable

C.A.S. Smith et T. McRae

POINTS SAILLANTS

- Les deux principaux critères employés pour évaluer la durabilité de l'agriculture sur le plan environnemental au Canada sont l'efficacité de la gestion et de la conservation des ressources naturelles soutenant la production agricole ainsi que la compatibilité des systèmes agricoles avec les systèmes et les processus naturels.
- La sélection d'indicateurs agroenvironnementaux était basée sur l'utilisation d'un cadre facteurs-résultats-réactions. L'agriculture peut produire des effets bénéfiques ou néfastes sur l'environnement, et on peut gérer ces effets en agissant sur les facteurs qui régissent la production agricole. Les réactions de la société aux changements réels et perçus de ces effets et de ces facteurs comprennent le comportement des producteurs agricoles, les réactions des consommateurs, l'évolution technologique et l'intervention gouvernementale.
- Nous avons élaboré quatorze indicateurs agroenvironnementaux, que nous avons classés dans six catégories : gestion agroenvironnementale, qualité du sol, qualité de l'eau, émissions de gaz à effet de serre, biodiversité de l'agroécosystème et intensité de la production. Certains indicateurs constituent des sommaires de données nationales du *Recensement de l'agriculture*, de données d'enquête ou de données des provinces. D'autres indicateurs ont été calculés à l'aide de modèles ou de formules mathématiques existants ou spécialement élaborés à cette fin et par l'intégration de données de recensement, d'information sur les *Pédo-paysages du Canada* et, dans certains cas, d'ensembles de données adaptés.
- Tous les indicateurs souffrent de diverses limites, dont celles qui sont liées à un manque de données ou de connaissances, à la qualité des données et à des facteurs géographiques. Ces limites restreignent l'utilisation des indicateurs à la détermination de tendances dans le temps dans certaines régions et à des comparaisons entre régions.

Introduction

L'objectif de promotion de l'agriculture écologiquement durable au Canada implique l'évaluation de la performance environnementale du secteur agricole. Dans ce chapitre, nous décrivons les notions et les méthodes qui sous-tendent l'évaluation de la durabilité du secteur agricole canadien sur le plan environnemental. Pour décrire le contexte dans lequel s'inscrivent les chapitres portant sur les différents indicateurs, le présent chapitre :

- traite des liens entre les systèmes agricoles et l'environnement dans son ensemble;
- énonce deux critères clés servant à l'évaluation

Évaluation de l'agriculture écologiquement durable

Le développement durable est le développement qui répond aux besoins actuels sans nuire à la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Pour que les générations futures soient au moins en aussi bonne posture que nous le sommes, elles doivent être en mesure de produire les biens et les services contribuant à leur bien-être. Or, pour créer le bien-être, il faut pouvoir compter sur un capital de trois ordres :

- un capital humain (l'éducation, les compétences, les connaissances, la richesse économique et l'infrastructure physique);
- un capital social (l'ensemble des règles, des relations et des institutions qui assurent le fonctionnement efficace des sociétés);
- un capital naturel (l'environnement biophysique, ses ressources et ses processus).

De toute évidence, l'appauvrissement de la valeur combinée de ces capitaux n'est pas compatible avec le développement durable. Toutefois, une question clé se pose : ces formes de capital sont-elles durables et, si oui, dans quelle mesure? Par exemple, la réduction du capital naturel est-elle durable si elle est compensée par l'accroissement d'autres formes de capital? Dans beaucoup de cas, la réponse est non. Ainsi, l'appauvrissement de la couche d'ozone qui protège la terre ne peut être compensé par des gains réalisés dans d'autres domaines et il expose les générations futures à un risque grave. Dès lors, pour assurer le développement durable, il faut maintenir chaque capital à un certain niveau.

De même dans le domaine de l'agriculture, le maintien d'un système de production agricole durable nécessite un investissement constant dans le capital humain, social et naturel. Le présent rapport s'intéresse au capital naturel lié à l'agriculture. Les indicateurs agroenvironnementaux permettent de déterminer si les activités agricoles se déroulent sans appauvrir ce capital et si les extrants agricoles sont compatibles avec les systèmes naturels, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des agroécosystèmes. En outre, un ensemble complet d'indicateurs de l'agriculture écologiquement durable doit prendre en compte les aspects sociaux et humains de cette notion. Bien que des indicateurs aient été élaborés pour chacun de ces aspects, aucune tentative systématique n'a été effectuée en vue de les intégrer et d'examiner les nombreux liens et les nombreuses interactions qui les caractérisent. On pourrait s'y employer à l'occasion de travaux futurs.

T. McRae, Agriculture et Agroalimentaire Canada

de la durabilité de l'agriculture sur le plan écologique;

- présente et décrit les indicateurs qui ont fait l'objet de l'étude et explique leur choix;
- passe en revue les méthodes employées pour l'élaboration des indicateurs;
- indique les limites inhérentes à l'approche adoptée.

L'agriculture et les écosystèmes naturels

Les agroécosystèmes sont des écosystèmes naturels qui ont été soumis à l'intervention humaine. Même avec cette intervention, ils ont beaucoup en commun avec les systèmes naturels du fait qu'ils partagent avec eux les sols, les ressources en eau, des éléments nutritifs naturels ainsi que le rayonnement solaire et d'autres composantes du climat. En réalité, sans la présence de certaines composantes naturelles, l'agriculture n'existerait pas.

Les êtres humains interviennent dans les écosystèmes naturels à des fins agricoles pour satisfaire leurs besoins en nourriture, en fibres et en d'autres produits. Leur intervention commence par le défrichage de terres et la plantation de cultures de subsistance, et elle se poursuit quand ces cultures sont récoltées et sortent du système. Les êtres humains mènent différentes autres activités visant à optimiser la production :

- le nivellement et le drainage de terres;
- le labourage du sol;
- la dérivation de cours d'eau naturels;
- l'irrigation, en vue de suppléer aux précipitations naturelles;
- l'application d'éléments nutritifs supplémentaires;
- la lutte contre les plantes et les animaux parasites.

Tout comme les systèmes naturels, les agroécosystèmes sont dynamiques, et on observe un mouvement cyclique constant de différentes composantes, comme l'énergie, l'eau et des éléments chimiques, vers l'intérieur et l'extérieur de ces systèmes (figure 2-1). En outre, les cycles du climat et des communautés biologiques influent sur l'agriculture et sont influencés par celle-ci. C'est par l'intermédiaire de ces cycles que l'agriculture est reliée à l'environnement en général. Laissés à eux-mêmes, ces cycles tendent à créer un équilibre naturel, mais quand les êtres humains interviennent, cet équilibre peut être perturbé. Ainsi, le cycle de l'eau apporte aux cultures la pluie dont elles ont besoin mais, dans les agroécosystèmes,

cette pluie peut contribuer au *ruissellement* et donc à l'érosion des sols et à la pollution des cours d'eau.

À n'importe quel moment de leurs interventions, les producteurs agricoles peuvent modifier l'environnement, en particulier quand ils pratiquent une agriculture intensive, notamment la *production animale intensive* et la *culture en ligne intensive* à des fins commerciales. Il est bien connu que certaines pratiques agricoles réduisent la qualité du sol, de l'eau et de l'air. En revanche, on connaît moins bien les façons dont l'agriculture pourrait améliorer l'environnement, par exemple en fournissant des *habitats fauniques* ou en réduisant les émissions de gaz à effet de serre par le stockage de carbone dans les sols.

La connaissance de base du fonctionnement des agroécosystèmes permet de dégager deux grands critères pour l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles du point de vue environnemental :

- l'efficacité quant à la gestion et à la conservation des ressources naturelles;
- la compatibilité avec les systèmes et les processus naturels.

Choix des indicateurs

Cadre conceptuel

Pour choisir les indicateurs appropriés de la durabilité de l'agriculture sur le plan de l'environnement, nous avons utilisé un cadre conceptuel caractérisant les relations et les liens entre, d'une part, la production agricole et, d'autre part, des facteurs environnementaux, économiques et sociaux. Ce cadre, appelé *cadre facteurs-résultats-réactions* (figure 2-2), implique la prise en compte de trois grands éléments :

- les facteurs qui influent sur les activités agricoles;
- les résultats de ces activités;
- les réactions de la société, qui orientent ces activités et contribuent à obtenir des résultats souhaitables.

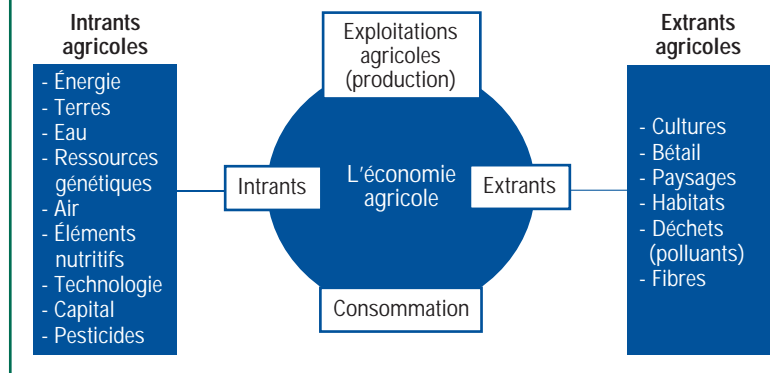
Pour bien comprendre les causes et les effets des répercussions environnementales de l'agriculture, il importe d'analyser les liens qui unissent ces éléments.

Facteurs

La présente étude repose sur le postulat selon lequel une gestion prudente des *facteurs* influant sur l'agriculture permet de réduire les risques environnementaux des activités agricoles et d'obtenir les

L'environnement et l'économie en agriculture

Figure 2-1

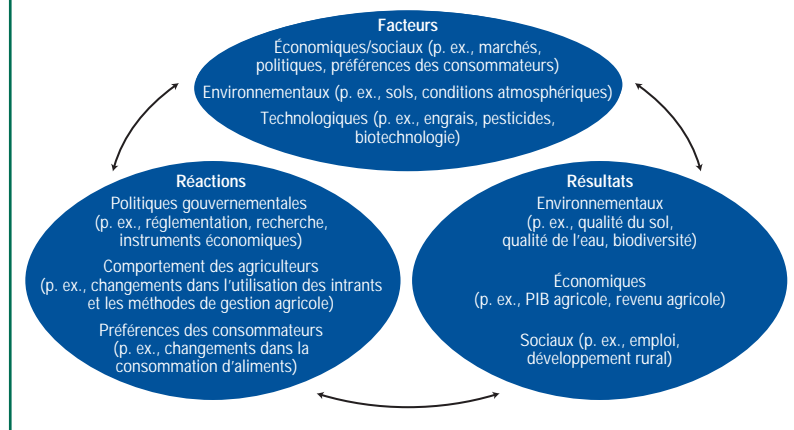


résultats escomptés sur le plan de l'environnement. On peut agir sur ces facteurs, par l'application de politiques et autrement, afin d'atteindre des objectifs sociaux, économiques et environnementaux précis dans le domaine de l'agriculture.

Ces facteurs se manifestent sur deux plans. Dans la société, les signaux du marché (le prix des produits et les décisions de consommation par exemple), les politiques gouvernementales (qui visent la stabilisation des revenus, la gestion de l'offre et la réglementation de l'utilisation des terres par exemple) et les technologies de production entrent en interaction et, ce faisant, influent sur la nature, la structure et le dosage de la production dans le secteur agricole. À la ferme, les stratégies de production, les technologies, les intrants et les pratiques adoptées exercent une influence directe sur les ressources environnementales, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'exploitation agricole. Le chapitre 3 traite en détails de la nature et de l'évolution de ces facteurs.

Le cadre facteurs-résultats-réactions appliqué à l'agriculture

Figure 2-2



Les agroécosystèmes – Interactions écologiques et développement durable

Les processus écologiques en action dans les agroécosystèmes et la gestion de ces processus influent sur le caractère durable de ces systèmes. Les interactions ou les cycles écologiques clés des agroécosystèmes sont le cycle de l'énergie, le cycle de l'eau et le cycle des éléments chimiques. Les organismes vivants régissent ou influencent ces processus.

Le cycle de l'énergie - Les plantes, dont les cultures agricoles, captent l'énergie solaire par le biais de la photosynthèse et la fixent dans les molécules organiques. Les agroécosystèmes dégagent de l'énergie principalement par les productions végétales et animales. Longtemps, l'agriculture a exploité l'énergie humaine, animale et solaire, mais l'intensification de la production agricole a fait en sorte que l'énergie est maintenant fournie aux agroécosystèmes sous la forme d'engrais minéraux, de pesticides, de combustibles fossiles, de semences, d'aliments pour animaux d'élevage, d'électricité et de machines. Il se produit des pertes d'énergie durant la production agricole sous forme de chaleur ainsi que par la respiration et d'autres processus de transfert, tel le lessivage d'éléments nutritifs. Ces pertes sont inévitables, mais si on les réduit au minimum en augmentant l'efficacité de la conversion des intrants énergétiques en produits commercialisables, on rend la production agricole plus durable sur les plans environnemental et économique.

Le cycle de l'eau - Les êtres humains, les animaux et les plantes ont besoin d'eau pour vivre. De plus, l'eau entre en jeu dans la météorisation, l'érosion et le lessivage, et elle intervient donc dans le flux des éléments chimiques à l'intérieur des agroécosystèmes. C'est par les précipitations que ces derniers reçoivent la majeure partie de l'eau dont ils ont besoin, mais on peut recourir à l'irrigation pour accroître l'apport d'eau dans les régions sèches du Canada. Les agroécosystèmes subissent des pertes d'eau principalement par l'évaporation, la transpiration, le lessivage dans les tuyaux de drainage et les aquifères ainsi que le ruissellement vers des plans d'eau de surface. Le cycle de l'eau est très dynamique, les intrants et les extrants étant soumis à des variations considérables tout au long de l'année. Ces variations exercent une très grande influence sur la croissance des cultures. L'utilisation efficace de l'eau, y compris l'eau d'irrigation, permet de l'économiser, contribue à optimiser la croissance végétale et réduit le risque d'érosion des sols et le transport des contaminants vers les eaux souterraines et les eaux de surface.

Le cycle des éléments chimiques - Pendant la photosynthèse, les plantes captent du dioxyde de carbone présent dans l'air et elles fixent le carbone dans les molécules organiques. Ces molécules forment la base de tous les organismes vivants. Les agroécosystèmes exportent du carbone par les productions végétales et animales, la respiration ou la suppression physique de matière organique des sols sous l'effet de l'érosion. Les résidus de plantes et d'animaux morts retournent aux sols et se décomposent et, ce faisant, soutiennent les organismes des sols, alimentent en carbone les réservoirs de stockage des sols et dégagent du carbone dans l'atmosphère. Les sols qui ont une teneur en carbone appropriée sont mieux en mesure de fournir les éléments nutritifs et l'eau nécessaires à la croissance des plantes, sont moins sensibles à la dégradation (par l'érosion hydrique et éolienne et par le compactage) et sont donc plus productifs. De plus, la rétention du carbone par les sols favorise la biodiversité et aide à réduire les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone, contribuant ainsi à réduire le bilan des gaz à effet de serre.

L'azote et le phosphore sont deux importants éléments nutritifs des plantes qui agissent dans les agroécosystèmes. La majeure partie de l'azote provient de l'atmosphère et s'introduit dans les agroécosystèmes par les précipitations, l'absorption par les plantes et la décomposition ultérieure des résidus végétaux dans les sols, ainsi que la fixation par les micro-organismes des sols. Certaines quantités d'azote entrent également dans ces systèmes sous la forme d'engrais minéraux, d'aliments pour animaux d'élevage et de fumier. Les agroécosystèmes exportent de l'azote par les productions végétales et animales, la volatilisation dans l'atmosphère, le lessivage dans les tuyaux de drainage et les aquifères ainsi que le ruissellement vers des plans d'eau de surface. L'application d'azote en quantités supérieures aux besoins des cultures ou à la capacité d'absorption des sols augmente le risque de contamination de l'eau par les nitrates et les émissions d'azote sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Enfin, l'utilisation inefficace de l'azote entraîne des pertes économiques pour les agriculteurs.

Le phosphore provient de sources terrestres et se fixe facilement aux particules de sol, d'où il est capté par les plantes. Il est exporté par les agroécosystèmes par les productions végétales et animales. De plus, l'application d'engrais minéraux ajoute des phosphates à ces systèmes. Le phosphore a tendance à s'accumuler dans les sols, ce qui augmente le risque de transport depuis les terres agricoles vers les eaux de surface avec des particules de sol ou dissous dans les eaux de ruissellement, en particulier là où le relief est très accidenté. Les surplus de phosphore causent l'eutrophisation des eaux de surface et en réduisent la qualité.

Pour réduire les risques que présentent les nitrates et le phosphore, il faut assurer une gestion serrée des éléments nutritifs et adopter de bonnes pratiques de gestion des fumiers, de culture et de lutte contre l'érosion.

Source : Griggs, D.J. et F.M. Courtney, 1985.

Résultats

Les résultats des activités agricoles peuvent être bénéfiques ou néfastes. Les résultats bénéfiques comprennent les avantages pour la société (emploi, développement rural, sécurité alimentaire, etc.), pour l'économie (expansion agro-industrielle et augmentation du revenu agricole par exemple) et pour l'environnement (notamment la fourniture d'habitats pour la faune).

La mesure des avantages de l'agriculture pour l'environnement suscite un intérêt croissant dans le monde agricole. Certains avantages peuvent être directement mesurables alors que d'autres sont plus difficiles à déterminer. Ainsi, on peut arguer que la réduction des incidences négatives sur l'environnement constitue un avantage (si l'on considère le degré de dommage évité), bien que les activités agricoles ne soient pas encore absolument inoffensives pour l'environnement.

Parmi les exemples de résultats néfastes, on compte la chute de l'emploi et des revenus dans le secteur agricole, le dépeuplement des régions rurales et la détérioration de l'environnement. Les incidences environnementales négatives comprennent la dégradation des sols, la baisse de la qualité de l'eau, la disparition d'espèces sauvages, la perte d'habitats, l'appauvrissement des ressources aquatiques et les changements atmosphériques. Ces incidences négatives sont inhérentes à l'activité agricole, comme à d'autres activités humaines, et elles s'accroissent aux endroits et aux moments où l'on utilise des méthodes et des technologies qui ne tiennent pas compte des limites intrinsèques des paysages touchés.

Il importe d'évaluer les effets négatifs de l'agriculture dans un vaste contexte qui prend en compte :

- les avantages que procure l'agriculture, tels que la production alimentaire et le gain économique;
- l'ampleur des répercussions, qui est fonction de leur irréversibilité, de leur portée (la superficie ou la population touchée par exemple) et de leur relation avec des seuils définis (comme une norme de qualité de l'eau, un taux d'érosion tolérable ou un objectif reconnu d'une politique).

Dans le présent rapport, les indicateurs qui se rapportent aux résultats ont trait à la qualité du sol et de l'eau, aux habitats agricoles et aux gaz à effet de serre.

Réactions

Par réactions, nous entendons les réponses de divers groupes de la société aux changements réels et perçus des résultats et des facteurs. Ces réactions comprennent :

- le comportement des producteurs, notamment les changements dans les pratiques de gestion agricole, dans l'utilisation des intrants, dans les extrants et dans d'autres approches à la gestion des ressources environnementales à la ferme;
- les réactions des consommateurs, notamment par les changements d'habitudes de consommation;
- les réactions du secteur agricole lui-même, notamment par les changements apportés aux technologies dans le but de produire des *pesticides* moins toxiques et des cultures plus efficaces, et d'opter pour des procédés de production améliorés;
- les interventions gouvernementales, notamment par les changements de politiques en matière de réglementation, de formation, d'information et de recherche et développement.

Les réactions sont intimement liées aux facteurs, car elles impliquent souvent des tentatives visant à influencer sur des facteurs clés ou à gérer ces facteurs de manière à obtenir les résultats espérés. Dans le présent rapport, les indicateurs qui se rapportent aux réactions ont trait seulement aux pratiques agricoles. Nous ne présentons pas d'indicateurs ni d'autres réactions, telles que des politiques gouvernementales ou des investissements privés destinés à améliorer l'environnement. Néanmoins, des recherches connexes menées par Agriculture et Agroalimentaire Canada commencent à faire appel à des indicateurs agroenvironnementaux pour l'évaluation des incidences environnementales de politiques et de programmes du Ministère.

Descriptions des indicateurs

Nous avons établi six grands groupes d'indicateurs agroenvironnementaux qui se rapportent à autant d'enjeux :

- gestion agroenvironnementale;
- qualité du sol;
- qualité de l'eau;
- émissions de gaz à effet de serre;
- biodiversité de l'agroécosystème;
- intensité de la production.

Ces groupes, dont certains renferment plusieurs indicateurs, comprennent au total 14 indicateurs. Le tableau 2-1 présente une description générale de chaque indicateur et indique ses liens avec le cadre facteurs-résultats-réactions ainsi que la méthode de calcul générale utilisée.

Nombre des indicateurs présentés dans ce rapport s'attachent à indiquer le risque plutôt que l'état de la situation. Les *indicateurs de risque* sont basés sur l'utilisation de modèles ou de formules

Indicateurs agroenvironnementaux nationaux

Tableau 2-1

Groupes d'indicateurs	Indicateur agroenvironnemental	Description	Élément(s) du cadre facteurs-résultats-réactions	Portée	Méthode ¹
Gestion agro-environnementale	Degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture	Nombre de jours par année où le sol est exposé, dans le cadre de régimes culturaux et de gestion des terres particuliers.	Facteurs, réactions.	Nationale	2
	Gestion des intrants agricoles - Éléments nutritifs et pesticides	Adoption de pratiques de gestion optimales pour la manutention des engrais, des fumiers et des pesticides.	Facteurs, réactions.	Nationale	3
Qualité du sol	Risque d'érosion hydrique	Potentiel de perte de sol due au ruissellement selon les paysages, les conditions climatiques en présence et en fonction des pratiques de gestion existantes.	Résultats	Nationale	1
	Risque d'érosion éolienne	Potentiel de perte de sol selon les paysages, les conditions de vent en présence et en fonction des pratiques de gestion existantes.	Résultats	Provinces des Prairies	1
	Carbone organique du sol	Estimation de l'évolution de la teneur en carbone organique des sols avec les pratiques de gestion existantes.	Résultats	Nationale	1
	Risque d'érosion attribuable au travail du sol	Potentiel de redistribution des sols selon les paysages en présence, les pratiques de travail du sol et les pratiques culturales existantes.	Résultats	Nationale	2
	Risque de compactage du sol	Estimation du potentiel d'évolution de la compacité des sols riches en argile en fonction de la compacité inhérente des sols et des systèmes de culture en usage.	Résultats	Ontario, provinces maritimes.	2
	Risque de salinisation du sol	Estimation du potentiel d'évolution de la salinité du sol en fonction de l'utilisation des terres et des conditions hydriques, climatiques et pédologiques.	Résultats	Provinces des Prairies	2
Qualité de l'eau	Risque de contamination de l'eau par l'azote	Potentiel de dépassement du seuil fixé dans les Recommandations pour la qualité de l'eau au Canada concernant la teneur en azote.	Résultats	Écozones humides	2
	Risque de contamination de l'eau par le phosphore	Potentiel de transport du phosphore des terres agricoles vers les eaux de surface.	Résultats	Québec	1
Émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole	Bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole	Estimation des émissions d'oxyde nitreux, de méthane et de dioxyde de carbone à partir des systèmes de production agricole (bilans sommaires exprimés en équivalents de dioxyde de carbone).	Résultats	Nationale	2
Biodiversité de l'agroécosystème	Disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles	Proportion des unités d'utilisation de l'habitat dont la superficie totale a augmenté, est demeurée inchangée ou a diminué.	Résultats	Nationale	2
Intensité de la production	Utilisation de l'énergie	Quantité d'énergie contenue dans les intrants et les extrants agricoles.	Facteurs	Nationale	3
	Azote résiduel	Différence entre la quantité d'azote ajoutée aux sols agricoles et la quantité retirée au moment de la récolte.	Facteurs	Nationale	2

¹ Voir les méthodes présentées à la rubrique « Méthodes de calcul ».

mathématiques servant à estimer les effets environnementaux réels ou potentiels en tenant compte des facteurs qui entrent en jeu. Les *indicateurs d'état* mesurent l'existence et l'ampleur des effets, comme la concentration d'éléments nutritifs dans les *eaux souterraines* ou la quantité de terre qui gagne les cours d'eau sous l'effet de l'érosion. Nous avons choisi plusieurs indicateurs de risque, pour les raisons suivantes :

- ces indicateurs sont plus faciles à calculer sur de grandes superficies et ils peuvent cerner l'effet potentiel de l'agriculture sur l'environnement;
- en ce qui concerne la plupart des indicateurs d'état, il n'existe généralement pas de données de terrain détaillées à l'échelle nationale.

Toutefois, dans les cas où il existe des données de terrain détaillées, qui résultent habituellement d'études régionales, nous les présentons dans des encadrés afin de mettre en contexte l'indicateur général visé.

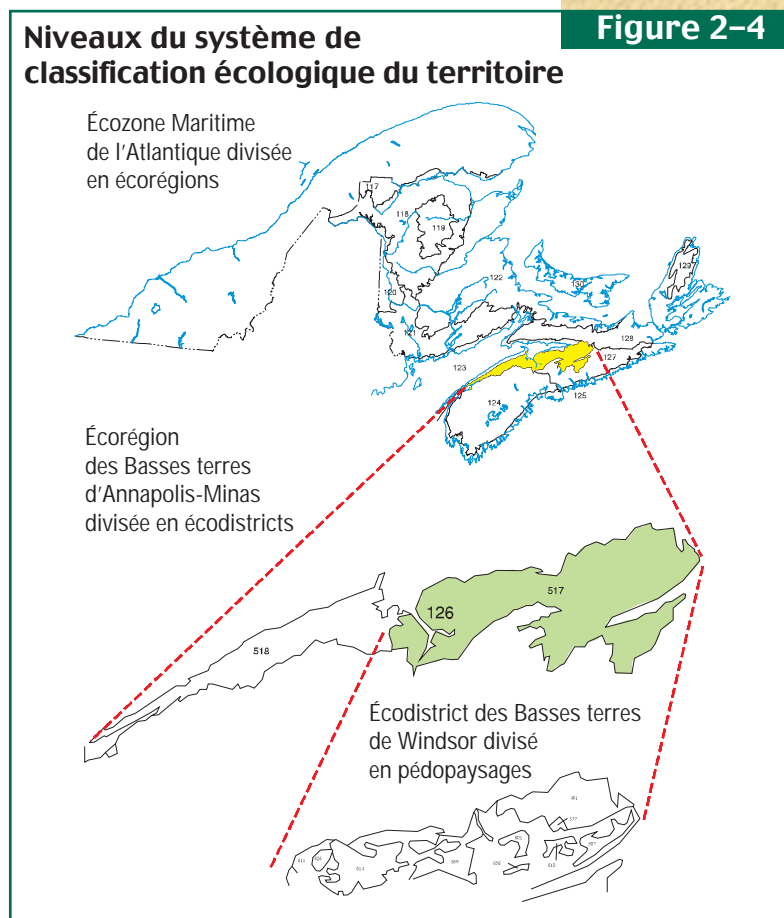
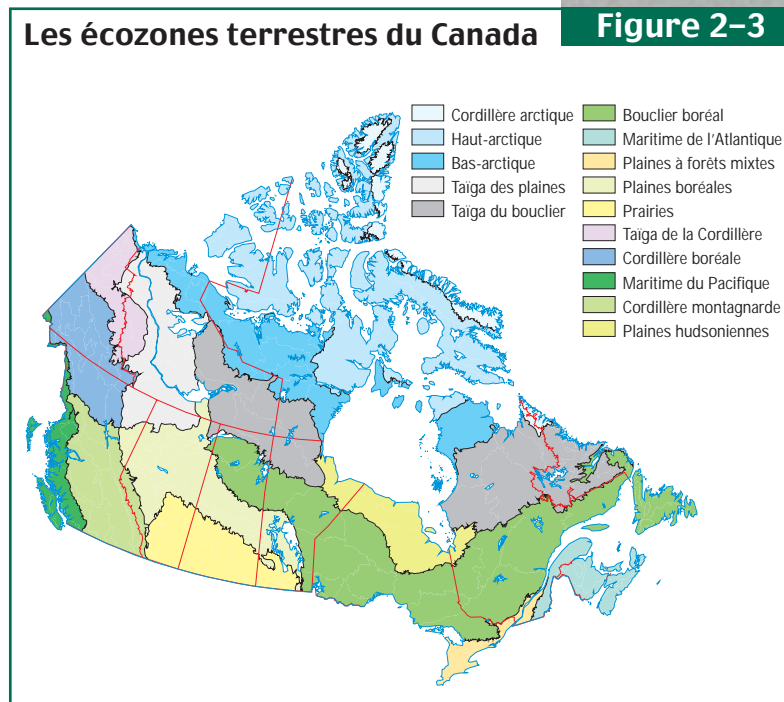
En règle générale, les améliorations (tendances ou changements positifs) révélées par les indicateurs et présentées dans ce rapport correspondent à une réduction du stress environnemental causé par l'agriculture ou à des avantages de l'agriculture pour l'environnement, ou aux deux à la fois. Nous indiquons également la détérioration de la situation (tendances ou changements négatifs) révélée par les indicateurs. Pour permettre d'évaluer l'importance des conditions et des changements signalés par les indicateurs, nous avons intégré des seuils de référence (objectifs de politiques ou normes de qualité de l'environnement par exemple) au calcul et à l'interprétation des indicateurs, dans la mesure du possible. Dans les cas où les indicateurs révèlent peu de changements dans le temps ni de tendance constante, nous considérons qu'il n'y a pas de changement. Le chapitre 18 présente un sommaire des tendances dégagées par les indicateurs pour les différentes régions du pays.

Calcul des indicateurs

Système de classification écologique du territoire

Dans la mesure du possible, nous avons calculé et décrit les indicateurs dans un cadre écologique, à l'aide du système de classification écologique du territoire canadien (figure 2-3). Ce système comporte trois niveaux : l'*écodistrict*, l'*écorégion* et l'*écozone*. Nous avons subdivisé les écodistricts par la superposition d'unités cartographiques, appelées *polygones*, tirés des cartes des *Pédopaysages du Canada* (figure 2-4) et nous avons veillé à faire correspondre l'échelle d'application

des indicateurs avec le niveau approprié du système de classification. Le tableau 2-2 indique le nombre d'unités cartographiques correspondant à chaque niveau du système de classification



écologique du territoire ainsi que la superficie des unités. Une brève description de ces niveaux est présentée ci-dessous.

Polygones des cartes des *Pédo-paysages du Canada* - Il s'agit d'unités cartographiques des cartes pédologiques de généralisation d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (à l'échelle de 1:1 000 000). La superficie des polygones est variable d'un bout à l'autre du pays. Nombre des indicateurs dont il est question dans ce rapport ont été calculés à l'aide de ces unités cartographiques, dont le niveau de détail permet d'intégrer les données sur les sols et le relief aux données sur la gestion agricole provenant des sommaires pour les secteurs de dénombrement du *Recensement de l'agriculture*.

Tableau 2-2
Nombre et superficie des unités cartographiques utilisées pour l'élaboration des indicateurs agroenvironnementaux nationaux

Niveau	Nombre de polygones	Superficie moyenne (milliers d'hectares)	Plage de superficie habituelle (milliers d'hectares)
Polygone	3 123*	37	10-1 000
Écodistrict	386	590	100-5 000
Écorégion	70	4 620	1 000-15 000
Écozone	7	60 250	17 000-190 000

* Polygones renfermant des terres agricoles sur l'équivalent d'au moins 5 % de leur superficie, selon le *Recensement de l'agriculture* de 1991.

Écodistricts - Les écodistricts regroupent des polygones de pédo-paysage caractérisés par des conditions climatiques et topographiques comparables. Ils se situent à un niveau convenant au stockage de données généralisées sur le climat et les systèmes de culture et parfois à la présentation des résultats des calculs des indicateurs effectués au niveau plus détaillé du polygone.

Écorégions - Les écorégions regroupent les écodistricts présentant des conditions climatiques et topographiques semblables dans une région. Nous les avons utilisées sur le plan spatial pour résumer les pratiques de gestion des cultures à l'échelle régionale dans le but d'estimer les conditions de couverture des sols tout au long de l'année pour tous les systèmes de production agricole du pays.

Écozones - Les écozones correspondent au niveau le plus général du système de classification écologique du territoire; elles sont basées sur les caractéristiques ayant trait à la géographie physique et au climat à l'échelle continentale. La plupart des activités agricoles canadiennes sont menées dans deux des 15 écozones du pays, soit les Prairies et les Plaines à forêts mixtes.

Méthodes de calcul

Tous les indicateurs reposent sur des calculs effectués à partir de données *biophysiques* et d'information sur la gestion agricole généralisées de manière à représenter les conditions dans les paysages à un moment donné. On peut répéter ces calculs à différents moments afin d'estimer les changements et les tendances propres aux indicateurs. Le calcul des indicateurs liés au *Recensement de l'agriculture* est basé sur les années de recensement 1981, 1991 et 1996.

Nous avons calculé la plupart des indicateurs à l'aide de polygones des *Pédo-paysages du Canada* ou à un autre niveau spatial, ce qui a permis de regrouper ultérieurement les données sous la forme de cartes ou de tableaux. Le cas échéant, des systèmes d'information géographique (SIG) ont servi à raffiner les données. Lorsque des calculs propres à un endroit donné étaient possibles, les résultats pouvaient être présentés à n'importe quel niveau du cadre géographique; toutefois, quand l'information relative à un endroit donné n'était pas disponible (dans le cas de l'utilisation de l'énergie par exemple), les résultats étaient simplement résumés par province.

Trois méthodes principales ont été employées durant l'étude. Le tableau 2-1 indique la méthode utilisée pour le calcul de chaque indicateur.

Méthode 1 - Intégration de l'information sur les sols, le climat et les paysages provenant des *Pédo-paysages du Canada* avec les données du *Recensement de l'agriculture* à l'aide de modèles mathématiques existants ou modifiés, dont les outils suivants :

- le modèle Century, utilisé pour le calcul des changements, dans le temps, de la concentration de carbone dans les sols;
- la méthode du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, utilisée pour l'estimation des émissions d'oxyde nitreux à partir des sols;
- l'équation universelle des pertes en terre révisée pour application au Canada, utilisée pour l'estimation du risque d'érosion hydrique des sols.

Méthode 2 - Intégration de l'information sur les sols, le climat et les paysages provenant des *Pédo-paysages du Canada* et des données du *Recensement de l'agriculture* avec des ensembles de données (provenant d'organismes provinciaux, d'entreprises privées et d'autres sources) à l'aide de formules mathématiques élaborées spécialement à cette fin.

Les écozones terrestres du Canada

Les écozones sont de vastes régions du Canada ayant des caractéristiques géographiques, climatiques et écologiques d'échelle subcontinentale comparables. Le territoire canadien a d'abord été divisé en 15 écozones en fonction des exigences liées à la production du premier rapport sur l'état de l'environnement, paru en 1986. Les limites de ces 15 écozones ont été raffinées en 1995 par une équipe de spécialistes des ressources en terres travaillant pour divers organismes gouvernementaux, qui ont établi des liens entre celles-ci et les polygones et les bases de données des *Pédo-paysages du Canada*. L'agriculture commerciale est répandue dans les sept écozones décrites ci-dessous et elle est très limitée dans les écozones de la Cordillère boréale et de la Taïga des plaines.

L'écozone Maritime du Pacifique. Cette écozone, qui renferme la côte du Pacifique et les îles du large de la Colombie-Britannique, est une de celles qui jouissent du climat le plus doux et le plus humide au Canada. La végétation indigène est dominée par des forêts de conifères composées du cèdre rouge de l'Ouest, de la pruche occidentale et du Douglas taxifolié. La majeure partie de la population de la province se trouve dans les quelques grandes vallées et plaines de basses terres qui ponctuent cette écozone montagneuse; c'est également là que se pratiquent la plupart des activités agricoles. L'utilisation des terres fait l'objet d'une forte concurrence. Les terres agricoles représentent moins de 1 % de la superficie de l'écozone, qui est de 207 930 km²; elles sont confinées dans la vallée du Fraser et sur la côte est de la partie méridionale de l'île de Vancouver.

L'écozone de la Cordillère montagnarde. Cette écozone couvre presque tout le sud de la région intérieure de la Colombie-Britannique et une partie du sud-ouest de l'Alberta. Il s'agit de l'écozone la plus diversifiée. On y trouve de la toundra alpine, de denses forêts de conifères et des prairies dominées par des armoises. Dans les vallées semi-arides de l'extrême-sud de l'écozone, au climat doux, les arbres fruitiers et les vignes dominent, tandis que l'élevage bovin est répandu dans les vallées et les plateaux du Nord. Les terres agricoles couvrent seulement 2 % de la superficie de l'écozone, qui est de 487 900 km².

L'écozone des Plainnes boréales. Il s'agit d'une large bande qui s'étend de la rivière de la Paix, en Colombie-Britannique, à l'extrémité sud-est du Manitoba. Cette écozone, située au nord de l'écozone des Prairies, est propice à l'agriculture dans ce qu'on appelle souvent la zone de sol gris forestier. La végétation indigène se compose d'épinettes blanches, d'épinettes noires et de peupliers. Les principales cultures sont les *céréales*, les *oléagineux* et le *fouillage*. L'écozone couvre 737 290 km², dont environ 20 % sont composés de terres agricoles.

L'écozone des Prairies. Cette écozone, qui renferme toutes les prairies et les tremblaies-parcs depuis les contreforts des Rocheuses jusqu'au Bouclier canadien à l'est du lac Winnipeg, se distingue par un relief relativement plat et un climat semi-aride marqué par des hivers froids et des étés chauds. L'agriculture domine la plupart des paysages, soit 90 % de la superficie totale de l'écozone, de 465 090 km². En fait, environ les deux tiers des terres agricoles du Canada se trouvent dans les Prairies.

L'écozone du Bouclier boréal. Cette écozone, la plus vaste au pays, va du nord de la Saskatchewan jusqu'à Terre-Neuve, en passant par le nord du lac Winnipeg, du lac Supérieur et des Basses terres du fleuve Saint-Laurent. On pratique l'agriculture en quelques endroits dans sa partie sud et çà et là à Terre-Neuve et au Labrador. Les terres agricoles ont été aménagées dans des forêts de conifères et de peupliers et on y pratique une agriculture mixte. Elles occupent moins de 1 % du territoire de l'écozone, qui couvre 1 937 520 km².

L'écozone des Plainnes à forêts mixtes. Il s'agit d'un territoire qui couvre le sud-ouest de l'Ontario, la vallée de l'Outaouais et les Basses terres du fleuve Saint-Laurent, dans le sud du Québec. Cette écozone renferme la plupart des terres de production agricole primaire du Québec et de l'Ontario. Cette production occupe le deuxième rang au pays, après celle des Prairies, mais elle est la plus importante sur le plan économique. Le climat humide et relativement chaud est propice à une production très diversifiée, dont la majorité des produits laitiers, des légumes et des cultures spéciales du Canada. Dans cette écozone, l'agriculture se dispute le territoire avec l'industrie, les transports, les centres urbains et les banlieues. En fait, quelque 40 % des 168 200 km² que couvrent l'écozone sont occupés par des terres agricoles.

L'écozone Maritime de l'Atlantique. Cette écozone comprend les Cantons de l'Est et la Gaspésie, au Québec, ainsi que l'ensemble des provinces maritimes. L'agriculture domine à l'Île-du-Prince-Édouard. Ailleurs, elle est concentrée dans certaines vallées (la vallée de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick, la vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse, et la région de Sherbrooke-Lennoxville, au Québec, par exemple). Dans les régions boisées, l'agriculture occupe une position secondaire. Les principales productions agricoles sont les légumes de saison fraîche, le fourrage et les produits laitiers. Les terres agricoles représentent environ 10 % de la superficie de cette écozone, qui est de 213 860 km².

C.A.S. Smith, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Cette méthode, la plus utilisée au cours de l'étude, était nécessaire dans les cas où il n'existait pas déjà de modèles ou de formules mathématiques. Elle a servi à calculer, entre autres :

- les concentrations de nitrates dans le sol et l'eau;
- le risque de compactage du sol;
- l'ampleur de l'érosion attribuable au travail du sol associée à différents systèmes de production agricole.

Méthode 3 - Synthèse de l'information provenant du *Recensement de l'agriculture*, d'études spéciales ou d'une combinaison des deux, et présentation des résultats des calculs à l'échelle d'une province ou d'une écozone. Cette méthode a servi notamment à décrire :

- l'évolution de l'utilisation des terres dans le temps;
- l'adoption de pratiques écologiques de gestion des intrants agricoles;
- l'utilisation de l'énergie.

Application des méthodes

Affectation des données de recensement

Le *Recensement de l'agriculture* a fourni de l'information sur les cultures, l'utilisation des terres et l'élevage qui a servi au calcul des indicateurs. On a utilisé les données de recensement à l'échelle du secteur de dénombrement (zone dont l'étendue est fonction du nombre et de la

concentration des répondants et au niveau de laquelle Statistique Canada résume les données). L'affectation des données de recensement aux polygones des cartes des *Pédo-paysages du Canada* a exigé une attention particulière, car même si ces polygones demeurent les mêmes, les secteurs de dénombrement peuvent changer d'une année de recensement à l'autre. Il a donc fallu refaire les calculs pour affecter les données aux polygones des cartes des *Pédo-paysages du Canada* pour chaque année de recensement. De la même manière, la simple superposition de données de recensement sur les polygones à l'aide d'un logiciel SIG a entraîné des erreurs d'affectation (par exemple, il serait erroné d'attribuer des données sur la production de maïs à un polygone dominé par des affleurements rocheux ou des plantations forestières). Afin d'accroître la précision et d'assurer une meilleure concordance entre les données de recensement et les polygones, nous avons fait appel à des données d'autres sources, dont des images-satellite, pour vérifier l'utilisation des terres à des endroits précis dans la mesure du possible. L'intégration exacte et appropriée des données sur la production agricole avec la base d'information biophysique sur les paysages s'est révélée une étape des calculs particulièrement difficile pour une grande partie des indicateurs.

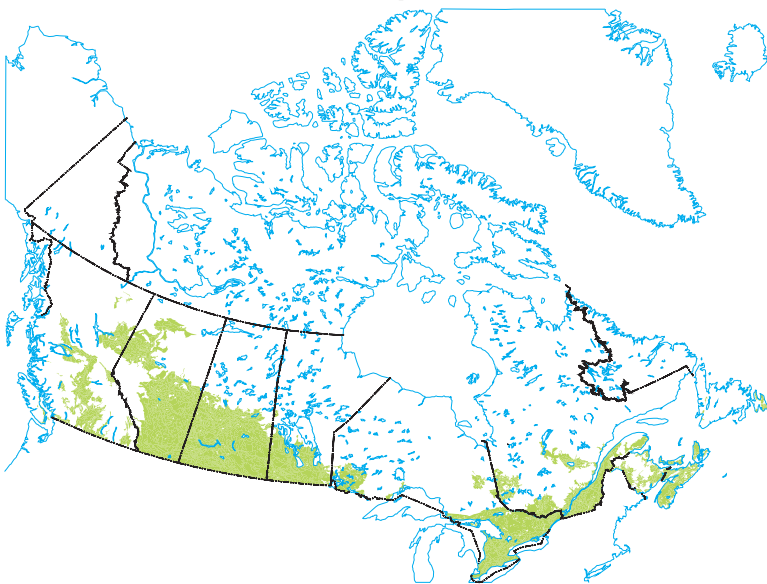
Détermination des limites des régions agricoles

Dans les régions du pays où l'agriculture constitue la principale utilisation des terres, l'évaluation du risque pour l'environnement à l'échelle du paysage est une opération assez simple. On suppose que l'agriculture est pratiquée sur l'ensemble du paysage, et les calculs des indicateurs sont basés sur le ou les types de sol dominants dans les polygones. Or, au Canada, la plupart des activités de production agricole se déroulent dans des paysages où l'agriculture n'est pas la principale utilisation des terres. Pour ces régions, on a dû vérifier les calculs pour s'assurer que le ou les types de sol (pas nécessairement les types dominants), les conditions de drainage et les formes de relief appropriés étaient pris en compte et que les intrants et les valeurs du *Recensement de l'agriculture* étaient affectés de façon rationnelle aux polygones appropriés.

Il convient de noter que, même si une valeur est attribuée à un polygone complet sur les cartes présentant les résultats des calculs des indicateurs, ces résultats s'appliquent seulement à la partie du polygone dans laquelle on pratique l'agriculture. Dans les zones situées en périphérie des régions agricoles, cela peut induire en erreur si l'on ne tient pas compte de cette particularité.

Unités cartographiques renfermant des terres agricoles sur l'équivalent d'au moins 5 % de leur superficie

Figure 2-5



Un ensemble commun de polygones des cartes des *Pédo-paysages du Canada* a été utilisé pour le calcul de tous les indicateurs impliquant l'intégration de données de recensement à des polygones. Pour qu'un polygone entre dans cet ensemble, il fallait qu'il renferme des terres agricoles :

- sur l'équivalent d'au moins 5 % de sa superficie, selon le recensement de 1991;
- dans cette proportion minimale d'après les recensements effectués en 1981, 1991 et 1996.

En 1991, 3 123 polygones des cartes des *Pédo-paysages du Canada* respectaient la première condition (tableau 2-2); ces polygones formaient la région d'étude montrée dans la figure 2-5.

L'application de ces conditions a fait en sorte que de nombreux polygones situés dans les régions périphériques où les activités agricoles sont très dispersées ont été exclus des calculs. Ainsi, les activités agricoles pratiquées au Yukon, dans les Territoires du Nord-Ouest et au Nunavut n'ont pas été prises en compte, ni celles pratiquées à l'extrémité nord ou dans les régions reculées des provinces. Pour les mêmes raisons, les résultats portant seulement sur certains indicateurs sont présentés à l'égard de certaines régions de Terre-Neuve et du Labrador.

Limites des indicateurs

Les indicateurs dont il est question dans le présent rapport souffrent de plusieurs limites, qui sont décrites ci-après. En raison de ces limites, les indicateurs conviennent davantage à des estimations de l'évolution des effets sur l'environnement et à des comparaisons entre régions; ils ne présentent pas nécessairement une description exacte des conditions de l'activité agricole ou de l'état de l'environnement à des endroits précis.

Manque de connaissances et de données

Certains indicateurs ont été calculés à l'aide de modèles mathématiques élaborés et vérifiés localement. Ces modèles appuient les indicateurs sur un fondement théorique solide et aident à déterminer de quelle façon les pratiques de gestion entrent en interaction avec les conditions des paysages et les processus écologiques et, donc, produisent des effets sur l'environnement. Toutefois, ils doivent habituellement faire l'objet d'une validation et d'un étalonnage à l'échelle locale, ce qui pose des problèmes de fiabilité lorsqu'ils sont utilisés à une échelle plus vaste. Souvent, les bases de données du *Recensement de*

Utilisation de données du Recensement de l'agriculture pour l'élaboration d'indicateurs agroenvironnementaux

Pour élaborer des indicateurs agroenvironnementaux dignes de confiance, il faut utiliser des données fiables et pertinentes. Or il existe peu de possibilités et de moyens financiers nouveaux permettant la collecte de données à la grandeur du pays. L'information permettant de s'attaquer aux problèmes environnementaux est souvent ponctuelle sur le plan spatial (c.-à-d. qu'elle se trouve à un endroit précis sur la surface du globe), mais la collecte de cette information est souvent coûteuse. Dès lors, pour élaborer des indicateurs, il est important de recourir à des ensembles de données existants tout autant que de combler les manques d'information quand l'occasion se présente et quand on dispose des fonds nécessaires.

Les résultats du *Recensement de l'agriculture* constituent un tel ensemble de données nationales. Ils sont très utiles pour l'exécution d'analyses d'indicateurs, mais ils n'ont pas le niveau de détail voulu à l'échelle locale et ils sont liés à des unités spatiales basées sur la géographie politique (secteurs de dénombrement, subdivisions de recensement et divisions de relevés des cultures). La base de données sur les *Pédo-paysages du Canada* contient de l'information sur la nature des sols agricoles (p. ex., la texture, l'inclinaison et la profondeur) qui ne peut être utilisée isolément pour le calcul d'indicateurs. Toutefois, on peut élaborer des indicateurs en fusionnant ces deux sources d'information.

Le *Recensement de l'agriculture*, qui fournit de l'information tous les cinq ans sur une vaste gamme de variables pour l'ensemble des exploitations agricoles, brosse un tableau exhaustif des principales caractéristiques de l'industrie agricole canadienne à un moment donné. De plus, il livre des renseignements détaillés sur de petites zones qu'on ne trouve pas ailleurs. Les données recueillies lors des recensements de l'agriculture entrent généralement dans quatre catégories :

- structure des exploitations agricoles (taille et modes de propriété des exploitations);
- cultures et utilisation des terres (distribution et superficie des terres en culture, des pâturages et des autres terres);
- production animale (types d'animaux d'élevage et taille des troupeaux);
- économie agricole (niveaux d'investissement, valeur des intrants et chiffres de vente).

En 1991, sentant le besoin d'assurer un suivi de l'adoption de diverses pratiques de gestion par les agriculteurs, les responsables du recensement agricole ont ajouté une section sur la gestion des terres ayant trait aux pratiques de travail du sol (travail du sol classique, travail de conservation du sol et *culture sans travail du sol*), à la gestion des jachères et à l'utilisation de moyens de lutte contre l'érosion, comme des brise-vent, des plantes couvre-sol d'hiver et des voies d'eau gazonnées. En 1996, ils ont ajouté une question portant sur les méthodes d'application du fumier.

Entre les recensements, on examine le genre d'information recueillie. Ainsi, on évalue actuellement la possibilité de modifier le questionnaire pour obtenir davantage d'information sur les pratiques agricoles écologiques lors du recensement de 2001. Les résultats du *Recensement de l'agriculture* constituent un excellent corpus duquel on peut extraire un échantillon représentatif pour l'exécution d'enquêtes de suivi et la collecte de données par d'autres méthodes, comme des interviews sur place ou des interviews téléphoniques assistées par ordinateur. En outre, on explore et on met à l'essai constamment des techniques de collecte de données agroenvironnementales. Le *Recensement de l'agriculture* et Statistique Canada continueront d'être une importante source de données pour la recherche reliée aux indicateurs agroenvironnementaux.

C.A.S. Smith, *Agriculture et Agroalimentaire Canada*

l'agriculture ou les bases de données sur les sols ne contenaient pas l'information nécessaire à l'estimation des processus liés aux indicateurs. Le cas échéant, il fallait estimer l'information manquante ou effectuer les calculs sans cette information. Dans d'autres cas, nous ne disposions d'aucune donnée pour des régions entières en ce qui concerne les intrants agricoles. Ainsi, l'information sur l'utilisation des pesticides à des endroits particuliers n'est généralement pas disponible au Canada, de sorte qu'il est impossible de réaliser des évaluations sur le plan spatial du risque inhérent à l'utilisation des pesticides à n'importe quel échelon du cadre écologique.

Les données du *Recensement de l'agriculture* sont soumises à des contrôles de qualité par Statistique Canada. Toutefois, des erreurs d'interprétation, par les agriculteurs, de questions particulières inscrites sur les formulaires de recensement et d'enquête peuvent produire des réponses erronées concernant des pratiques de gestion agricole. Cela a été le cas pour des questions sur l'ampleur des pratiques de la jachère et du *travail de conservation du sol*. Nous avons examiné les pratiques de gestion dans les régions pour vérifier qu'il n'y avait pas de disparités par rapport aux données de recensement (en particulier en ce qui concerne le travail de conservation du sol dans la production de pommes de terre dans l'est du Canada et la pratique de la jachère signalée à l'extérieur des provinces des Prairies) et nous avons modifié ces données s'il y avait lieu, mais des erreurs peuvent subsister.

Pour garantir la confidentialité, Statistique Canada supprime des données quand seulement quelques cas d'une activité agricole particulière sont signalés dans un secteur de dénombrement donné. Or, à l'étape du regroupement par province ou par écozone, il peut s'ensuivre la perte d'une grande quantité de données et les résultats peuvent donc être faussés. Le plus souvent, ce sont des données sur le nombre d'animaux d'élevage et les superficies connexes qui sont supprimées. À l'échelle du polygone des cartes des *Pédo-paysages du Canada*, des opérations particulières peuvent être exclues des données de recensement, et des risques pour l'environnement propres à des endroits précis peuvent être complètement oblitérés. Cette limite intervient particulièrement dans le cas des indicateurs dont le calcul repose sur plusieurs attributs de recensement, comme le risque de contamination de l'eau par l'azote et le risque de contamination de l'eau par le phosphore. La suppression de données réduit la superficie utilisable pour les analyses des indicateurs. Dès lors, la superficie totale des terres agricoles prise en compte varie d'un indicateur à l'autre. Il faudrait

mettre au point des techniques pour pallier ces limites imposées par la suppression de données.

Qualité des données et contrôle de la qualité

Le calcul de nombreux indicateurs exigeait des données sur des propriétés chimiques et physiques particulières des sols. En général, ces données proviennent de la base des *Pédo-paysages du Canada*. De nombreux calculs d'indicateurs sont basés seulement sur les sols dominants d'un paysage bien qu'il arrive souvent que nombre d'autres types de sol existent dans un polygone donné. Dans de tels cas, les résultats des calculs sont affectés à l'ensemble du polygone même s'ils représentent les conditions estimées seulement en fonction de la partie dominante du polygone, ce qui entraîne une certaine inexactitude. Qui plus est, la valeur enregistrée relative à une propriété des sols peut être basée sur une estimation ou sur une seule mesure ou elle peut représenter la moyenne des résultats de plusieurs mesures. Comme la fiabilité des données utilisées était très variable ou impossible à établir, nous n'avons pu recourir à des méthodes statistiques pour déterminer les probabilités, la signification statistique ou la fiabilité de la plupart des calculs des indicateurs.

Jusqu'à présent, nous n'avons pu soumettre à un contrôle rigoureux de la qualité l'affectation des données du *Recensement de l'agriculture* aux polygones des cartes des *Pédo-paysages du Canada* à l'échelle nationale. Ce contrôle nécessite l'utilisation de données obtenues par satellites, des vérifications manuelles des données et des validations par rapport à des observations sur le terrain. Le temps et les ressources dont nous disposions ne nous ont permis d'assurer ce contrôle que pour quelques paysages dans l'ensemble du pays. Il est essentiel d'avoir de l'information très précise sur l'utilisation du territoire pour affecter correctement aux terres les données sur la production agricole, mais cette information n'est pas encore disponible à l'échelle nationale.

Portée géographique

Dans la plupart des cas, le calcul des indicateurs a été réalisé à l'échelle nationale. Certains indicateurs ont fait l'objet d'un calcul à l'échelle régionale parce qu'ils avaient trait à des phénomènes propres à des régions particulières; c'est le cas, par exemple, de l'érosion éolienne et de la *salinisation* des sols dans les Prairies. Dans le cas de certains indicateurs dont l'élaboration en est encore aux premiers stades, nous ne disposions de données que pour certaines régions du pays, comme le montrent les exemples suivants.

- L'application de l'indicateur du risque de contamination de l'eau par le phosphore a été limitée au Québec, car nous avons pu obtenir facilement des données sur la teneur en phosphore des sols seulement dans cette province.
- L'évaluation du risque de compactage du sol est limitée aux régions humides de l'est du Canada caractérisées par la présence d'argile non gonflante faute de méthodes d'analyse permettant d'étudier d'autres types d'argile. Par conséquent, l'indicateur du risque de compactage du sol ne couvre pas les sols argileux du sud du Québec; de la vallée de l'Outaouais; de la vallée de la rivière Rouge, dans le sud du Manitoba; et des Basses terres continentales, en Colombie-Britannique, qui présentent tous des problèmes de compactage.
- L'indicateur du risque de contamination de l'eau implique le calcul des surplus d'eau saisonniers dans la rhizosphère, phénomène courant seulement dans les régions les plus humides du Canada. Dès lors, bien que la contamination de réseaux hydrographiques soit un problème reconnu dans certaines localités des provinces des Prairies ou de la région méridionale de l'intérieur en Colombie-Britannique, le rapport ne présente pas de résultats relatifs à cet indicateur pour ces parties du pays.

Contraintes temporelles

Le *Recensement de l'agriculture* est mené tous les cinq ans, et ce rapport présente les résultats des indicateurs pour les années de recensement 1981, 1991 et 1996. Il est difficile de dégager des tendances à partir de seulement trois points de données, mais les futures mises à jour pourraient confirmer des tendances déjà apparentes, en particulier dans le cas des indicateurs soumis à une importante variation saisonnière, notamment le risque de salinisation du sol.

Le traitement des données de recensement par Statistique Canada s'échelonne sur un an avant la publication des résultats, et il faut aussi du temps pour utiliser l'information dans le but de produire des valeurs propres aux indicateurs agroenvironnementaux. Par conséquent, ces indicateurs reflètent des risques ou des conditions décelés de deux à cinq ans auparavant. Or, pour élaborer des politiques, il faut souvent compter sur de l'information plus à propos et de nature plus prospective.

Utilisation et interprétation des indicateurs

Pour produire des évaluations nationales, il faut travailler à de grandes échelles temporelle et spatiale. Toutefois, les analyses de grande échelle

ne sont pas précises et tendent à adoucir les conditions extrêmes. Par exemple, l'érosion causée par les pluies torrentielles de courte durée au printemps est sous-estimée parce que ces événements sont inclus dans une moyenne établie sur de longues périodes. De la même manière, les provinces, voire les unités écologiques des écorégions et des écozones, ne sont pas homogènes quant aux pratiques de gestion agricole ou aux conditions biophysiques alors que les analyses de grande échelle ont tendance à les uniformiser. Dès lors, les indicateurs agroenvironnementaux révèlent mieux les incidences environnementales de source diffuse que les incidences de source ponctuelle. Qui plus est, l'absence de résultat marquant à l'égard d'un indicateur ne signifie pas nécessairement l'absence de problème. Ainsi, les effets potentiels sur l'environnement de la production animale intensive ne sont pas décelés à ce niveau d'analyse, car ils se concentrent en un endroit précis.

L'interaction entre l'agriculture et l'environnement est complexe. Il faut donc user de prudence pour tirer des conclusions générales des résultats propres à un indicateur particulier. Les tendances positives révélées par un indicateur peuvent induire des tendances négatives par rapport à un autre indicateur. Par exemple, le travail réduit du sol, qui atténue l'érosion, peut obliger à utiliser davantage d'herbicides. De même, l'emploi d'engrais et de fumiers à base d'azote, plus utiles et plus efficaces, peut accroître les émissions d'oxyde nitreux à partir des sols cultivés.

Dans une grande mesure, les indicateurs dont il est question dans ce rapport présentent une perspective biophysique. Nous n'avons pas cherché à mesurer en termes économiques les coûts et les avantages des conditions et des changements estimés par ces indicateurs. Certains aspects de l'agriculture écologiquement durable ne sont pas couverts par les indicateurs, notamment : les tendances propres aux risques pour l'environnement associés à l'utilisation de pesticides, l'évolution de la nature et de la qualité de la *matière organique du sol*, les tendances touchant la biodiversité végétale et animale sur les terres agricoles et en périphérie et le risque de contamination de l'eau par les bactéries et les sédiments. Des travaux futurs pourraient permettre de combler ce manque d'information et faire reculer ces limites.

Conclusion

L'agriculture est peut-être l'activité économique qui est le plus intimement liée aux milieux naturels. Les aspects fondamentaux de l'écologie

de l'agriculture et de son interaction avec l'environnement sont connus. Cependant, on ne connaît pas en détail les processus sous-jacents aux écosystèmes naturels et à ceux que modifie l'être humain pour produire des aliments et des fibres. En outre, les agriculteurs canadiens mènent leurs activités dans des paysages et des conditions climatiques diverses et ces activités sont assujetties à divers facteurs environnementaux, technologiques, sociaux et économiques. Il n'est donc pas toujours possible de savoir avec précision quelles seront les répercussions à long terme des modifications apportées aux systèmes naturels ni comment évolueront ces modifications dans l'avenir. Dans ce contexte, nous avons utilisé l'information et les méthodes disponibles pour élaborer et présenter, pour la première fois, un ensemble national d'indicateurs agroenvironnementaux pour le Canada.

Dans la plupart des cas, le calcul des indicateurs reposait sur la fusion d'information sur les caractéristiques biophysiques du paysage et de données sur la production agricole. Le présent rapport montre l'application de cette démarche à de volumineuses bases de données. En cours de route, il est devenu évident qu'il manquait souvent d'importantes données et que beaucoup d'importants travaux de recherche et de développement doivent être effectués avant qu'un ensemble plus

exhaustif et plus fiable d'indicateurs puisse être constitué. En particulier, il faut trouver des moyens de pousser la recherche en des endroits précis, d'utiliser efficacement à grande échelle les modèles relatifs à des lieux particuliers et de mieux intégrer les données sur la production aux attributs des paysages dans lesquels se déroulent les activités agricoles. De plus, il faut raffiner les procédures et les applications des modèles et accroître la fiabilité des données d'entrée afin de rendre les calculs plus exacts.

Malgré les limites exposées ci-dessus, nous sommes encouragés par les résultats de l'étude. Les indicateurs semblent sensibles à l'évolution des pratiques agricoles et révèlent un profil de risques pour l'environnement qui traduit l'intensité de la production agricole dans certaines régions. Ils établissent une base à laquelle les résultats des évaluations futures pourront être comparés. Enfin, ils serviront à élaborer et à évaluer des politiques agricoles, à orienter la recherche et à informer les producteurs agricoles sur les grandes tendances de leur performance environnementale.

3 Facteurs influant sur l'agriculture écologiquement durable

R.J. MacGregor et T. McRae

POINTS SAILLANTS

- Les signaux économiques et sociaux provenant du marché, des politiques gouvernementales et de la technologie constituent les principaux facteurs qui ont un effet sur le respect de l'environnement et d'autres paramètres du domaine de l'agriculture. Au fil du temps, ces facteurs ont considérablement évolué et, ces dernières années, ils sont devenus plus complexes.
- La demande mondiale en produits agricoles a augmenté et continuera d'augmenter, mais elle s'est également transformée. L'accroissement et l'évolution de cette demande se sont accompagnés de la mondialisation des marchés, de la libéralisation du commerce et d'une intensification de la concurrence entre pays.
- L'industrie agricole canadienne a réagi en augmentant sa production et en adoptant des méthodes et des technologies nouvelles pour accroître sa productivité et sa compétitivité. Des changements structurels se sont également produits : expansion et spécialisation des exploitations agricoles et intensification de l'utilisation des terres et d'autres intrants. Nombre de ces changements ont aggravé les risques environnementaux découlant de la production agricole. Simultanément, les attentes et les préférences de l'ensemble de la société à l'égard de l'environnement ont évolué. De nouvelles réglementations et ententes relatives à l'environnement ont vu le jour, ce qui oblige de plus en plus le secteur agricole à se fixer des objectifs tant environnementaux qu'économiques.
- Longtemps, les autorités gouvernementales ont orienté leurs politiques agricoles en fonction d'objectifs économiques et de production. Or la récente réforme de ces politiques se fondait non seulement sur les critères sociaux et économiques habituels, mais aussi sur des considérations environnementales. Face à cette évolution, le secteur agricole a pris toutes sortes d'initiatives volontaires et il a adopté de nouvelles méthodes agronomiques.
- La conjoncture continuera d'évoluer et d'influencer les tendances à l'égard de l'environnement au sein de l'industrie agricole. Les risques encourus par les milieux naturels continueront d'augmenter à mesure que la production croîtra, de sorte que l'industrie, les pouvoirs publics et les Canadiens eux-mêmes devront constamment veiller à ce que le monde agricole se fixe des objectifs tant environnementaux qu'économiques.

Introduction

L'agriculture trouve sa place dans les grands systèmes économiques, sociaux et environnementaux du monde. Ces systèmes sont inextricablement liés et entrent en interaction; ils font ainsi naître diverses forces qui agissent sur la nature et l'orientation de la production agricole en se répercutant sur le rapport qui existe entre l'agriculture et l'environnement.

Ces interactions sont un aspect du cadre facteurs-résultats-réaction utilisé pour identifier des indicateurs agroenvironnementaux appropriés en vue de la rédaction du présent rapport (voir Chapitre 2). Outre le milieu naturel dans lequel travaille l'agriculteur, les principaux types de facteurs qui entrent en jeu sont les suivants :

- les conditions économiques et sociales et les politiques auxquelles réagit l'agriculteur;
- les technologies qu'il peut exploiter.

Tout au long du XX^e siècle, ces facteurs ont évolué. Ces dernières années, ils ont gagné en complexité et leur évolution s'est accélérée. Dans une large mesure, les agriculteurs tiennent pour acquis l'environnement général créé par ces facteurs et adoptent des stratégies de production leur permettant d'obtenir les résultats escomptés le plus efficacement possible. Dans le présent chapitre, on examine en quoi ces forces se sont modifiées et on discute des répercussions qui en découlent sur le plan de l'environnement.

Facteurs sociaux

La demande du marché

La demande du marché est un des principaux facteurs touchant l'agriculture. La population mondiale, qui s'élève à quelque 6 milliards de personnes, a connu une expansion rapide au cours du XX^e siècle, et elle atteindra de 7,3 à 10,7 milliards de personnes en 2050, si l'on se fie à certaines tendances du taux de fécondité. La demande en produits alimentaires, qui ne cesse d'augmenter à l'échelle planétaire, exerce une pression constante sur l'agriculture. De plus, cette demande s'est transformée sous l'effet de l'accroissement des revenus familiaux, particulièrement dans les pays occidentaux. Les régimes alimentaires sont plus variés et comportent, outre les céréales, les fruits et les légumes, des produits d'élevage plus coûteux (et dont la production nécessite une forte consommation d'énergie). La demande de produits agricoles à des fins industrielles, notamment pour la production d'alcools et d'huiles non comestibles, a également augmenté.

Parallèlement à la croissance et à l'évolution de la demande en produits alimentaires, on a observé la mondialisation des marchés et la *libéralisation du commerce* qui ont eu de profondes répercussions sur le monde agricole à l'échelle planétaire. Comme il est un grand exportateur de produits agricoles, le Canada travaille sans relâche à étendre sa part du commerce mondial de ces produits, notamment des produits transformés (voir l'encadré).

Part canadienne des marchés mondiaux : établissement d'un nouvel objectif

Les politiques agroalimentaires influent sur la nature et le volume de la production agricole. Le Conseil de commercialisation agroalimentaire a récemment établi que la part du Canada sur les marchés mondiaux des produits agricoles primaires et des produits agroalimentaires devait atteindre 4 % d'ici 2005. Cet objectif, qui a été adopté par les ministres provinciaux et fédéral de l'agriculture en juillet 1998, constitue désormais l'un des éléments clés des politiques de croissance et de développement. Il suppose que la valeur des exportations canadiennes de produits agroalimentaires passera de 21 milliards de dollars, valeur enregistrée en 1998, à 30 ou 40 milliards.

La poursuite de cet objectif commercial n'est pas sans produire des répercussions sur l'environnement, car il faudra mobiliser des ressources et des intrants supplémentaires pour accroître la production. Quand on fera le point sur les indicateurs économiques et environnementaux propres au secteur agricole, on pourra déterminer si l'on est en voie d'atteindre l'objectif fixé et dans quelle mesure le milieu naturel s'en ressent.

T. McRae et R. J. MacGregor, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Ces phénomènes de marché peuvent avoir plusieurs répercussions :

- intensification de la concurrence entre pays menant à la mise au point et à l'adoption de nouvelles méthodes et de nouveaux procédés de production visant à accroître la compétitivité et la productivité;
- augmentation générale de la production agricole et évolution de la gamme de produits offerts sur le marché, avec un accroissement de l'offre des produits d'élevage;
- baisses du prix réel de certains produits (figure 3-1) et variations cycliques des prix obligeant les agriculteurs à devenir plus productifs et plus efficaces, et à mieux gérer les risques économiques;

- expansion et spécialisation des exploitations agricoles, et intensification de la production visant à réaliser des économies d'échelle (figure 3-2);
- évolution des règles commerciales mondiales imposant de nouvelles contraintes aux États en ce qui touche aux politiques d'aide au secteur agricole.

La nécessité d'améliorer la compétitivité et la productivité dans le cadre de l'économie mondiale a suscité des initiatives dans le domaine de la recherche, la modification des politiques gouvernementales (programmes d'aide au revenu agricole) et des activités de commercialisation. Dans l'ensemble, l'industrie agricole canadienne a su répondre aux demandes du marché. Toutefois les conditions du marché continueront de fluctuer et la concurrence s'intensifiera vraisemblablement, ce qui rendra nécessaire un effort d'adaptation constant. Les changements structurels qui se sont produits et qui se poursuivront dans le secteur agricole canadien ont des incidences environnementales liées à l'utilisation des terres (voir l'encadré), de l'eau, des intrants et d'autres ressources.

Les préférences de la population

Les préférences et les attentes générales de la population constituent un important faisceau de forces influant sur l'agriculture. En ce qui a trait à l'agriculture, la première attente des Canadiens est l'assurance d'un approvisionnement sûr et abondant en produits alimentaires. Viennent ensuite le développement rural, l'emploi et la contribution de l'industrie agricole au revenu national et au commerce. Par ailleurs, les Canadiens accordent de plus en plus d'importance à la protection de l'environnement, ce qui a pour effet d'accroître les pressions sur l'agriculture.

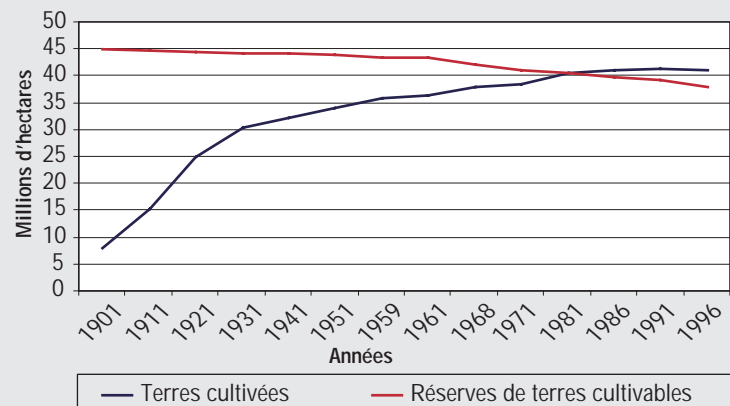
La société canadienne étant en grande partie urbanisée, les gens apprécient davantage la valeur économique et écologique des actifs environnementaux, notamment les sols, les espèces sauvages, les forêts, les pêches et les ressources en eau. Les Canadiens s'inquiètent des menaces qui pèsent sur ces actifs et ils appuient les différentes initiatives prises pour les préserver. Les consommateurs d'autres pays expriment des préoccupations de même nature; dans certains cas, ils sont allés jusqu'à boycotter des produits dont ils jugeaient le mode de fabrication nuisible à l'environnement (qu'on pense au boycott des produits forestiers canadiens en Europe).

De récents sondages d'opinion révèlent que les effets de l'agriculture, en particulier l'utilisation

Utilisation et superficie totale des terres agricoles

Les prix des cultures et des produits d'élevage sur le marché ont une influence directe sur les décisions concernant l'utilisation des terres agricoles, et nombre de ces décisions se répercutent sur la qualité du sol et de l'eau ainsi que sur certains autres aspects environnementaux tels que l'habitat des espèces sauvages.

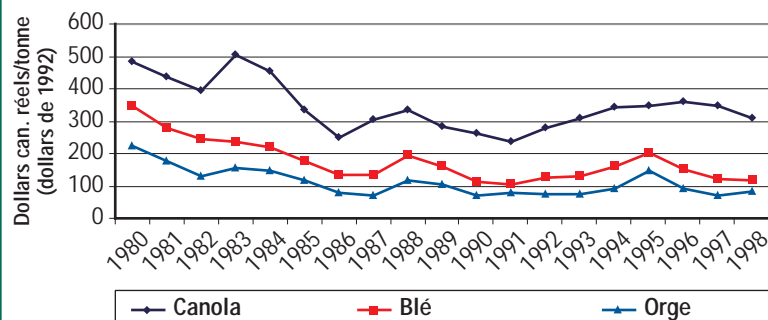
Au cours des 30 dernières années, la superficie totale des terres agricoles au Canada est demeurée assez stable, soit environ 68 millions d'hectares. Toutefois, au fil des ans, il s'est produit d'importants changements dans les modes d'utilisation de ces terres. Par exemple, entre 1901 et 1996, la superficie des terres cultivées (en culture et en jachère) a quintuplé. En revanche, on estime que la superficie des terres agricoles cultivables (terres des classes 1, 2 et 3 de la classification du potentiel agricole des terres de l'Inventaire des terres du Canada) a chuté de 16 % au cours de la même période sous l'effet de l'urbanisation ou de leur conversion pour d'autres usages. Dans les années 1980, la superficie des terres cultivées au Canada a dépassé la superficie des terres cultivables, ce qui indique que la production agricole est de plus en plus tributaire des terres à rendement marginal, avec les effets que cela peut engendrer sur la productivité, la qualité des sols, l'habitat de la faune et d'autres paramètres environnementaux.



D. Trant, Statistique Canada

Tendances des prix des grains

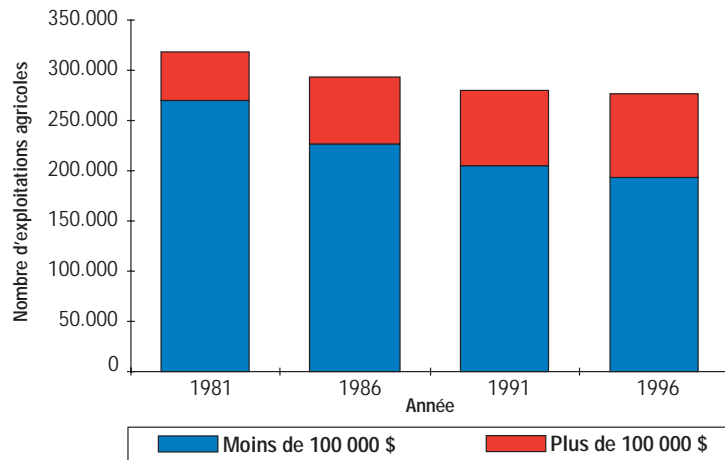
Figure 3-1



de produits chimiques, sur la qualité de l'environnement (voir l'encadré) suscitent des inquiétudes. Les gouvernements ont répondu à ces préoccupations

Nombre d'exploitations agricoles et proportion des petites et des grandes exploitations selon les recettes agricoles brutes

Figure 3-2



Source: Statistique Canada, 1997, n° de catalogue 93-358 XPB.

en appuyant la recherche, en mettant en œuvre des politiques et des programmes favorisant l'agriculture écologique et en adoptant des règlements destinés à protéger l'environnement là où on le juge nécessaire (tableau 3-1). De même, l'industrie a réagi par une série d'initiatives volontaires (souvent avec l'appui des pouvoirs publics), comme l'adoption de plans agroenvironnementaux et de nouvelles méthodes agronomiques à la faveur de l'accroissement des connaissances. Dans la plupart des cas, les producteurs ne sont pas rétribués directement pour leurs efforts de réduction des risques environnementaux, et ce même lorsque ces mesures leur sont imposées par la réglementation sur l'utilisation des ressources et l'emploi de certaines méthodes agronomiques.

Un autre facteur social agissant sur l'agriculture est apparu récemment et continue d'évoluer : la reconnaissance croissante par la population des avantages environnementaux pouvant découler de l'agriculture. Les habitats fauniques, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la beauté des paysages et l'existence de services environnementaux, comme le recyclage des éléments nutritifs, en sont les exemples les plus frappants. *L'agrotourisme* est une autre voix permettant aux familles d'agriculteurs de tirer profit de ces avantages. Dans certains cas, des groupes d'intérêt public et les responsables de programmes (le Plan nord-américain de gestion de la sauvagine par exemple) se sont montrés prêts à payer les producteurs agricoles pour les avantages qu'ils leur procurent.

L'agriculture et l'environnement au Canada : perception du public

Dans l'ensemble, les Canadiens ont une perception relativement bonne de l'industrie agroalimentaire par rapport à l'environnement. Ils placent l'agriculture au onzième rang sur douze (avant l'industrie des logiciels) quant aux dommages causés au milieu naturel. En comparaison avec d'autres industries exploitant des ressources naturelles (énergie, pêches et forêts), les Canadiens considèrent l'agriculture comme la plus durable du point de vue environnemental.

En ce qui touche aux effets des activités agricoles sur l'environnement, c'est l'utilisation des engrais et des pesticides chimiques qui préoccupe le plus grand nombre de Canadiens (60 %); viennent ensuite la pollution de l'eau par les déchets d'élevage (19 %), l'effet de l'agriculture sur les habitats fauniques et les milieux humides (13 %), et les odeurs produites par les exploitations d'élevage (4 %). Les proportions varient selon les régions et un plus grand pourcentage de personnes du Québec, de la Saskatchewan et de l'Alberta (8 %) ont dit s'inquiéter des odeurs.

La perception de l'agriculture et de l'environnement a évolué. Il y a dix ans, la perte de terres agricoles attribuable à l'expansion urbaine était considérée comme le principal problème agroenvironnemental, mais elle a peu à peu cédé la place à l'utilisation de produits chimiques à la ferme.

The Environmental Monitor, 1998

Les politiques publiques

Les politiques publiques mises en œuvre aux paliers local, régional, provincial, national et international influent sur l'utilisation des ressources en agissant sur les prix des marchés et également par l'intermédiaire de la réglementation et des programmes d'information et de sensibilisation. Les politiques économiques produisent d'importants effets environnementaux, tandis que les politiques environnementales peuvent à leur tour influencer sur la performance économique.

Au début du XX^e siècle, l'objectif des administrations publiques était, de façon générale, de tirer le plus de richesse et de revenu possible du secteur agricole. Le soutien public à l'agriculture prenait diverses formes :

- financement de travaux d'infrastructure, comme l'aménagement de réseaux de transport, d'irrigation et de drainage;

- adoption de lois dont l'objet est de réduire les risques économiques affectant la production agricole, surtout en matière de commercialisation des produits;
- soutien financier accordé à la recherche agricole;
- investissements à long terme destinés à financer la croissance et l'adaptation, ainsi que la mise au point de nouvelles technologies.

Évolution de l'aide de l'État à l'agriculture

L'aide de l'État à l'agriculture peut avoir d'importants effets sur les niveaux de production, et donc sur l'environnement. Les formes d'aide qui suscitent le plus d'inquiétude à cet égard sont les paiements de soutien directement liés à la production, comme ceux qui se fondent sur la superficie cultivée, et qui peuvent inciter à l'utilisation de terres à rendement marginal ou au drainage de milieux humides.

On mesure souvent l'aide de l'État en évaluant la subvention à la production (un indicateur qui intègre les subventions à la production et d'autres formes d'aide), qui se fonde sur la valeur de la production. L'aide fournie en 1998 dans les pays membres de l'OCDE dépassait de 14 % celle accordée durant la période de référence 1986-1988. Aux États-Unis et dans l'Union européenne, l'aide accordée en 1998 dépassait respectivement de 13 et de 28 % celle fournie durant la période de référence, en partie à cause du bas prix des grains et des oléagineux sur le marché mondial. Au Canada, l'aide totale demeure inférieure à 70 % de celle accordée durant la période de référence.

Au Canada, l'aide de l'État à l'agriculture a connu une évolution considérable ces dernières années. Des réformes telles que l'élimination des subventions au transport du grain de l'Ouest ont eu pour effet de réduire les niveaux d'aide globale, de sorte que les filets de sécurité agricole sont maintenant en grande partie dissociés de la production dans les secteurs des grains et des oléagineux, les producteurs devant réagir aux signaux dominants du marché.

Certains pays ont recours à des programmes de soutien du revenu agricole pour promouvoir des objectifs tant économiques qu'environnementaux. Aux États-Unis par exemple, les agriculteurs doivent respecter des critères environnementaux précis, comme la conservation des milieux humides et des prairies, pour pouvoir profiter de certaines formes de soutien du revenu; cette approche est souvent appelée observance intégrale.

R. J. MacGregor et T. McRae, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Tableau 3-1

Exemples d'initiatives législatives et réglementaires touchant l'agriculture et visant à la protection de l'environnement

Initiative	Échelle	Implications pour l'agriculture
Convention-cadre sur les changements climatiques (et les protocoles d'application) (Nations Unies)	Mondiale	Élaboration d'une stratégie d'intervention nationale et limitation possible des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole.
Convention sur la diversité biologique (Nations Unies)	Mondiale	Élaboration de la stratégie canadienne de la biodiversité visant à promouvoir la préservation de la diversité des cultures et du bétail, des habitats et des espèces végétales et animales; adoption prochaine d'une loi fédérale sur les espèces en péril.
Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone	Mondiale	Limitation de l'utilisation du bromure de méthyle (insecticide fumigant employé en agriculture) en vue de son élimination d'ici 2005.
Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CÉNUE), dont font partie le Canada et les États-Unis)	Régionale	Limitation possible des émissions d'ammoniac (dont les sources dans le domaine agricole sont les engrais et le bétail) et des émissions d'oxydes d'azote produites par les véhicules de ferme.
Protocole sur les polluants organiques persistants (POP) (CÉNUE)	Régionale	Certains pesticides sont des POP; la plupart sont interdits en agriculture au Canada, mais le lindane est encore en usage.
Accord nord-américain de coopération dans le domaine de l'environnement (Canada, États-Unis et Mexique)	Régional	Large entente de coopération en vue de contrôler l'utilisation de substances ayant des effets outre-frontières. La mise en œuvre d'un programme de gestion des substances chimiques pourrait avoir des incidences sur l'utilisation des pesticides.
<i>Loi canadienne sur la protection de l'environnement</i>	Nationale	L'ammoniac et les particules (y compris les particules de sol transportées par voie atmosphérique) doivent faire l'objet d'évaluations, et il est possible qu'on impose des limites d'émission.
<i>Loi sur les pêches (Canada)</i>	Nationale	Interdiction de polluer les eaux où vivent des poissons, ce qui pourrait affecter l'utilisation d'ouvrages d'irrigation et de drainage.
<i>Loi sur les produits antiparasitaires (Canada)</i>	Nationale	Réglementation de l'homologation des pesticides et imposition de restrictions touchant leur utilisation en fonction de facteurs liés à l'environnement, à la santé humaine et à d'autres aspects.
<i>Loi canadienne sur l'évaluation environnementale</i>	Nationale	Obligation d'évaluer les éventuels effets environnementaux d'activités projetées avant leur exécution; l'application de cette loi pourrait affecter les activités agricoles pratiquées sur des terres fédérales ou même sur des terres privées visées par des projets approuvés ou financés par les autorités fédérales.
Lois et règlements provinciaux et règlements municipaux	Provinciale, municipale	Imposition de restrictions touchant de nombreux aspects de l'activité agricole, par exemple la distance de sécurité autour des puits, la conversion de terres agricoles, l'épandage du fumier, la capacité de stockage de fumier et le maintien de bandes tampon. La réglementation varie d'une province et d'une municipalité à l'autre.

Les préoccupations concernant les ressources naturelles ont commencé à s'exprimer dans les années 1930. Reconnaisant que les méthodes de production existantes constituaient une menace à long terme pour l'économie de l'Ouest, on a créé l'Administration du rétablissement agricole des Prairies, chargée d'enrayer la détérioration de la qualité des terres de cette région.

L'intervention gouvernementale dans l'économie agricole a pris de l'ampleur par la suite (*voir encadré*). Elle s'est accrue au cours des années 1960, 1970 et 1980, à tel point que l'aide financière directe accordée par les gouvernements provinciaux et fédéral a atteint quelque quatre milliards de dollars par année. Diverses politiques relatives à la gestion de l'offre et à la limitation des échanges commerciaux ont été mises en place, et le total du soutien public à l'agriculture s'est accru jusqu'à représenter environ 30 % de la valeur de la production. À la même époque, l'aide apportée au secteur agricole dans les pays de l'OCDE s'élevait à environ 300 milliards de dollars américains par année. En même temps que la production et le soutien du revenu augmentaient, on s'inquiétait de plus en plus des dommages causés à l'environnement par la production à outrance (utilisation de terres peu productives, emploi excessif d'intrants et assèchement des milieux humides).

Constatant que la majeure partie de cette aide ne suffisait qu'à contrebalancer les résultats négatifs des activités menées dans d'autres pays, la plupart des pays développés ont, sous les auspices de l'Organisation mondiale du commerce, adopté l'Entente sur l'agriculture (ratifiée en 1995) par laquelle ils s'engageaient à réduire les activités qui entraînent une distorsion des échanges commerciaux.

Au Canada, le soutien direct à l'industrie agricole a été ramené à environ un milliard de dollars, de sorte qu'on a laissé libre cours aux forces du marché mondial dans la plupart des secteurs de production. Le soutien encore accordé à l'heure actuelle s'adresse en grande partie aux secteurs de la production laitière et avicole, où il existe une gestion de l'offre. Selon toute vraisemblance, il a pour effet de réduire la taille de l'industrie et des exploitations, dont la répartition géographique changerait en l'absence d'une telle politique.

Les politiques gouvernementales ne visent pas toutes à hausser la production. Face à l'inquiétude croissante suscitée chez le public par les effets environnementaux de l'agriculture, les gouvernements encouragent davantage la production de biens et de services respectueuse de

l'environnement. Les nombreuses politiques et initiatives instaurées à tous les paliers (tableau 3-1) ont des répercussions considérables sur l'agriculture, tant au pays qu'à l'étranger.

Au Canada et dans les autres pays occidentaux, il est probable que les autorités publiques interviendront de moins en moins pour régir l'exploitation des ressources et que les influences du marché joueront un rôle accru. Les politiques de soutien ne devront pas fausser les signaux du marché. Néanmoins, les gouvernements ont toujours comme objectif d'assurer la prospérité du secteur agricole, comme en témoignent leurs politiques

L'évolution technologique dans le domaine de l'agriculture

- | | |
|-----------------------|--|
| Avant les années 1900 | <ul style="list-style-type: none">• Début de la mécanisation;• Méthodes scientifiques pour la reproduction et la génétique des espèces végétales et animales. |
| Jusqu'aux années 1930 | <ul style="list-style-type: none">• Utilisation de moteurs à combustion à la ferme. |
| Années 1930-1960 | <ul style="list-style-type: none">• Électrification et utilisation de moteurs électriques. |
| Années 1940-1950 | <ul style="list-style-type: none">• Émergence des industries chimique et pharmaceutique et croissance des industries de fabrication d'intrants (p. ex. les fabricants d'aliments composés pour animaux)• réfrigération;• moyens peu coûteux d'analyse des aliments pour animaux et des sols;• hybridations. |
| Après les années 1970 | <ul style="list-style-type: none">• <i>génie génétique</i>;• <i>technologies de l'information</i>;• informatisation;• systèmes et technologies de gestion;• améliorations génétiques de cultures visant des marchés précis (p. ex. canola);• <i>agriculture de précision</i>. |

R. J. MacGregor, *Agriculture et Agroalimentaire Canada*

d'aide à la recherche et de promotion commerciale ainsi que leur réforme des politiques d'échanges commerciaux visant à accroître l'accès aux marchés d'outre-mer. En ce qui touche à l'environnement, l'agriculture demeure une industrie en grande partie non réglementée. Toutefois la tendance générale est au renforcement de l'intervention des pouvoirs publics, en particulier aux paliers provincial et municipal, en vue d'influencer les méthodes agronomiques et de limiter les effets de l'agriculture sur l'environnement. Le gouvernement fédéral maintient sa présence par la recherche, le financement de certains programmes agroenvironnementaux, la diffusion de l'information et l'application au Canada des engagements pris à l'échelle internationale.

Les changements technologiques

Les préférences de la population et les politiques publiques ont exercé une influence sur les activités et les produits agricoles. Pourtant, à la ferme, c'est surtout l'évolution des technologies qui a modifié les modes d'utilisation des ressources par les producteurs au cours des deux derniers siècles, en particulier durant l'explosion technologique qui s'est produite dans la dernière partie du XX^e siècle (voir l'encadré). L'ensemble des nouvelles technologies a contribué à transformer l'industrie agricole, jadis basée principalement sur une exploitation purement physique, en une industrie fondée sur les connaissances. L'agriculture moderne se distingue par la diminution de l'apport du travail physique, la spécialisation, la concentration, la consolidation et l'évolution de la répartition géographique des exploitations.

La spécialisation s'est opérée non seulement à la ferme, mais aussi dans des régions entières où l'on observait peut-être, à une certaine époque, des activités très diversifiées permettant de desservir les marchés locaux. Pour la plupart des produits, la distance entre le producteur et le marché n'est plus le principal facteur déterminant le choix du lieu de production. Dans le marché d'aujourd'hui, c'est le choix de l'environnement physique et économique optimal qui offre les plus grandes possibilités de réussite.

Les effets de l'évolution technologique sur l'environnement soulèvent énormément de débats. Certaines nouvelles technologies ont eu des répercussions néfastes et imprévues sur l'environnement. Prenons l'exemple du DDT, insecticide efficace, mais dont on n'a pas tardé à déceler les effets dangereux pour les espèces sauvages. De

Répercussions environnementales des changements structurels survenus dans l'industrie du porc au Canada

Dans l'industrie canadienne du porc, l'évolution récente de l'économie, des technologies et des politiques a entraîné des changements structurels, qui ont eux-mêmes des répercussions sur l'environnement. Le porc est l'un des plus importants produits agroalimentaires, et cette industrie génère 2,2 milliards de dollars de revenus pour les producteurs et 1,5 milliard au chapitre des exportations.

Depuis dix ans, l'augmentation du revenu personnel fait progresser la demande de porc sur le marché mondial, en particulier en Asie orientale, ce qui fait monter les prix. En même temps, l'abandon des subventions au transport du grain dans l'Ouest canadien a fait chuter le prix des céréales, si bien que la production de porc dans les Prairies est devenue plus concurrentielle. Par ailleurs, l'évolution des techniques de production du porc et des méthodes de gestion a favorisé le passage des entreprises de naissance-finition traditionnelles, d'une capacité de 100 à 300 truies, à des exploitations d'une capacité de 1 200 ou 2 400 truies (ou même davantage), dans lesquelles le sevrage, l'élevage et la finition se déroulent à trois endroits différents. Dans l'ensemble, le nombre de porcs par hectare dans les élevages porcins a augmenté d'environ 20 % de 1988 à 1997. Les facteurs précités, entre autres, ont contribué à l'expansion, à la spécialisation et à la concentration de l'industrie du porc.

L'ampleur de l'expansion de cette industrie, combinée à l'évolution de la taille et de la nature des élevages, a soulevé des problèmes sociaux et environnementaux dans les régions rurales. Parmi les problèmes environnementaux, on note les odeurs, les effets sur la qualité du sol et de l'eau (azote, phosphore et autres substances potentiellement dangereuses) et les émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac (qui contribuent à la formation de smog et peuvent menacer la santé humaine dans certaines conditions).

L'industrie et les pouvoirs publics prennent des mesures pour gérer les risques environnementaux et s'assurer que l'expansion future de la production porcine ne nuira pas à l'environnement. L'industrie a participé activement à l'établissement et à la promotion de pratiques de gestion optimales, à l'amélioration des communications publiques et au financement de la recherche pour la mise au point de solutions de nature technique. Beaucoup de gouvernements provinciaux ont élaboré des programmes de sensibilisation et d'information, modifié la réglementation en vue d'assurer une croissance respectueuse de l'environnement et collaboré avec les municipalités pour résoudre les problèmes d'utilisation des terres. Le gouvernement fédéral, pour sa part, a concentré son action sur la recherche et la prestation de services techniques par le biais de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies et de programmes environnementaux à frais partagés. Ce même gouvernement et le Conseil canadien du porc ont récemment lancé la Stratégie de gestion de l'environnement des élevages porcins dans le but de coordonner les mesures prises pour résoudre les problèmes d'environnement liés à la production porcine à l'échelle nationale.

E. R. Pidgeon, Agriculture et Agroalimentaire Canada

même, le bromure de méthyle, un insecticide fumigant, était utile à l'agriculture au début, mais on est en voie de l'interdire complètement depuis qu'on a découvert ses effets sur la couche d'ozone stratosphérique. Une fois ces effets connus, il s'est produit un nouveau mouvement de changement motivé par le souci de limiter l'utilisation

généralisée de ces substances chimiques nocives et de trouver des solutions de rechange plus écologiques.

En revanche, la technologie a permis aux agriculteurs de produire de plus grandes quantités d'aliments sur des superficies cultivées limitées. On trouve de nombreux exemples de technologies qui réduisent les risques environnementaux, qu'il s'agisse des méthodes de lutte biologique contre les ravageurs ou de l'amélioration des systèmes de gestion des fumiers. L'industrie canadienne du porc est l'un des secteurs où l'amélioration de la technologie des systèmes de gestion produit actuellement des changements structurels radicaux (voir l'encadré).

Les méthodes d'évaluation des risques environnementaux dus aux nouvelles technologies s'améliorent, mais elles demeurent imprécises. Les avantages et les coûts relatifs des technologies émergentes, comme le recours à des hormones et à des organismes génétiquement modifiés ainsi que le clonage, continuent d'attiser les débats. Quoi qu'il en soit, l'industrie agricole canadienne est devenue un produit de l'évolution technologique, et les avancées futures influenceront sur les décisions des producteurs et auront des effets sur l'environnement.

Conclusion

Les facteurs influant sur l'agriculture ont connu une évolution considérable au cours du XX^e siècle. La mondialisation de l'économie, les pressions du marché et l'innovation technologique ont incité l'industrie agricole canadienne à augmenter sa production et sa productivité pour répondre à l'accroissement de la demande tant au pays qu'à l'étranger. Pour ce faire, l'industrie a dû opérer des changements structurels, dont certains ont des répercussions sur l'environnement. Mentionnons, à titre d'exemple, les changements survenus dans l'utilisation des terres agricoles, le nombre et la taille des fermes, la nature des produits livrés, les méthodes de production et les technologies. Ces changements ont entraîné une intensification générale de l'agriculture.

Au cours des 20 dernières années, les préférences du public canadien ont également évolué. On a exprimé des inquiétudes quant

aux coûts environnementaux de la production alimentaire, et d'autres aspects de l'agriculture, comme les paysages, prennent constamment de la valeur aux yeux du public. Les Canadiens ont donné leur appui à un nombre croissant d'accords et de règlements nationaux et internationaux destinés à protéger les systèmes écologiques avec lesquels l'agriculture est en interaction.

La réaction du secteur agricole à ces facteurs a pris de nombreuses formes. De plus en plus, le secteur agricole cherche à intégrer les facteurs environnementaux aux décisions prises à la ferme. Il adopte sans cesse de nouvelles technologies, et il élabore et met en œuvre des initiatives volontaires visant à protéger l'environnement. On note par exemple l'adoption de techniques réduisant le travail du sol et de plans agroenvironnementaux.

Les indicateurs présentés dans ce rapport montrent comment ces facteurs ont façonné les principales conditions et tendances environnementales dans le domaine agricole. La conjoncture continuera d'évoluer, et les risques pour l'environnement continueront d'augmenter à mesure que la production croîtra. Pour atteindre ces objectifs économiques et environnementaux, il faudra compter sur des politiques, des technologies et d'autres moyens permettant d'infléchir ces facteurs et d'y répondre.

B

*Gestion
agroenvironnementale*

B Gestion agroenvironnementale

Par leur nature même, les exploitations agricoles sont des systèmes soumis à une certaine gestion. Cette gestion peut passer par de nombreux types d'interventions : modification physique du paysage; irrigation, drainage ou autres ajustements apportés au bilan hydrique; ajout d'énergie au système sous forme de carburants, de produits chimiques, de machines et de main-d'œuvre; enrichissement du sol en éléments nutritifs et en matières organiques par l'épandage de fumier, d'*engrais minéraux*, de *compost* ou d'*engrais vert*; lutte contre les mauvaises herbes, les insectes, les champignons et d'autres organismes qui présentent un danger économique pour les cultures.

Les divers modes de gestion des exploitations agricoles ont une influence sur la durabilité économique et environnementale de l'agriculture. Une gestion mal avisée peut grever la production et nuire à la rentabilité. Elle peut également entraîner des coûts environnementaux comme la dégradation des sols et la perte excessive de matières et d'énergie en direction des milieux naturels voisins. Les agriculteurs, les entreprises agricoles et les gouvernements travaillent à améliorer la gestion agricole, une démarche qui est essentielle au maintien d'une agriculture écologiquement durable.

Ces dernières années, la recherche nous en a beaucoup appris sur la relation existant entre diverses méthodes agronomiques et l'état de l'environnement. Ainsi la pratique de la jachère a fortement diminué au cours des 15 dernières années, en partie parce qu'on s'est rendu compte qu'en laissant les sols dénudés, on les expose à l'érosion et à d'autres formes de dégradation. De plus, la recherche a mené à la mise au point d'une vaste gamme de technologies et de méthodes de production (p. ex. outils agricoles permettant le travail réduit du sol et contribuant ainsi à l'amélioration des conditions économiques et environnementales à la ferme). L'agriculture de précision est un exemple de technique de gestion émergente qui pourrait accroître l'efficacité de l'épandage des engrais. Souvent, les solutions efficaces doivent porter sur de nombreux aspects à la fois et nécessitent la prise en compte simultanée des intrants, de l'utilisation des terres et des facteurs de risque. Il existe de nouvelles méthodes de gestion agricole, dont les plans agroenvironnementaux et les plans de gestion des éléments nutritifs, qui permettent aux agriculteurs d'aborder les risques et les actifs environnementaux de façon plus globale.

La présente partie du rapport porte sur la gestion des sols et la gestion des intrants, deux indicateurs qui ont trait à des composantes de la gestion des ressources visant à rendre l'agriculture écologiquement durable. Le chapitre 4 présente un indicateur de la couverture des sols établi à partir du nombre de jours sans couverture végétale, et donc de la durée d'exposition aux éléments. Le chapitre 5 traite d'une série d'indicateurs touchant la gestion des éléments nutritifs culturaux et des pesticides, dont l'épandage des engrais, les méthodes d'entreposage et d'utilisation des fumiers et des pesticides ainsi que certains aspects de l'application des pesticides et la lutte antiparasitaire par d'autres moyens que le recours aux produits chimiques.

Les indicateurs dont il est question dans les sections C à G du présent rapport subissent l'influence des pratiques de gestion agricole. Dans chaque chapitre relatif à un indicateur donné, les pratiques qui mènent à des résultats non souhaitables sont souvent présentées sous les rubriques « L'enjeu » et « Interprétation », et celles qui produisent les résultats recherchés apparaissent sous la rubrique « Choix de mesures d'intervention ».

4 Degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture

E. Huffman

Portée géographique : Canada, provinces

Période : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- Le sol dénudé sous l'effet de diverses méthodes de culture est exposé à l'érosion. Les cultures elles-mêmes, ainsi que les résidus de culture, protègent le sol contre l'érosion éolienne et hydrique, et par conséquent contre la dégradation qui s'ensuit. Moins le sol est exposé, moins le risque d'érosion est élevé.
- On a mis au point un indicateur du degré de couverture des sols agricoles par les cultures et les résidus de culture au Canada. Cet indicateur se fonde sur un indice du nombre de jours par année où le sol est dénudé sous l'effet de certaines méthodes de culture et de travail (jours sans couverture du sol) dans différentes régions du pays. L'objectif de rendement pour l'indicateur est d'observer, pour tous les systèmes de cultures, une tendance régulière à la diminution du nombre de jours où le sol est dénudé, le but visé étant de n'avoir aucun jour sans couverture du sol.
- De 1981 à 1996, le nombre moyen de jours sans couverture du sol enregistré dans les régions agricoles du Canada est passé de 98 à 78 (baisse de 20 %). On a observé une diminution du nombre de jours sans couverture du sol dans toutes les provinces et les écorégions, sauf dans les Basses terres du fleuve Saint-Laurent, ce qui reflète une amélioration de la situation durant la période en question.
- La plupart des régions où l'on a observé un accroissement du degré de couverture des sols supérieur à 20 % comportent moins de terres cultivées, et celles-ci sont soumises à une agriculture moins intensive. Les régions où il s'est produit un accroissement inférieur à 10 % étaient les suivantes : Basses terres du fleuve Saint-Laurent, dans le centre du Canada; Hautes terres du Nouveau-Brunswick; Vallée de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick; Île-du-Prince-Édouard. Ces régions se caractérisent par de grandes étendues de cultures en ligne (comme le maïs à ensilage, le soja, la pomme de terre et les légumes), qui assurent un faible degré de couverture des sols.
- Bien que l'indicateur montre une amélioration considérable du degré de couverture des sols entre 1981 et 1996, la tendance pourrait s'inverser parce que certains signaux économiques incitent à pratiquer des cultures assurant une moindre couverture. Il faut promouvoir plus énergiquement les avantages de la couverture des sols et mettre au point des méthodes et des matériels nouveaux allant dans ce sens, en particulier dans les régions soumises à une agriculture intensive basée sur des cultures en ligne.

L'enjeu

Une des différences entre les agro-écosystèmes et les *écosystèmes indigènes* d'une même région est l'étendue de sol dénudé existant à n'importe quel moment de l'année. Le sol nu est plus sensible à l'érosion éolienne et hydrique et, partant, à la dégradation (perte de matière organique, dégradation de la structure du sol, perte de fertilité, etc.).

Quand une terre est mise en culture pour la première fois, la *végétation indigène* est enlevée et le sol est soumis à un premier labour. Les plantes indigènes sont remplacées par des plantes cultivées dont certaines procurent une *couverture* adéquate, en particulier les plantes fourragères comme la luzerne et le foin, alors que d'autres, surtout les cultures en ligne, laissent exposée une grande partie de la surface.

La méthode de travail du sol est un autre facteur influant sur le degré de couverture. Le *travail du sol classique* consiste à enfouir la majeure partie des *résidus de culture* afin de laisser une surface libre pour les semis. Le travail de conservation, y compris l'absence de travail du sol, permet de laisser une plus grande quantité de résidus sur le sol qui se trouve ainsi protégé.

L'augmentation de la couverture des sols dans les agroécosystèmes présente nombre d'avantages, dont les suivants :

- protection contre l'érosion éolienne et hydrique;
- ajout de matière organique contribuant à maintenir la structure et la fertilité du sol;
- accroissement de la *séquestration de carbone* dans le sol, ce qui tend à réduire les concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère;
- amélioration de l'habitat des espèces sauvages, ce qui favorise une meilleure biodiversité.

Il faut disposer d'un indicateur pour estimer le degré de couverture des sols agricoles du Canada selon les systèmes de culture et les méthodes de *gestion des résidus* employées, et selon la distribution des cultures.

L'indicateur

Description

Pour évaluer les tendances suivies par la couverture des sols à l'échelle nationale et provinciale, il faut colliger les données sur les types de culture et les méthodes de travail du sol

par rapport à la superficie et à l'époque de l'année, et ce dans le contexte de l'expansion des terres agricoles, de l'accroissement de la proportion de terres cultivées et de l'intensité de la production ainsi que de la variation des taux de mise en jachère. Nous avons mis au point un indicateur du degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture qui permet de déterminer le nombre de jours de l'année où les sols agricoles sont dénudés. Cet indicateur combine la couverture du sol assurée par une culture donnée et celle assurée par les résidus de culture qui sont laissés sur la surface (*voir* l'encadré sur la gestion des résidus). La diminution du nombre de jours sans couverture indique une amélioration de la couverture du sol et donc une baisse du risque de dégradation de ce sol ou d'une contribution à la dégradation de l'environnement dans son ensemble. L'objectif de rendement visé pour cet indicateur est d'établir, pour tous les systèmes de culture, une tendance constante à la réduction du nombre de jours sans couverture du sol (dans la perspective d'une élimination complète des jours sans couverture).

Gestion des résidus de culture

Au moment de la récolte, la majorité des tiges sont laissées sur place. La gestion des résidus de culture implique qu'on laisse une partie de ces tiges à la surface au lieu de les enfouir par le travail du sol. Au cours des dernières années, chercheurs et agriculteurs en sont venus à constater qu'une gestion attentive des résidus constitue un moyen très rentable de limiter l'érosion. On peut réduire l'érosion d'environ 50 ou 65 % respectivement si on laisse 20 ou 30 % des résidus à la surface du sol.

Outre la réduction de l'érosion, la gestion des résidus de culture :

- protège la surface du sol contre la pluie;
- favorise la pénétration de l'eau de pluie;
- réduit l'encroûtement et l'imperméabilisation;
- ajoute de la matière organique;
- réduit l'évaporation de l'eau du sol;
- améliore la structure du sol;
- permet de conserver et de recycler les éléments nutritifs provenant de cultures antérieures.

Source : ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario, 1992

Méthode de calcul

L'indicateur se fonde sur un indice de sol sans couverture établi à partir de données de terrain visant à évaluer le risque d'érosion du sol en présence de différentes méthodes de culture et de travail du sol. Ces données ont été validées par des spécialistes de l'agriculture connaissant bien les méthodes de production en usage dans chaque région du pays, puis appliquées à l'ensemble des systèmes de culture et des méthodes de travail du sol. L'indice de sol sans couverture représente le nombre de jours dans l'année où le sol serait vraisemblablement laissé à nu pour chaque type de culture et chaque méthode de gestion des résidus. Un jour sans couverture du sol équivaut à deux jours avec couverture de 50 %, à dix jours avec couverture de 90 %, et ainsi de suite.

Les définitions des méthodes de travail du sol se fondent sur les définitions du travail du sol classique, du travail de conservation du sol et de la culture sans travail du sol employées pour le *Recensement de l'agriculture*. Par exemple, le travail du sol classique implique le labourage d'automne à l'aide d'une charrue à socs et versoirs dans le cas du maïs, et un passage en automne avec un cultivateur dans le cas des céréales. Le travail de conservation du sol désigne l'utilisation de machines conçues pour laisser la majeure partie des résidus de culture à la surface du sol ou l'exécution d'un nombre moindre de passages avec un cultivateur traditionnel.

L'estimation du nombre de jours sans couverture du sol tient compte :

- du jour où la couverture du sol connaît d'importants changements (p. ex. plantation, récolte et travail du sol) et du pourcentage de la surface couverte à la fin de l'opération;
- de la formation de la couverture végétale entre la plantation et la maturité complète;
- de la dégradation des résidus au cours de l'hiver;
- du nombre total de jours où il y a de la neige au sol.

Nous avons ensuite calculé la période correspondant à chaque proportion de couverture du sol et additionné les résultats afin d'obtenir le nombre total de jours sans couverture du sol pendant l'année. Le tableau 4-1 indique le nombre de jours sans couverture du sol selon les différentes méthodes de culture et de travail du sol dans différentes régions.

Il a fallu produire environ 2 700 tableaux de jours sans couverture du sol pour couvrir tous les types de culture et toutes les écorégions du Canada. Les

Tableau 4-1

Nombre de jours par an sans couverture dans certaines régions et pour certaines cultures, selon diverses méthodes de travail du sol

Région et culture	Nombre de jours par an sans couverture du sol		
	Méthode classique de travail du sol	Travail de conservation du sol	Culture sans travail du sol
Basses terres continentales (Colombie-Britannique)		(Plantes couvre-sol d'hiver)	
Légumes (2 cultures/an : laitue, céleri)	221	159	s/o
Pomme de terre	213	185	s/o
Tremblaie-parc (Prairies)			
Blé de printemps	63	38	27
Canola	98	90	82
Jachère d'été	177	128	102
Basses terres du lac Érié (Ontario)			
Maïs-grain	131	95	57
Soja	177	141	101
Île-du-Prince-Édouard			
Pomme de terre	140	117	s/o
Céréales de printemps	153	93	60

données couvrant 90 % de la superficie en culture proviennent d'études de terrain et ont été vérifiées sur place par le personnel de terrain. Dans le cas de très petites superficies soumises à des cultures rares, il a parfois fallu produire des estimations à partir de valeurs connues propres à des régions, à des cultures et à des méthodes de gestion semblables.

L'indice a ensuite été appliqué aux zones de cartographie des *Pédo-paysages du Canada*. On a établi la proportion de la superficie totale cultivée correspondant à chaque méthode de travail du sol selon le *Recensement de l'agriculture* de 1991 et de 1996 (voir l'encadré sur le travail du sol), et les valeurs ainsi obtenues ont servi à calculer la superficie consacrée à chaque culture pour chaque méthode de travail du sol. La superficie propre à chaque combinaison culture-méthode de travail du sol a été multipliée par le nombre correspondant de jours sans couverture du sol, puis les valeurs ainsi obtenues ont été additionnées de manière à fournir une valeur unique pour chaque zone de cartographie. Le recours au travail de conservation du sol n'étant généralisé que depuis 10 à 20 ans, toutes les terres en jachère ont été considérées comme étant soumises à une gestion traditionnelle (travail du sol seulement), et toutes les terres cultivées

comme ayant été soumises au travail du sol classique en 1981. Ce traitement permet l'interprétation des écarts dans les tendances suivies par la couverture du sol à l'intérieur d'une même province, ces écarts étant attribuables à des méthodes de culture et de travail du sol différentes.

Limites

Bien que l'indice de couverture du sol donne une bonne indication des tendances et des différences relatives entre les régions, les données et les calculs ne se prêtent pas à une interprétation à l'échelle du champ ou de l'exploitation agricole. Les tableaux des nombres de jours sans couverture du sol établis pour les combinaisons culture-méthode de travail du sol et les quantités de résidus de culture ont été établis à partir des renseignements fournis par des services agricoles régionaux et de scénarios typiques de gestion et de rendement des cultures; ils ne s'appliquent pas nécessairement à toutes les opérations ni à toutes les années.

Par exemple :

- des rendements supérieurs à la moyenne produiraient généralement de plus grandes quantités de résidus;

- le stade de développement des cultures et de densité des plantes varie d'un champ à l'autre dans une région donnée;
- la nature du matériel utilisé pour le travail du sol et son effet sur la quantité de résidus varient;
- la couverture de neige peut varier d'une année à l'autre;
- la date des travaux au champ n'est pas la même d'un champ à l'autre ou d'une saison à l'autre.

De plus, on n'a pas pris en compte les moyens innovateurs et peu répandus d'amélioration de la couverture végétale, comme la culture intercalaire.

Résultats

Le tableau 4-2 indique le nombre moyen de jours sans couverture du sol pour le Canada et les provinces. Entre 1981 et 1996, ce nombre a diminué de 20 % pour l'ensemble du Canada et de 44 % au maximum dans les provinces. La figure 4-1 montre la distribution des jours sans couverture du sol pour les terres agricoles du Canada.

Interprétation

Si l'on examine de façon plus détaillée les données qui ont été compilées, dans les 34 écorégions agricoles du Canada, à l'exception des Basses terres du fleuve Saint-Laurent, on note une amélioration de la couverture des sols entre 1981 et 1996 : le nombre de jours sans couverture du sol a diminué dans une proportion atteignant 52 % pendant cette période. Dans 21 écorégions, l'augmentation de la couverture des sols a dépassé 20 %; dans 17 de ces écorégions, l'étendue des terres agricoles et l'intensité de l'agriculture étaient faibles. La réduction de l'intensité de l'agriculture, qui se manifeste par une baisse de la superficie des cultures annuelles, explique la grande amélioration enregistrée dans les régions suivantes :

- Chaîne des Cascades (Colombie-Britannique);
- Plateau Thompson-Okanagan (Colombie-Britannique);
- Hautes terres de l'ouest de l'Alberta (Alberta);
- Transition boréale (Alberta, Saskatchewan et Manitoba);
- Algonquin-Lac Nipissing (Ontario);
- Rivière à la Pluie (Ontario);
- Appalaches (Gaspésie, Québec);
- Côte de la baie de Fundy (Nouveau-Brunswick et Nouvelle-Écosse);
- Hautes terres de la Nouvelle-Écosse (Nouvelle-Écosse).

Nombre moyen de jours sans couverture du sol par an

Tableau 4-2

Province	Superficie cultivée (1 000 ha)	Nombre de jours sans couverture du sol			
		1981	1991	1996	Réduction en % de 1981 à 1996
Colombie-Britannique	566	45	37	34	25
Alberta	9 547	86	73	67	22
Saskatchewan	14 399	111	93	88	21
Manitoba	4 699	81	65	65	20
Ontario	3 545	113	110	96	16
Québec	1 739	63	61	62	0
Nouveau-Brunswick	135	66	59	57	14
Nouvelle-Écosse	112	50	35	34	31
Île-du-Prince-Édouard	170	103	96	94	9
Terre-Neuve	7	43	25	24	44
Canada	34 919	98	83	78	20

Nous examinons plus en détail les changements apportés à l'aménagement des terres et leurs effets sur la couverture des sols dans quatre écorégions présentant des formes d'agriculture représentatives : Basses terres continentales (Colombie-Britannique), Prairie mixte humide (Alberta et Saskatchewan), Basses terres du fleuve Saint-Laurent (centre du Canada) et Vallée de la rivière Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) (voir l'encadré).

Notre examen montre qu'on a augmenté la couverture des sols par l'emploi de méthodes agronomiques de conservation comme la *jachère chimique*, la réduction de la jachère et le travail de conservation du sol. Toutefois, dans la plupart des cas, les améliorations obtenues ont été grandement réduites par des choix de cultures qui assurent une couverture moindre, comme le soja et le canola. Il semble que les conditions économiques incitent à pratiquer des cultures plus rentables, ce qui entraîne une diminution de la couverture des sols.

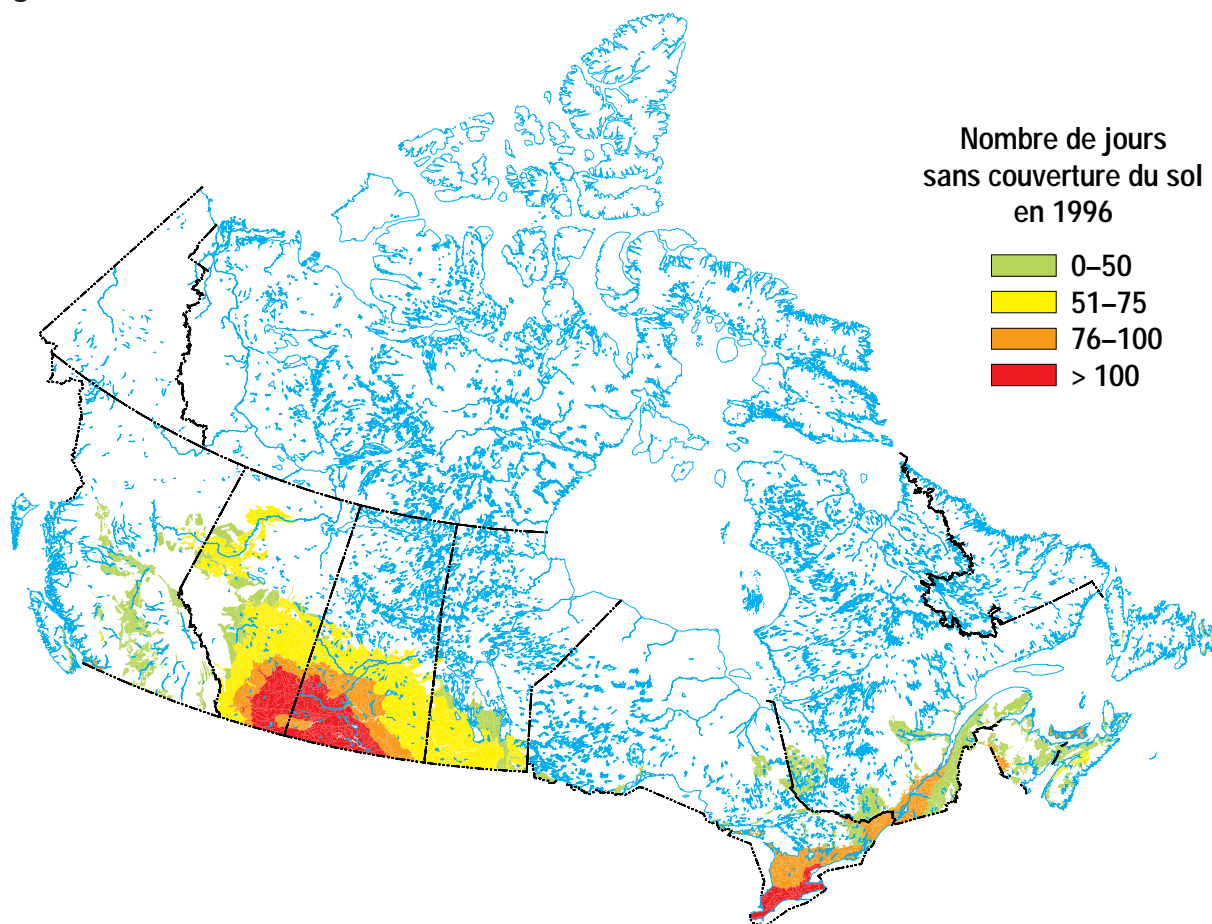
Choix de mesures d'intervention

Il existe plusieurs moyens d'accroître la couverture des sols, mais il faut en faire connaître les avantages par un travail d'éducation et d'information. Certaines mesures s'imposent à cet égard :

- mettre au point du nouveau matériel et de nouvelles techniques et les mettre à la disposition des agriculteurs, comme on le fait pour le *paillage* à l'Île-du-Prince-Édouard et la *fixation des résidus* dans les Prairies, par exemple;
- mettre au point et promouvoir des méthodes de maintien de la couverture des sols dans les conditions de culture intensive, en particulier après la fonte des neiges et avant la croissance des cultures dans les zones de faible couverture de neige (p. ex. ensemencement des cultures à forte proportion de *biomasse* à la fin de l'été ou en automne, maintien de la culture tout au long du printemps et ensemencement de la nouvelle culture d'été directement dans la culture de couverture);

Nombre de jours sans couverture du sol sur les terres agricoles au Canada en 1996

Figure 4-1



Effets du travail du sol sur la couverture végétale

Les méthodes agronomiques employées par les agriculteurs compliquent l'interprétation des tendances touchant l'utilisation des terres du point de vue de la couverture végétale. En particulier, les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes sur les terres en jachère et de travail du sol sur les terres cultivées déterminent la quantité de résidus laissés à la surface du sol. Lorsqu'on a recours au travail du sol pour lutter contre les mauvaises herbes sur les terres en jachère, la majorité des résidus de culture sont incorporés au sol, qui reste dénudé. La lutte contre les mauvaises herbes par des moyens chimiques ou par la combinaison de ces moyens et du travail du sol améliore la couverture du sol en laissant une plus grande quantité de résidus de culture à la surface. De même le travail de conservation du sol et la culture sans travail du sol procurent une meilleure couverture végétale que le travail du sol classique.

Le tableau ci-dessous indique la proportion de terres cultivées soumises aux différentes méthodes de travail du sol ainsi que la proportion de terres en jachère soumises aux diverses méthodes de lutte contre les mauvaises herbes pour 1991 et 1996 (l'emploi des méthodes de conservation du sol était moins répandu avant 1991; c'est dans le *Recensement de l'agriculture* de 1991 qu'il en a été question pour la première fois). Au Canada, l'emploi de la culture sans travail du sol a plus que doublé entre 1991 et 1996, et c'est surtout dans les provinces des Prairies et en Ontario que cette pratique a connu le plus de popularité. Durant cet intervalle, la proportion des terres cultivées soumises au travail de conservation du sol a augmenté d'environ 30 % dans l'ensemble du Canada ainsi que dans toutes les provinces, sauf au Manitoba où les conditions climatiques et pédologiques ne conviennent pas toujours à cette pratique. En 1996, la proportion de terres en jachère où l'on avait recours aux produits chimiques pour la lutte contre les mauvaises herbes était 2,5 fois supérieure à la proportion enregistrée en 1991 pour l'ensemble du Canada; la même tendance s'observe également dans les provinces des Prairies, mais pas en Colombie-Britannique.

Proportion des terres cultivées et des terres en jachère soumises à diverses pratiques de travail du sol en 1991 et en 1996 (Recensement de l'agriculture)

PROVINCE	C.-B.		Alb.		Sask.		Man.		Ont.		Qc		N.-B.		N.-E.		I.P.-E.		CAN	
ANNÉE	91	96	91	96	91	96	91	96	91	96	91	96	91	96	91	96	91	96	91	96
MÉTHODE DE TRAVAIL DU SOL																				
% de la superficie de terres cultivées																				
Classique	83	77	73	58	64	46	66	63	78	61	85	79	85	76	88	80	92	82	69	55
Conservation	12	17	24	32	26	33	29	28	18	22	12	16	13	20	8	16	8	16	24	30
Aucun travail	5	6	3	10	10	21	5	9	4	17	3	5	2	4	4	4	0	2	7	15
TERRES EN JACHÈRES																				
% de la superficie																				
Travail seulement	66	92	58	57	55	73	62	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	58	55
Travail-trait. ch.	31	8	37	32	39	36	24	33	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	38	35
Trait. chim. seul.	3	0	5	10	4	9	3	5	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	s/o	4	10

E. Huffman, Agriculture et Agroalimentaire Canada

- rechercher les moyens d'encourager les agriculteurs à modifier leurs méthodes de culture afin d'accroître le degré de couverture des sols.

si la tendance se maintiendra. Dans la plupart des régions du Canada, il existe encore des possibilités considérables pour ce qui est du travail de conservation du sol, et en particulier de la culture sans travail du sol, mais le choix de nouvelles cultures pourrait contrebalancer les retombées écologiques de ces méthodes.

Conclusion

Bien qu'il se soit produit une augmentation générale de la couverture des sols entre 1981 et 1996, avec des retombées bénéfiques pour ce qui est de la durabilité écologique, on ne sait pas

La poursuite des activités d'éducation et d'information permettra peut-être la généralisation de la gestion des résidus et de son intégration aux

Couverture du sol dans certaines écorégions du Canada

Basses terres continentales (Colombie-Britannique)

L'écorégion des Basses terres continentales correspond à la vallée du Bas-Fraser, en Colombie-Britannique. Elle se caractérise par l'existence d'une zone d'agriculture intensive dominée par la production de légumes, de petits fruits, de cultures spécialisées, de plantes-racines, de céréales et de foin ainsi que par les pâturages. Des calculs indiquent que le degré de couverture des sols y a augmenté de 20 % entre 1991 et 1996.

Parmi les facteurs qui expliquent cette amélioration, on note l'adoption de méthodes de conservation du sol et de cultures sans travail du sol sur 2 % des terres cultivées, une importante diminution de la production de céréales de printemps et une augmentation de la proportion de « toutes les autres terres » (fermes et terres en friche). Dans cette région, la production de céréales de printemps laissait les sols sans couverture pendant 153 jours dans l'année en moyenne; toutefois en 1996, seulement 2 % des terres cultivées servaient encore à type de production. « Toutes les autres terres » sont considérées comme ayant une couverture totale toute l'année.

On observe également dans cette région un accroissement de la culture de céréales d'hiver et de fruits de verger ainsi qu'une baisse de la production de maïs à ensilage (181 jours sans couverture du sol même avec travail de conservation du sol). Parmi les facteurs qui influent négativement sur la couverture des sols, on compte, de 1991 à 1996, une réduction de l'étendue des pâturages (où la couverture végétale est complète) et des terres cultivées soumises au travail de conservation du sol et aux cultures sans travail du sol.

Basses terres du fleuve Saint-Laurent (centre du Canada)

L'écorégion des Basses terres du fleuve Saint-Laurent couvre l'est de l'Ontario et l'ouest du Québec. On y cultive surtout le maïs, les céréales de printemps, le soja, le foin et la luzerne. On trouve également des pâturages et de petites zones de culture de légumes, de pomme de terre, de tabac, de fruits de verger et de petits fruits. C'est la seule écorégion au Canada où l'on enregistre une diminution du degré moyen de couverture des sols (augmentation de 0,4 % de la superficie totale des sols sans couverture) entre 1981 et 1996.

La culture du maïs-grain, du soja et de céréales de printemps avec travail du sol classique laisse les sols exposés respectivement 125, 189 et 145 jours par an en l'absence de travail de conservation du sol et 83, 160 et 110 jours par an dans le cas contraire. En 1996, le recours à cette pratique sur 19 % des terres cultivées ainsi qu'une hausse de 21 % de la production de luzerne et de 17 % de la production de céréales d'hiver ont entraîné une certaine amélioration à cet égard. Toutefois cette amélioration a été annulée par l'accroissement de 3 % de la superficie totale des terres cultivées, de 86 % de la superficie de maïs et de 1500 % de la superficie de soja, ainsi que par la diminution de 26 % de la production de foin, de 44 % de la production de céréales de printemps et de 38 % de la superficie totale des pâturages.

Prairie mixte humide (Prairies)

Dans l'écorégion de la Prairie mixte humide (zone à sols brun foncé), en Alberta et en Saskatchewan, les pratiques agricoles reflètent parfaitement les méthodes employées dans les Prairies. On y observe une prédominance du blé de printemps, d'autres céréales (orge et avoine) et des terres en jachère, une importante zone de culture de canola, de foin et de luzerne, et de pâturages, ainsi qu'une petite proportion de terres où l'on produit du blé d'hiver et des cultures spécialisées (lin, lentilles, millet, pois, etc.). Le degré de couverture des sols a augmenté de 23 % entre 1981 et 1996, contre une augmentation de 24 % dans la zone de sols noirs et de 17 % dans la zone de sols bruns.

L'augmentation du degré de couverture des sols résulte en majeure partie de la pratique du travail de conservation du sol et de la culture sans travail du sol sur les terres cultivées (respectivement sur 33 et 24 % de ces terres en 1996), et de la pratique du travail de conservation du sol (réduction du travail du sol et recours à la jachère chimique) sur les terres en jachère (sur 39 % des terres en jachère en 1996). Elle est également attribuable à l'augmentation de la production de foin et de luzerne et à la réduction de la superficie totale de terres en jachère.

L'amélioration de la couverture totale des sols que ces changements ont pu produire a été annulée dans une très grande mesure par une augmentation de la superficie totale des terres cultivées, une diminution de la superficie occupée par le blé d'hiver et une augmentation considérable de la superficie de canola. Dans cette région, la culture du canola effectuée par le travail du sol classique laisse le sol sans couverture 105 jours par an, alors que la culture du blé de printemps ne laisse le sol sans couverture que 68 jours par an. Le nombre de jours sans couverture est de 43 et de 95 respectivement là où l'on pratique la culture du blé et du canola avec travail de conservation du sol.

Vallée de la rivière Saint-Jean (Nouveau-Brunswick)

L'écorégion de la Vallée de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick, correspond à la zone de culture de la pomme de terre dans cette province. Généralement, cette culture se fait en rotation avec celle des céréales de printemps et en association avec la culture de foin et de certains légumes, ainsi qu'avec des pâturages. Il est difficile de maintenir et d'accroître le degré de couverture des sols là où l'on cultive la pomme de terre en rotation, si bien qu'on a enregistré une baisse de seulement 5 % de la superficie totale des sols sans couverture entre 1981 et 1996.

L'amélioration enregistrée est en majeure partie attribuable à l'adoption du travail de conservation du sol en ce qui concerne la culture de céréales de printemps (cette pratique laisse le sol sans couverture 92 jours par an, contre 144 dans le cas du travail du sol classique) ainsi qu'au choix de céréales d'hiver comme culture de couverture (la culture de la pomme de terre avec culture de couverture en hiver laisse le sol sans couverture 107 jours par an, contre 147 dans le cas contraire). La superficie totale des terres cultivées a légèrement augmenté au détriment des terres boisées et des pâturages, mais l'augmentation a essentiellement servi à l'accroissement de la production de céréales de printemps. La superficie totale des terres utilisées pour la culture de la pomme de terre, de la luzerne et du foin est demeurée inchangée tandis que celle des terres servant à la culture de légumes a diminué.

méthodes de culture courantes, mais il faudra peut-être pour cela consentir des investissements considérables en matériel et en techniques. On s'attend à ce que le degré de couverture des sols demeure faible ou qu'il diminue dans certaines régions, notamment dans la vallée de la rivière Saint-Jean où il existe peu de méthodes à faible coût pour le maintien de cette couverture, et dans les Basses terres du fleuve Saint-Laurent où l'on introduit actuellement de nouvelles variétés de soja résistantes au froid et à rendement élevé. Il faudra effectuer d'autres recherches et établir de nouveaux marchés pour les cultures de couverture d'automne et d'hiver qui protègent contre le ruissellement en hiver et au début du printemps, en particulier dans les régions humides où les hivers sont doux.

Indicateurs connexes

Il existe un lien entre le degré de couverture des sols et plusieurs autres indicateurs, étant donné que les sols dénudés sont exposés à divers processus de dégradation ou y contribuent. Comme le degré de couverture est l'un des principaux facteurs de sensibilité des sols à l'érosion, cet indicateur est tout d'abord lié aux trois indicateurs d'érosion : risque d'érosion hydrique, risque d'érosion éolienne et risque d'érosion attribuable au travail du sol. En outre, plus l'érosion est intense, plus les éléments nutritifs tendent à s'échapper du sol, d'où le lien entre la couverture des sols et les deux autres indicateurs que sont le risque de contamination de l'eau par le phosphore et le risque de contamination de l'eau par l'azote. La couverture végétale contribue à réduire l'évaporation à partir de la surface, et donc le risque de salinisation du sol. Et enfin il existe un lien entre le degré de couverture et la teneur en carbone organique des sols, car en laissant la matière organique à la surface, on ralentit sa décomposition.

5

Gestion des intrants agricoles - éléments nutritifs et pesticides

R. Koroluk, D. Culver, A. Lefebvre et T. McRae

Portée géographique : écozones

Période : 1995

POINTS SAILLANTS

- Les éléments nutritifs culturaux et les pesticides sont ajoutés aux écosystèmes agricoles afin d'intensifier les productions végétales. L'application non judicieuse de ces amendements peut conduire à une perte de qualité des sols, de l'eau et de l'atmosphère, ainsi que nuire à la biodiversité. Il faut des indicateurs pour évaluer dans quelle mesure ces intrants sont bien gérés dans le domaine agricole au Canada.
- Plusieurs indicateurs ont été mis au point afin d'évaluer la gestion des éléments nutritifs et des pesticides sur les exploitations agricoles canadiennes. Ces indicateurs sont les suivants. Pour la gestion des engrais : mode d'application des engrais, période d'application de l'azote, diminution de la quantité d'engrais appliquée pour tenir compte de la quantité d'éléments nutritifs contenus dans les fumiers et recours aux analyses de sol. Pour la gestion des fumiers : méthode d'entreposage du fumier complet, méthode d'entreposage du fumier liquide, capacité d'entreposage du fumier liquide et méthode d'épandage des fumiers. Pour la gestion des pesticides : périodes d'application des herbicides, périodes d'application des insecticides et des fongicides, étalonnage des pulvérisateurs et recours à des méthodes non chimiques de lutte contre les organismes nuisibles. L'objectif visé est que l'ensemble des exploitations agricoles canadiennes utilisent les meilleures pratiques de gestion des éléments nutritifs et des pesticides.
- La valeur des indicateurs a été calculée à partir de données d'une enquête de Statistique Canada réalisée en 1995 auprès de 6 000 producteurs agricoles partout au pays, exception faite de l'indicateur portant sur les méthodes d'épandage des fumiers, dont les données sont tirées des réponses à une nouvelle question du *Recensement de l'agriculture*. Les données ont été analysées par écozone et par type principal d'activité agricole.
- En 1995, 72 % des exploitants agricoles ont appliqué des engrais minéraux. À l'échelle nationale, les méthodes d'application des engrais qui amoindrissent les pertes de matières nutritives étaient nettement prédominantes : l'injection était la méthode choisie pour 22 % des terres cultivées amendées, l'application en bandes comptait pour 43 % et l'application avec les semences pour 55 %. L'application de l'engrais à la volée, la méthode la plus risquée sur le plan écologique, est encore largement utilisée, sauf dans les écozones des Prairies et des Plaines boréales. La moyenne nationale de la période d'application d'engrais azoté sur les terres cultivées est fortement tributaire de la situation observée dans les Plaines boréales et les Prairies (soit 80 % des terres agricoles au Canada), où l'engrais azoté est appliqué avant la plantation sur 70 % et sur 61 % des terres cultivées de ces deux écozones, respectivement. Sur celles où le lessivage peut devenir un problème, les producteurs tendent à appliquer ce type d'engrais après la plantation. Il faudrait tenir compte davantage de la teneur en éléments nutritifs du fumier appliqué en plus de l'engrais. En 1995, 60 % des producteurs canadiens ont eu recours à l'analyse de sols, un moyen utile de gérer les intrants.
- Bien que les indicateurs définissent des secteurs où des progrès soient réalisables sur le plan de la gestion des engrais, le fumier n'en demeure pas moins la source d'éléments nutritifs où il y a le plus place à des améliorations. En général, les méthodes d'entreposage du fumier complet ou du fumier liquide ne sont pas optimales et il faut marquer des progrès, tant dans l'immédiat qu'en vue de l'expansion du secteur agricole. Certaines régions où on met moins l'accent sur une gestion efficace des engrais sont peut-être moins exposées sur le plan écologique, pour des raisons de topographie, de climat et de nature du sol.
- Environ 67 % des exploitants agricoles canadiens ont appliqué des herbicides en 1995 et environ 31 % ont appliqué des insecticides et des fongicides. Le déclenchement du traitement aux herbicides coïncidait avec le seuil économique des dommages aux cultures sur environ 20 % des terres cultivées traitées aux herbicides. Les producteurs étaient plus sujets à appliquer des herbicides à certains stades définis de croissance des cultures ou aux premiers signes de la présence d'organismes nuisibles (mauvaises herbes, insectes, maladie). Environ 68 % des producteurs qui utilisent leurs propres pulvérisateurs les règlent uniquement au commencement de la saison de culture. L'assolement est employé comme moyen de lutte non chimique contre les animaux nuisibles sur environ 56 % des terres cultivées et le travail du sol sur 27 %. Aucune pratique de lutte antiparasitaire non chimique n'a été employée sur environ 33 % des terres cultivées qui étaient traitées contre les organismes nuisibles.

L'enjeu

Les producteurs agricoles appliquent des *éléments nutritifs* et des pesticides sur leurs cultures afin de hausser la productivité et le rendement financier. En quantité appropriée et selon une méthode d'application adéquate, ces intrants contribuent à l'obtention de cultures robustes, résistantes aux organismes nuisibles et à la maladie et offrant un fort rendement. Mais s'ils sont appliqués en trop grande quantité ou dans de mauvaises conditions, les éléments nutritifs et les pesticides peuvent aggraver la détérioration du milieu.

Pour une saine croissance, il est essentiel que les végétaux disposent d'un apport suffisant d'éléments nutritifs, notamment d'*azote*, de *phosphore* et de *potassium*. L'application de quantités insuffisantes peut être à l'origine d'une baisse de teneur dans le sol, ce qui pourrait avoir comme conséquences une perte de qualité et de productivité du sol et une baisse de rentabilité. On peut ajouter les éléments nutritifs aux sols sous forme d'*engrais minéraux*, de fumier ou de compost. Le coût d'addition de ces intrants (achat, transport et application) est un poste important du budget des exploitations agricoles.

Les coûts environnementaux associés à l'application des éléments nutritifs peuvent également être élevés. L'excédent peut être entraîné hors des terres agricoles et créer des problèmes environnementaux tels que :

- la pollution des eaux superficielles et souterraines;
- les dépôts d'ammoniac et les précipitations acides;
- l'émission d'oxyde nitreux (un gaz à effet de serre très actif).

Les pesticides chimiques servent à limiter les dégâts causés aux cultures par des organismes nuisibles, ainsi que les pertes financières. Leur emploi contribue à l'augmentation des rendements et de la valeur des cultures, mais aussi à la détérioration du milieu. Le choix non judicieux des pesticides et une méthode ainsi qu'une période non appropriées d'application peuvent avoir pour effets :

- une perte de qualité du sol et de l'eau, à cause de la présence de résidus de pesticides;
- une perte de qualité de l'air, à cause de la dérive des nuages de pulvérisation et des vapeurs émanant des substances qui se *volatilisent*;

- des répercussions sur la biodiversité, à cause des effets sur des espèces non visées et d'interférences avec les relations normales entre les prédateurs et leurs proies.

Même si l'emploi d'engrais minéraux, de fumier et de pesticides expose l'environnement à certains risques, les producteurs peuvent avoir recours à des *pratiques de gestion optimales* en vue de maintenir ou d'améliorer la productivité tout en limitant les coûts et en protégeant le milieu. En estimant dans quelle mesure les producteurs agricoles canadiens font appel à ces pratiques pour gérer leurs intrants, on obtient un indicateur de la façon dont les méthodes agricoles sont adaptées aux objectifs de l'agriculture durable.

Les indicateurs

Description

En vue de choisir des indicateurs appropriés à la gestion des intrants agricoles, nous avons dépouillé la documentation et déterminé :

- les méthodes de gestion des engrais minéraux et du fumier et de lutte contre les organismes nuisibles largement utilisées d'un bout à l'autre du pays;
- les pratiques optimales de gestion des *intrants*.

Nous avons également mené des consultations auprès de groupes de producteurs agricoles et autres. Les 13 indicateurs décrits ci-dessous ont été retenus pour élaboration ultérieure.

Engrais minéraux

- 1) Application des engrais, exprimée en pourcentage de la superficie cultivée amendée avec des engrais selon les méthodes d'application suivantes (généralement classées de la méthode la plus respectueuse de l'environnement à celle qui l'est le moins) : *injection* (engrais liquides et *ammoniac anhydre*), *épandage en bandes* (engrais secs), application avec la semence, *épandage à la volée*, autres. L'injection permet de réduire l'émanation d'odeurs et la volatilisation de l'azote et elle intensifie l'absorption de l'engrais par les plantes cultivées. L'épandage par bandes intensifie l'absorption de l'engrais par les plantes cultivées, puisque celui-ci se retrouve à proximité des racines des plantes.
- 2) Période d'application de l'azote, en pourcentage de l'azote appliqué avant la plantation (méthode la moins efficace), à la plantation (d'une efficacité moyenne) et après la plantation (la plus efficace). Cette dernière méthode

intensifie l'absorption de l'azote par les plantes cultivées et atténue les risques de pertes dans le milieu.

- 3) Diminution de la quantité d'engrais appliquée de manière à tenir compte de la teneur en éléments nutritifs du fumier, exprimée en pourcentage de la superficie cultivée amendée de façon à tenir compte des apports du fumier. Cette démarche réduit le risque d'appliquer trop d'éléments nutritifs et les pertes dans le milieu qui s'ensuivent.
- 4) Recours aux analyses de sol, en pourcentage des exploitations agricoles où sont effectuées ces analyses à des intervalles spécifiés (tous les ans, aux deux ou trois ans, aux quatre ou cinq ans, à plus de cinq ans). Plus la fréquence des analyses est élevée, plus il est probable que les doses soient adaptées aux besoins des cultures. Il est souhaitable de procéder à ces analyses au moins aux trois ans.

Fumier

- 5) Méthode d'entreposage du fumier liquide, exprimée en pourcentage du nombre d'animaux (bovins, porcins et volaille) pour lesquels différents systèmes sont utilisés : bassin couvert et scellé (solution optimale), bassin sous caillebotis, bassin ouvert, lagune avec revêtement, lagune sans revêtement (solution la plus risquée).
- 6) Méthode d'entreposage du fumier complet, en pourcentage du nombre d'animaux (bovins, porcins et volaille) pour lesquels différents systèmes sont utilisés : dalle recouverte (solution optimale), dalle à découvert avec retenue, dalle à découvert sans retenue, litière accumulée, tas en plein air avec toit, tas en plein air sans toit (solution la plus risquée), autres méthodes.
- 7) Capacité d'entreposage du fumier liquide, exprimée en pourcentage du nombre d'animaux (bovins, porcins et volaille) pour lesquels existent des systèmes d'entreposage du fumier liquide de diverses capacités : 100 jours ou moins, 101 à 150 jours, 151 à 200 jours, 201 à 250 jours, plus de 250 jours. Les producteurs devraient disposer d'une capacité leur permettant d'entreposer le fumier jusqu'à la période optimale d'épandage, qui varie d'une région à l'autre. On considère toutefois qu'une capacité d'au moins 200 jours constitue un bon point de référence.
- 8) Méthode d'épandage du fumier, en pourcentage de la superficie cultivée traitée au moyen de

différents systèmes d'épandage. L'épandage en surface, suivi de l'incorporation dans le sol, constitue la méthode optimale dans le cas du fumier complet. L'injection constitue la pratique optimale dans le cas du fumier liquide. L'épandage en surface et par irrigation du fumier liquide sont sources d'odeurs et, dans ce cas, les risques de ruissellement et de pertes d'azote ammoniacal sont supérieurs.

- 9) Période d'épandage du fumier liquide, en pourcentage du fumier épandu chaque saison (hiver, printemps, été, automne). L'épandage après la plantation (l'été) accroît l'absorption par les plantes de culture et abaisse les risques de pertes dans le milieu. Il y a un risque de pertes dans le milieu associé aux épandages au printemps et à l'automne. On juge qu'en hiver, l'épandage n'est pas approprié. Certaines instances gouvernementales l'interdisent.

Pesticides

- 10) Périodes d'application des herbicides, exprimées en pourcentage de la superficie cultivée qui est traitée à des périodes déterminées par rapport aux facteurs suivants : moment où les mauvaises herbes dépassent le niveau de dommage économique (pratique optimale), surveillance régionale des mauvaises herbes, stade de développement de la culture, premiers signes de la présence de mauvaises herbes, dates fixées à l'avance (pratique la plus risquée). L'application des herbicides seulement lorsque la pression des mauvaises herbes s'approche des niveaux de dommage économique ou les dépasse permet de réduire la quantité utilisée d'herbicides, le coût et les risques pour le milieu de l'emploi d'herbicides.
- 11) Périodes d'application des insecticides et des fongicides, en pourcentage de la superficie traitée comme dans le cas de l'indicateur 10, et en employant les mêmes outils de prise de décision, exception faite du stade de développement de la culture.
- 12) Étalonnage des pulvérisateurs, exprimé en pourcentage de la superficie cultivée traitée avec des pesticides au moyen de matériel étalonné à des intervalles précis : entre chaque application de pesticides différents (solution optimale), au commencement de la saison de culture, lorsque le pulvérisateur fait défaut ou que des pièces importantes sont remplacées, autres. L'étalonnage du matériel avant l'application d'un pesticide différent contribue à l'application de la dose optimale.

13) Recours à des méthodes non chimiques de lutte antiparasitaire, en pourcentage de la superficie cultivée sur laquelle les méthodes suivantes de lutte antiparasitaire non chimique sont appliquées : travail du sol, assolement, lutte biologique, *phéromones*, (attractifs chimiques naturels), désherbage à la main, autres méthodes, aucune méthode. Il n'existe pas de pratique unique optimale. *La lutte antiparasitaire intégrée* fait appel à un ensemble de méthodes chimiques et non chimiques.

L'objectif visé est que l'ensemble des exploitations agricoles canadiennes adoptent les meilleures pratiques de gestion des éléments nutritifs et des pesticides.

Méthode de calcul

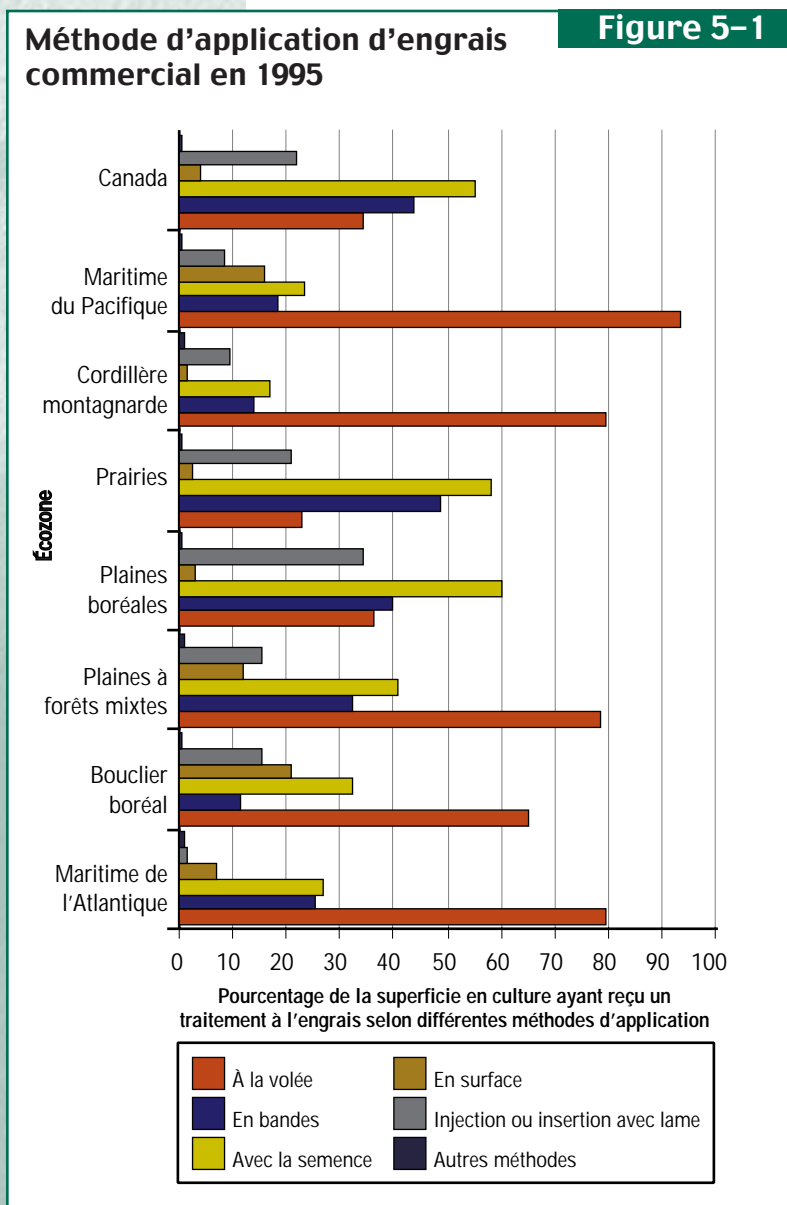
En décembre 1995, Statistique Canada, de concert avec Agriculture et Agroalimentaire Canada, a mené une enquête auprès de 6 000 producteurs agricoles d'un bout à l'autre du pays afin d'amasser les renseignements nécessaires à la mise au point de ces indicateurs. En outre, une nouvelle question, portant sur les méthodes d'épandage des fumiers, a été ajoutée au *Recensement de l'agriculture* de 1996.

Nous avons analysé les données de l'enquête et les réponses à la question sur la gestion du fumier dans le recensement, en procédant par région et par type principal d'activités agricoles (bovins, porcins, volaille). Nous indiquons la proportion (en pourcentage) du territoire agricole ou des populations animales associée à des pratiques particulières. Ces résultats sont donnés pour les sept principales écozones où l'agriculture est pratiquée. Dans les graphiques à barres, il arrive que le total pour certaines barres dépasse 100 %. C'est que certaines terres cultivées ont reçu des intrants par le recours à plus d'une méthode.

Limites

L'enquête sur la gestion des intrants agricoles, sur laquelle sont fondés les indicateurs, était de portée limitée tant par l'étendue de l'échantillonnage que par le nombre de questions adressées aux producteurs. L'exactitude statistique ne peut donc être garantie qu'aux niveaux national, provincial et des écozones, et non à une définition géographique plus fine. Et puisque cette enquête n'a eu lieu qu'une seule fois, elle fournit seulement un instantané des conditions observées en 1995. Elle ne se prête pas à une analyse des tendances relatives aux pratiques de gestion des intrants.

Un ensemble uniforme de pratiques relatives à la gestion des intrants a été déterminé à l'échelle nationale, mais on observe des variations considérables dans les pratiques régionales, tout comme dans le type et la vulnérabilité des environnements. À cause de ces variations régionales, l'interprétation des renseignements livrés par les indicateurs ne peut être faite uniformément. Des pratiques à jugées à risques élevés dans une région donnée peuvent très bien être acceptables ailleurs. En outre, le recours à une mauvaise pratique de gestion n'aura pas nécessairement d'incidences négatives sur le milieu, et le recours à des pratiques optimales n'aura pas toujours des effets bénéfiques sur l'environnement. De nombreux autres facteurs contribuent à déterminer les répercussions sur le milieu à tout endroit donné.



Enfin, plutôt que d'être exprimés en termes de superficie de terres agricoles, les renseignements associés à bon nombre de ces indicateurs sont exprimés en termes d'exploitations agricoles où l'on recourt à une pratique particulière. Ce facteur contribue aussi à restreindre l'interprétation des résultats.

Présentation et interprétation des résultats

Les résultats suivants, et leur interprétation, seront présentés en trois sections : engrais minéraux, fumier et pesticides.

Engrais minéraux

Résultats

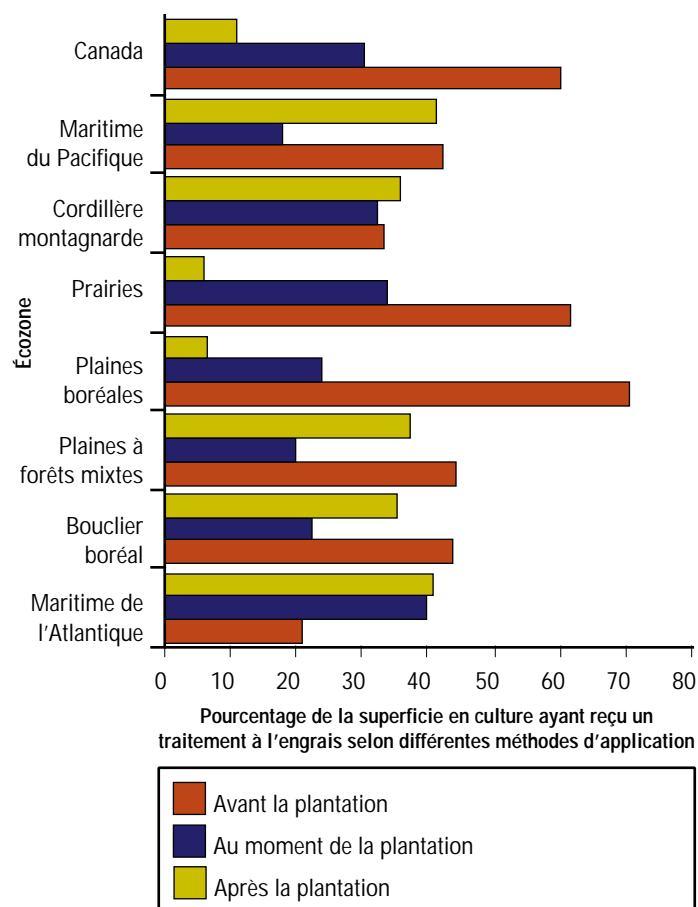
En 1995, des engrais minéraux ont été appliqués dans environ 72 % des exploitations agricoles (148 000 exploitations) qui produisaient des cultures. La figure 5-1 donne la proportion des terres cultivées qui ont reçu un traitement aux engrais minéraux selon différentes méthodes d'application. L'application à la volée était la méthode la plus répandue dans toutes les écozones, exception faite des Plaines boréales et des Prairies, où l'engrais était le plus souvent appliqué avec la semence. Ces deux écozones regroupent 83 % des terres agricoles du pays; elles influencent donc considérablement les résultats nationaux obtenus pour cet indicateur. Bref, dans l'ensemble du pays, 55 % des terres cultivées reçoivent de l'engrais avec la semence, 43 % par application en bandes et 34 % par application à la volée.

Les producteurs agricoles qui ont appliqué des engrais minéraux signalent, dans une proportion de 67 %, avoir appliqué de l'azote minéral en 1995. La figure 5-2 montre à quelles périodes se sont faites ces applications. Les producteurs des Plaines boréales et des Prairies sont ceux chez qui on observe la plus forte proportion, soit 70 % et 61 % respectivement, de terres cultivées à recevoir le plus d'azote avant la plantation. Les terres cultivées des écozones Maritime de l'Atlantique (40 %) et Maritime du Pacifique (41 %) sont celles où l'on compte la plus forte proportion de traitements azotés après la plantation.

Dans environ 35 % des exploitations agricoles où des engrais minéraux ont été appliqués sur des terres cultivées, on appliquait aussi du fumier. La figure 5-3 montre que sur environ 24 % des terres cultivées recevant les deux traitements, la quantité d'engrais appliquée était abaissée de manière à tenir compte de la teneur en éléments nutritifs du

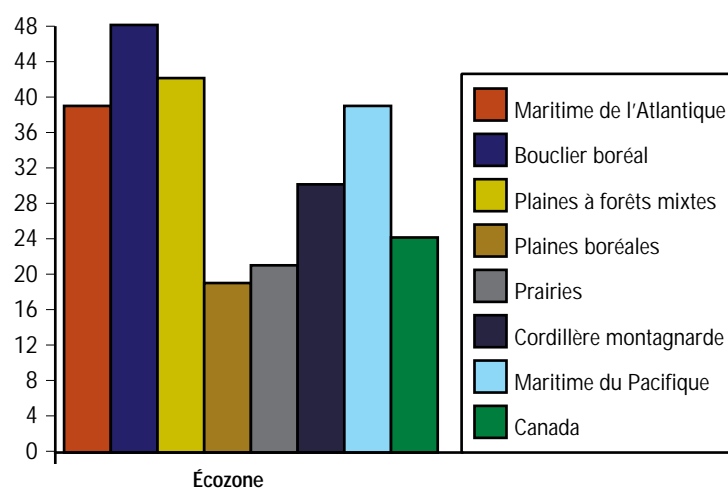
Calendrier d'application d'azote en 1995

Figure 5-2



Pourcentage de la superficie en culture amendée où la quantité d'engrais a été réduite de manière à tenir compte de la teneur en éléments nutritifs du fumier, en 1995

Figure 5-3



Les clubs-conseils en agroenvironnement au Québec

L'initiative des clubs-conseils en agroenvironnement est une façon novatrice de donner suite aux préoccupations environnementales au Québec. Il s'agit d'une association volontaire de producteurs qui ont en commun le souci d'améliorer la gestion écologique de leurs exploitations agricoles. Née dans le cadre du Plan vert, cette initiative reçoit toujours un appui du Fonds canadien d'adaptation et de développement rural, du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec ainsi que des producteurs agricoles.

Ces clubs-conseils sont constitués sur une base régionale. Le plus souvent, ils regroupent de 20 à 70 agriculteurs, parfois plus. Les membres déterminent eux-mêmes la direction d'ensemble et les activités du club-conseil. Chacun emploie les services d'un expert-conseil ayant une connaissance poussée de la gestion agroenvironnementale. Certains des clubs-conseils emploient plusieurs de ces conseillers.

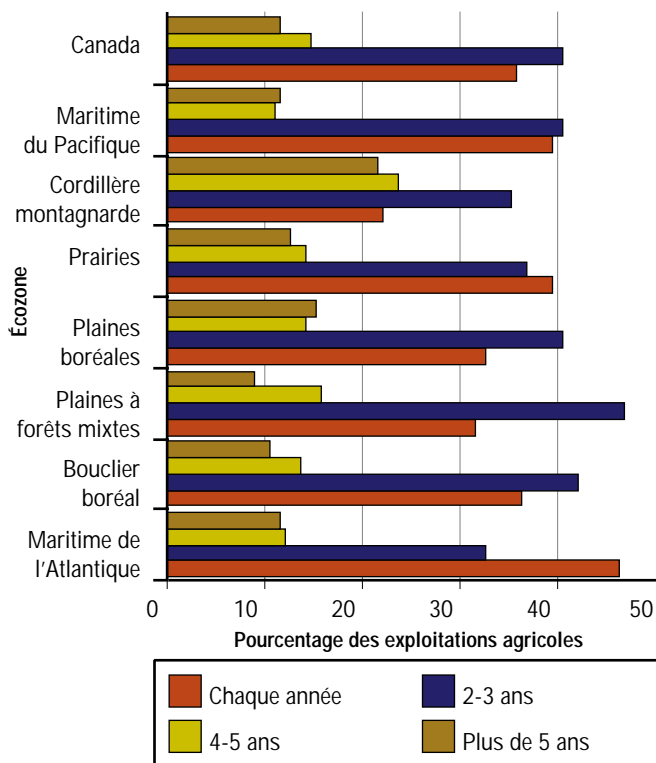
Les membres profitent des conseils de spécialistes portant sur une grande variété de problèmes agroenvironnementaux, par exemple, comment préparer et mettre en oeuvre un plan de fertilisation intégré, comment améliorer l'efficacité des opérations et comment préserver les ressources environnementales sur la ferme et ailleurs. Les membres profitent aussi de la circulation de l'information, ce qui contribue à les garder au courant des plus récents progrès en matière de pratiques, de technologies et de services agroenvironnementaux.

À l'heure actuelle, il existe au Québec soixante-douze clubs-conseils en agroenvironnement, qui regroupent environ 3 069 exploitants agricoles. On a fixé un objectif de 4 000 exploitations membres d'ici l'an 2001.

S. Marmen, coordination des clubs-conseils en agroenvironnement

Fréquence de l'analyse des sols chez les agriculteurs (60 %) qui ont effectué des analyses de sol en 1995

Figure 5-4



Environ 60 % des producteurs agricoles canadiens ont procédé à des analyses de sol en 1995, mais pas nécessairement sur toutes leurs terres cultivées. La figure 5-4 montre à quelle fréquence ces analyses sont réalisées. C'est dans les écozones Maritime de l'Atlantique (46 %), des Prairies et Maritime du Pacifique (39 % dans chaque cas) qu'on trouve le plus d'exploitations agricoles où l'on effectue des analyses annuelles du sol. Les producteurs agricoles de l'écozone de la Cordillère montagnarde sont ceux qui procèdent à des analyses annuelles dans la plus faible proportion (22 %). C'est aussi là qu'on retrouve la plus forte proportion de ceux qui attendent plus de cinq ans avant d'effectuer des analyses du sol (21 %).

Interprétation

À l'échelon national, et bien qu'il y ait encore matière à progrès, les méthodes d'application des engrais qui atténuent le risque de pertes d'éléments nutritifs dominent fortement. Les méthodes par injection et par application en bandes (les pratiques optimales) ont été employées respectivement pour le traitement de 22 % et de 43 % des terres cultivées sur lesquelles des engrais ont été appliqués. Cette proportion passe à 55 % pour les terres cultivées où l'engrais est appliqué avec la semence. Toutefois, environ le tiers de la superficie est encore traité par application à la volée. D'une manière générale, la région des Prairies tend à employer de meilleures méthodes d'épandage, et les pratiques les plus risquées ont été signalées plus couramment dans les régions davantage exposées au lessivage des éléments nutritifs.

fumier. Cette proportion est la plus faible dans les Plainnes boréales (19 %) et dans les Prairies (21 %), et la plus élevée dans les écozones du Bouclier boréal (48 %) et des Plainnes à forêts mixtes (41 %).

L'application d'engrais au moment où les cultures en ont besoin constitue une autre façon d'empêcher que des éléments nutritifs soient perdus dans

Méthode d'entreposage du fumier liquide en 1995

Table 5-1

	Proportion (%) d'animaux traités au moyen de chaque méthode, par écozone								
	Maritime de l'Atlantique	Bouclier boréal	Plaines à forêts mixtes	Plaines boréales	Prairies	Cordillère montagnarde	Maritime du Pacifique	Canada	
Bovins (Laitiers et de boucherie)	Lagune sans revêtement	47,0	46,0	26,0	12,0	34,0	24,0	51,0	33,0
	Lagune avec revêtement	5,0	6,0	7,0	27,0	25,0	0,0	19,0	11,0
	Bassin ouvert	41,0	12,0	39,0	28,0	15,0	76,0	18,0	32,0
	Bassin sous caillebotis	2,0	28,0	14,0	33,0	21,0	0,0	0,0	13,0
	Bassin couvert et scellé	6,0	8,0	14,0	0,0	5,0	0,0	12,0	11,0
	Autres méthodes	0,0	0,0	0,0	0,0	< 1	0,0	0,0	< 1
Porcins	Lagune sans revêtement	35,0	57,0	30,0	69,0	21,0	s/o	50,0	33,0
	Lagune avec revêtement	3,0	3,0	3,0	17,0	16,0	s/o	0,0	10,0
	Bassin ouvert	59,0	39,0	30,0	5,0	4,0	s/o	0,0	19,0
	Bassin sous caillebotis	2,0	< 1	12,0	5,0	34,0	s/o	0,0	19,0
	Bassin couvert et scellé	0,0	< 1	22,0	0,0	24,0	s/o	50,0	18,0
	Autres méthodes	0,0	0,0	3,0	4,0	< 1	s/o	0,0	1,0
Poules et poulets	Lagune sans revêtement	32,0	58,0	21,0	0,0	13,0	s/o	4,0	18,0
	Lagune avec revêtement	< 1	19,0	0,0	1,0	0,0	s/o	0,0	< 1
	Bassin ouvert	68,0	0,0	37,0	76,0	2,0	s/o	96,0	25,0
	Bassin sous caillebotis	0,0	12,0	13,0	24,0	3,0	s/o	0,0	9,0
	Bassin couvert et scellé	< 1	11,0	29,0	0,0	76,0	s/o	0,0	45,0
	Autres méthodes	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	s/o	0,0	3,0

Nota : La somme des résultats peut dépasser 100 % en raison de l'arrondissement.

le milieu. L'application d'engrais est faite avant la plantation (la pratique la plus risquée) sur les trois quarts des terres cultivées des Plainnes boréales et des Prairies. Cependant, la topographie et le climat de ces régions atténuent le risque environnemental. Les engrais ont été appliqués après la plantation (la pratique optimale) plus souvent dans les autres écozones, où le lessivage est une plus grande source de préoccupations. Dans les écozones Maritime de l'Atlantique et Maritime du Pacifique, environ 40 % des terres cultivées amendées étaient traitées de cette façon.

L'épandage de fumier et d'engrais selon les besoins en éléments nutritifs permet aux producteurs d'abaisser leurs coûts et d'atténuer les risques pour le milieu. Les producteurs ont réduit la quantité d'engrais afin de tenir compte de l'apport en éléments nutritifs du fumier sur seulement 25 % environ des terres cultivées amendées grâce à ces deux types d'engrais. Ce résultat est principalement influencé par les pratiques qui ont cours dans les Plainnes boréales et dans les Prairies. Par ailleurs, les producteurs du Bouclier boréal et des Plainnes à forêts mixtes, deux régions actives sur

le plan de la production animale et de la production végétale, ont eu recours à cette pratique sur près de la moitié des terres cultivées et amendées avec des engrais et du fumier (48 % et 41 % respectivement).

L'analyse des sols donne une idée exacte de leur teneur en éléments nutritifs. Il s'agit d'un instrument utile de leur gestion. On estime que l'analyse d'un sol tous les ans ou jusqu'à une fois aux trois ans est une saine pratique de gestion. Des 60 % de producteurs canadiens qui procèdent à des analyses des sols, les trois quarts se conforment à ce calendrier. Cela nous apprend que la communauté agricole est généralement consciente des bénéfices apportés par des analyses fréquentes des sols, et qu'elle entend se servir de cet instrument. Les producteurs de la Cordillère montagnarde sont les plus susceptibles (44 %) d'attendre quatre ans entre les analyses. Cependant, 40 % des producteurs ne procèdent à aucune analyse. Chez eux, il y a donc un risque élevé de mise en oeuvre de pratiques non efficaces sur le plan de la production, que ce soit par suramendement ou sous-amendement des sols. Dans un cas comme

Tableau 5-2

Entreposage du fumier en 1995

	Proportion (%) d'animaux traités au moyen de chaque méthode, par écozone								
	Maritime de l'Atlantique	Bouclier boréal	Plaines à forêts mixtes	Plaines boréales	Prairies	Cordillère montagnarde	Maritime du Pacifique	Canada	
Bovins (Laitiers et de boucherie)	Tas en plein air sans toit	71,0	69,0	53,0	70,0	45,0	40,0	78,0	54,0
	Tas en plein air avec toit	1,0	2,0	3,0	3,0	2,0	1,0	0,0	2,0
	Litière accumulée	7,0	14,0	8,0	34,0	61,0	61,0	2,0	42,0
	Dalle à découvert sans retenue	8,0	6,0	23,0	< 1	0,0	0,0	7,0	5,0
	Dalle à découvert avec retenue	12,0	6,0	13,0	< 1	< 1	0,0	7,0	4,0
	Dalle recouverte	1,0	< 1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	< 1
	Autres méthodes	2,0	5,0	2,0	< 1	1,0	< 1	6,0	1,0
	Méthodes non précisées	2,0	3,0	5,0	8,0	9,0	2,0	0,0	7,0
Porcins	Tas en plein air sans toit	17,0	s/o	24,0	65,0	68,0	71,0	69,0	44,0
	Tas en plein air avec toit	0,0	s/o	1,0	2,0	3,0	0,0	0,0	2,0
	Litière accumulée	1,0	s/o	1,0	34,0	22,0	30,0	31,0	12,0
	Dalle à découvert sans retenue	0,0	s/o	54,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0
	Dalle à découvert avec retenue	0,0	s/o	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0
	Dalle recouverte	29,0	s/o	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
	Autres méthodes	54,0	s/o	1,0	6,0	9,0	0,0	0,0	12,0
	Méthodes non précisées	0,0	s/o	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Poules et poulets	Tas en plein air sans toit	46,0	48,0	65,0	29,0	86,0	4,0	1,0	60,0
	Tas en plein air avec toit	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	95,0	< 1	3,0
	Litière accumulée	< 1	52,0	1,0	72,0	2,0	2,0	1,0	5,0
	Dalle à découvert sans retenue	0,0	< 1	29,0	0,0	< 1	0,0	98,0	22,0
	Dalle à découvert avec retenue	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	< 1	2,0
	Dalle recouverte	53,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
	Autres méthodes	0,0	0,0	4,0	0,0	12,0	< 1	< 1	4,0
	Méthodes non précisées	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0

Nota : La somme des résultats peut dépasser 100 % lorsque les exploitations agricoles utilisent plusieurs méthodes d'entreposage.

dans l'autre, il y a matière à des préoccupations environnementales, le sous-amendement pouvant appauvrir les sols, le suramendement pouvant polluer les masses d'eau et conduire à l'émission d'oxyde nitreux en plus grande quantité. En outre, de nombreux pédologues sont d'avis que les analyses de qualité des sols sont devenues moins fréquentes ces dernières années que par le passé et qu'on doit veiller à améliorer les procédures d'analyse et inciter les producteurs à analyser leurs sols régulièrement.

Fumier

Résultats

L'enquête montre qu'en 1995, environ 60 % des agriculteurs du Canada (133 700 fermes) entreposaient le fumier sur la propriété. Environ 11 %

d'entre eux entreposaient le fumier sous forme liquide. Le tableau 5-1 montre quelles méthodes d'entreposage étaient employées par les producteurs de porcs, de poulets et de bovins. Les exploitants de porcheries étaient les plus susceptibles (91 %) d'entreposer le fumier liquide, suivis des exploitants des poulaillers (38 %) et d'élevages de bovins (9 %). Chez ces derniers, 33 % utilisaient une lagune sans revêtement et 32 % un bassin ouvert. Chez les exploitants de porcheries entreposant le fumier liquide, 32 % utilisaient une lagune sans revêtement et 12 % une lagune avec revêtement.

Des producteurs entreposant du fumier, 95 % en entreposaient sous forme solide. Le tableau 5-2 montre en détail les méthodes d'entreposage par

Capacité des systèmes d'entreposage du fumier liquide en 1995**Tableau 5-3**

	Proportion (%) des animaux qui ont accès à chaque niveau de la capacité d'entreposage								
	Maritime de l'Atlantique	Bouclier boréal	Plaines à forêts mixtes	Plaines boréales	Prairies	Cordillère montagnarde	Maritime du Pacifique	Canada	
Bovins (Laitiers et de boucherie)	100 jours ou moins	14,0	0,0	5,0	0,0	54,0	24,0	7,0	14,0
	101 à 150 jours	5,0	20,0	12,0	38,0	0,0	76,0	9,0	11,0
	151 à 200 jours	15,0	5,0	30,0	27,0	34,0	0,0	33,0	28,0
	201 à 250 jours	16,0	25,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0
	Plus de 250 jours	51,0	42,0	38,0	10,0	12,0	0,0	48,0	35,0
	Non précisés	0,0	8,0	5,0	25,0	0,0	0,0	3,0	4,0
Porcins	100 jours ou moins	0,0	0,0	4,0	9,0	63,0	s/o	0,0	29,0
	101 à 150 jours	0,0	4,0	15,0	16,0	6,0	s/o	0,0	9,0
	151 à 200 jours	3,0	8,0	16,0	0,0	6,0	s/o	0,0	8,0
	201 à 250 jours	5,0	0,0	18,0	2,0	0,0	s/o	50,0	7,0
	Plus de 250 jours	87,0	88,0	41,0	73,0	24,0	s/o	0,0	43,0
	Non précisés	5,0	0,0	6,0	0,0	1,0	s/o	50,0	4,0
Poules et poulets	100 jours ou moins	0,0	0,0	0,0	76,0	67,0	s/o	4,0	30,0
	101 à 150 jours	0,0	30,0	3,0	24,0	18,0	s/o	0,0	10,0
	151 à 200 jours	< 1	10,0	58,0	< 1	0,0	s/o	0,0	30,0
	201 à 250 jours	0,0	0,0	19,0	0,0	0,0	s/o	0,0	10,0
	Plus de 250 jours	100,0	48,0	20,0	0,0	16,0	s/o	96,0	21,0
	Non précisés	0,0	12,0	0,0	0,0	< 1	s/o	0,0	< 1

Nota : La somme des résultats peut dépasser 100 % en raison de l'arrondissement.

classe d'animaux d'élevage. Les méthodes d'entreposage à ciel ouvert (les plus risquées) ont été retenues dans une vaste majorité des exploitations agricoles.

Le tableau 5-3 donne la capacité des systèmes d'entreposage du fumier liquide. Celle-ci est d'au moins 200 jours (la capacité optimale) chez 50 %

des producteurs de porcs, 43 % des producteurs de bovins et 31 % des producteurs de volailles. Dans les Prairies, plus de la moitié de ces trois groupes de producteurs ne pouvait stocker du fumier liquide que pendant moins de 100 jours.

Le tableau 5-4 présente les méthodes d'application du fumier. L'épandage de fumier complet est

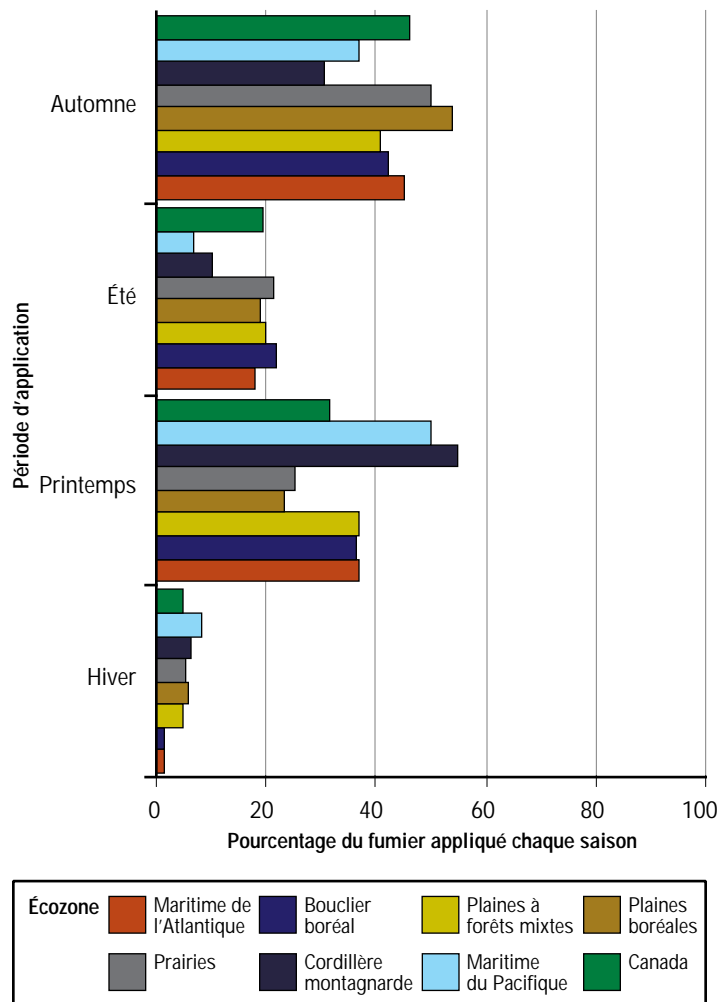
Méthode d'application du fumier en 1995**Tableau 5-4**

	Proportion (%) de la superficie cultivée traitée au moyen de chaque méthode d'épandage du fumier								
	Maritime de l'Atlantique	Bouclier boréal	Plaines à forêts mixtes	Plaines boréales	Prairies	Cordillère montagnarde	Maritime du Pacifique	Canada	
Épandage du fumier complet	74,0	79,0	70,0	89,0	89,0	90,0	48,0	78,0	
Épandage du fumier après irrigation	0,0	< 1	3,0	0,0	< 1	0,0	1,0	1,0	
Épandage du fumier liquide en surface	27,0	21,0	26,0	11,0	11,0	10,0	51,0	21,0	
Épandage du fumier liquide après injection	0,0	0,0	< 1	< 1	< 1	0,0	0,0	< 1	

Nota : La somme des résultats peut dépasser 100 % en raison de l'arrondissement.

Période d'application du fumier en 1995

Figure 5-5



la méthode la plus employée, soit sur 78 % des terres cultivées fumées. Il n'y a que l'écozone Maritime du Pacifique où la proportion des terres cultivées amendées au fumier complet est inférieure à 70 % (soit 48 %). L'épandage en surface constitue la méthode la plus répandue d'application du fumier liquide. L'injection (la méthode optimale) est peu utilisée.

La figure 5-5 indique les périodes d'application de l'engrais liquide. Davantage d'engrais (46 %) est appliqué à l'automne qu'en chacune des autres saisons. Exception faite des écozones Maritime du Pacifique et Cordillère montagnarde, où les applications printanières sont les plus fréquentes, cela se vérifie dans toutes les écozones. Seulement 19 % du fumier a été appliqué l'été (la pratique optimale puisque cette période correspond à la saison de croissance maximale des plantes) au Canada.

Interprétation

Le fumier est la source d'éléments nutritifs dont la gestion est la plus déficiente, selon les indicateurs. Les méthodes d'entreposage du fumier complet comme du fumier liquide ne sont pas optimales d'une manière générale, et des progrès sont rendus nécessaires avec l'expansion de ce secteur. La capacité d'entreposage du fumier liquide est cependant mieux développée.

Seule une proportion assez réduite des producteurs agricoles entpose le fumier sous forme liquide. Les pratiques de gestion de ce type de fumier diffèrent surtout entre les types d'élevages et peu entre les régions. Les systèmes d'entreposage en plein air sont davantage sujets aux pertes, par conséquent, ils sont les moins sûrs sur

La lutte antiparasitaire intégrée

La carpocapse de la pomme a été introduite accidentellement en Colombie-Britannique au début du XXI^e siècle. Depuis, elle a causé des dégâts incalculables dans les vergers de pommes et de poires, au point de menacer une industrie qui donne de l'emploi à 5 000 personnes et qui génère des activités annuelles de 700 millions de dollars.

Les gouvernements, l'industrie fruitière, les producteurs et les propriétaires fonciers de la province s'unissent derrière le programme de lâchers d'insectes stérilisés pour lutter contre ce problème. Douze à quatorze millions d'adultes stériles sont lâchés chaque semaine, pendant la saison de croissance, dans 1 700 vergers commerciaux du sud de la Colombie-Britannique. Ces insectes stériles s'accouplent avec des adultes sauvages fertiles, mais dont les oeufs ne se développeront pas. Par conséquent, la population sera réduite.

Ces insectes sont élevés dans des installations de 7,4 millions de dollars inaugurées en 1993 près d'Osoyoos. Les frais d'exploitation, de 3,4 millions de dollars, sont répartis entre les producteurs locaux et les propriétaires, par le biais de taxes. Les lâchers ont commencé en 1994. En 1998, plus de 3 000 millions d'adultes ont été lâchés entre avril et octobre. De pair avec d'autres techniques comme la surveillance intensive, la perturbation de l'accouplement et l'emploi de pesticides moins toxiques, ce programme vise à abaisser les populations de carpocapse à des niveaux où il ne sera pas nécessaire d'employer des moyens chimiques de lutte antiparasitaire.

le plan écologique. Mais ils sont les plus utilisés, l'exception étant les poulaillers, dont les exploitants utilisent à 45 % des bassins couverts et scellés.

La plupart des producteurs entreposant du fumier le font sous forme complète et la majeure partie de ceux-ci utilisent des systèmes d'entreposage non couverts, à l'origine de certains risques pour le milieu. Il semble exister une composante régionale dans le choix de la méthode. La méthode d'entreposage en tas en plein air sans toit, qui est à la source des plus grands risques de ruissellement et d'entraînement des éléments nutritifs et de bactéries par lessivage, est la plus utilisée dans l'Est du Canada.

Le fait de disposer d'une bonne capacité d'entreposage du fumier liquide rend moins nécessaire l'épandage du fumier pendant l'hiver ou dans d'autres conditions non appropriées. Cet indicateur prend toute sa valeur dans le cas des porcheries, où on emploie fréquemment les systèmes d'entreposage du fumier liquide. Les élevages porcins à l'origine de 88 % de cette production dans l'écozone du Bouclier boréal ont une capacité d'entreposage supérieure à 250 jours. Les producteurs de porc et de volaille des Prairies ont une capacité d'entreposage du fumier liquide bien inférieure.

Les agriculteurs tendent à épandre le fumier lorsque leurs autres tâches se font moins pressantes, c'est-à-dire surtout à l'automne. Cette tendance est observée à l'échelle nationale et dans toutes les écozones. Il est nettement préférable d'épandre le fumier au moment où la plante a le plus grand besoin d'éléments nutritifs, soit à l'été. Il faut que partout au pays, on s'efforce d'épandre le fumier durant la meilleure période d'épandage.

Il faut raffiner l'indicateur portant sur la méthode d'épandage du fumier afin de mieux évaluer l'application du fumier complet, à savoir si le fumier est incorporé dans le sol après l'épandage. Toutefois, l'indicateur suggère bien qu'il y a amplement place à des améliorations en ce qui regarde l'épandage du fumier liquide sur les terres cultivées.

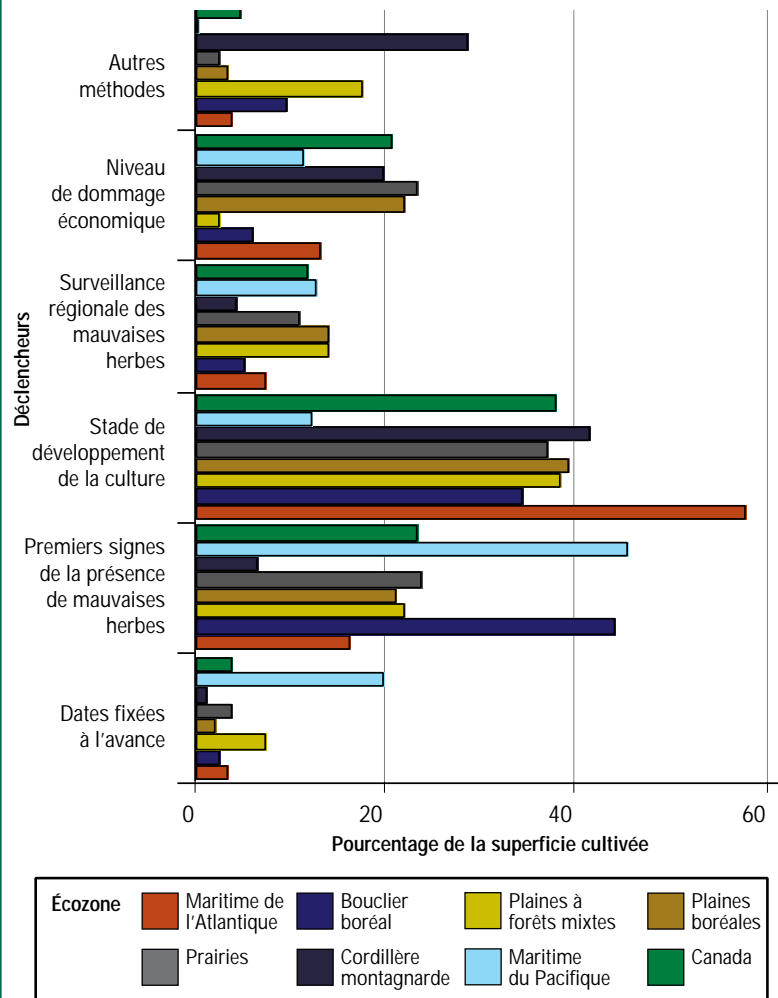
Pesticides

Résultats

La figure 5-6 se rapporte aux méthodes prises par les producteurs pour déterminer à quel moment appliquer les herbicides. La figure 5-7 présente celles utilisées pour les insecticides et les fongicides. Les deux graphiques font figurer la méthode par dates du calendrier. L'application des herbicides en fonction du stade de développement de la culture est la méthode la plus couramment

Outils d'aide à la décision concernant la période d'application d'herbicides en 1995

Figure 5-6



utilisée (38 %) par les producteurs qui en appliquent. Les premiers signes de la présence de mauvaises herbes constituent un important facteur décisionnel dans les écozones Maritime du Pacifique et du Bouclier boréal. Le dépassement du seuil de dommage économique (la pratique optimale) a été à l'origine de la décision de traiter 20 % des terres cultivées traitées aux herbicides.

En 1995, environ 31 % des exploitants agricoles ayant des terres cultivées (soit 62 300 exploitants) signalaient qu'ils appliquaient des insecticides et 19 % (soit 40 000) qu'ils appliquaient des fongicides. À l'échelon national, le dépassement du seuil de dommage économique a été à l'origine de la décision d'appliquer ces produits sur 25 % des terres cultivées. C'est la méthode la plus

Les plans agroenvironnementaux

En 1991, plus de 30 organisations agricoles de l'Ontario ont constitué l'*Ontario Farm Environmental Coalition*, se donnant comme objectif principal de mettre en vigueur un programme de plans agroenvironnementaux. On souhaitait que, grâce à ce programme, tous les producteurs agricoles de cette province choisissent de faire une part aux préoccupations environnementales dans leur exploitation en préparant, de manière volontaire, un plan agroenvironnemental.

Ce programme repose sur un cahier à remplir qui comporte deux parties : une évaluation qualitative des risques faite par le producteur agricole, qui s'applique aux bâtiments, aux champs, aux boisés, aux milieux humides et aux cours d'eau, le cas échéant, et un plan d'action que le producteur prépare afin de régler des problèmes précis mis en lumière par l'évaluation. Ce cahier a été rédigé de concert avec un très grand nombre de spécialistes techniques de nombreux ministères fédéraux et provinciaux ainsi que de l'université de Guelph.

L'Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario coordonne le programme. Chaque année, elle tient une centaine d'ateliers à l'intention des agriculteurs, durant l'automne et l'hiver. Dès avril 1999, le programme avait attiré 16 000 participants à ces ateliers, la moitié d'entre eux passant à l'étape de l'examen par des pairs. Près de 6 000 participants ont touché une prime d'incitation, une subvention pouvant se chiffrer à 1 500 \$ visant à compenser les coûts d'investissement qui accompagnent la mise en oeuvre sur place d'un projet visant à régler un problème déterminé par l'évaluation. À ce jour, le total des primes versées atteint environ 7 millions de dollars. Une récente vérification a révélé qu'en moyenne, les récipiendaires se sont attaqués à onze problèmes, qu'ils ont dépensé 12 000 \$ de leur propre argent en sus de la prime et qu'ils ont consacré 56 heures de travail au règlement de problèmes écologiques sur leur propriété.

Le programme de plans agroenvironnementaux de l'Ontario est reconnu internationalement pour son approche non réglementaire, émanant du secteur, à la protection de l'environnement en milieu agricole. En 1994, attirés par le succès de ce programme, des représentants du milieu agricole des provinces de l'Atlantique ont entrepris des échanges en vue d'examiner les possibilités d'implanter un programme similaire par l'entremise de l'*Atlantic Farmers Council*. On a vite constaté qu'il fallait remanier le cahier utilisé en Ontario pour l'adapter aux systèmes de production des provinces de l'Atlantique. Les modifications ont été apportées avec l'aide de producteurs, de spécialistes de services gouvernementaux et d'organismes tels que le Centre de conservation des sols et de l'eau dans l'Est du Canada. Ce cahier, dont la préparation s'est achevée en décembre 1995, a été remis aux provinces pour qu'elles mettent sur pied leur propre programme.

En avril 1999, environ 500 producteurs agricoles du Nouveau-Brunswick avaient participé aux ateliers sur les plans agroenvironnementaux, la participation ayant doublé après l'introduction, en 1998, d'une mesure d'incitation (s'élevant jusqu'à 3 000 \$ ou 75 % du coût du projet). Ce programme est administré par le Conseil agro-environnemental du Nouveau-Brunswick, et les fonds qui servent aux incitatifs proviennent du Conseil national de conservation du sol et de l'eau et du Fonds canadien d'adaptation et de développement rural. Dans l'Île-du-Prince-Édouard, un programme semblable est coordonné par la *P.E.I. Federation of Agriculture*. À ce jour, environ 300 producteurs agricoles ont participé aux ateliers. Un nouveau programme d'assistance, l'*Agriculture and Environmental Resource Conservation Program*, a été introduit récemment, le gouvernement absorbant les deux tiers des coûts des projets jusqu'à concurrence de 30 000 \$ par exploitation agricole. La province de Terre-Neuve et du Labrador a mis sur pied son programme de plans agroenvironnementaux dès 1996 et celui-ci est coordonné par le *Newfoundland and Labrador Federation of Agriculture*. Des plans ont été mis en oeuvre dans 70 exploitations agricoles, et un programme d'incitatifs est en préparation afin d'attirer davantage de participants. La Nouvelle-Écosse a elle aussi lancé son programme en 1996, et environ 130 producteurs ont participé aux ateliers de travail à ce jour. On a invité ces personnes à participer à un examen sur place, à caractère confidentiel, pendant l'été 1999, et on envisage l'adoption de mesures d'incitation. Dans les provinces de l'Atlantique, la planification agroenvironnementale est assurée par les producteurs, avec la collaboration et l'appui continu de différents ministères provinciaux et fédéraux, comme c'est le cas en Ontario.

D. Armitage, Fédération de l'Agriculture de l'Ontario
W. Omlvee, Conseil agro-environnemental du Nouveau-Brunswick
S. Smale, Nova Scotia Federation of Agriculture
L. Halliday, Prince Edward Island Federation of Agriculture
Y. Rideout, Newfoundland and Labrador Federation of Agriculture

Figure 5-7

Outils d'aide à la décision concernant la période d'application d'insecticides et de fongicides en 1995

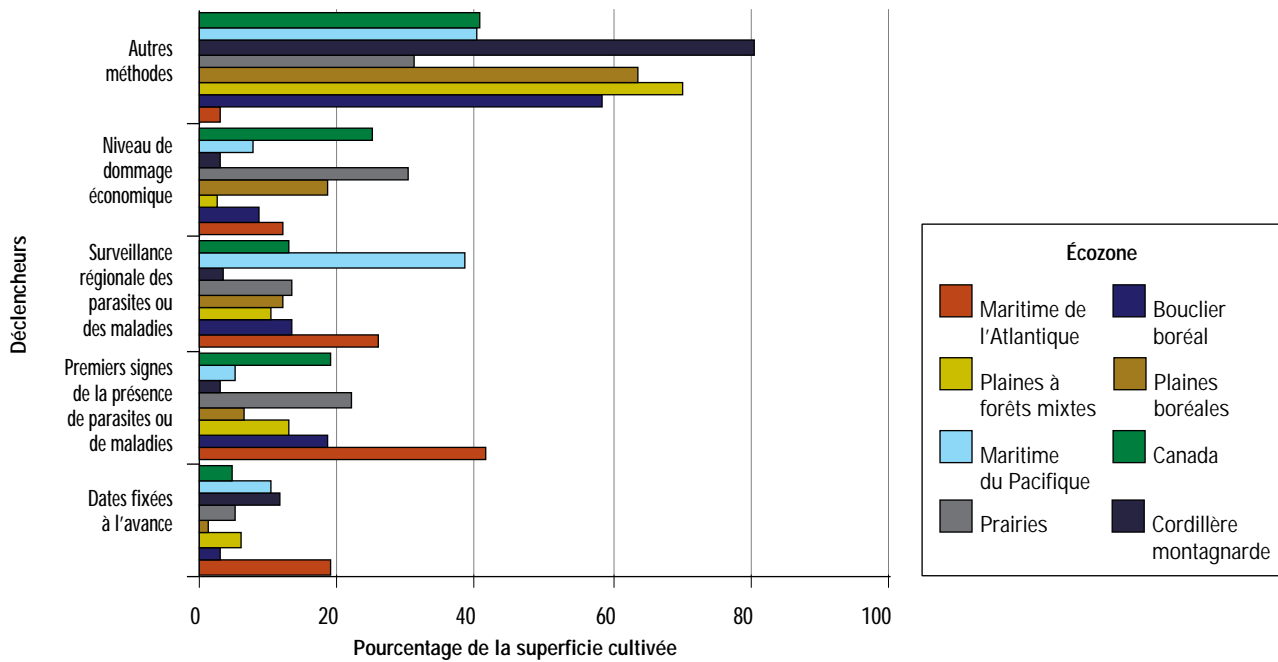
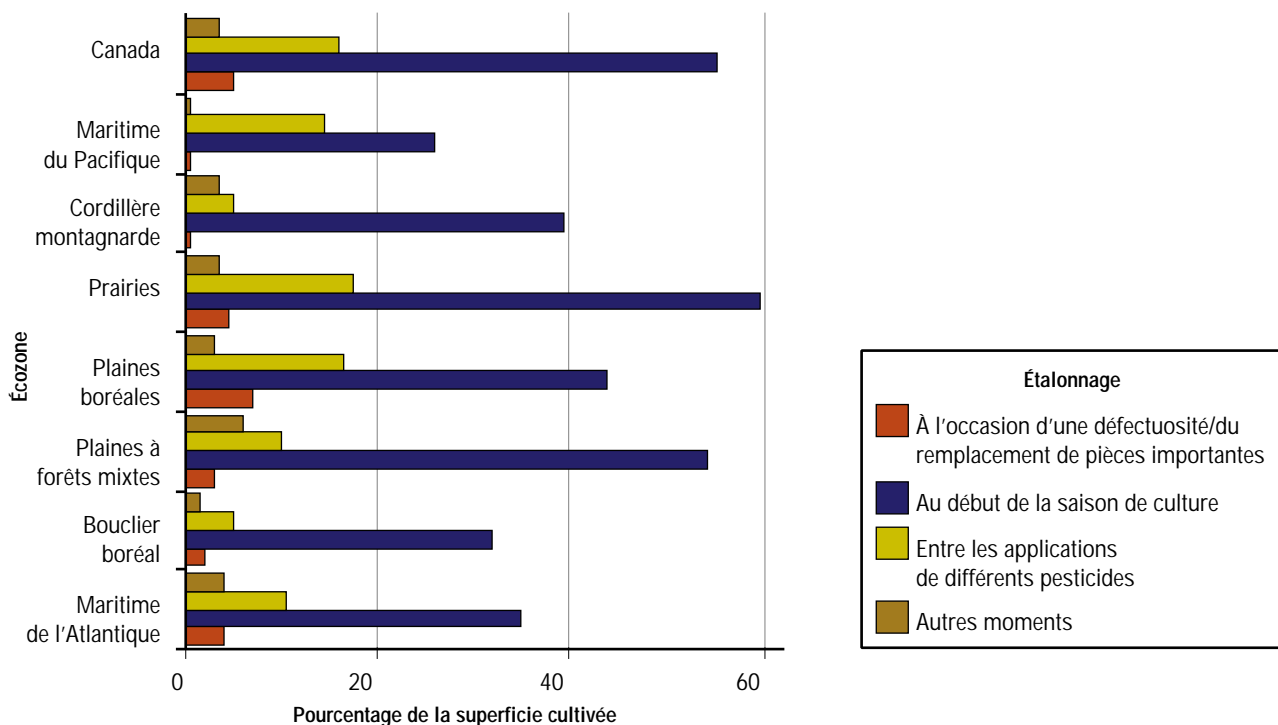


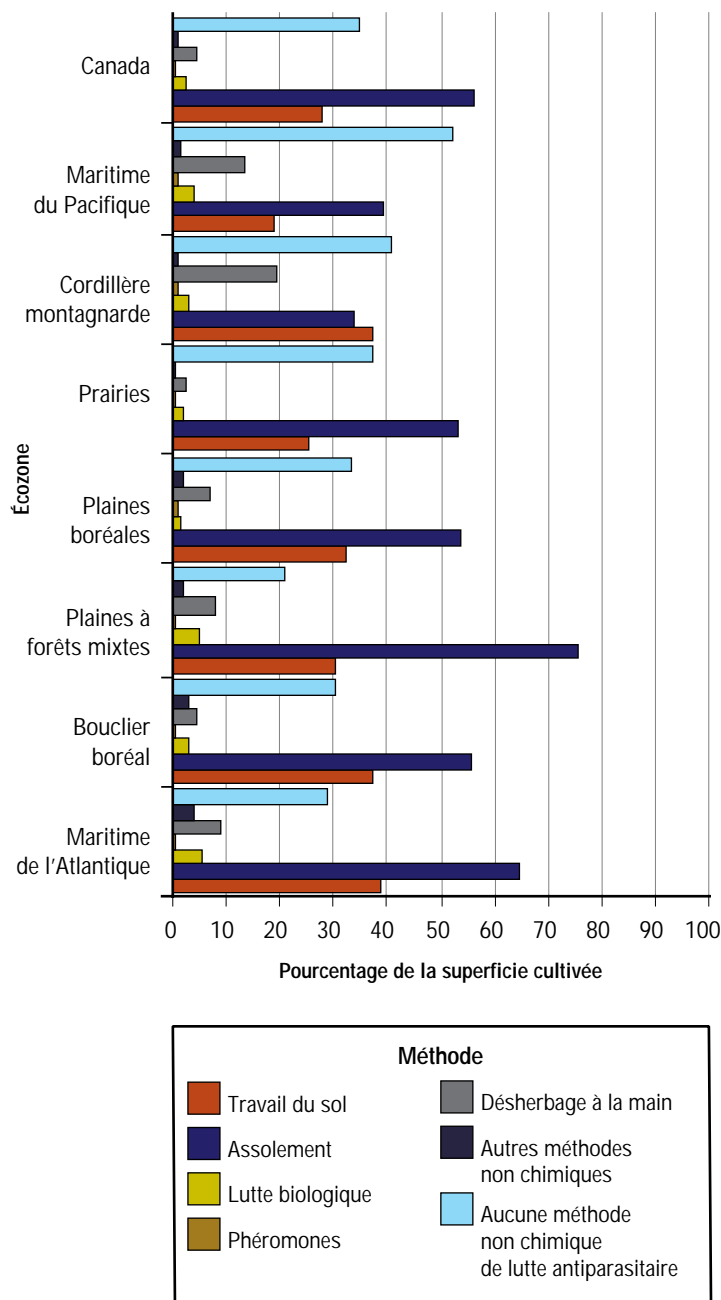
Figure 5-8

Fréquence d'étalonnage des pulvérisateurs en 1995



Méthodes de lutte antiparasitaire de remplacement utilisées en 1995

Figure 5-9



fréquemment signalée dans les Plaines boréales et dans les Prairies. Les producteurs de l'écozone Maritime de l'Atlantique sont plus enclins que les autres à entreprendre les traitements dès les premiers signes d'apparition de la maladie ou d'organismes nuisibles.

Environ 76 % des exploitants agricoles signalant qu'ils ont appliqué des pesticides en 1995 utilisaient leur propre pulvérisateur. La figure 5-8 porte sur les méthodes d'étalonnage de ces appareils. Environ 68 % de ces agriculteurs, qui exploitent 54 % des terres cultivées du Canada, étalonnent leur pulvérisateur au commencement de la saison de culture. Les exploitants de 16 % des terres cultivées seulement étalonnent leur pulvérisateur entre les applications de chaque pesticide (la pratique optimale).

La figure 5-9 indique quelle proportion des terres cultivées sont traitées contre les organismes nuisibles par des méthodes non chimiques. L'assolement (56 %) et le travail du sol (27 %) sont les méthodes de remplacement les plus courantes. Sur 34 % des terres cultivées, aucune méthode n'est employée.

Interprétation

Entre 1981 et 1996, la superficie des terres cultivées traitées avec des herbicides s'est accrue de 53 % et celle des terres cultivées traitées avec des insecticides et des fongicides, de 78 %. Même si les nouveaux produits antiparasitaires font généralement courir moins de risques sur le plan de l'environnement, on se préoccupe néanmoins de leurs effets sur les espèces non visées et sur la qualité de l'eau. De nouvelles biotechnologies, comme les cultures rendues résistantes aux organismes nuisibles, et de nouvelles techniques, comme la lutte antiparasitaire intégrée (voir l'encadré), permettent de gérer le risque, pour l'environnement, de l'emploi de pesticides.

C'est au stade de croissance des mauvaises herbes, où les pertes économiques imposées par ces plantes égalent le coût de leur traitement, que les herbicides sont utilisés de la manière la plus efficace. Environ 20 % des producteurs agricoles se fient à des estimations de ce seuil de pertes économiques pour décider du moment où ils appliqueront des herbicides. Cet indicateur montre qu'il y a amplement place à des progrès puisque 60 % des producteurs agricoles appliquent des herbicides aux premiers signes d'apparition de mauvaises herbes ou à un certain stade de croissance des cultures.

L'inspection des cultures pour y déceler les traces d'infestations d'insectes et de champignons, et l'estimation du degré d'endommagement, permettent de s'assurer que les insecticides et les fongicides sont utilisés au moment approprié et aux endroits les plus atteints. Les producteurs des Prairies emploient cette méthode pour le traitement de 30 % de leurs terres cultivées, mais cette proportion est bien moindre dans les autres

écozones. Comme 40 % des données recueillies sont tombées dans la catégorie « Autres méthodes », il faudrait sans doute raffiner cet indicateur.

Un bon étalonnage des pulvérisateurs améliore l'efficacité des traitements avec des pesticides et réduit les risques pour le milieu. La meilleure pratique de gestion consiste à étalonner le matériel à tout changement de pesticide. La pratique courante dans toutes les écozones est d'étalonner les pulvérisateurs seulement au commencement de la saison de croissance. Cet indicateur montre qu'il y a amplement place à des progrès.

Les producteurs agricoles ont accès à une gamme de moyens non chimiques de lutte contre les organismes nuisibles qui permettent de diminuer la dépendance face aux pesticides, ainsi que de réduire les risques pour le milieu. L'usage très répandu de l'assolement et du travail du sol d'un bout à l'autre du pays est un pas dans la bonne direction lorsqu'on se donne comme objectif d'avoir recours à un vaste éventail de méthodes non chimiques de lutte antiparasitaire sur les terres cultivées.

Choix de mesures d'intervention

Partout au pays, il faut intensifier l'adoption de pratiques de gestion optimales des éléments nutritifs et des pesticides, particulièrement en ce qui a trait aux productions animales et végétales intensives et là où le paysage et les conditions climatiques accroissent le risque de lessivage de ces substances hors des zones cultivées, vers des masses d'eau voisines. On doit également poursuivre la recherche dans les champs d'investigation suivants :

- mise au point de nouveaux produits et de nouvelles méthodes de lutte antiparasitaire;
- raffinement des méthodes non chimiques de lutte antiparasitaire;
- mise à jour des recommandations relatives aux doses d'engrais et établissement des doses s'appliquant à de nouvelles cultures;
- amélioration des méthodes d'application.

La planification de la gestion des éléments nutritifs et des pesticides est un important volet des *plans agroenvironnementaux* auxquels se conforment volontairement de nombreux producteurs agricoles. Ces plans prévoient notamment ce qui suit :

- n'utiliser que la quantité requise d'éléments nutritifs et de pesticides, compte tenu des résultats d'analyse des sols ou du repérage des organismes nuisibles;
- appliquer ces amendements aux endroits et aux moments où ils seront le plus efficaces;
- manipuler, entreposer et appliquer les éléments nutritifs et les pesticides selon des méthodes sécuritaires sur le plan écologique.

Conclusion

Les indicateurs dont il est question dans ce chapitre montrent que les producteurs agricoles appliquent de bonnes méthodes agronomiques, mais qu'il y a aussi place à des améliorations en termes de protection de l'environnement. Une tendance générale se dessine au Canada, soit celle d'une spécialisation et d'une intensification de la production agricole, ainsi que du recours à des technologies et à des procédés très avancés. À mesure que les activités agricoles continueront de prendre de l'ampleur et de s'intensifier, il sera essentiel d'adopter de saines pratiques de gestion des intrants pour protéger l'environnement et pour assurer la rentabilité des opérations. Dans la plupart des cas, la diminution du risque pour le milieu associé à la gestion des intrants et la rentabilité vont de pair.

Indicateurs connexes

La quantité d'azote minéral et d'azote contenu dans le fumier et la méthode d'application influent sur la concentration de l'azote résiduel dans le sol après la récolte, sur l'oxyde nitreux, un constituant du bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole, et sur le risque de contamination de l'eau par l'azote. La quantité de phosphore minéral et de phosphore contenu dans le fumier et la méthode d'application influent sur le risque de contamination de l'eau par le phosphore. La saine gestion des éléments nutritifs donne des sols en bon état, riches en carbone organique, moins vulnérables à l'érosion éolienne, hydrique ou à celle causée par le travail du sol, et qui favorisent la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles.

C

La qualité du sol

C La qualité du sol

La *qualité du sol* se définit comme la capacité d'un sol donné de remplir une fonction précise. Dans le contexte agricole, la qualité ou santé d'un sol est sa capacité de soutenir la croissance des cultures sans se dégrader ou nuire à l'environnement. La qualité du sol résulte d'un facteur naturel ou inhérent qui est déterminé par la nature des matériaux géologiques et les processus de formation de ce sol (p. ex. météorisation due aux phénomènes physiques ou chimiques) et d'un facteur dynamique déterminé par les méthodes agronomiques. Les processus naturels comme l'érosion et la perte de matière organique qui s'ensuit, le compactage et la salinisation, peuvent dégrader la qualité naturelle du sol. Différents modes d'utilisation des terres et méthodes agronomiques peuvent aggraver cette dégradation en accélérant l'apparition de ses symptômes et de ses effets. Par contre, certaines utilisations agricoles des terres et certaines méthodes agronomiques (méthodes de travail du sol, systèmes de culture, plans de gestion des éléments nutritifs) contribuent à stabiliser ou à améliorer la qualité du sol. Certains chercheurs pensent que la qualité du sol peut se mesurer en termes économiques. Lors de nos évaluations, nous avons choisi de nous concentrer sur les aspects environnementaux de la qualité du sol à l'échelle générale du paysage.

Les six chapitres qui suivent traitent de la qualité des sols agricoles au moyen d'indicateurs du risque de dégradation causé par divers processus. Dans les chapitres 6 à 8, on a évalué le risque d'érosion hydrique et éolienne et le risque d'érosion attribuable au travail du sol. Le chapitre 9 présente une évaluation de l'état du carbone organique du sol, qui dépend en grande partie du processus d'érosion. Les chapitres 10 et 11 traitent des risques de compactage et de salinisation.

L'érosion est un processus naturel d'usure de la surface du sol par l'eau, le vent ou la glace. Les méthodes agronomiques peuvent accélérer le rythme naturel d'érosion. L'érosion déplace la couche arable, ce qui dégrade la qualité du sol en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, et finit par affecter la qualité et le rendement des cultures. Comme il se produit un renouvellement constant qui peut compenser les pertes, les sols agricoles peuvent subir une certaine érosion sans effets néfastes sur la qualité ou la productivité à long terme. Au Canada, on estime ce renouvellement à environ cinq tonnes par hectare par année pour les sols agricoles bien formés; ce taux est moindre pour les sols peu profonds ou déjà dégradés. Par conséquent, la classe du risque tolérable a été fixée à moins de six tonnes par hectare pour les indicateurs de risque d'érosion hydrique et d'érosion causée par le travail du sol.

L'aspect du paysage influence le taux d'érosion des trois types. La couverture formée par les plantes et leurs résidus protège le sol des effets de la pluie et du vent, ce qui réduit les pertes. Cette réduction est directement liée aux choix faits par les agriculteurs, comme la sélection et la rotation des cultures, et aux méthodes de travail du sol.

Effets de l'érosion à la ferme et à l'extérieur de la ferme

Effets à la ferme

- Baisse du niveau de fertilité;
- Diminution du rendement des cultures;
- Diminution de l'infiltration de l'eau dans le sol;
- Augmentation de l'encroûtement du sol;
- Augmentation du ruissellement au printemps et après les orages;
- Hausse du pH du sol;
- Formation de rigoles et de ravines dans les champs.

Effets à l'extérieur de la ferme

- Dépôt du sol érodé dans les dépressions et les champs adjacents;
- Dégradation de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques en aval par sédimentation et augmentation des quantités d'éléments nutritifs, de pesticides et de bactéries;
- Problèmes physiques coûteux, comme le colmatage des tranchées de drainage.

La matière organique du sol est une composante importante de la couche arable enlevée par l'érosion. Cette matière organique est très utile; lorsqu'elle disparaît, la structure du sol se dégrade, le sol devient moins perméable à l'air, à l'eau et aux éléments nutritifs, et il peut se compacter et s'encroûter. Ces phénomènes favorisent tous les genres d'érosion et ils entraînent donc à leur tour une perte de plus en plus importante de la couche arable. La baisse de la productivité et de la fertilité du sol oblige à augmenter la quantité d'intrants (par exemple les engrais) pour produire une récolte rentable, si bien que le sol finit par ne plus produire. Le carbone est la principale composante de la matière organique du sol. Une évaluation de la concentration de carbone dans les sols agricoles donne une indication de la qualité du sol.

Les sols ont un certain compactage naturel qui dépend de la nature et du placement des matériaux qui les ont formés. Les sols à texture fine comme l'argile sont, à l'état naturel, plus compacts que les sols à texture grossière comme le sable. Certains sols déposés directement par des glaciers ont un sous-sol très compact. Certaines méthodes agronomiques aggravent le problème. Les méthodes causant la perte de matière organique contribuent au tassement. La machinerie agricole lourde compacte le sol, surtout lorsqu'il est mouillé (par exemple au début du printemps ou à la fin de l'automne). L'utilisation intensive de machinerie ne peut que contribuer au compactage du sol.

La salinité du sol est un état naturel qu'on observe dans la plupart des terres agricoles des Prairies. Les sels solubles situés dans la rhizosphère ralentissent la croissance des plantes, mais le mouvement de l'eau dans le sol contribue grandement à réduire ce phénomène. Les producteurs peuvent difficilement modifier la salinité de certains sols, si ce n'est en utilisant des terres autrement. La réduction des superficies mise en jachère contribue à limiter la salinisation du sol, mais les terres à salinité élevée devront probablement devenir des pâturages.

La réduction du risque d'érosion, de la perte de matière organique du sol, du compactage et de la salinisation découle de changements relevant de différents niveaux de responsabilité. Le volet le plus important concerne les activités de la ferme elle-même; en effet, les agriculteurs devront modifier progressivement leurs méthodes de culture et de travail du sol. Cependant ces changements doivent être appuyés par la recherche et la mise au point de méthodes agronomiques, par des programmes de surveillance et de prévision des retombées découlant de l'adoption de nouvelles méthodes et par l'éducation. Les programmes amorcés par les producteurs semblent constituer un élément-clé pour la mise en œuvre et le succès des pratiques de conservation visant à assurer la durabilité à long terme de l'agriculture dans l'ensemble du Canada.

6 Risk of Water Erosion

I.J. Shelton, G.J. Wall, J.-M. Cossette, R. Eilers, B. Grant, D. King, G. Padbury, H. Rees, J. Tajek, and L. van Vliet

Geographic scope: National, provincial

Time series: 1981, 1991, 1996

HIGHLIGHTS

- Water erosion is a natural process that is accelerated by various agricultural management practices. Erosion results in the loss or redistribution of topsoil in a landscape, usually causing soil degradation and reducing crop quality and yield on-site. If the eroded sediment is transported off-site into waterways, it can cause an increase in turbidity and sedimentation. Attached to the eroded soil particles may be nutrients, pesticides, and bacteria, which also contribute to declining water quality. Thus, controlling erosion helps to protect both soil quality and water quality.
- An indicator was developed to assess the degree to which Canada's cropland was at Risk of Water Erosion in 1981, 1991, and 1996. The risk was expressed in five classes: tolerable (associated with erosion that is offset by soil building and is thus sustainable), low, moderate, high, and severe (all of which are considered unsustainable). The change in risk between 1981 and 1996 was calculated to evaluate the effects of prevailing land use and tillage practices. The performance objective for the indicator is to have all cropland in the tolerable risk class.
- Between 1981 and 1996, cropping measures and increased use of conservation tillage were responsible for decreases in water erosion risk in Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Ontario, and New Brunswick. The risk remained the same in British Columbia and Prince Edward Island, where the benefits of conservation tillage and other conservation measures were offset by intensified agricultural production in some areas. The risk rose in Quebec, mainly because of the intensification of cropping practices, and in Nova Scotia, mainly because of expanded potato production.
- By 1996, Alberta, Saskatchewan, Manitoba, Quebec, and Nova Scotia had more than 70% of cropland in the tolerable risk class, while the share of cropland in this risk class ranged from about 50 to 70% in British Columbia, Ontario, Prince Edward Island, and New Brunswick.
- The indicator does not reflect other erosion control practices, such as the use of grassed waterways and terraces, cross-slope cultivation, strip and contour cropping, and winter cover cropping, because the land base on which these practices are used is not reported in the *Census of Agriculture*.

The Issue

Rainfall and surface runoff are the driving forces behind water erosion. The greatest potential for water erosion is during spring melt (especially when the soil surface is thawed, saturated, and readily moved and the underlying soil is frozen and impermeable) and heavy summer storms. Still, erosion can take place at any time, resulting in large losses of soil from farm fields over time and contributing to soil degradation.

Soil is carried in runoff to agricultural drains and other waterways, where it adds to the sediment load. Water quality decreases as suspended soil particles increase the *turbidity* (cloudiness) of the water and add to the sediment buildup on the bottom. This *sedimentation* reduces the water's suitability as habitat for fish and other aquatic organisms, alters the flow of the water, and may eventually clog the channels, making cleanout necessary.

Crop nutrients, pesticides, and bacteria, are often attached to the eroding soil particles and so are carried into waterways too. Their presence adds to the problem of declining water quality. Thus, curtailing water erosion helps to protect both soil quality and water quality. In recent years, many management practices have been employed to control water erosion. An indicator is needed to identify areas still at risk of water erosion and to assess how this risk is changing over time under prevailing management practices.

The Indicator

Description

We developed an indicator, Risk of Water Erosion, to estimate the extent of cultivated land at risk of water erosion and to monitor changes in this risk over time, particularly as a result of changes in management practices. This risk is expressed in the following five classes: tolerable (less than 6 tonnes per hectare per year), low (6 to 11 t/ha/yr), moderate (11 to 22 t/ha/yr), high (22 to 33 t/ha/yr), and severe (greater than 33 t/ha/yr). Areas in the lowest class are generally considered at *tolerable risk* of soil erosion and able to sustain long term crop production. The other four classes represent the risk of conditions that are unsustainable and for which soil conservation practices are needed to support crop production over the long term.

The indicator can be viewed as an indirect measure of soil quality. Because water erosion is a process of soil degradation that results in decreased soil quality, a declining erosion risk is considered positive in terms of soil quality. The performance objective for this indicator is to have all cropland in the tolerable risk class.

Method of calculation

The rate of water erosion was estimated using the Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada. Information from the *Soil Landscapes of Canada* maps and other sources on climate, soil, and topography was used to tabulate rainfall, soil, and landscape (slope) factors for each mapping area. The *inherent erodibility* represented by these factors was assumed to remain constant over the study period. The change in erosion risk over time was calculated by considering the effects of changes in land use and tillage practices across Canada, such as fluctuations in cropland areas, shifts in the types of crops grown, and the use of conservation tillage and no-till. This information was obtained from the *Census of Agriculture* for 1981, 1991, and 1996.

All but the tolerable rating indicate areas where soil and water conservation practices are needed for the sustained production of agricultural crops. The share of cropland falling in each of the risk classes outlined above was calculated for each province and for each distinctive agricultural or ecoregion within each province. Changes over time in the percent value for each class in each area provided an indicator of whether the overall risk of erosion was increasing or decreasing.

Limitations

The indicator is subject to the following limitations:

- calculations did not account for improvements resulting from the use of erosion control practices such as *grassed waterways*, *terracing*, *contour cultivation*, *strip cropping*, and winter cover crops.
- census data are not detailed enough to adequately reflect the geographic distribution of management practices in landscapes where farmland is fragmented, and some calculation errors may occur
- the indicator is based on long term average annual rainfall data that may not reflect single high intensity rainfall events that can cause significant soil erosion.

Results

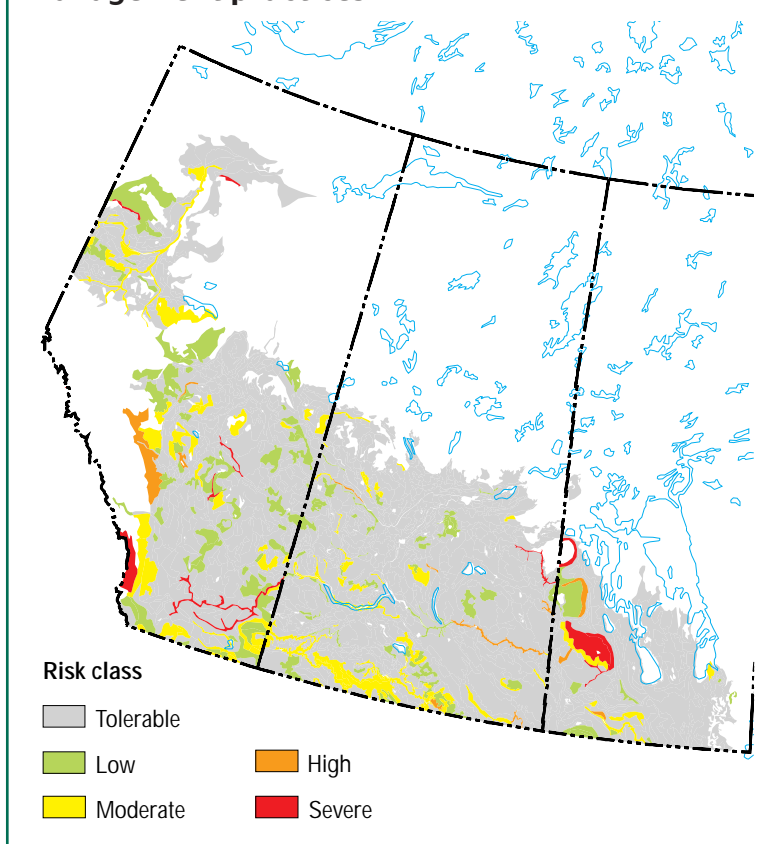
The risk of water erosion in each province is shown for 1981, 1991, and 1996 in Table 6-1. Figures 6-1 and 6-2 show the distribution of the various risk classes in 1996. The change in cropland area at risk of tolerable levels of erosion between 1981 and 1996 is shown in Figure 6-3.

In British Columbia there was a shift of about 7% of cropland into the moderate risk class, mainly from the low risk class. Although the share of cropland at a tolerable risk of water erosion remained constant between 1981 and 1996, there were areas in the south and central regions of the province where the risk of water erosion increased slightly, despite improvements in farming practice and the use of conservation tillage. There was also a 2% increase in cropland area between 1991 and 1996.

Saskatchewan showed the most improvement of all provinces, with a shift of 26% of its cropland into the tolerable risk class from higher risk classes between 1981 and 1996. Alberta paralleled this trend, but to a lesser extent, with a gain of 8% of cropland in the tolerable risk class. Although some areas of the Manitoba Prairie region showed slight increases in risk,

Risk of water erosion on cropland in the Prairie Provinces under 1996 management practices

Figure 6-1



Risk of water erosion on Canadian cropland under prevailing management practices

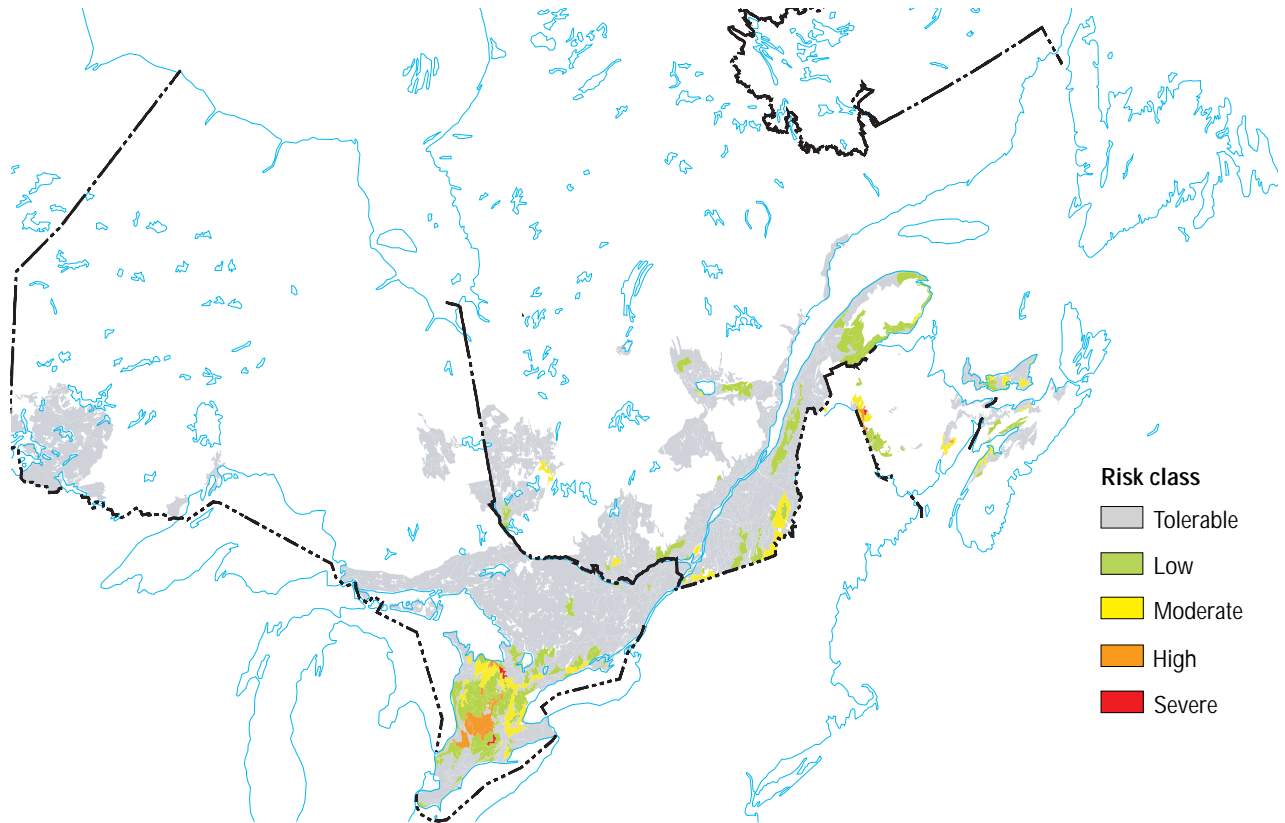
Table 6-1

Province	Cropland area* (million ha)	Share (%) of cropland in various risk classes														
		Tolerable			Low			Moderate			High			Severe		
		1981	1991	1996	1981	1991	1996	1981	1991	1996	1981	1991	1996	1981	1991	1996
British Columbia	0.52	56	59	56	25	22	19	12	13	19	5	4	5	2	2	1
Alberta	10.6	75	80	83	15	11	11	8	7	6	2	1	1	<1	<1	<1
Saskatchewan	18.8	64	72	90	24	19	5	7	5	5	4	4	1	2	1	<1
Manitoba	4.9	88	87	89	5	4	4	3	4	4	1	1	1	3	2	2
Ontario	3.4	51	56	58	26	23	27	13	11	6	10	10	10	<1	<1	<1
Quebec	1.6	89	89	88	7	8	9	4	3	3	0	0	0	0	0	0
New Brunswick	0.1	43	45	48	23	32	30	22	14	14	6	6	5	6	3	3
Nova Scotia	0.1	74	71	72	14	15	15	10	12	10	<1	<1	<1	2	3	2
Prince Edward Island	0.1	59	60	59	23	22	23	14	15	19	4	4	0	<1	<1	0

*Cropland area is an average of values for 1981, 1991, and 1996

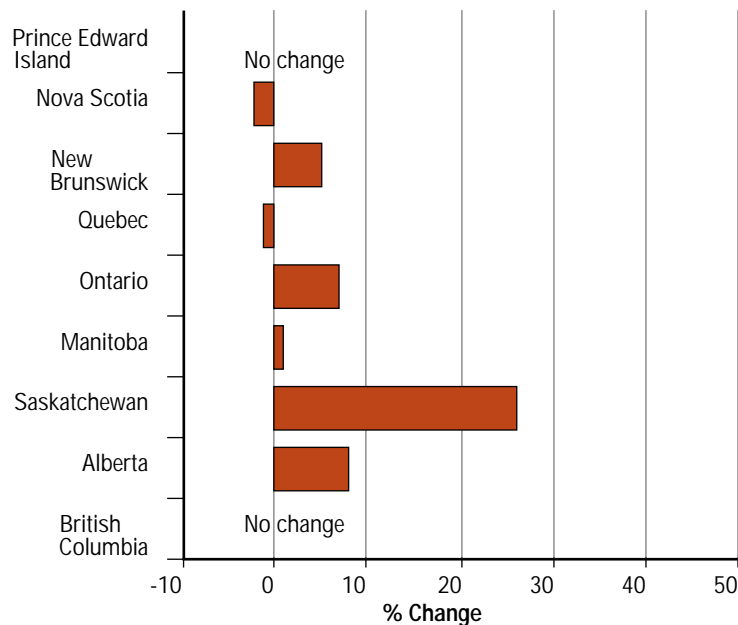
Risk of water erosion on cropland in Central Canada and the Maritime Provinces under 1996 management practices

Figure 6-2



Change in the area of cropland at risk of tolerable level of water erosion between 1981 and 1996

Figure 6-3



overall the province showed a 1% increase in the share of cropland in the tolerable risk class.

Ontario showed an overall reduction in the risk of water erosion between 1981 and 1996, with most of this improvement coming from a shift of about 7% of cropland from the moderate to lower risk classes. In Quebec, the share of land in the tolerable risk class fell slightly (1%) between 1981 and 1996. Of all the provinces, Quebec, Manitoba, and Saskatchewan had the largest share of cropland (about 90%) in the tolerable risk class in 1996, but Quebec also had no cropland in the highest two risk classes (see Box on conservation tillage in Quebec).

New Brunswick had the largest share of cropland at severe in 1981 (6%), but halved this figure by 1996. This improvement, along with a shift of cropland from the moderate and high risk classes to lower risk classes gave a reduction in overall erosion risk between 1981 and 1996. In Prince Edward Island, about 4% of cropland shifted from the high to moderate risk

class, although the share of land at tolerable risk remained constant from 1981 to 1996.

Although an overall improvement in water erosion risk was noted in most of the provinces, some regions of some provinces showed an increased risk of water erosion. These regions included

- the South Coastal and Central Interior regions of British Columbia
- the Prairie region of Manitoba (which showed a change in risk of less than 5%)
- the Algonquin–Lake Nipissing region of Ontario (less than 5% change)
- the St. Lawrence Lowland, Appalachian (each less than 5%), and Central Laurentian regions of Quebec.

Interpretation

The general trend of decreasing risk of water erosion between 1981 and 1996 in Canada reflects the degree to which changes have been made in cropping systems and tillage practices. A combination of reduced tillage, less-intensive crop production, decreased summerfallow, and removal of marginal land from production all contribute to lower erosion rates. In the following provincial descriptions, changes in erosion risk are stated for the period 1981 to 1996.

Adoption of no-till in British Columbia offset the increased risk of erosion caused by greater intensification of farming in many regions. However, the South Coastal region, comprising 10% of the province's cropland, showed an increase in risk. About 70% of the annual precipitation there falls in October through March, when crop cover is often absent and soils are exposed. Intensive row cropping of vegetables and berries contributes to the erosion risk in this region. Although winter cover cropping is widely practised here, greatly reducing the risk of water erosion, information on this practice is not collected by the *Census of Agriculture*, and thus the indicator values do not account for the benefits of this practice (see Box).

In the Prairies, particularly Saskatchewan and Alberta, the risk of water erosion dropped substantially because of the growing use of conservation tillage, the reduction in summerfallow area, and shifts in the type of crops grown. This improvement was particularly marked in regions

of less-intensive agriculture, such as the Eastern Continental Ranges (foothills area) and Western Alberta Uplands (Grey Wooded zone) ecoregions of Alberta. Areas remaining in the high risk class tend to be those with erosion-prone soils that would benefit from greater adoption of conservation practices. In Manitoba, the drop in erosion risk is attributed to expanded continuous cropping and the recent trend of greater *crop diversification*. This trend has resulted in more land being used to produce annual crops, as well as longer rotations because of the inclusion of new crops.

Conservation tillage to control soil erosion in Quebec

Although it rarely reaches very severe levels, soil erosion is a widespread problem throughout Quebec. Annual crops that leave the soil unprotected for extended periods of time create the greatest risk. The area devoted to these crops has significantly increased over the last decade. For example, the area in grain corn grew from 293 000 to more than 331 000 ha between 1991 and 1996. The area in mixed grain increased by nearly 25%, and soybean and canola production are booming.

Accelerated soil erosion takes place particularly as a result of high intensity rainfall during the growing season and runoff from partially frozen soils in the early spring. The result is a loss of soil material from cultivated fields and the entrance of pollutants (sediments, nutrients, pesticides) into receiving surface waters.

Research on conservation tillage has shown the potential for these practices to control losses of soil, water, and nutrients (phosphorus) off-site to waterways (see Table below). The use of conservation tillage practices is growing in Quebec. In 1996, nearly 130 000 ha were under reduced tillage, 24% more than in 1991, and more than 35 000 ha were under no-till, an increase of 63% since 1991. In 1996 conservation tillage was used on 15% of the area under annual crops.

Crop	Tillage practice	Runoff (cm)	Soil loss (Tonnes/ha)	Total P loss (kg/ha)
Grain corn	Conventional	5.3	6.6	3.9
	Chisel	2.9	1.5	1.1
	Ridge till	3.2	1.8	1.4
Grain corn	Conventional	4.9	16.9	3.0
	No-till	1.8	1.3	0.2
Barley	Conventional	2.9	1.3	2.9
	No-till	2.6	0.9	1.1

C. Bernard, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

In Ontario, although the overall risk of erosion dropped, more than 40% of cropland remained in the intolerable risk classes (low risk and higher) in 1996. The Manitoulin–Lake Simcoe ecoregion, comprising about 40% of Ontario’s cropland, showed the greatest improvement in erosion risk, with 13% of its area shifting to lower risk classes by 1996. However, this ecore-

gion still had a low share of cropland at tolerable risk (43%) in 1996. The Lake Erie Lowlands, also comprising about 40% of Ontario’s cropland and used mainly to grow corn, soybeans, tobacco, vegetables, and soft fruits, had only 57% of its cropland in the tolerable risk class in 1996, but still improved in risk by 3%.

Winter cover cropping cuts erosion in south coastal British Columbia

The exposed soil between the rows of crops such as strawberries and corn is at risk of loss by water erosion. In the South Coastal region of British Columbia, this risk is greatest during the fall and winter. About 70% of the annual rainfall occurs from October through March, often in prolonged storms. Other factors that promote water erosion in the rolling upland area where many row crops are grown are the silt loam-textured soils, steep slopes, and up- and down-slope cultivation and planting of row crops.

The British Columbia Ministry of Agriculture and Food, in cooperation with Statistics Canada, conducted a farm practices survey in 1999. Twenty-three percent of Fraser Valley vegetable producers reported that areas of their croplands were affected by erosion. Of those affected, 50% used cover crops as a control measure.

Agriculture and Agri-Food Canada researchers compared field plots with no erosion control (strawberries and silage corn cultivated and planted up- and down-slope) with field plots under a winter cover crop planted in between the rows, both on moderately sloping land. The field plots received all the fertilizer applications, tillage, and weed and disease control practices commonly used in growing strawberries and silage corn commercially. Substantial reductions in soil loss were found on plots with the winter cover crop (see Table below). Winter cover cropping is the preferred erosion control practice for row crops in this region. Besides controlling erosion, cover crops help improve soil quality when they are incorporated into the soil as green manure in the spring, which adds organic matter and nutrients to the soil.

Crop	With up- and down-slope cultivation and planting and no erosion control	Winter cover crop planted in between the rows	Reduction in soil loss under the winter cover crop
	Soil loss (kg/ha)	Soil loss (kg/ha)	(%)
Strawberries (1991–1992)	6451	1382	78
Silage corn (1996–1998)	7729	184	76

*L.J.P. van Vliet, Agriculture and Agri-Food Canada
R. Bertrand, B.C. Ministry of Agriculture and Food*

Despite the overall drop in the risk of water erosion in Quebec, its St. Lawrence Lowland, Appalachian, Central Laurentian, and Southern Laurentian ecoregions all showed a shift of cropland area from the tolerable to unsustainable classes of erosion risk. This increased risk is likely the result of intensified production of row crops, such as soybeans, grain corn, silage corn, and vegetable crops, and a concurrent reduction in crops that provide better erosion protection, such as alfalfa and spring cereals. The increase in row crops was offset somewhat by an increase in hay. Still, Quebec has a generally low overall risk compared to the other provinces, mainly because most agriculture is carried out on gentle landscapes and soils that are not naturally prone to erosion.

New Brunswick’s rolling, moderately long slopes present the most erodible topography in the Maritimes. This province had the lowest share of cropland at tolerable risk of water erosion, and 8% of cropland was still in the high to severe risk classes in 1996. High risk lands are generally those under potato production in the northwest of the province. Soil erodibility associated with spring cereals planted after potatoes is greater than that associated with spring cereals planted after a forage crop. The drop in erosion risk between 1981 and 1996 is a measure of the success of adopting conservation tillage and, to a lesser extent, growing crops that are less erosion-prone, such as hay.

Generally, Nova Scotia has the most precipitation of the Maritime Provinces and thus the greatest potential for erosion by rainfall, snowmelt, and winter runoff. It has a smaller area of potato production than New Brunswick or Prince Edward Island, but larger areas under vegetables and berries. The erosive effects of the greater production of berries, grain corn, and silage corn in 1996 were offset by increases in the area in fruit trees, tame hay, spring cereals, and winter wheat. In Prince Edward Island, fine sandy loam soils that erode easily are most common. The area of erosion-prone crops increased by 1996, raising the risk of water

Controlling water erosion on potato land in the Maritimes

Land under potato production in the Maritimes is particularly vulnerable to soil erosion by water, because row crops like potatoes leave much of the soil's surface exposed to the elements for long periods. Other factors that promote water erosion include

- high rainfall
- light-textured soils, with low organic matter content and poor drainage
- dense, compact subsoils
- cultivation on long, steep slopes
- inadequate inclusion of soil-improving crops in crop rotations
- up- and down-slope cultivation.

A wide range of conservation practices is needed to control the severe water erosion on Maritime potato lands. The most common methods are cross-slope cultivation, terracing, grassed waterways, and surface water inlets. Other complementary conservation practices include strip cropping, conservation tillage and residue management, cover cropping, and *mulching*.

In a comparison of two New Brunswick potato fields, Agriculture and Agri-Food Canada researchers found substantial reductions in soil lost from the field with diversions and grassed waterways compared to the field under up- and down-slope cultivation and no erosion controls (*see* Table below). Runoff from fields under potatoes was 4% of accumulated rainfall with erosion controls and 30% without.

Mulching (a new practice of spreading hay or straw on the field after potatoes are harvested) is being readily adopted in Prince Edward Island and experimented with in New Brunswick. One study showed that 4 tonnes of straw mulch per hectare reduced soil loss to 1.8 tonnes per hectare, compared to 3.1 tonnes of soil lost under 2 tonnes of straw mulch per hectare. Another mulching study showed that as little as 2.3 tonnes of hay mulch per hectare could reduce soil loss by 75%.

Seasonal runoff and soil loss from potato rotations under different management in New Brunswick

Crop and year	Accumulated rainfall ¹ (mm)	Diversions and grassed waterways		Up- and down-slope cultivation	
		Runoff (mm)	Soil loss (kg/ha)	Runoff (mm)	Soil loss (kg/ha)
Grain/rye grass ² , 1990	707	32	106	25	285
Potatoes, 1991	582	42	1678	203	15 604
Potatoes, 1992	652	20	1156	159	21 825
Barley, 1993	687	8	63	34	489
Potatoes, 1994	583	14	200	182	24 852

¹ between 1 May and 30 November

² diversions/grassed waterway site was in grain, up- and down-slope cultivation site was in rye grass.

*T.L. Chow, and H.W. Rees, Agriculture and Agri-Food Canada
G. Fairchild, J.-L. Daigle, and J. Damboise, Eastern Canada Soil and Water Conservation Centre*

erosion. Doubling the use of conservation tillage and increasing the area in tame hay did not completely offset the negative effects caused by intensification of cropping, notably the large expansion of area in potato production (an estimated 39% of potato land is under conservation tillage).

Response options

Soils in the wetter regions of Canada should be the focus of remedial measures, because these areas

- have the greatest share of cropland in the classes of unsustainable erosion
- are generally the most prone to erosion because of precipitation patterns, intensive row crop production, and the unsuitability of some conservation methods such as no-till in some areas.

Erodible landscapes are often localized and relatively small but are a major site of soil loss. These areas are sometimes neglected or overlooked in broad scale conservation programs and should be targeted with practices, programs, and policies designed specifically for their needs. Such a targeted approach is particularly needed for the following key agricultural areas

- the Southern Coastal and Southern Interior regions of British Columbia, where the risk of water erosion appears to be increasing
- areas of intensive cropping in Ontario and Quebec
- the potato belt of northwestern New Brunswick and Prince Edward Island and the broader areas of Nova Scotia used to grow potatoes, vegetables, corn (both silage and grain), and berries.

Targeting the agronomic and engineering practices to erosion-prone sites in these areas would help to reduce water erosion. Management practices that help in controlling erosion include

- using conservation tillage and managing crop residues
- including forages in rotations
- planting row crops across the slope or following the land's contours
- strip cropping
- growing cover crops

- *interseeding* row crops with other crops, such as red clover
- winter cover cropping where soils are prone to erosion by winter runoff.

Research is needed into alternatives to no-till for areas where this practice is not viable, such as areas of intensive horticultural or potato production. Where water erosion is severe, conservation tillage and cropping systems might be inadequate to control erosion and runoff. Soil conservation structures, often more costly and labour intensive than using management practices, might be needed. These include

- terraces, or steps, to reduce a slope's steepness and length
- permanent small earth berms or diversions running along the contour
- grassed waterways, which trap sediment moving off the field.

Conclusion

Water erosion of soil has long been recognized as a serious threat to agricultural sustainability in the wetter areas of Canada — British Columbia, Ontario, Quebec, and the Maritime Provinces — and to a lesser extent on the Prairies. The reduced risk of water erosion shown by the indicator presented here is a positive trend resulting from shifts in farming practice (e.g., tillage and cropping), attitudes towards land stewardship, and management strategies. However, the trend could quickly reverse under changing economic conditions and policies.

A large share of Canadian farmland is still subject to the unsustainable loss of soil resulting from water erosion. Generally, these areas are used for intensive row crop or horticultural crop production, except for some smaller areas with natural limitations of topography or soil. It can be concluded that improvement is needed in farming practice, management strategies, policies, delivery of information, monitoring of impacts, or all of these in these areas. One facet of the erosion problem that cannot be addressed with simple cropping and tillage strategies is the link between intensifying farming and erosion. Work is needed to identify what factors motivate increased intensification and to formulate programs that deal with the

impact of broad scale economic issues on erosion risk.

The next steps in further reducing the risk of water erosion include

- setting goals for the share of farmland in the tolerable risk class in various agricultural areas of Canada.
- targeting programs and policies at areas that are particularly erosion-prone or have large areas in the unsustainable risk classes.

Related Indicators

The Risk of Water Erosion is one component of the overall risk of soil erosion, along with the Risk of Wind Erosion and the Risk of Tillage Erosion. Water erosion, like wind and tillage erosion, contributes to a loss of organic matter from the soil, thus affecting the amount of Soil Organic Carbon. Surface runoff can also carry agricultural nutrients into waterways, linking this indicator particularly to the Risk of Water Contamination by Phosphorus and also to the Risk of Water Contamination by Nitrogen. As soil becomes eroded, more fertilizer may be needed to maintain fertility, thus affecting the Management of Farm Nutrient and Pesticide Inputs, and more energy may be needed to support production, altering Energy Use. A key way to control erosion is by increasing Soil Cover by Crops and Residue.

7 Risque d'érosion éolienne

G. Padbury et C. Stushnoff

Portée géographique : provinces des Prairies

Périodes : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- L'érosion éolienne est un processus naturel qui a pour effet d'épuiser la couche arable des terres cultivées. Elle contribue à la détérioration générale du sol, notamment à la dégradation de sa structure et à la diminution de sa fertilité.
- Un indicateur a été élaboré pour l'estimation du risque d'érosion éolienne sur les terres cultivées. Il sert également à mesurer indirectement toute variation de la qualité du sol. Cet indicateur, qui repose sur trois paramètres (le sol, le climat et les méthodes agronomiques), comporte cinq catégories de risque : négligeable, faible, modéré, élevé et très élevé. Il a été appliqué aux provinces des Prairies, la région du Canada la plus sujette à l'érosion éolienne. L'objectif de rendement visé est que tous les sols agricoles se situent dans les catégories à risque négligeable ou faible.
- Le calcul du risque d'érosion éolienne a révélé que si aucune pratique de conservation des sols n'était adoptée, environ deux tiers des terres cultivées dans les Prairies seraient exposées à un risque d'érosion éolienne allant de modéré à très élevé.
- Entre 1981 et 1996, la proportion des terres déjà cultivées dont le risque d'érosion éolienne était élevé ou très élevé a chuté, passant de 15 % (5 millions d'hectares) à 6 % (2 millions d'hectares) en raison de changements des méthodes agronomiques. L'avènement de technologies permettant de réduire le travail du sol, parallèlement au recul de la pratique de la mise en jachère dans les Prairies, a entraîné une baisse de 30 % des risques d'érosion éolienne au cours de cette période. La proportion des terres cultivées des Prairies exposées à un risque d'érosion éolienne négligeable a augmenté, passant de 41 % à 64 % durant la même période. Les améliorations les plus importantes ont été enregistrées là où les terres sablonneuses s'érodant facilement ont été transformées, passant d'une culture annuelle à une culture de plantes fourragères vivaces. La plupart des terres encore à risque se trouvent dans les zones à sol brun et brun foncé du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan.
- Si la tendance à la réduction du travail du sol et à la mise en jachère se poursuit dans les zones à sol brun et brun foncé, le risque d'érosion éolienne devrait diminuer davantage. Il est moins probable que ce risque diminue dans les zones de sols bruns et brun foncé où la surface en jachère est déjà relativement petite et le risque inhérent d'érosion des sols est moindre.

L'enjeu

Dans beaucoup de régions du Canada, depuis les sols sablonneux qui bordent le fleuve Fraser, en Colombie Britannique, jusqu'aux zones côtières des provinces de l'Atlantique, l'érosion éolienne pose un problème. C'est pourtant dans les zones arides des Prairies, où de grandes étendues de terres agricoles sont balayées par le vent, que le risque est de loin le plus élevé. En fait, environ deux tiers de la région des Prairies serait exposée à un risque modéré à très élevé si aucune mesure de conservation des sols n'était prise, ce qui a été confirmé de façon frappante durant les années de sécheresse survenues au cours des années 1930.

Mesure de l'érosion éolienne

Dans une parcelle d'étude située près de Lethbridge, en Alberta, des chercheurs ont mesuré les pertes de sol causées par l'érosion éolienne. Ces pertes ont atteint jusqu'à 30 tonnes/hectare lors d'un seul épisode d'érosion éolienne et environ 122 tonnes/hectare sur sept mois de jachère. Même si on avait travaillé considérablement le sol de la parcelle pour favoriser l'érosion, le fait que celui-ci n'était pas d'un type particulièrement sensible à l'érosion (loam argileux) et qu'il avait été laissé au repos durant six ans auparavant illustre la vulnérabilité des sols de cette région à l'érosion éolienne en l'absence de mesures de protection. Si l'on suppose une vitesse maximale plus élevée de renouvellement naturel des sols cultivés, et dans l'hypothèse qu'aucune autre érosion ne se produira, la reconstitution de la couche arable perdue nécessiterait environ 15 ans. Des données de cette étude, présentées ci-dessous, ont servi à établir les limites des classes de l'indicateur du risque d'érosion éolienne.

Pertes de sol durant des épisodes d'érosion éolienne près de Lethbridge (Alb.)

Date	Durée du vent (h)	Vitesse maximale du vent (km/h)	Perte de sol (tonnes/ha)
1991 6 décembre	8	58	23
9 décembre	12	55	20
10 décembre	5	56	14
11 décembre	8	57	14
16 décembre	7	53	6
1992 3 avril	7	58	30
4 avril	3	50	6
5 avril	8	47	5
9 avril	2	43	1
13 avril	1	51	2
18 avril	10	55	12

F. Larney, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Depuis ce temps, le risque d'érosion éolienne a été sensiblement réduit par l'adoption de diverses méthodes d'aménagement des terres. Par exemple, bon nombre des terrains les plus à risque ont été ensemençés pour la culture de plantes fourragères vivaces, et des techniques modernes comprenant la diminution de la mise en jachère et l'amélioration de la gestion des résidus ont réduit le risque. Un indicateur est nécessaire pour déterminer comment les changements de méthodes agronomiques influent sur le risque d'érosion éolienne au fil des ans et à quels endroits la situation est particulièrement préoccupante.

L'indicateur

Description

L'indicateur du risque d'érosion éolienne a été créé pour contrôler l'étendue des terres cultivées à risque, plus particulièrement à la suite de changements de méthodes agronomiques. Cinq niveaux de risque ont été établis : négligeable, faible, modéré, élevé et très élevé. L'indicateur peut également servir pour la mesure indirecte des variations de la qualité du sol. Puisque l'érosion éolienne est un processus de dégradation du sol qui conduit à la diminution de sa qualité, la réduction du risque est considérée de façon positive à cet égard. Que tous les sols agricoles soient exposés à un risque faible ou négligeable constitue l'objectif à atteindre.

Méthode de calcul

Des données pertinentes sur le climat (p. ex. la vitesse du vent et les précipitations) ainsi que sur l'utilisation et l'aménagement des terres ont été couplées à des cartes des *Pédo-paysages du Canada* de manière à constituer une base de données intégrées sur les sols. Le risque d'érosion éolienne a été calculé à partir d'estimations des systèmes de culture et des méthodes aratoires basées sur le *Recensement de l'agriculture*. En reliant les données de recensement aux cartes des pédo-paysages, on peut estimer les changements d'utilisation et d'aménagement des terres pour des types de sol précis. En se servant d'un modèle d'érosion, on peut ensuite utiliser les estimations pour évaluer les effets de ces changements sur le risque d'érosion éolienne. Cette méthode est encore en évolution.

Deux étapes sont nécessaires pour évaluer le risque d'érosion éolienne :

- estimation du risque sur un sol dénudé, non protégé;

Érosion éolienne dans la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique

Le problème de l'érosion éolienne ne touche pas uniquement les Prairies. Dans la partie méridionale de la côte de la Colombie-Britannique, les anticyclones arctiques qui surviennent de temps en temps au cours de l'hiver produisent des vents violents qui soufflent de l'intérieur vers l'océan en traversant les vallées côtières.

Avant les années 1980, ces vents ont provoqué une forte érosion des terres cultivées de la région d'Abbotsford, dans la vallée du Bas-Fraser. Le coût de l'enlèvement de la terre dans les fossés s'élevait à environ 1,43 \$ par mètre. Pour s'occuper du problème, on a formé le *Sumas Prairie Soil Conservation Group*, financé principalement dans le cadre du Programme national de conservation des sols et du volet agriculture du Plan vert. Le reste des fonds provenait des agriculteurs et de la municipalité d'Abbotsford. Sept ans après la création de ce groupe, le coût du nettoyage des fossés était de 0,55 \$ par mètre. Cette baisse de coût est attribuable à l'utilisation généralisée de cultures-abris, sur le conseil du groupe. Ces cultures protègent le sol contre le vent et elles empêchent la terre de se répandre dans les fossés voisins.

R. Bertrand, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique

- réduction de l'ampleur du risque selon la quantité de résidus de culture laissés sur le sol et leur efficacité contre l'érosion.

Le taux d'érosion éolienne d'un sol dénudé et non protégé a été calculé à l'aide d'un modèle d'érosion, selon la texture du sol et le degré d'agrégation et des facteurs climatiques comme la vitesse des vents et les précipitations. La quantité de résidus de culture a été estimée au moment de la récolte à partir des rendements moyens et des ratios paille-grain propres à chaque type de culture. Les valeurs étaient par la suite réduites selon le système de culture ainsi que le type et la fréquence d'emploi des façons culturales, compte tenu d'un facteur relatif à la décomposition durant l'hiver, pour en arriver à la quantité de résidus présents au cours des mois d'avril et mai, où le risque d'érosion éolienne est à son maximum.

Limites

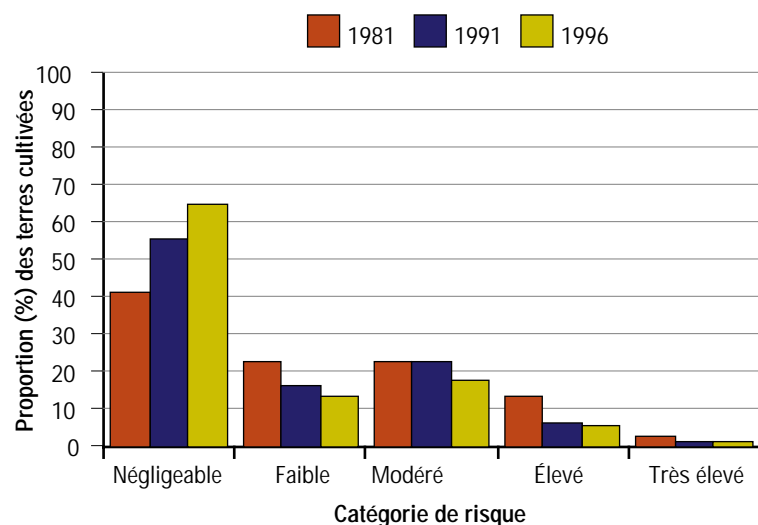
Bien que la méthode décrite plus haut soit considérée comme précise pour l'évaluation des changements quant au risque d'érosion d'une année à l'autre, le risque réel d'érosion pourrait être sous-estimé dans certains cas. Par exemple, les cartes générales des *Pédo-paysages du Canada* ne tiennent souvent pas compte des petites zones au sol sablonneux facilement érodable et, dans une moindre mesure, des petites zones au sol argileux. De plus, le calcul des quantités de résidus est basé sur des conditions météorologiques et des conditions d'aménagement moyennes. Il ne tient donc pas compte des pratiques aratoires abusives ni des quantités anormalement faibles de résidus, qui résultent souvent de la sécheresse.

Résultats

Les estimations du risque d'érosion d'un sol dénudé et non protégé dans les Prairies montrent qu'environ deux tiers des terres cultivées sont exposées à un risque modéré à très élevé. La plupart des sols exposés au plus haut risque sont sablonneux. Les sols à risque modéré sont généralement des limons sablonneux, bien que certains sols argileux de régions situées plus au sud présentent également un risque modéré. Autrement, le risque diminue généralement du sud vers le nord, en raison des conditions nordiques :

Risque d'érosion éolienne des terres cultivées des Prairies dans le cadre des méthodes de gestion actuelles

Figure 7-1



- vents plus faibles;
- températures plus basses;
- précipitations plus abondantes.

Parce que ces estimations se rapportent à un sol dénudé et non protégé, elles ne représentent en fait que des conditions théoriques. Néanmoins, elles permettent de connaître le risque potentiel d'érosion en l'absence de mesure de protection.

Le risque d'érosion des sols dénudés et non protégés est bien moins élevé aujourd'hui, en raison des méthodes d'utilisation et d'aménagement des terres qu'on emploie. La figure 7-1 présente la proportion des terres cultivées des Prairies en 1981, en 1991 et en 1996 entrant dans les cinq catégories de risque. La proportion de ces terres présentant un risque élevé ou très élevé d'érosion éolienne a chuté de 15 à 6 % entre 1981 et 1996, ce qui représente une diminution d'environ 3 millions d'hectares. La plupart des régions encore à risque se trouvent dans les zones à sol brun et brun foncé du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan (figure 7-2).

Le risque d'érosion éolienne dans les Prairies a chuté d'environ 30 % de 1981 à 1996, et environ

les deux tiers de cette diminution ont été enregistrés entre 1981 et 1991 (tableau 7-1). Le changement des pratiques aratoires est responsable d'environ les trois quarts des réductions, le reste étant attribuable principalement à des changements de pratiques agricoles, surtout la diminution de la mise en jachère.

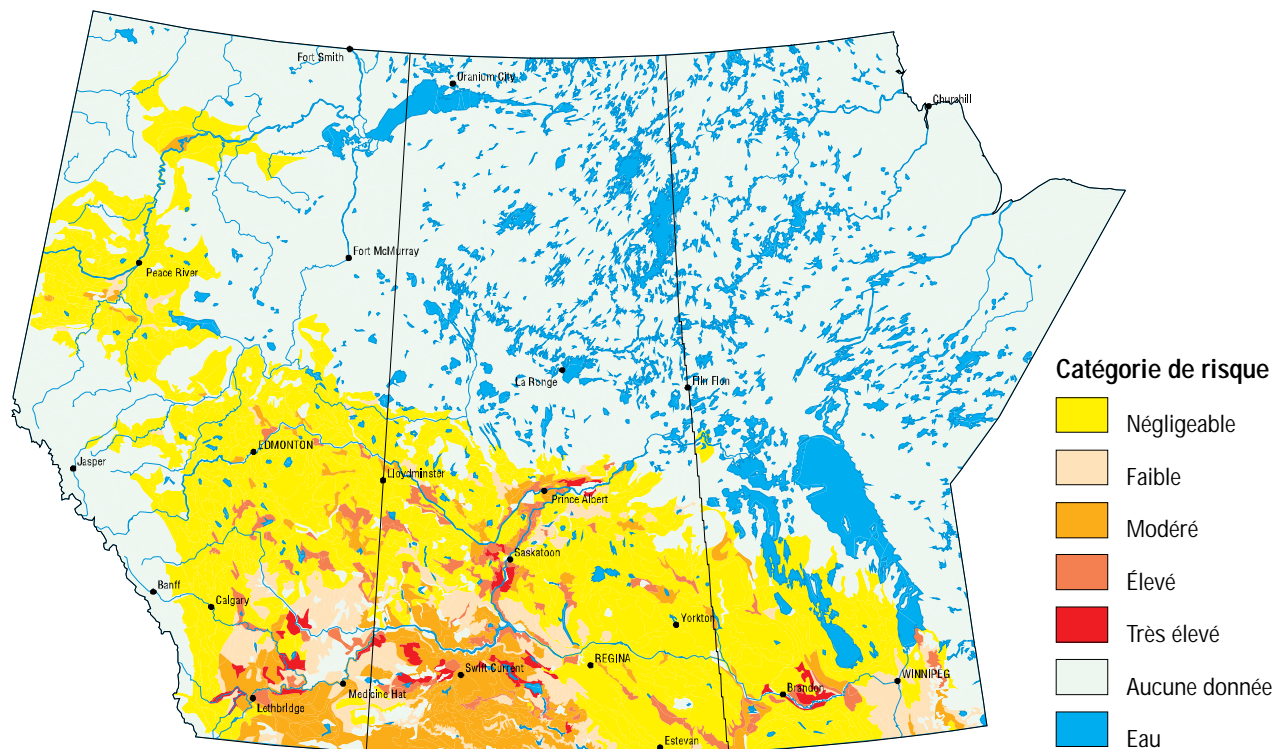
Interprétation

Au cours des vingt dernières années, le travail du sol a fortement diminué dans les Prairies. En 1996, on a réduit les pratiques aratoires sur près de la moitié des terres agricoles cultivées. Sur environ 15 % de ces terres, on pratique la culture sans travail du sol ou le *semis direct* (voir l'encadré portant sur les pratiques aratoires dans les Prairies). Dans l'ensemble, la réduction du travail du sol qu'on observe dans les Prairies depuis une vingtaine d'années a entraîné une baisse du risque d'érosion éolienne de 20 à 25 %.

Les changements de pratiques agricoles, incluant le type de culture et la fréquence des jachères, peuvent également avoir un effet important, et dans certains cas remarquable, sur l'érosion éolienne.

Risque d'érosion éolienne des terres cultivées des Prairies dans le cadre des méthodes de gestion en vigueur en 1996

Figure 7-2



Pratiques aratoires dans les Prairies

Durant des milliers d'années, les fermiers se sont servis de moyens mécaniques pour rendre le sol plus propice à l'agriculture. Depuis les outils rudimentaires des paysans d'antan jusqu'aux machines aratoires perfectionnées tirées par de puissants tracteurs d'aujourd'hui, ces moyens ont servi à préparer le sol à l'ensemencement et à le débarrasser des mauvaises herbes.

Autrefois, la plupart des agriculteurs canadiens n'avaient pour ainsi dire que la charrue, instrument qui incorporait pratiquement tous les débris végétaux dans le sol à la fois, le rendant très sensible à l'érosion, particulièrement à l'érosion éolienne. À la suite de l'épisode de grande sécheresse des années 1930, on a rapidement adopté des pratiques de conservation des sols visant la préservation des résidus, pratiques qui impliquaient l'utilisation de nouveaux appareils, tels que le cultivateur à longue lame et l'extirpateur à tringles, ainsi que le recours accru aux cultivateurs au lieu des instruments à soc ou à disques.

Au début des années 1980, la création d'instruments comme les semoirs pneumatiques pouvant semer directement sur chaume (semis direct) ainsi que l'utilisation de plusieurs produits chimiques à prix abordable pour la lutte contre les mauvaises herbes ont réduit de beaucoup la nécessité de travailler le sol. Dès lors, une plus grande quantité de débris végétaux demeurent à la surface, ce qui aide à :

- protéger le sol contre l'érosion hydrique et éolienne;
- retenir la neige;
- maintenir l'humidité des sols;
- fournir un couvert de protection pour les plantes en croissance;
- conserver la matière organique des sols;
- améliorer l'habitat des organismes vivants du sol et des espèces sauvages de plus grande taille.

Le tableau qui suit renseigne sur l'adoption des méthodes aratoires sans travail du sol dans les provinces des Prairies avant 1991 et entre 1991 et 1996. Aujourd'hui, près de la moitié des agriculteurs des Prairies utilisent ces méthodes. Le déclin des méthodes classiques et la progression du semis direct sont beaucoup plus importants en Saskatchewan que partout ailleurs dans les Prairies. Cette tendance s'explique au moins en partie par les efforts déployés par des organisations de conservation des sols, qui ont fait la promotion active du semis direct en tant que méthode efficace de conservation des sols, particulièrement pour la lutte contre l'érosion éolienne.

Terres cultivées (millions d'hectares)		Terres cultivées (% du total de la superficie ensemencée)						Jachères (% de la superficie)					
		Travail du sol classique		Travail de conservation du sol		Semis direct		Travail du sol classique		Travail de conservation du sol		Semis direct	
		1991	1996	1991	1996	1991	1996	1991	1996	1991	1996	1991	1996
Alberta	10.6	74	59	23	32	3	10	58	51	37	38	5	11
Saskatchewan	18.6	64	45	26	33	10	22	57	55	39	37	4	9
Manitoba	3.3	67	63	28	28	5	9	73	61	24	34	3	6
Prairies	32.5	68	53	25	32	7	16	58	54	38	37	4	9

G. Padbury, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Diminution du risque d'érosion dans les provinces des Prairies entre 1981 et 1996

Tableau 7-1

Région	Terres cultivées (millions d'hectares)	de 1981 à 1991			de 1991 à 1996			de 1981 à 1996		
		Facteurs de changement du risque (%)			Facteurs de changement du risque (%)			Facteurs de changement du risque (%)		
		Système de culture ¹	Travail du sol ²	Total	Système de culture	Travail du sol	Total	Système de culture	Travail du sol	Total
Type de sol										
Brun	6,7	- 4	- 15	- 19	- 3	- 4	- 7	- 7	- 18	- 25
Brun foncé	7,1	- 4	- 22	- 26	- 4	- 12	- 16	- 8	- 31	- 39
Noir	12,3	- 5	- 15	- 20	- 3	- 15	- 18	- 8	- 28	- 36
Gris/gris foncé	6,4	- 5	- 9	- 14	- 9	- 10	- 19	- 14	- 18	- 32
Province										
Alberta	10,6	- 2	- 16	- 18	- 4	- 11	- 15	- 6	- 25	- 31
Saskatchewan	18,6	- 4	- 17	- 21	- 4	- 9	- 13	- 8	- 25	- 33
Manitoba	3,3	- 10	- 16	- 26	+ 3	- 5	- 2	- 7	- 20	- 27
Prairies	32,5	- 4	- 17	- 21	- 4	- 9	- 13	- 8	- 25	- 32

¹ Selon les types de culture et la superficie totale des terres en jachère.

² Selon le système de réduction du travail du sol.

En effet, selon les données du recensement, les changements du système de culture opérés dans les Prairies de 1981 à 1996 ont produit une réduction d'environ 10 % du risque dans la région où l'on pratique la mise en jachère, mais une augmentation correspondante là où l'on cultive des oléagineux, des légumineuses à graines et des plantes fourragères. La situation est demeurée relativement stable (*voir* l'encadré sur les pratiques culturales dans les Prairies). Dans l'ensemble, les changements du système de culture effectués de 1981 à 1996 ont causé une diminution d'environ 5 à 10 % du risque d'érosion éolienne.

Choix de mesures d'intervention

Bien que la tendance à la réduction du travail du sol et à la mise en jachère ait grandement aidé à réduire le risque d'érosion éolienne durant les quelque vingt dernières années, environ 2 millions d'hectares de terres cultivées dans la région des Prairies sont encore exposées à un risque élevé ou très élevé. Environ 75 % de ces terres sont exposées à un risque élevé; elles sont principalement constituées de limon sableux ou de limon dans les zones à sols bruns et brun foncé du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan. La

solution la plus appropriée pour ces terres consiste à adopter de meilleures stratégies de gestion des résidus de culture par la réduction du travail du sol (p. ex. en recourant au semis direct et à la jachère chimique). Les autres zones présentant un risque très élevé comprennent les sols extrêmement sableux dispersés dans la région des Prairies. La seule solution valable dans ce cas est la culture de plantes fourragères vivaces.

Conclusion

On s'accorde généralement pour dire que la récente tendance à la réduction du travail du sol et à la mise en jachère dans les Prairies est le résultat de plusieurs facteurs, en plus des avantages évidents liés à la conservation du sol :

- réduction des besoins en main-d'oeuvre, en énergie et en matériel;
- utilisation plus efficace de l'eau du sol;
- amélioration du rendement;
- meilleurs choix de moyens de lutte contre les mauvaises herbes.

Ces avantages semblent indiquer que la tendance va se poursuivre, vu qu'on a réduit le travail du sol dans seulement la moitié de la superficie environ.

Pratiques culturales dans les Prairies

Habituellement, les agriculteurs modifient leurs méthodes culturales pour s'adapter aux variations du marché et des prix des cultures. Le tableau qui suit présente les changements de pratiques culturales survenus dans les provinces des Prairies entre 1981 et 1996.

La diminution de la mise en jachère est beaucoup plus importante en Saskatchewan qu'au Manitoba et qu'en Alberta, ce qui révèle sans aucun doute que cette pratique y est proportionnellement plus répandue, tout comme, probablement, le semis direct. En effet, un des avantages secondaires du semis direct est la réduction du recours à la mise en jachère à cause de l'utilisation plus efficace de l'eau du sol.

La superficie des zones de culture de plantes fourragères a également augmenté légèrement entre 1981 et 1996. La plus forte augmentation a été enregistrée dans les zones à sols gris foncé et gris, où les conditions atmosphériques sont plus propices à la culture de ces plantes qu'aux cultures annuelles. On note cependant une exception digne de mention, à savoir le passage des cultures annuelles à la culture de plantes fourragères vivaces dans certaines des zones à sol sableux fortement érodable du sud de la Saskatchewan et de l'Alberta avant 1991. Le phénomène, qui a réduit le risque d'érosion de 20 à 25 % dans ces régions, résultait en partie de l'application de programmes gouvernementaux, tel le Programme d'établissement d'une couverture végétale permanente. Ce programme a pour but de payer les producteurs pour qu'ils transforment les terres à rendement marginal sensibles à l'érosion, où l'on pratique des cultures annuelles, en pâturages ou pour la culture permanente de plantes fourragères.

Changement (%) des pratiques culturales dans les provinces des Prairies entre 1981 et 1996

	Terres cultivées (million d'hectares)	Jachère	Céréales	Oléagineux	Légumineuses à graines	Plantes fourragères
Alberta	10,6	-8	-4	6	1	5
Saskatchewan	18,6	-13	1	7	3	2
Manitoba	3,3	-5	2	5	1	4
Prairies	32,5	-10	-1	7	2	3

Nota : En 1996, les proportions étaient les suivantes : jachère, 18 % ; céréales, 55 % ; oléagineux, 12 % ; légumineuses à graines, 3 % ; plantes fourragères, 10 %.

G. Padbury, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Si la tendance à la réduction du travail du sol et à la mise en jachère se maintient, particulièrement dans les zones à sol brun et brun foncé où le risque d'érosion éolienne est à son maximum, ce risque va diminuer encore. Il ne faut cependant pas oublier que la pluviosité a été exceptionnellement élevée au cours des quinze dernières années dans l'ensemble des zones à sols bruns et brun foncé. Un retour à des conditions plus normales ou à un temps anormalement sec pourrait entraîner l'accroissement de la fréquence des rotations culturales et des jachères. De plus, si les conditions économiques favorisaient la culture d'oléagineux produisant peu de résidus et de

légumineuses à graines au lieu de céréales, ou s'il y avait une augmentation significative de la quantité de mauvaises herbes résistantes aux herbicides, il se pourrait que la tendance ralentisse et même qu'elle soit renversée.

Dans les zones à sols noirs ou gris, les réductions futures du risque d'érosion éolienne sont moins probables. La superficie des terres en jachère dans ces zones est déjà minime; elle représente environ 10 % de la superficie totale des terres cultivées. Bien que la pratique de la mise en jachère ait sensiblement diminué de 1981 à 1991, la diminution de 1991 à 1996 était infime, ce qui

semble indiquer qu'une baisse future est peu probable (cette pratique a connu un regain dans la zone à sols noirs au Manitoba de 1991 à 1996). En raison des risques inhérents généralement faibles d'érosion éolienne, de longs cycles de rotation des cultures et d'une production agricole intense dans cette région, la quantité de résidus est souvent assez grande pour freiner l'érosion, même quand on emploie des méthodes aratoires classiques avec travail du sol. Donc, même si la tendance à la réduction du travail du sol a généralement pour effet d'augmenter la quantité de résidus de culture, il se peut qu'elle n'influe pas beaucoup sur le risque d'érosion éolienne dans les zones à sol noir et à sol gris, sauf pour quelques parcelles sablonneuses sujettes à l'érosion.

Si des changements climatiques surviennent, particulièrement le réchauffement de la planète et les effets secondaires qui en découlent, tels le bouleversement du temps et l'augmentation du nombre d'événements extrêmes, il n'y a aucun doute que le risque inhérent d'érosion éolienne augmentera. En ce qui a trait au risque réel d'érosion du sol, il est toutefois impossible de savoir ce qui va se produire, puisque la gestion humaine entre en jeu. Des progrès technologiques et autres pourraient permettre de contrer les effets négatifs que les changements climatiques pourraient produire sur l'agriculture. Dans la mesure du possible, il faudrait tenir compte des changements confirmés et vérifiables dans les futurs calculs de l'indicateur.

Indicateurs connexes

Le risque d'érosion éolienne est une composante de l'ensemble du risque d'érosion des sols, au même titre que le risque d'érosion hydrique et le risque d'érosion par le travail du sol. L'érosion éolienne, tout comme les deux autres types d'érosion, contribue à la perte de matières organiques du sol, dont la teneur en carbone organique s'en trouve modifiée. Afin de pouvoir maintenir la fertilité du sol à mesure qu'il s'érode, une plus grande quantité d'engrais pourrait être nécessaire, ce qui aurait des répercussions sur la gestion des substances nutritives utilisées pour l'agriculture et des apports de pesticides. En outre, une plus grande quantité d'énergie pourrait être nécessaire pour soutenir la production, modifiant ainsi son utilisation. Tout comme le risque de salinisation des sols, le risque d'érosion éolienne touche principalement les Prairies. Une façon de résoudre le problème serait d'augmenter le degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture.

8

Risque d'érosion attribuable au travail du sol

D.J. King, J.-M. Cossette, R.G. Eilers, B.A. Grant, D.A. Lobb, G.A. Padbury, H.W. Rees, I.J. Shelton, J. Tajek, L.J.P. van Vliet et G.J. Walll

Portée géographique : provinces, écorégions

Période : 1981, 1996

POINTS SAILLANTS

- Le passage des instruments aratoires, en ameublissant le sol, favorise l'érosion. Des volumes importants de sol finissent ainsi par être entraînés, sous l'effet de la gravité, du sommet au pied des collines. L'érosion attribuable au travail du sol est une mesure de la quantité de sol ainsi perdue au sommet des pentes.
- Nous avons élaboré un indicateur permettant d'estimer le risque d'érosion attribuable au travail du sol pour les terres cultivées du Canada et d'en suivre l'évolution due aux changements apportés aux pratiques de gestion agricole, entre 1981 et 1996. Nous avons également déterminé cinq catégories de risque d'érosion du sol au sommet des collines : tolérable, faible, modéré, élevé et très élevé. L'objectif de rendement consiste à faire en sorte que toutes les terres cultivées se situent dans la catégorie de risque tolérable.
- Le risque d'érosion attribuable au travail du sol a diminué dans toutes les provinces entre 1981 et 1996 dans des proportions variant de 26 % en Ontario à 9 % dans les Maritimes. Pendant cette période, la proportion des terres cultivées exposées à un risque tolérable a augmenté dans toutes les provinces sauf l'Île-du-Prince-Édouard, où les changements ont été limités dans l'ensemble. La proportion des terres cultivées exposées à un risque tolérable est restée la plus élevée au Québec (75 %) en 1996, tandis qu'elle demeurait la plus faible en Saskatchewan (35 %). La proportion des terres exposées à un risque élevé ou très élevé d'érosion attribuable au travail du sol n'est restée importante qu'au Nouveau-Brunswick (9 %) et à l'Île-du-Prince-Édouard (10 %) en 1996.
- Les régions méridionales de la côte et de l'intérieur de la Colombie-Britannique; la Tremblaie-parc et les Hautes terres boréales du centre de l'Alberta; la prairie manitobaine; la région ontarienne Algonquin-lac Nipissing; les Basses terres du fleuve Saint-Laurent, le Centre et le Sud des Laurentides, les Basses terres du lac Témiscamingue, les Plaines de l'Abitibi et le Plateau de la rivière Rupert au Québec; le Nouveau-Brunswick; la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard sont les régions qui se distinguaient par une amélioration limitée ou une aggravation du risque d'érosion attribuable au travail du sol entre 1981 et 1996. Ces régions étaient caractérisées par une érodabilité inhérente plus élevée, une agriculture intensive ou la combinaison des deux.
- Les pratiques aratoires antiérosives, la culture sans travail du sol, la réduction des jachères, l'augmentation des superficies consacrées à la culture des plantes fourragères et la mise en friche des terres marginales réduisent les risques d'érosion attribuable au travail du sol. Dans certains cas, une agriculture intensive et l'érodabilité inhérente des terres annulent les avantages de ces pratiques. Le risque d'érosion devrait continuer de s'amenuiser dans les régions qui ne sont pas limitées par le choix des cultures et par une topographie complexe, mais il pourrait s'aggraver par suite des pressions exercées par le marché en faveur des cultures commerciales, en particulier sur les terrains inclinés.

L'enjeu

L'érosion est habituellement considérée comme un phénomène naturel causé par l'eau et le vent. Toutefois, l'agriculture, et notamment les pratiques de travail du sol, peuvent provoquer une érosion de type particulier dont les effets s'ajoutent à ceux de l'érosion naturelle. Les instruments aratoires déplacent le sol, et, en terrain incliné, ce déplacement est accentué par la gravité. Ce glissement progressif du sol vers le bas des pentes conduit à une répartition inégale du sol sur le terrain; on assiste généralement à une perte dans les zones surélevées du paysage (convexes) et à une accumulation dans les zones situées en contrebas (concaves).

Le déplacement mécanique causé par le travail du sol peut accentuer les effets de l'érosion naturelle. Ainsi, l'érosion attribuable au travail du sol achemine des volumes importants de sol dans des milieux où le ruissellement est plus intense, favorisant ainsi l'érosion hydrique. À cause de ses rapports avec l'érosion hydrique et éolienne, elle peut influencer sur la qualité du sol et sur la production

agricole, et modifier ainsi sensiblement les perspectives à long terme de l'agriculture.

L'érosion attribuable au travail du sol entraîne la terre de la couche arable à partir des zones convexes du terrain et modifie la composition de la couche arable dans ces zones en y mélangeant une portion du *sous-sol*. Ce mélange a pour effet :

- de réduire la teneur du sol en matière organique, sa fertilité et sa capacité de rétention d'eau;
- d'accroître l'assèchement du sol et d'en modifier le pH.

À mesure que la qualité du sol des zones situées sur les hauteurs diminue, les rendements des cultures à ces endroits chutent rapidement. Le sous-sol exposé au sommet des collines peut aussi s'éroder et s'accumuler en contrebas, où il recouvre la terre végétale plus fertile et réduit encore le rendement potentiel du champ. Dans certaines régions du sud de l'Ontario, ce type d'érosion entraîne des baisses du rendement des cultures de 40 à 50 % en zones érodées et peut causer des dommages plus sérieux que l'érosion hydrique en terrains vallonnés. Des études récentes portant sur

Avantages et inconvénients du travail du sol

De tout temps, les agriculteurs ont utilisé le travail du sol pour préparer la terre à recevoir les semences. La pulvérisation des agrégats de sol, en plus d'améliorer la couche de semis, accélère la libération des matières organiques et favorise donc la croissance des plantes. Toutefois, le travail du sol finit à la longue par entraîner une perte de substances organiques précieuses et par détruire la structure du sol. En outre, le sol pulvérisé devient plus sensible à l'érosion et à d'autres processus de dégradation.

Malgré tous les herbicides dont on dispose aujourd'hui, on continue d'avoir recours au travail du sol pour lutter contre les mauvaises herbes sur les terres cultivées. Le travail superficiel perturbe les racines des mauvaises herbes, conduisant ainsi à leur destruction ou réduisant leur aptitude à concurrencer les plantes cultivées. Cependant, il a en même temps pour effet d'en propager les semences et les rhizomes et de ramener à la surface des semences anciennes qui pourront ainsi germer plus facilement. Par contre, dans un champ non labouré, les mauvaises herbes sont plus localisées et donc plus faciles à détruire à l'aide de pulvérisations ponctuelles d'herbicides. Dans un système de culture sans travail du sol, les mauvaises herbes vivaces finissent par remplacer les annuelles, ce qui oblige l'agriculteur à recourir à des stratégies de gestion différentes.

Le travail du sol sert également à réduire le compactage du sol. Son effet d'ameublissement facilite la pénétration des racines et donne un sol plus aéré et plus sec, favorisant ainsi la germination dans les sols mal drainés. Toutefois, ces avantages sont éphémères. Le travail du sol ne protège pas ce dernier contre un nouveau compactage, qui est parfois encore pire; le passage des instruments aratoires et des pneus risque d'entraîner un tassement graduel du sous-sol qui, après plusieurs années, forme une semelle de labour nuisible au drainage et à la croissance des racines. Le travail profond, ou *sous-solage*, peut corriger la situation pour un temps, mais il ne s'agit encore une fois que d'une solution provisoire à un problème persistant et qui risque par surcroît de ramener dans la couche de terre arable une certaine proportion du sous-sol moins fertile, réduisant ainsi la productivité.

Par le passé, les résidus de culture étaient jugés indésirables et nuisibles à la germination des semences. Le travail du sol servait à les enfouir pour donner une surface se prêtant mieux à l'ensemencement et à l'épandage d'engrais. Cependant, le sol ainsi mis à nu était plus exposé à l'érosion. Les méthodes modernes de travail du sol laissent une partie des résidus à la surface pour la protéger. Le travail du sol sert également à incorporer le fumier dans le sol.

D.A. Lobb, Université du Manitoba

L'érosion attribuable au travail du sol fournissent des renseignements utiles pour l'évaluation du risque que celle-ci présente pour les terres cultivées. Nous avons besoin d'un indicateur qui nous permettra d'évaluer les effets du travail du sol sur les terres cultivées inclinées au Canada.

L'indicateur

Description

Nous avons élaboré un indicateur du risque d'érosion attribuable au travail du sol afin d'évaluer la superficie des terres cultivées exposées à ce risque et d'en surveiller l'évolution dans le temps, en portant une attention particulière à l'incidence des changements apportés aux pratiques de gestion. Cette analyse est la première tentative d'évaluation de ce risque d'érosion à être réalisée pour l'ensemble des régions du Canada. Le risque est classé en cinq catégories : tolérable (moins de 6 tonnes par hectare par année); faible (de 6 à 11 t/ha/a); modéré (de 11 à 22 t/ha/a); élevé (de 22 à 33 t/ha/a) et très élevé (plus de 33 t/ha/a). Les zones classées dans la catégorie à risque tolérable sont jugées capables d'assurer une production agricole soutenue à long terme. Celles classées dans les quatre autres catégories présentent des conditions de production non soutenables à long terme, qui nécessiteront la mise en oeuvre de pratiques antiérosives. Les taux d'érosion s'appliquent uniquement à la portion convexe du terrain, soit rarement plus de 25 % de la superficie totale. L'évolution du risque avec le temps, compte tenu des pratiques de gestion en vigueur, a été exprimée en pourcentage du changement observé dans la répartition des superficies de terres cultivées entre les diverses catégories de risque.

L'indicateur peut être assimilé à une mesure indirecte de la qualité du sol. Comme l'érosion attribuable au travail du sol est un processus qui entraîne une dégradation de la qualité du sol, toute baisse du risque d'érosion sera jugée bénéfique de ce point de vue. L'objectif fixé consiste à faire en sorte que toutes les terres cultivées finissent par être classées dans la catégorie de risque tolérable.

Méthode de calcul

Nous avons estimé que le risque d'érosion attribuable au travail du sol découle de l'effet combiné de l'érosivité de la méthode de travail employée et de l'érodabilité du sol, fondée sur la topographie et sur la dénivellation du terrain. L'érosivité est en fait une mesure du brassage du sol par l'instrument aratoire employé et dépend donc du type d'instrument, de l'utilisation qui en est faite et du nombre de passages effectués sur le terrain.

On a élaboré une séquence de travail du sol représentative pour chaque type de culture et pour chaque zone cartographique des *Pédo-paysages du Canada*. Ces séquences tiennent compte de l'érosivité de la méthode de travail associée à chaque type de culture dans des conditions de travail normal, de travail de conservation et de culture sans travail du sol. Les données sur les cultures et sur les méthodes de travail du sol ont été tirées du *Recensement de l'agriculture* de 1981 et de 1996. Elles reflètent les fluctuations des superficies cultivées et des types de cultures produites, ainsi que l'adoption graduelle des pratiques aratoires antiérosives et de la culture sans travail du sol. Comme ces pratiques étaient très peu utilisées en 1981 et qu'il n'en était pas question dans le recensement de 1981, nous avons présumé que l'évolution du risque d'érosion attribuable au travail du sol observée entre 1981 et 1996 s'expliquait par les changements apportés aux pratiques de gestion. Il n'existe pas de données pour 1986.

Dans chaque zone cartographique, nous avons déterminé les valeurs de l'érodabilité du terrain pour les pédo-paysages dominant et sous-dominant et la forme de surface associée à chaque forme de relief. Le gradient de la pente, la longueur de la convexité et la proportion du terrain de forme convexe ont été déterminés pour chaque forme de relief. L'érodabilité du terrain, l'érosivité de la méthode de travail du sol, le taux d'érosion et sa variation en pourcentage ont été estimés pour chaque zone cartographique admissible.

Nous avons calculé la proportion des terres cultivées appartenant à chaque catégorie de risque pour chaque province et pour chaque région ou écorégion agricole. Les résultats sont présentés par province, et l'analyse par région est mise en évidence dans l'interprétation des résultats. L'examen de l'évolution, avec le temps, des valeurs de l'érosion obtenues pour chaque province permet de distinguer des tendances positives ou négatives.

Limites

Pour calculer la perte de sol à l'aide de l'indicateur, nous avons présumé que le passage des instruments aratoires suivait le sens de la dénivellation pour toutes les opérations. Le modèle utilisé en guise d'indicateur ne tient pas compte des mouvements latéraux du sol, de la profondeur et de la vitesse du travail du sol ni des facteurs liés au type d'instrument aratoire, puisque ces paramètres n'ont pas encore été complètement définis. Les renseignements concernant les effets des propriétés du sol qui auraient pu influencer sur la résistance de ce dernier aux déplacements étaient insuffisantes et n'ont donc pas été incluses.

Les mesures de la perte de sol sont limitées aux portions convexes du terrain; nous avons présumé que la perte était uniforme sur toute la superficie de ces zones. L'incidence des dénivellations complexes et discontinues, pouvant conduire à des pertes plus importantes par endroits, n'a pas été prise en compte. À mesure que les recherches se poursuivent concernant les facteurs qui influent sur l'érosion attribuable au travail du sol, le modèle sera ajusté pour améliorer les estimations des pertes de sol.

Résultats

Les données sur le risque d'érosion attribuable au travail du sol dans chaque province, en 1981 et en 1996, sont présentées au tableau 8-1. L'évolution de ce risque au cours de la période visée est résumée au tableau 8-2. Les changements observés reflètent la réduction de la variété et du nombre d'opérations de travail du sol menées au cours des récentes années.

Entre 1981 et 1996, le risque global d'érosion attribuable au travail du sol a été réduit de 24 % au Canada. La baisse la plus importante a été observée en Ontario (26 %); elle découlait des fortes réductions du risque obtenues dans les écorégions des Basses terres du lac Érié et de Manitoulin-Lac Simcoe, qui comprennent 84 % des terres cultivées de la province. Les provinces des Prairies ont obtenu des résultats comparables, avec une baisse d'environ 24 % du risque d'érosion.

Même si le risque d'érosion attribuable au travail du sol a augmenté dans deux écorégions du Québec au cours de cette période, il a diminué partout ailleurs pour donner une réduction globale d'environ 10 % dans cette province. Dans la plupart des provinces, la proportion des terres cultivées exposées à un risque tolérable d'érosion attribuable au travail du sol a augmenté entre 1981 et 1996, tandis que la proportion des terres exposées à un risque élevé ou très élevé diminuait. Seuls le Nouveau-Brunswick et l'Île-du-Prince-Édouard, où presque 10 % des terres cultivées étaient toujours exposées à un risque élevé ou très élevé d'érosion attribuable au travail du sol en 1996, ont fait exception à la règle.

Malgré cette amélioration globale, plusieurs régions ont connu une augmentation du risque d'érosion attribuable au travail du sol sur au moins 5 % des terres cultivées entre 1981 et 1996. En voici la liste :

- régions méridionales de la côte (16 %) et de l'intérieur (12 %) de la Colombie-Britannique;
- Hautes terres boréales du centre de l'Alberta (6 %);
- Basses terres du fleuve Saint-Laurent (14 %), Centre des Laurentides (13 %), Sud des Laurentides (6 %), Basses terres du lac Témiscamingue (27 %), Plaines de l'Abitibi (10 %) et Plateau de la rivière Rupert (70 %), au Québec;
- Nouveau-Brunswick (17 %) et Île-du-Prince-Édouard (17 %).

Risque d'érosion attribuable au travail du sol sur les terres cultivées du Canada en 1981 et en 1996

Tableau 8-1

Province	Proportion (%) des terres cultivées* dans chaque catégorie de risque									
	Tolérable		Faible		Modéré		Élevé		Très élevé	
	1981	1996	1981	1996	1981	1996	1981	1996	1981	1996
Colombie-Britannique	30	50	42	36	28	14	0	0	0	0
Alberta	47	62	24	19	26	19	3	0	0	0
Saskatchewan	29	35	14	19	52	46	5	0	0	0
Manitoba	22	44	53	38	24	18	1	0	0	0
Ontario	33	41	21	35	43	24	3	0	0	0
Québec	68	75	21	16	11	9	0	0	0	0
Nouveau-Brunswick	33	38	26	32	32	21	3	8	6	1
Nouvelle-Écosse	40	66	52	28	8	6	0	0	0	0
Île-du-Prince-Édouard	50	50	29	30	10	10	11	10	0	0

* Même si les pourcentages se rapportent à la superficie totale des terres cultivées, la cote du risque d'érosion attribuable au travail du sol s'applique uniquement à la portion convexe des pentes de ces terres, où l'érosion risque de se produire.

Évolution du risque d'érosion attribuable au travail du sol au Canada entre 1981 et 1996
Tableau 8-2

Province	Changement global	Proportion (%) des terres cultivées* dont le risque d'érosion attribuable au travail du sol a changé entre 1981 et 1996				
		Augmentation		Aucun changement		Diminution
		> 5 %	+/- 5 %	5-15 %	15-25 %	> 25 %
Colombie-Britannique	- 19	5	10	22	33	30
Alberta	- 25	0	1	16	39	43
Saskatchewan	- 24	0	0	0	74	26
Manitoba	- 24	1	3	12	45	39
Ontario	- 26	0	2	13	34	51
Québec	- 10	12	34	32	15	7
Nouveau-Brunswick	- 8	17	19	35	18	11
Nouvelle-Écosse	- 15	3	9	29	41	18
Île-du-Prince-Édouard	- 2	17	40	43	0	0

* Les valeurs indiquées s'appliquent uniquement aux portions convexes des pentes de ces terres. Il n'y avait pas de données disponibles pour 1986.

L'augmentation du risque d'érosion attribuable au travail du sol dans ces régions a eu pour effet de masquer en partie les améliorations sensibles survenues dans d'autres secteurs de ces régions.

légère à nulle, présentaient le risque d'érodabilité régional le plus bas de l'Ontario, mais se classaient malgré tout au deuxième rang pour le taux d'érosion à cause de l'agriculture intensive qu'on y pratique. Par contre, en Colombie-Britannique,

Interprétation

L'évolution du risque d'érosion attribuable au travail du sol entre 1981 et 1996 indique essentiellement la mesure dans laquelle les agriculteurs ont modifié leurs instruments aratoires et réduit le nombre de passages de ces instruments sur leurs terres. La mise au point d'équipements de semis direct et d'une vaste gamme d'herbicides pour la lutte contre les mauvaises herbes dans les champs non labourés a favorisé l'adoption de pratiques aratoires antiérosives et de la culture sans travail du sol. La production agricole moins intensive, la réduction des superficies mises en jachère et la mise en friche des terres peu productives ont également contribué à réduire les taux d'érosion.

L'érodabilité des terres est un autre facteur significatif à prendre en compte dans l'évaluation du risque d'érosion attribuable au travail du sol. Les régions de chacune des provinces qui étaient les plus exposées à ce risque en 1981 et en 1996 étaient celles présentant l'érodabilité inhérente la plus grande, sauf en Saskatchewan. L'incidence de ce paramètre peut toutefois être masquée par les pratiques culturales. Par exemple, les Basses terres du lac Érié, dont la dénivellation varie de

Translocation du sol sur les terrains en pente en Ontario

L'érosion attribuable au travail du sol est une des causes principales de la disparition de la couche arable du sommet des collines, dans les régions agricoles vallonnées de l'Ontario. Au cours d'une étude réalisée dans le sud-ouest de l'Ontario, on a passé des instruments aratoires sur plusieurs collines en suivant le sens des dénivellations, après avoir marqué la couche arable du sommet de ces collines à l'aide d'un isotope radioactif. Le travail du sol a été réalisé selon les méthodes classiques; il comprenait un passage avec une charrue à socs, deux passages avec un pulvérisateur à disques en tandem et un passage avec un cultivateur léger.

La mesure du déplacement du sol marqué a révélé que le passage des instruments aratoires de bas en haut déplaçait vers le haut 90 kg de sol pour chaque bande d'un mètre de largeur. Le passage des instruments de haut en bas déplaçait 142 kg de sol vers le bas. On obtenait donc un déplacement net vers le bas des collines de 52 kg pour chaque passage aller-retour. En présumant qu'on procède à la même série d'opérations chaque année et qu'il y a un nombre égal de passages vers le haut et vers le bas, on obtiendrait un déplacement du sol vers le bas équivalant à 26 kg par mètre de largeur par année.

Le volume de sol ainsi déplacé dans cette zone a donc été estimé à 54 tonnes par hectare par année. La proportion de l'érosion totale attribuable au travail du sol dans cette région atteignait au moins 70 %.

D.A. Lobb, Université du Manitoba

où les terres de la région centrale intérieure se caractérisent par une dénivellation modérée à forte et dont l'érodabilité inhérente est donc élevée, le risque d'érosion est resté modéré à cause de la faible intensité de l'agriculture pratiquée sur de vastes superficies dans cette région. En Colombie-Britannique, l'intensification de la production agricole observée dans certaines zones entraîne un risque accru d'érosion attribuable au travail du sol dans les régions méridionales de la côte et du centre. La production céréalière pratiquée sur les terres à forte dénivellation de la région centrale intérieure a entraîné des pertes de sol modérées dues à l'érosion, mais ces dernières ont été compensées dans une certaine mesure par la production fourragère. L'adoption accélérée du travail de conservation et de la culture sans travail du sol a permis de doubler la proportion des terres cultivées des Basses terres de la rivière de la Paix exposées à un risque tolérable d'érosion attribuable au travail du sol (de 31 à 60 %).

Dans les Prairies, la proportion des terres cultivées exposées à un risque tolérable d'érosion attribuable au travail du sol a doublé au Manitoba tandis qu'elle augmentait de 15 % en Alberta et de 6 % en Saskatchewan, entre 1981 et 1996. Cette amélioration était surtout due à l'adoption du travail de conservation et de la culture sans travail du sol, à la réduction des superficies laissées en jachère et à l'augmentation des superficies cultivées en plantes fourragères. Certaines régions, comme les écorégions de la Prairie mixte et de la Tremblaie-parc en Saskatchewan, présentaient une érodabilité inhérente élevée qui a contribué à maintenir une bonne proportion des terres cultivées dans la catégorie à risque d'érosion modéré en 1996.

L'Ontario et le Québec ont augmenté de 7 à 8 % la proportion des terres cultivées exposées à un risque tolérable d'érosion attribuable au travail du sol entre 1981 et 1996. Le Québec est ainsi passé au premier rang pour la proportion des terres cultivées entrant dans cette catégorie (75 %). Certaines écorégions, celle de Manitoulin-Lac Simcoe en Ontario par exemple, étaient exposées à un risque d'érosion légèrement plus grand que les autres en 1996 à cause d'une érodabilité inhérente plus élevée. D'autres étaient exposées à une hausse du risque d'érosion à cause d'une intensité croissante de la production agricole ou d'une réduction des superficies plantées en céréales et en luzerne.

Dans les Maritimes, le risque d'érosion attribuable au travail du sol a diminué par suite, surtout, de l'adoption du travail de conservation (les données sur la culture sans travail du sol dans cette région ne sont pas fiables) et des changements apportés à la rotation des cultures. Au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard, la persistance du risque élevé d'érosion attribuable au travail du sol est due à la production de pommes de terre sur des terres à forte dénivellation. Le risque d'érosion plus faible observé en Nouvelle-Écosse est attribuable en partie à la superficie moins grande consacrée à la production de pommes de terre et à celle plus grande consacrée à la culture de petits fruits.

Les instruments aratoires déplacent le sol

Les instruments aratoires déplacent des volumes considérables de sol dans les paysages agricoles. Dans les systèmes à travail intensif du sol, les volumes ainsi déplacés chaque année peuvent atteindre jusqu'à 10 millions de kilogrammes par hectare. Même dans les régions où l'on a recours à des pratiques antiérosives, les volumes déplacés peuvent atteindre jusqu'à 4 millions de kilogrammes. Il est important de pouvoir déterminer les volumes ainsi déplacés et la distance du déplacement. Cette distance est habituellement courte, mais il peut arriver qu'elle atteigne plus de 150 centimètres pour chaque passage des instruments. On appelle translocation la mesure du volume de sol déplacé et de la distance parcourue.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs typiques de la translocation correspondant à quatre instruments aratoires différents. La translocation est subdivisée en deux parties : celle qui s'observe sur une surface plane et celle correspondant à chaque augmentation d'un point de pourcentage de la dénivellation. Le travail du sol de bas en haut donne une diminution de la translocation tandis que celui de haut en bas entraîne une augmentation de la translocation correspondant à l'effet de la gravité.

Instrument aratoire	Translocation en terrain plat (kg/m de largeur)	Translocation supplémentaire en terrain incliné (kg/m par point de pourcentage du gradient de la dénivellation)*
Charrue à socs	75	1.3
Chisel	50	0.9
Pulvérisateur à disques en tandem	50	2.1
Cultivateur	60	0.6

* Les nombres sont positifs ou négatifs selon le sens du passage : vers le haut ou vers le bas de la pente.

D.A. Lobb, Université du Manitoba

Choix de mesures d'intervention

L'érosion attribuable au travail du sol peut être arrêtée par un simple abandon de cette méthode culturale. Toutefois, cette solution n'est pas envisageable dans tous les cas, même s'il est souvent possible de limiter le nombre de passages de labourage et de reprise de labour.

D'autres solutions sont également envisageables :

- réduction de la vitesse et de la profondeur du travail du sol;
- variation de la profondeur et de la direction du travail du sol;
- réduction de la taille des instruments aratoires (l'effet de nivelage sera moins prononcé avec des instruments moins lourds; voir l'encadré sur les instruments aratoires);
- adoption de systèmes de travail du sol différenciés et recours au paillis ou à la culture sans travail du sol, si possible;
- passage des instruments dans le sens des courbes de niveau plutôt que dans le sens des dénivellations, ce qui réduit la variation de la profondeur du travail du sol et de sa vitesse;
- maintien de la couverture végétale sur les collines le plus longtemps possible;
- récupération du sol entraîné en bas des collines pour le ramener en haut par un travail du sol du bas vers le haut de la colline.

La modification des méthodes de travail du sol n'est qu'un des moyens de conserver les sols. On peut également lutter contre l'érosion en modifiant les systèmes de culture. Par exemple, l'inclusion d'espèces fourragères dans la rotation réduit les besoins en matière de travail du sol et favorise le rétablissement de la structure et de la teneur en matière organique du sol. La culture de plantes-abris contribue également à rétablir la teneur en matière organique du sol. Dans certains cas, il pourra s'avérer nécessaire de laisser la terre en friche ou d'y établir une couverture végétale permanente, si les dégâts causés par l'érosion l'ont rendue improductive. Il convient de poursuivre les recherches afin de mettre au point d'autres méthodes antiérosives adaptées aux conditions de production agricole des différentes régions du Canada.

Pour réduire le risque d'érosion attribuable au travail du sol au Canada, il conviendrait de porter une attention particulière aux types de terrains suivants :

- zones convexes à dénivellations prononcées comme ceux consacrés à la culture de la pomme de terre au Nouveau-Brunswick et ceux des régions de l'intérieur de la Colombie-Britannique;
- terrains vallonnés complexes où l'on pratique un travail du sol traditionnel, comme en Saskatchewan et en Ontario;
- petites zones cultivées d'envergure régionale présentant une érodabilité inhérente élevée, comme au Québec.

Conclusion

L'incidence considérable du travail du sol sur l'érosion des terres agricoles canadiennes n'a été reconnue que récemment. La présente analyse donne un aperçu des effets possibles de l'érosion due au travail du sol sur la viabilité de l'agriculture canadienne. Au Canada, la plupart des terres cultivées selon les modes classiques de gestion des cultures sont exposées à l'érosion. Toutefois, la réduction observée de l'exposition des terres à l'érosion attribuable au travail du sol entre 1981 et 1996 constitue un signe encourageant de l'évolution des mentalités chez les producteurs, des méthodes de production et de la disponibilité de stratégies de gestion axées sur la conservation. Ces changements sont nécessaires pour maintenir à la fois la productivité à long terme et la santé économique à court terme de l'agriculture canadienne.

Toutefois, dans certaines régions du Canada, la production agricole s'intensifie et les signes de réduction du risque d'érosion attribuable au travail du sol sont limités ou nuls. Les producteurs, même conscients du problème de l'érosion, sont confrontés à un choix limité de méthodes de rotation des cultures ou de pratiques culturales à cause des conditions de croissance locales ou des exigences du marché. Les améliorations remarquables survenues au cours des vingt dernières années par suite de la mise au point et de l'adoption de pratiques antiérosives sont particulièrement visibles dans les régions où la configuration du terrain et les options culturales ne sont pas aussi restrictives. À court terme, il est probable que les différences observées d'une région à l'autre du pays persisteront et que les facteurs inhérents au paysage ainsi que les restrictions imposées aux méthodes de culture dans les régions influenceront sur le déclin du risque d'érosion attribuable au travail du sol.

Il convient de multiplier les efforts pour lutter contre l'érosion, puisque des portions sensibles des terres agricoles canadiennes sont toujours exposées à des risques intolérables d'érosion attribuable au travail du sol. Ces efforts devraient en règle générale prendre pour cibles les zones à risque élevé comme celles dont l'érodabilité inhérente est élevée et celles où l'on pratique une culture en ligne intensive ou l'horticulture. Il conviendrait notamment d'encourager l'adoption des méthodes de conservation et des stratégies de gestion connues, d'élaborer de nouvelles techniques antiérosives, d'améliorer la diffusion de l'information aux producteurs, de surveiller l'évolution du risque d'érosion et d'attirer l'attention des décideurs sur cette question. Les programmes

de lutte contre l'érosion mis en place dans toutes les provinces ont jusqu'ici ciblé l'érosion hydrique et éolienne; ils doivent dorénavant s'intéresser également à l'érosion attribuable au travail du sol.

Indicateurs connexes

Il existe un rapport entre le risque d'érosion attribuable au travail du sol et le risque d'érosion hydrique puisque le travail du sol entraîne un déplacement du sol du sommet au pied des collines, où l'érosion hydrique peut prendre la relève et entraîner les sédiments hors du champ. Ce phénomène influe à son tour sur le risque de contamination de l'eau par l'azote et par le phosphore. Cet indicateur est également lié au risque d'érosion éolienne puisque les deux agissent principalement sur les sols au sommet des pentes, pour les entraîner en contrebas. Le glissement du sol en bas des dénivellations dû aux pratiques aratoires modifie la distribution du carbone organique et peut ainsi nécessiter l'application de méthodes particulières de gestion des engrais et des pesticides. Il modifie également les microhabitats des organismes du sol, influant ainsi sur la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles. À mesure que les sols se dégradent sous l'effet de l'érosion, l'énergie nécessaire pour maintenir leur productivité augmente, ce qui influe également sur l'utilisation de l'énergie.

9 Le carbone organique du sol

W.N. Smith, G. Wall, R. Desjardins, et B. Grant

Portée géographique : Canada, provinces

Période : 1970–2010

POINTS SAILLANTS

- Le carbone (C) est le principal élément de la matière organique, et sa présence est un facteur déterminant de la qualité du sol. La perte de matière organique, et donc de carbone organique, se traduit par la dégradation de la structure du sol, par une plus grande vulnérabilité à l'érosion et par une réduction de la fertilité; tous ces effets se conjuguent pour compromettre le rendement et la pérennité des ressources du sol. L'accumulation de réserves de carbone peut contribuer à freiner l'accumulation dans l'atmosphère de dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre.
- Nous avons mis au point un indicateur pour évaluer l'évolution de la teneur en carbone organique des sols agricoles au Canada entre 1970 et 2010. Les valeurs ont été obtenues à l'aide du modèle de simulation informatique Century qui permet de décrire la dynamique du carbone et de l'azote du sol dans divers types d'écozones à partir d'une représentation simplifiée des interactions entre le sol, les végétaux et le climat. L'objectif visé est de stabiliser les pertes de carbone organique dans tous les sols agricoles et de faire en sorte que les sols qui le peuvent commencent à stocker du carbone.
- Les sols agricoles perdent habituellement de 15 à 35 % de leur teneur originale en carbone organique dans les 10 ou 20 ans qui suivent leur première mise en culture. Le carbone atteint alors un nouvel équilibre, que diverses méthodes agronomiques peuvent encore modifier. Toutefois ces variations sont beaucoup moins importantes que celles qui découlent de la première mise en culture d'un écosystème vierge. Les sols riches en carbone comme ceux de la prairie-parc de l'Ouest canadien peuvent atteindre ce nouvel équilibre après un délai beaucoup plus long.
- Le modèle Century nous a permis de déterminer que les sols agricoles canadiens avaient perdu leur carbone organique à raison de 70 kilogrammes par hectare (kg/ha) en 1970 et de 43 kg/ha en 1990. Ils cesseront d'en perdre en l'an 2000 et en accumuleront 11 kg/ha en 2020. On prévoit que l'accumulation se poursuivra au-delà de 2010 et qu'un seuil sera atteint dans 20 ans environ. On prévoit que 52 % des terres agricoles canadiennes accumuleront du carbone organique en 2010.
- D'après le modèle, la Saskatchewan accumule du carbone organique dans ses sols depuis 1994 environ, mais la plupart des autres provinces continueront d'en perdre à différents rythmes pendant de nombreuses années encore. La situation de la Saskatchewan influence fortement le tableau national. Les sols de l'est du Canada perdent du carbone organique moins vite que ceux de l'Ouest parce qu'ils sont cultivés depuis plus longtemps et sont généralement plus près de l'équilibre.
- Le taux de perte de carbone organique dans les sols a diminué considérablement dans la plupart des régions du Canada depuis 1990 suite à l'adoption croissante de la culture sans travail du sol, de la réduction des superficies en jachère et de l'augmentation du rendement des récoltes. La culture sans travail est le moyen le plus efficace pour augmenter la teneur en carbone organique des sols à texture fine.
- L'érosion a un effet important sur la teneur en carbone organique des sols de l'est du Canada. Si l'on suppose que l'érosion n'entraîne aucune perte de sol en direction des cours d'eau, le modèle prédit qu'en l'an 2000 les sols de l'est du Canada gagneront 94 kilogrammes de carbone organique par hectare. Au cours de la même année, ces sols perdront 19 kg/ha de carbone si la perte de sol par érosion en direction des cours d'eau est de 15 %, et 94 kg/ha si elle est de 100 %

L'enjeu

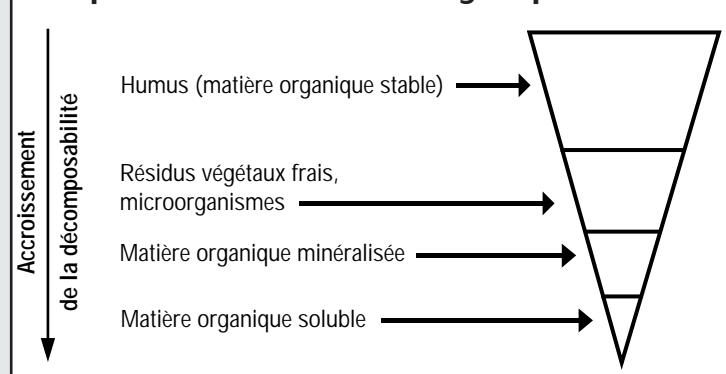
Le carbone (C) est l'élément fondamental de la matière organique qui constitue tous les êtres vivants. Ce sont tout d'abord les plantes qui, lors de la *photosynthèse*, captent le dioxyde de carbone de l'air; puis le carbone parcourt la chaîne alimentaire lorsque les animaux mangent des plantes et sont à leur tour mangés par d'autres animaux. D'une part la matière organique provenant des plantes et des animaux se décompose lorsqu'ils meurent; d'autre part les animaux, en respirant, produisent du dioxyde de carbone, et les matières en décomposition dégagent des gaz contenant du carbone. Tout le carbone finit donc par se retrouver

Composition de la matière organique du sol

La matière organique constitue environ de 5 à 10 % de la plupart des sols agricoles. Comme les végétaux et les animaux dont elle provient, elle est composée de chaînes et d'anneaux de carbone auxquels sont fixés d'autres atomes. Les termes *matière organique du sol* et *carbone organique du sol* sont souvent utilisés l'un pour l'autre parce que la quantité de carbone, principal constituant de la matière organique, se mesure facilement en laboratoire. La matière organique contient habituellement environ 50 % de carbone, 40 % d'oxygène, 5 % d'hydrogène, 4 % d'azote et 1 % de soufre.

La matière organique du sol est constituée de composés ou de fractions qui se dégradent à des vitesses différentes. La décomposabilité de la matière organique peut prendre toute une gamme de valeurs, mais les méthodes actuelles permettent de distinguer au moins deux fractions qui sont la matière organique stable et la matière organique active. L'humus (matière brun foncé spongieuse et poreuse à l'odeur agréable de bonne terre) constitue l'essentiel de la matière organique présente dans le sol et est considéré comme stable parce qu'il a déjà été transformé par des microorganismes. La matière organique active est constituée de résidus végétaux frais et de microorganismes, et elle est susceptible de se décomposer. Cette fraction libère des éléments nutritifs utiles à la croissance des plantes, mais elle émet également certains composés (éléments nutritifs, pesticides, gaz à effet de serre) dans les systèmes aquatiques et l'atmosphère.

Composition de la matière organique du sol



E.G. Gregorich et B. Ellert, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Les avantages de la matière organique du sol

La matière organique du sol comporte de nombreux effets bénéfiques, et elle constitue un élément essentiel de tout sol en bonne santé. Par exemple :

- elle donne une cohésion aux particules de sol et elle stabilise la structure de ce dernier, ce qui le rend moins sensible à l'érosion;
- elle améliore la capacité du sol de stocker et de laisser circuler l'air et l'eau;
- elle stocke et fournit aux végétaux et aux organismes présents dans le sol de nombreux éléments nutritifs nécessaires à leur croissance;
- elle empêche le compactage du sol et elle le maintient dans un état exploitable;
- elle fixe des produits pouvant être toxiques comme les métaux lourds et les pesticides;
- elle retient le carbone de l'atmosphère.

E.G. Gregorich, Agriculture et Agroalimentaire Canada

soit dans le sol, soit dans l'atmosphère. La présence de matière organique est bénéfique pour le sol, et ce pour diverses raisons (*voir l'encadré*).

L'agriculture a pour effet d'éliminer la végétation qui recouvre le sol et à préparer celui-ci pour le semis. Les chercheurs savent maintenant que les sols, 10 ans après avoir été défrichés et mis en culture pour la première fois, ont perdu environ de 15 à 35 % du carbone qu'ils contenaient au départ. Au cours des années, dans nombre de régions agricoles du Canada, certaines méthodes agronomiques ont contribué à accentuer les pertes de matière organique, et donc de *carbone organique* (c'est-à-dire d'origine organique), rendant ainsi les sols structurellement instables, sensibles à l'érosion, moins fertiles et moins productifs.

Les pratiques agricoles dites de conservation employées au cours des 15 à 20 dernières années ont eu pour effet de stabiliser la teneur en matière organique des sols de nombreuses régions canadiennes. Ces pratiques consistent à :

- accroître les apports de matière organique par l'épandage de fumier et d'engrais en vue d'obtenir une culture plus robuste qui redonnera au sol de plus grandes quantités de matières non récoltées;
- réduire les pertes de matière organique et de carbone, par exemple par la gestion des résidus de culture et par la lutte contre l'érosion.

Les agroécosystèmes captent le dioxyde de carbone de l'atmosphère, fixent le carbone dans la matière organique et en laissent une partie dans le sol, où il peut ainsi être stocké. Il y a donc réduction des quantités de dioxyde de carbone présentes dans l'atmosphère, ce qui constitue un avantage de l'accumulation de carbone dans le sol. Le dioxyde de carbone est l'un des principaux gaz à effet de serre; il s'accumule dans l'atmosphère et contribue au *réchauffement de la planète*, l'un des problèmes environnementaux les plus graves de notre époque.

Il est nécessaire de disposer d'un indicateur permettant d'évaluer la variation des quantités de carbone organique présentes dans le sol au cours du temps. Un tel indicateur doit faciliter la détection de tendances à long terme pour ce qui est de la qualité des sols, et permettre d'évaluer dans quelle mesure les sols agricoles permettent de contrebalancer les émissions de dioxyde de carbone produites ailleurs.

L'indicateur

Description

Nous avons mis au point un indicateur qui permet de mesurer le taux de variation du carbone organique de 1970 à nos jours et de faire des prévisions jusqu'en 2010. L'indicateur permet également de déterminer les teneurs actuelles en carbone organique des sols, d'étudier les effets des méthodes agronomiques existantes sur ces teneurs et de prévoir en quoi les interactions entre ces mêmes effets détermineront les teneurs en carbone organique à l'avenir. L'objectif visé est de stabiliser les pertes de carbone organique dans tous les sols agricoles et de faire en sorte que les sols qui le peuvent commencent à stocker du carbone.

Méthode de calcul

Nous avons employé le modèle Century (*voir l'encadré*) pour prédire le taux de variation des quantités de carbone organique présentes dans les sols agricoles au Canada. Les simulations ont été exécutées sur un échantillon représentatif (15 %) des paysages canadiens (au nombre de 180). Les paysages étudiés ont été choisis de manière à représenter :

- les principaux groupes de sol (chernozems bruns, brun foncé et noirs; luvisols gris, gris brun et gris foncé; gleysols et autres);
- les types de texture.

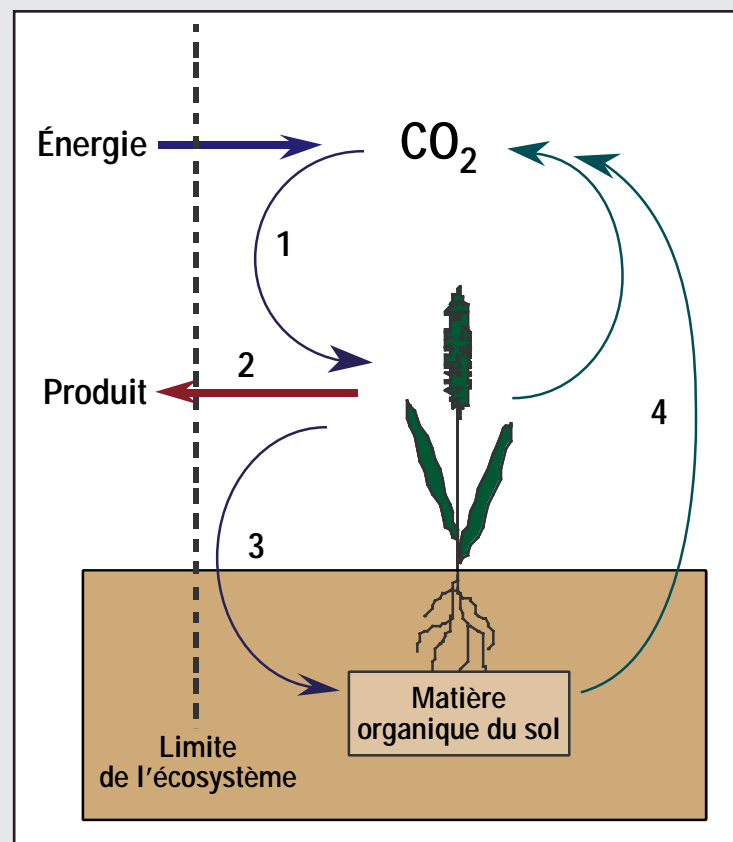
Les valeurs employées dans le modèle pour représenter l'érosion proviennent des calculs effectués pour évaluer l'indicateur du risque

Le cycle du carbone en agriculture

Par la photosynthèse, les cultures transforment le dioxyde de carbone de l'atmosphère (1) et l'eau du sol en composés riches en carbone appelés glucides, assurant ainsi leur croissance. En agriculture, lorsqu'une partie de la plante parvenue à maturité est récoltée, une partie du carbone sort du système agricole (2). Le reste de la plante (les racines et les tiges) se décompose dans le sol.

Au cours de la décomposition, les microorganismes du sol dégradent les résidus végétaux et les transforment en matière organique (3) tout en libérant du dioxyde de carbone, un déchet qui retourne dans l'atmosphère (4). Le taux de décomposition varie en fonction de la qualité des résidus végétaux, du type et de l'abondance des organismes présents, ainsi que du milieu physique et chimique existant dans le sol. Il peut également y avoir perte de matière organique par érosion.

La quantité de carbone organique retenue dans le sol représente la différence entre les apports (résidus de culture, fumier, boues résiduaires) et les pertes (par *respiration*, *minéralisation* ou érosion). Certains experts estiment que des méthodes agronomiques comme la culture sans travail du sol permettent de stocker davantage de carbone dans les sols agricoles, ce qui ralentit l'accumulation de dioxyde de carbone (un gaz à effet de serre) dans l'atmosphère.



E. G. Gregorich et H. H. Janzen,
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Le modèle Century

Century est un modèle de simulation informatisé qui s'applique à un endroit particulier et qui permet de décrire la dynamique du carbone et de l'azote dans le sol des prairies, des terres cultivées, des forêts et des savanes à partir d'une représentation simplifiée des interactions entre le sol, les végétaux et le climat. Il simule la production de matière végétale au-dessus et au-dessous de la surface du sol en fonction de la température de celui-ci et des quantités d'eau et d'éléments nutritifs disponibles.

Ce modèle a fait l'objet d'une large évaluation pour différents sols, climats et méthodes agronomiques (semis, épandage d'engrais, travail du sol, pâturage et ajout de matière organique). Le modèle Century a été testé dans l'est et l'ouest du Canada, aux États-Unis, dans le nord de l'Europe et sous les tropiques.

W.N. Smith, consultant

d'érosion hydrique, qui est également présenté dans ce rapport. Dans l'ouest du Canada, l'érosion a été exclue des calculs parce que dans cette région on considère généralement qu'elle contribue en grande partie à redistribuer le sol dans le paysage agricole plutôt qu'à l'en faire disparaître. Pour les régions humides de Colombie-Britannique et de l'est du Canada, les calculs ont été faits à partir des valeurs d'érosion du paysage et en fonction des hypothèses selon lesquelles 0 %, 15 % et 100 % du sol érodé disparaît dans les cours d'eau.

Des simulations ont été effectuées pour :

- deux types de culture (travail du sol classique-minimal et sans travail)

- de deux à cinq rotations des cultures
- six périodes (quatre périodes de la conversion agricole à 1986 pour lesquelles les données de gestion proviennent de la documentation sur le sujet; 1986-1992, selon les données du *Recensement de l'agriculture*; 1993-2050, selon les données de base annuelles par province de Statistique Canada pour modifier les rotations des cultures).

La culture sans travail du sol n'a été ajoutée que pour les deux dernières périodes parce que ce type de culture était très peu employé au Canada avant 1986. Les données relatives à la culture sans travail proviennent du *Recensement de l'agriculture* de 1991 et de 1996. Les valeurs prévues pour la proportion des terres agricoles cultivées sans travail du sol ont été tirées d'une enquête d'Agriculture et Agroalimentaire Canada sur la profession réalisée en 1997 (tableau 9-1).

Les taux d'épandage d'engrais proviennent de la documentation. Les changements touchant les doses appliquées en 1986-1992 et en 1993-2050 se fondent sur la consommation d'engrais en 1990 et en 1995, respectivement.

Le taux de variation de la teneur en carbone organique a été calculé pour 1970, 1980, 1985, 1990-1996, 2000, 2005 et 2010. Les estimations ont été faites chaque année entre le début et le milieu des années 1990 à cause de l'évolution rapide des méthodes agronomiques à cette époque. Nous avons utilisé la pente d'une régression de dix ans centrée sur chaque année pour refléter les rotations portant sur plusieurs années. Dans le cas des rotations de plus de cinq ans, la régression a été effectuée pour le double de la durée de la rotation.

Utilisation réelle et prévue de la culture sans travail du sol sur les terres agricoles canadiennes

Tableau 9-1

Province	Pourcentage des terres agricoles cultivées sans travail du sol				
	1991	1996	2000	2005	2010
Colombie-Britannique	5	10	13	16	20
Alberta	3	10	17	23	28
Saskatchewan	10	22	30	35	38
Manitoba	5	9	12	15	20
Ontario	4	18	20	20	20
Québec	3	4	7	9	11
Atlantique	2	2	2	2	2
Canada	7	16	22	26	30

Le modèle Century a été appliqué quatre à dix fois pour chaque région étudiée, selon le nombre de rotations considéré et les méthodes agronomiques employées dans chaque cas. Nous avons pondéré les résultats en fonction du type de travail du sol et de la rotation des cultures pour calculer le taux de variation de la teneur en carbone organique dans chaque région étudiée. Les prévisions du modèle sont présentées à l'échelle nationale et provinciale ou régionale (les provinces de l'Est comprennent l'Ontario, le Québec et les provinces de l'Atlantique).

Limites

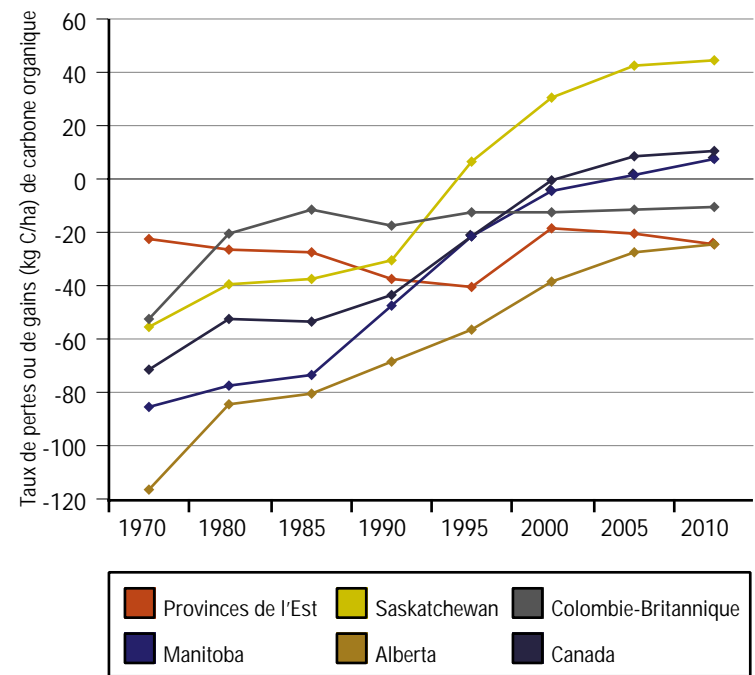
Il est très difficile d'évaluer la dynamique du carbone du sol, et c'est une tâche qui comporte beaucoup d'incertitudes. Il existe très peu de jeux de données à long terme permettant de caractériser la dynamique du carbone organique du sol sur le terrain. Comme les données de terrain actuelles comportent des erreurs statistiques importantes liées aux méthodes d'échantillonnage et d'analyse en laboratoire, elles ne peuvent servir à valider les prévisions du modèle sur le terrain. L'emploi d'un modèle unique pour l'ensemble du Canada génère aussi sans aucun doute des erreurs, étant donné la très grande variété des sols, des climats et des méthodes agronomiques qu'on y trouve.

L'indicateur ne prend pas en compte l'épandage de fumier ni l'irrigation. Comme elles devaient aller jusqu'en 2050, les simulations du modèle Century ont été effectuées à partir des normales climatiques sur 30 ans. L'indicateur ne reflète donc pas le changement climatique non plus.

Résultats

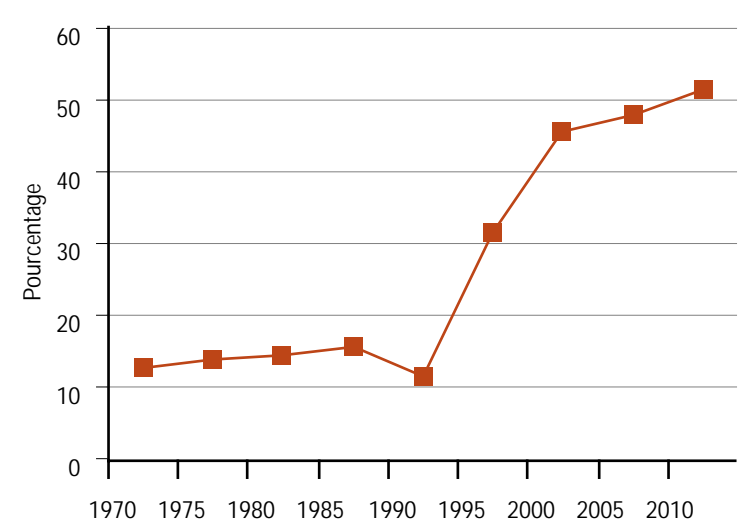
La figure 9-1 montre le taux estimé de variation des teneurs en carbone organique dans l'ensemble du Canada et dans les provinces (les provinces de l'Est étant regroupées) entre 1970 et 2010. Les estimations produites par le modèle Century indiquent que la plupart des sols des provinces continuent de s'appauvrir en carbone organique. En 2000, les sols de l'Alberta perdront environ 40 kilogrammes de carbone organique par hectare; les provinces de l'Est, 23 kg/ha; la Colombie-Britannique, 15 kg/ha; et le Manitoba, 5 kg/ha. Toutefois, dans toutes les provinces de l'Ouest, le taux de perte de carbone organique diminue régulièrement; en outre, les prévisions indiquent que le mouvement s'est déjà inversé en Saskatchewan et que cette province est déjà bel et bien entrée dans une période d'accumulation de carbone organique dans le sol.

Figure 9-1
Taux de pertes ou de gains de carbone organique dans les sols agricoles au Canada



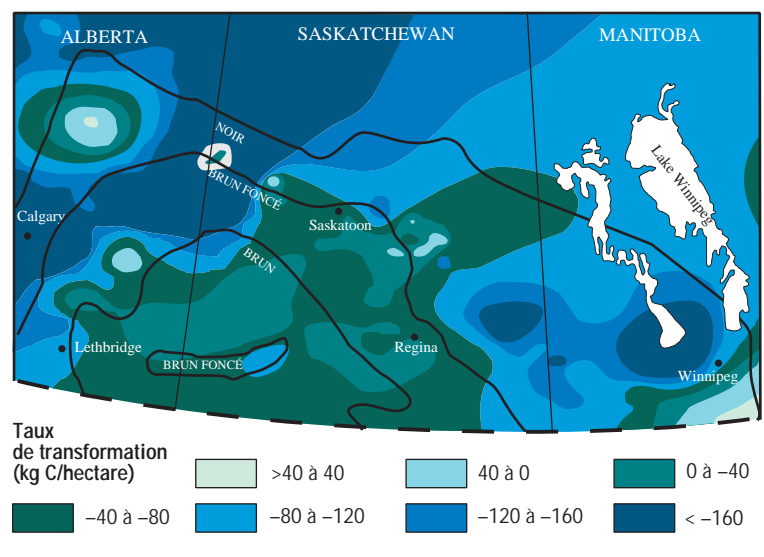
Le modèle indique que les sols canadiens perdaient environ 43 kg de carbone organique par hectare en 1990, soit une perte nette d'environ 1,8 téragramme de carbone organique pour l'ensemble des sols agricoles du Canada. La tendance observée en Saskatchewan a une grande influence sur la tendance nationale, et on prévoit que les pertes de carbone organique des sols

Figure 9-2
Proportion des terres agricoles canadiennes accumulant du carbone organique



Taux de changement de la concentration du carbone organique dans les sols des Prairies en 1990

Figure 9-3



canadiens deviendront nulles d'ici l'an 2000. En 2010, ces sols devraient accumuler du carbone organique à raison d'un taux annuel de 11 kg/ha.

D'après le modèle, environ 13 % des sols du pays accumulaient du carbone en 1970, et depuis 1990 cette proportion a grimpé à environ 46 % (figure 9-2); 52 % des sols agricoles canadiens devraient accumuler du carbone d'ici 2010.

La modélisation Century indique que la culture sans travail du sol a un effet significatif sur l'évolution de la teneur en carbone organique. Lorsque le modèle a été employé conjointement avec les valeurs réelles et les valeurs projetées pour la culture sans travail, il a indiqué que l'ensemble des sols agricoles canadiens perdrait 2,2 térogrammes de carbone organique entre 1990 et 2010. À partir de l'hypothèse selon laquelle 100 % des terres agricoles canadiennes étaient cultivées sans travail du sol pendant cette période, le modèle a indiqué que les sols gagneraient 30,3 térogrammes de carbone organique.

Environ 80 % des terres agricoles canadiennes sont situées dans les provinces des Prairies. La figure 9-3 représente les cartes de distribution des taux de variation du carbone organique dans le sol des Prairies en 1990. Dans le nord du Manitoba, la caractérisation des sols s'est appuyée sur un nombre limité de sections cartographiques de sorte que les estimations ne sont pas aussi fiables que pour les autres régions. Il est apparu que certains sols situés au centre de l'Alberta et du Manitoba perdaient davantage de carbone organique que d'autres.

De façon générale, les sols de l'est du Canada perdent moins de carbone que ceux de l'Ouest. Dans l'Est, la plupart des terres sont cultivées depuis beaucoup plus longtemps, les sols sont généralement plus près de l'équilibre et l'érosion a une forte influence sur la dynamique du carbone organique. Dans l'hypothèse voulant que l'érosion n'entraîne aucune perte de sol en direction des cours d'eau, le modèle a indiqué que le gain annuel de carbone organique dans les sols de l'est du Canada serait voisin de 2 kg/ha en l'an 2000. Avec 15 % de perte de sol par érosion, le carbone organique disparaîtrait à un taux de 18 kg/ha, et avec 100 % de perte de sol, le taux de perte de carbone grimpe à 98 kg/ha.

Les pertes réelles de carbone organique

Il est important de situer dans leur contexte les taux de variation du carbone du sol signalés dans le présent chapitre. Les teneurs en carbone organique se rapprochent actuellement de l'équilibre, et les estimations des pertes survenues entre 1970 et 2010 sont faibles si on les compare 1) aux pertes enregistrées les années précédentes, notamment peu après le début de la mise en culture, et 2) à la quantité totale de carbone organique dans le sol.

Au Canada, le taux de perte de carbone peu après la mise en culture s'élevait à plus de 1000 kilogrammes par hectare par année à de nombreux endroits. La plupart des sols minéraux du pays renferment de 20 000 à 150 000 kg/ha de carbone organique. Les simulations effectuées à l'aide de Century pour l'an 2000 nous ont permis d'évaluer les pertes de carbone dans les sols de l'est du Canada à 2, à 18 et à 98 kg/ha/an dans l'hypothèse d'une érosion hydrique nulle, d'une érosion de 15 % et d'une érosion de 100 % respectivement. Le taux le plus élevé, qui est de 98 kg/ha/an, correspond à environ 0,2 % du carbone présent dans le sol.

En outre, l'erreur affectant le calcul de la teneur du sol en carbone organique total en laboratoire est d'au moins 1 %. Une telle erreur correspond à des valeurs plus élevées que celles que l'on mesure chaque année actuellement.

Les sols agricoles du Canada ont perdu environ 25 % de leur carbone depuis leur mise en culture. Les teneurs en carbone se sont presque stabilisées; à moins que les méthodes agronomiques ne changent radicalement, les pertes à venir devraient être minimales et on devrait même enregistrer de faibles gains avant l'an 2000.

W.N. Smith, consultant

Interprétation

Après 1990, le taux de variation des teneurs en carbone montre une tendance marquée à la hausse dans les Prairies et l'ensemble du pays,

mais on note une situation stable en Colombie-Britannique et dans l'Est. La diminution des pertes de carbone notée pour l'ensemble des sols canadiens reflète surtout la tendance enregistrée dans les Prairies; ce phénomène résulte de trois facteurs :

- recours croissant à la culture sans travail du sol;
- réduction des superficies en jachère;
- utilisation accrue d'engrais.

Depuis 1910, les sols agricoles canadiens ont perdu environ 1 000 téragrammes de carbone sur un total de 4 300 téragrammes. La teneur en carbone organique a diminué rapidement au cours des 20 premières années de culture, puis à un rythme moins soutenu entre 1930 et 1980. Comparativement aux résultats initiaux, les pertes postérieures à 1980 sont minimales (les pertes totales de carbone organique dans le sol depuis que les terres ont été mises en culture étaient de 23,8 % en 1980 et de 24,2 % en 1990, et elles seront de 24,4 % en 2000 et de 24,3 % en 2010). La plupart des experts estiment que les réductions futures des pertes de carbone organique dans le sol seront le résultat des méthodes agronomiques employées. S'il y a peu de changement dans les méthodes agronomiques, on prévoit que le seuil d'accumulation du carbone organique sera atteint dans de 10 à 20 ans, c'est-à-dire que les sols canadiens gagneront du carbone organique à partir de 2010.

La prévision selon laquelle les sols agricoles canadiens ne perdront plus de matière organique à partir de l'an 2000 se fonde sur notre projection concernant les méthodes agronomiques. À l'avenir, la mise au point de nouvelles technologies de gestion des exploitations agricoles ainsi que l'évolution de la demande en produits agricoles se traduiront fort probablement par l'emploi de méthodes agronomiques assez différentes de celles que nous avons prévues.

Les sols des Prairies où l'on constate encore des pertes importantes sont ceux qui avaient des teneurs élevées en carbone organique avant d'être mis en culture. Par conséquent ces sols avaient de plus grandes quantités de carbone à perdre et n'ont pas encore atteint le nouvel équilibre qui s'observe habituellement dans les écosystèmes agricoles.

La culture sans travail du sol freine les pertes de carbone organique, mais il faudra tout de même faire appel à des systèmes de culture et à des pratiques visant à enrichir les sols agricoles canadiens en matière organique pour permettre à ceux-ci

Variations de la teneur en carbone organique en fonction de la texture du sol

Les recherches montrent que la texture du sol dépend beaucoup des méthodes agronomiques employées, comme la culture sans travail. Les sols à texture grossière sont plus aérés que ceux à texture fine, et ils permettent donc une décomposition plus complète de la matière organique par les microorganismes. Le tableau ci-dessous présente la dynamique du carbone organique en fonction de la texture du sol, selon le modèle Century. Habituellement, c'est dans les sols sablonneux qu'on constate les pertes de carbone les plus importantes. Seuls quelques sols à texture fine ont eu tendance à accumuler du carbone organique au cours du 20^e siècle.

Taux estimé de variation du carbone organique dans le sol (kg/ha/an)

Texture du sol	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Argileux	-6	-8	1	21	37	40	38
Loam limono argileux	-20	-18	14	33	48	55	56
Lehm	-30	-32	-17	-16	-13	-9	-9
Loam sableux fin	-90	-82	-60	-36	-14	-4	0
Sable loameux	-89	-84	-91	-76	-34	-23	-25
Sable fin	-175	-147	-165	-153	-138	-128	-120

W.N. Smith, consultant

d'emmagasiner du carbone. Les chercheurs ont observé que l'accroissement de la teneur en carbone qui résulte de la culture sans travail varie beaucoup en fonction du type et de la texture du sol (*voir* l'encadré). La lutte contre l'érosion joue un rôle important dans la réduction des pertes de carbone organique dans l'est du Canada. Par ailleurs, on a remarqué un lien entre la culture sans travail et une augmentation des émissions d'oxyde nitreux, le gaz à effet de serre qui suscite actuellement le plus d'inquiétude. Ainsi il faudra sopeser les avantages de cette pratique et les éventuels effets néfastes sur l'environnement.

Choix de mesures d'intervention

Dans beaucoup de régions du pays, les agriculteurs ont déjà opté pour des méthodes permettant d'accroître la teneur du sol en carbone organique. Il faudra toutefois déployer plus d'efforts pour les sensibiliser aux avantages à long terme du maintien d'une bonne teneur en carbone dans les sols. Les méthodes qui contribuent à accroître la teneur en carbone organique sont les suivantes :

- réduction des superficies en jachère;

- recours plus systématique au travail réduit du sol et amélioration de la gestion des résidus;
- lutte contre l'érosion;
- dans les rotations, inclusion de cultures qui apportent davantage de biomasse au sol, notamment les fourrages et les légumineuses (*engrais vert*).

Conclusion

Il est difficile de déterminer avec précision le taux de variation du carbone dans les sols agricoles au Canada. Les modèles actuels de prédiction de la dynamique du carbone organique dans le sol sont *empiriques*, et l'emploi d'un modèle unique pour les nombreux types de sols, de climats et de méthodes agronomiques existant au pays a ses limites. Néanmoins l'indicateur permet une évaluation raisonnable des variations de la teneur du sol en carbone depuis le début de l'agriculture, et de celles qui devraient survenir au cours des dix prochaines années au moins.

Les prévisions fournies par le modèle ont été sensibles à l'évolution des méthodes agronomiques durant les années 1990, et notamment au recours croissant à la culture sans travail du sol, à la réduction des superficies en jachère et à l'emploi accru d'engrais dans certaines régions du pays.

À l'avenir, le progrès technologique et l'évolution des marchés pourraient avoir un effet significatif sur les méthodes de gestion des exploitations agricoles. Le calcul du présent indicateur fait intervenir une projection des futurs modes d'utilisation des terres établie à partir de la situation et des tendances actuelles. Si cette projection s'avère fautive, les estimations du taux d'accumulation du carbone organique dans les sols canadiens seront également fausses.

L'accumulation de carbone dans le sol est un objectif valable du point de vue de l'agriculture, puisqu'elle doit permettre tant de protéger les sols et de soutenir la productivité du secteur qu'à contrer un éventuel changement climatique en captant le carbone atmosphérique. Par ailleurs, il faut se rappeler que les efforts visant à accumuler du carbone dans le sol peuvent avoir des résultats moins souhaitables. Par exemple l'épandage de fumier ou d'engrais vert peut contribuer à augmenter la teneur du sol en carbone, mais il peut également s'accompagner d'une augmentation des émissions d'oxyde nitreux, un gaz à effet de serre beaucoup plus puissant que le dioxyde de carbone. Les décisions en matière de gestion doivent donc refléter une approche globale et prendre en compte tous les éléments en jeu; il faudra en effet évaluer toute une gamme de caractéristiques et de fonctions des sols et soupeser les avantages et les coûts des méthodes de gestion de l'agroécosystème dans son ensemble, sans oublier l'environnement qui l'entoure.

Indicateurs connexes

Les sols à haut risque d'érosion hydrique et éolienne sont sensibles à la perte de carbone organique. En haut des pentes, ces pertes sont liées au risque d'érosion par le travail du sol. Par ailleurs, un sol ayant une meilleure couverture de cultures et de résidus accumule de la matière organique, qui se trouve également protégée. L'ajout de matière organique peut se faire par épandage de fumier et d'engrais, ce qui peut nécessiter des modifications au niveau de la gestion des éléments nutritifs et des pesticides sur les terres agricoles. Les sols à faible teneur en matière organique retiennent moins bien les éléments nutritifs, ce qui augmente le risque de contamination de l'eau par l'azote et le phosphore. Enfin, l'accumulation de carbone organique dans les sols contribuerait également à améliorer le bilan des gaz à effet de serre.

10 Risque de compactage du sol

R.A. McBride, P.J. Joosse et G. Wall

Portée géographique : Ontario, provinces maritimes

Période : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- Le compactage du sol causé par le passage des véhicules et des instruments aratoires constitue une forme de dégradation. Il rend le sol plus dense, moins perméable à l'air et à l'eau, plus difficile à réchauffer au printemps et à travailler, et plus résistant à la pénétration des racines. Le compactage du sol est particulièrement nuisible pour les sols à texture fine; il entraîne chaque année des millions de dollars de pertes de récoltes.
- On a élaboré un indicateur permettant d'estimer le Risque de compactage du sol dans les principales régions agricoles de l'Ontario et des provinces maritimes. On a d'abord estimé le degré de compactage du sol (léger, modéré ou prononcé), puis déterminé si l'état du sol risquait de s'améliorer, de rester le même ou de s'aggraver avec le temps, compte tenu des systèmes culturaux utilisés entre 1981 et 1996. L'objectif de rendement visé est d'obtenir, dans le temps, une diminution de la superficie des cultures en rangée sur les sols exposés au compactage et une augmentation des cultures fourragères sur les sols fortement compactés.
- On a estimé que beaucoup des sols étudiés dont le sous-sol avait une texture fine étaient sensiblement compactés, en particulier dans le sud de l'Ontario. Le risque d'une aggravation du compactage du sous-sol est moins grand dans cette région que dans beaucoup d'autres régions de l'est du Canada. Des systèmes culturaux différents ou d'autres pratiques de gestion pourraient contribuer à réduire le degré de compactage de ces sols et à améliorer le rendement des récoltes.
- Entre 1981 et 1996, la superficie des terres agricoles caractérisées par un sous-sol très compact et par des systèmes culturaux capables d'améliorer la structure du sol et de réduire le compactage (cultures fourragères, pâturages) a diminué de 15 % en Ontario, de 21 % au Nouveau-Brunswick, de 18 % en Nouvelle-Écosse et de 11 % à l'Île-du-Prince-Édouard. La répartition de ces zones n'a pas beaucoup changé au cours de ces 15 années.
- Entre 1981 et 1996, la superficie des terres agricoles aux sols exposés au compactage et où les pratiques culturales étaient susceptibles d'engraver la structure et d'aggraver le tassement (p. ex., maïs, soja, légumes ou légumes-racines) a augmenté de 61 % en Ontario, de 47 % en Nouvelle-Écosse et de 81 % à l'Île-du-Prince-Édouard, alors qu'elle baissait de 16 % au Nouveau-Brunswick. Les régions les plus menacées étaient celles du centre et de l'est de l'Ontario, de la vallée de l'Annapolis (Nouvelle-Écosse) ainsi que la majeure partie de l'Île-du-Prince-Édouard.

L'enjeu

Les sols qui possèdent une bonne structure présentent un agencement de particules et d'espaces d'air qui permet une circulation adéquate de l'air, de l'eau et des matières nutritives entre les particules. Le compactage modifie cette structure en tassant les particules et en créant des agrégats plus denses; il réduit le volume des espaces d'air dans le sol et augmente la *densité apparente* du sol.

Sous l'effet du compactage, les sols deviennent :

- moins perméables à l'eau et donc plus sensibles à l'érosion;
- moins bien aérés;
- plus difficiles à réchauffer au printemps et à travailler;
- plus résistants à la pénétration des racines;
- incapables de produire une récolte abondante de plantes en bonne santé.

On estime que de 50 à 70 % des sols à texture fine du sud-ouest de l'Ontario, soit environ 2 millions d'hectares (presque entièrement cultivés), ont subi un certain compactage (cette compaction est modérée sur environ 75 % des superficies et

prononcée sur 25 % d'entre elles). De nombreux producteurs de maïs du sud de l'Ontario considèrent que le compactage du sol est la cause principale de leurs problèmes de conservation du sol et de l'eau. Le tassement du sol préoccupe également les exploitants dans d'autres régions agricoles de l'est du Canada, y compris les basses terres du fleuve Saint-Laurent, au Québec, et les zones où l'on pratique une agriculture intensive dans les provinces maritimes. Les pertes économiques occasionnées par le compactage du sol dû à l'utilisation de machines lourdes atteignent chaque année des millions de dollars en Ontario et au Québec.

Nous avons besoin d'un indicateur qui nous permettra d'évaluer l'étendue et l'importance du problème du compactage du sol dans plusieurs de ces régions de l'est du Canada et de déterminer comment certaines pratiques de gestion des terres agricoles risquent d'influer sur la situation avec le temps.

L'indicateur

Description

L'indicateur du risque de compactage du sol permet d'évaluer dans quelle mesure l'état de compactage actuel des principales terres agricoles de l'Ontario et des provinces maritimes risque de s'aggraver, de rester le même ou de s'améliorer, compte tenu des principaux systèmes culturels en usage en 1981, en 1991 et en 1996. L'indicateur a été calculé à l'aide d'estimations du degré de compactage de ces sols (léger, modéré ou prononcé) et en tenant compte des effets vraisemblables des techniques de gestion utilisées au cours de cette période de 15 ans. Le degré de compactage du sol traduit le stress maximal exercé sur le sol par le passé, exprimé en unités de pression (kilopascals, kPa), et permet de déterminer la charge maximale par roue qui permettra d'éviter une aggravation du problème. Le tableau 10-1 présente ces trois classes ainsi que les classes correspondantes de sensibilité à un compactage subséquent. L'objectif de rendement visé est d'obtenir, dans le temps, une diminution de la superficie des cultures en rangée sur les sols exposés au compactage et une augmentation des cultures fourragères sur les sols fortement compactés.

Méthode de calcul

L'indicateur est fondé sur une méthode numérique d'interprétation des données de levés des sols désignée sous le nom de *fonction de pédotransfert* qui élimine la nécessité de recourir à un programme complet et coûteux de tests de

Le compactage des sols agricoles au Québec

On a étudié la perte de matière organique du sol, la détérioration de la structure et le compactage du sol dans le cadre d'un vaste projet de recherche réalisé au Québec de 1981 à 1990 et portant sur la dégradation des sols agricoles. L'étude portait principalement sur les sols minéraux, dont environ 1,7 million d'hectares sont utilisés pour l'agriculture. Environ 200 types de sols (séries) ont été examinés et répartis en trois groupes principaux en fonction de critères tels que la texture.

On a évalué le compactage du sol à l'aide de mesures indirectes de l'ampleur des modifications apportées aux propriétés physiques de certains sols. Des hausses significatives de la densité apparente étaient considérées comme un indice de compactage du sol. Le compactage n'a pas été évalué pour les sols sableux, puisqu'il n'est pas considéré comme un facteur limitant de la production agricole sur ce type de sol.

Dans l'ensemble, le compactage du sol a été classé au cinquième rang des principales préoccupations liées à la dégradation des sols au Québec. Les résultats de l'étude ont indiqué qu'il existait un problème important de compactage du sol sur environ 100 000 hectares de terres agricoles dans la province. Les deux tiers de ces sols se trouvent dans les régions de la Montérégie (Richelieu, Saint-Hyacinthe et sud-ouest de Montréal) et du centre du Québec. La dégradation de la structure des sols, premier signe d'un problème de compactage et d'érosion, était plus répandue dans ces régions.

P. Beaudet, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

compactage du sol. Cette méthode utilise des données sur les propriétés fondamentales du sol — teneur en carbone organique, densité apparente et texture. Comme cette étude s'intéressait uniquement aux sols minéraux, seules la deuxième et la troisième couches (couche minérale superficielle des sols minéraux et couche sub-superficielle des sols minéraux) des zones cartographiques des *Pédo-paysages du Canada* ont été incluses dans l'analyse.

Les classes du risque de compactage ont été délimitées par la combinaison des classes de sensibilité (tableau 10-1) aux renseignements disponibles sur les systèmes de culture obtenus dans le *Recensement de l'agriculture*. L'indicateur du risque de compactage du sol a servi à déterminer les zones les plus susceptibles de changer de classe de compactage avec le temps, compte tenu du système cultural utilisé. L'indicateur a été appliqué pour l'analyse des composantes pédologiques dominantes en Ontario, au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard, et des cartes du risque ont ainsi été élaborées.

Même si de nombreuses pratiques de gestion peuvent servir à protéger le sol contre un compactage

Classes de compactage du sol et de sensibilité au risque de compactage ultérieur **Tableau 10-1**

Compactage du sol	Sensibilité au risque de compactage
Faible (jusqu'à 20 kPa)	Grande
Modéré (de 20 à 100 kPa)	Modérée
Prononcé (supérieur à 100 kPa)	Faible

ultérieur ou à atténuer le tassement existant, les données sur les systèmes de culture se sont avérées les plus pertinentes et les plus faciles à obtenir. Les données du *Recensement de l'agriculture* ont permis d'étudier les tendances affichées dans la répartition des terres entre diverses catégories de systèmes culturaux, entre 1981 et 1996, et de juger si elles pourraient entraîner une amélioration de la structure du sol et de l'état de compactage (p. ex., luzerne, foin, pâturages améliorés ou non) ou une détérioration de cet état (p. ex., maïs, légumes et plantes racines, comme la pomme de terre). Le soja aurait normalement dû être inclus dans le deuxième groupe, mais les superficies consacrées à sa culture ont commencé à être indiquées séparément à partir du recensement de 1996, ce qui a nui aux comparaisons avec les données des recensements précédents.

Le compactage des sols argileux au Manitoba

Le compactage du sol ne présente pas dans les Prairies un problème aussi épineux que dans les régions plus humides du Canada puisque la plupart des terres agricoles de cette région sont naturellement moins exposées à ce type de dégradation et sont habituellement sèches lorsqu'on les travaille. Le risque de compactage posé par la circulation des véhicules a diminué au cours des 15 dernières années avec la réduction des superficies laissées en jachère, l'adoption du travail de conservation du sol et l'utilisation d'instruments aratoires à portée plus large (20 mètres).

Toutefois, au Manitoba, les terres arables sont constituées pour une part importante de sols argileux lourds. Ces sols se caractérisent par une faible perméabilité, une aération limitée et une forte capacité de rétention de l'eau. Ces propriétés produisent une structure qui, par essence, est compacte et massive. Quelques études récentes donnent à penser que les processus naturels de consolidation du sol jouent un rôle de première importance dans la formation de couches compactes dans la rhizosphère des sols du Manitoba. Les mêmes études démontrent que les méthodes de travail classiques ou celles sans travail du sol influent parfois sur les propriétés physiques des sols, mais que cet effet est limité en grande partie à la couche labourée. À la fin de la saison de croissance, par contre, les processus naturels de compactage peuvent souvent éliminer les différences subtiles apportées par le travail dans cette couche.

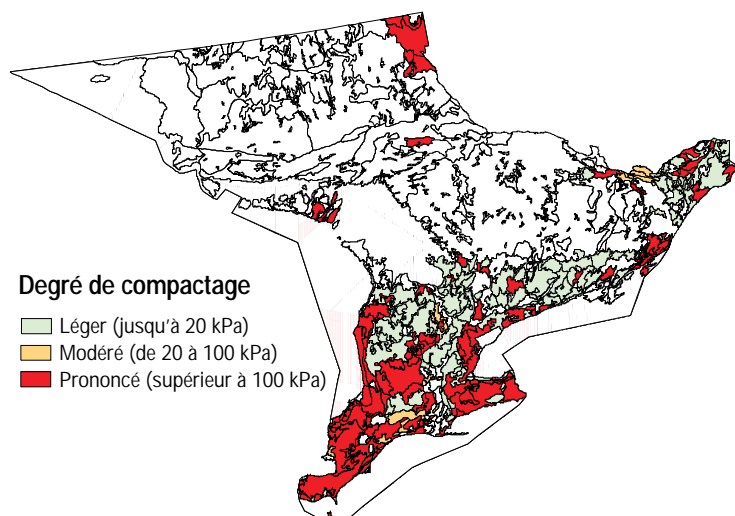
Dans la vallée manitobaine de la rivière Rouge, les sols argileux risquent d'être exposés à une circulation intense alors qu'ils sont très humides, à cause de conditions pluvieuses survenant pendant les saisons de l'ensemencement et de la récolte. À cause de la faible perméabilité de ces sols, les teneurs en humidité dans les couches supérieures sont souvent trop élevées pour entraîner un compactage sensible des couches sous-jacentes. La formation d'ornières risque davantage de causer le tassement du sol dans ces couches.

Lorsque les conditions d'humidité sont suffisantes à l'automne, les cycles annuels de gel et de dégel permettent d'éviter efficacement le compactage attribuable au passage des roues sur les sols argileux. Malgré le haut niveau de stress mécanique parfois observé sur beaucoup de sols, les racines des cultures tendent à utiliser les macropores et les fissures du sol pour atteindre des profondeurs considérables. En conséquence, le compactage des sols par les véhicules dans les Prairies provoque rarement un ralentissement de la croissance et une baisse du rendement des récoltes.

S. Tessier, ministère de l'Agriculture du Manitoba

Degré de compactage des sols agricoles en Ontario

Figure 10-1



Les zones constituées pour plus du tiers de terres agricoles soumises à des systèmes culturaux propices à l'ameublissement du sol ont été superposées aux zones présentant un fort degré de compactage du sol (et donc peu exposées à une compaction ultérieure). Les zones constituées pour plus du cinquième de terres agricoles soumises à des systèmes culturaux présentant un risque de compactage du sol (ou pour plus du tiers, en incluant les terres cultivées en soja) ont été superposées aux zones affichant un degré faible à modéré de compactage du sol (sensibilité

modérée à élevée). Ensemble, ces résultats ont servi à déterminer les zones où l'état de compaction du sol devrait s'améliorer, rester le même ou se détériorer.

Limites

L'indicateur a d'abord été élaboré à l'aide de données provenant du sud de l'Ontario. Il ne peut s'appliquer tel quel, avec la même fiabilité, qu'aux types de sols suivants :

- sols minéraux (dont la teneur en carbone organique est inférieure à 5 %);
- *sols plastiques* (c'est-à-dire, contenant au moins 10 % d'argile);
- sols dont la fraction argileuse est principalement constituée d'illite et de chlorite, excluant ainsi le sud du Québec et certaines régions de l'est de l'Ontario ainsi que plusieurs régions de l'ouest du Canada).

Résultats

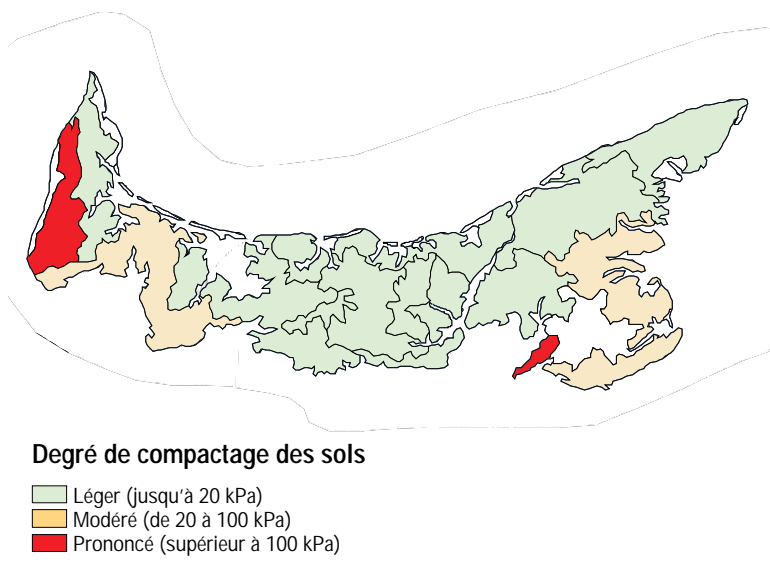
Les résultats les plus intéressants et les plus révélateurs de cette étude ont été obtenus pour :

- le sud de l'Ontario et l'Île-du-Prince-Édouard (où l'agriculture constitue la principale utilisation des terres);
- les couches du sous-sol (sub-superficielles) non cultivées.

La majeure partie de la discussion ainsi que de nombreux résultats parmi les suivants portent sur ces endroits et ces couches de sol.

Degré de compactage des sols agricoles à l'Île-du-Prince-Édouard

Figure 10-2



Les figures 10-1 et 10-2 présentent la répartition des diverses classes de compactage des régions agricoles de l'Ontario et de l'Île-du-Prince-Édouard. Les trois classes représentent également la charge maximale par roue (en kilopascals) à respecter pour éviter une aggravation du compactage. En Ontario, les régions qui présentent le degré de compactage estimé le plus élevé sont celles où la teneur en argile des couches sub-superficielles est élevée.

Au Nouveau-Brunswick, les sols très compacts se trouvent dans la région du cours supérieur de la rivière Saint-Jean et dans certaines régions du sud-est. En Nouvelle-Écosse, ils se trouvent surtout dans la vallée de l'Annapolis, dans la région de Truro et dans certaines zones situées près de la côte du golfe du Saint-Laurent (détroit de Northumberland). Dans l'Île-du-Prince-Édouard, deux régions seulement se caractérisent par un compactage sévère des sols (figure 10-2).

Superficie de terres agricoles où le risque de compactage du sol a augmenté, est demeuré le même ou a diminué entre 1981 et 1996, par province
Tableau 10-2

Province	Superficie de terres agricoles (1 000 ha)							
	Sols sensibles au compactage, soumis à des systèmes culturaux qui causent le compactage				Sols très compacts, soumis à des systèmes culturaux qui réduisent le compactage			
	1981	1991	1996	Variation (%) 1981-1996	1981	1991	1996	Variation (%) 1981-1996
Ontario	192,6	176,8	310,3	61	430,1	366,6	364,5	-15
Nouveau-Brunswick	6,6	5,6	5,5	-16	24,7	19,1	19,5	-21
Nouvelle-Écosse	1,3	1,2	1,8	47	28,8	24,4	23,7	-18
Île-du-Prince-Édouard	12,7	14,8	23	81	5,8	4,9	5,2	-11

Nota : La présence d'un nombre positif dans la première colonne de variation désigne une tendance négative pour l'indicateur. La présence d'un nombre négatif dans la seconde colonne de variation désigne également une tendance négative pour l'indicateur.

Le tableau 10-2 présente, à l'échelle provinciale, les tendances affichées dans les régions où se trouvent des terres agricoles soumises à des systèmes culturaux qui risquent :

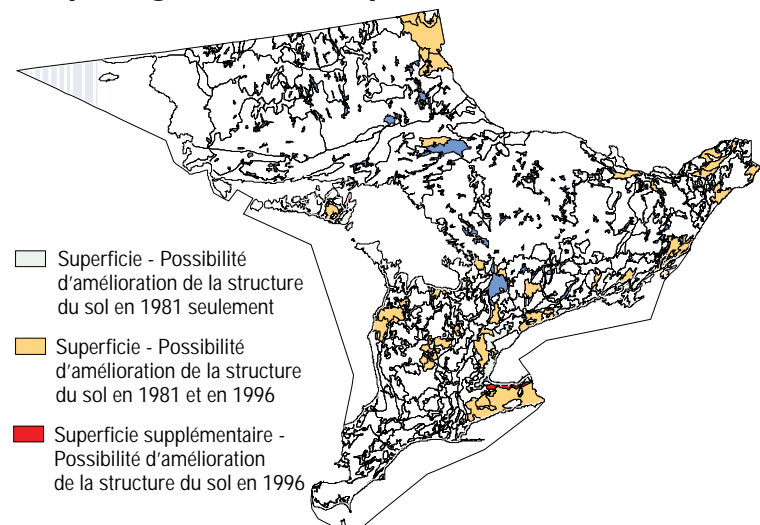
- de contribuer au compactage des sols très sensibles à ce phénomène ou
- d'aider à ameublir des sols très compacts (c'est-à-dire, d'en abaisser la densité apparente).

Les quatre provinces ont laissé voir une baisse relativement importante et uniforme du compactage (de 11 à 21 %) entre 1981 et 1996 dans les secteurs de sols très compacts soumis à des systèmes culturaux capables d'améliorer la structure des sols et d'en réduire la compaction. Il importe toutefois de souligner une augmentation importante du compactage (de 47 à 81 %) dans trois provinces, au cours de la même période, dans les secteurs à sols sensibles qui étaient soumis à des systèmes culturaux souvent associés à la dégradation de la structure des sols et donc, à un compactage plus important. Seul le Nouveau-Brunswick a connu une baisse (16 %) à ce chapitre.

Entre 1981 et 1996, les plupart des régions à sols très compacts du nord et de l'est de l'Ontario ont maintenu des systèmes culturaux propices à une réduction graduelle du compactage (figure 10-3). Les régions à sols très compacts de certains comtés ont également maintenu de tels systèmes culturaux sur plus du tiers des terres agricoles. Toutefois, aucune des régions à sols très compacts de l'extrême sud-ouest de l'Ontario n'a utilisé des systèmes propices à une réduction du compactage sur plus du tiers des terres agricoles au cours de ces 15 années.

Au cours de cette période, beaucoup de régions du sud-ouest et du centre de l'Ontario caractérisées

par un sous-sol vulnérable au compactage (sensibilité modérée à élevée) utilisaient des systèmes culturaux présentant un risque de compactage du sol sur plus du cinquième des terres agricoles (figure 10-4). De faibles superficies ont laissé constater une baisse en deçà du seuil correspondant aux cultures sarclées entre 1981 et 1996, mais une superficie beaucoup plus vaste (surtout dans l'est de l'Ontario) a connu une augmentation de la production du soja (répertoriée séparément pour la première fois lors du recensement de 1996), et l'inclusion de cette culture dans l'analyse a entraîné une hausse importante de la superficie des terres agricoles qu'on jugeait exposées au compactage.

Superficie des terres agricoles de l'Ontario où le sous-sol est très compacté mais où les systèmes de culture peuvent réduire le compactage avec le temps
Figure 10-3


Entre 1981 et 1996, au Nouveau-Brunswick, la plupart des régions à sols très compacts ont maintenu sur au moins le tiers des terres agricoles des systèmes culturaux propices à une réduction du compactage du sol, notamment dans la vallée de la rivière Saint-Jean et dans le sud-est de la province. La répartition des régions exposées à une aggravation du compactage (p. ex., les zones de production de pommes de terre dans la vallée de la Saint-Jean) n'a pas changé au cours de cette

période. En 1996, au Nouveau-Brunswick, la culture de la pomme de terre occupait plus de 93 % de la superficie soumise à des systèmes culturaux propices au compactage du sol.

Toutes les régions à sols très compacts de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard ont maintenu sur au moins un tiers des terres agricoles des systèmes propices à une réduction du compactage du sol entre 1981 et 1996 (la superficie totale des terres soumise à de tels systèmes culturaux a cependant diminué pendant cette période). La proportion des terres exposées à une aggravation du compactage du sol dans ces deux provinces a augmenté d'environ 50 % entre 1981 et 1996, même si la superficie réelle des terres ainsi touchées était relativement petite. En Nouvelle-Écosse, ces régions se limitaient à la vallée de l'Annapolis, tandis que les régions de l'est et du centre de l'Île-du-Prince-Édouard étaient particulièrement touchées. Cette augmentation du risque de compactage du sol dans l'Île-du-Prince-Édouard découlait principalement de l'accroissement des superficies consacrées à la culture de la pomme de terre. En 1996, cette culture occupait dans cette province plus de 96 % des terres soumises à des systèmes culturaux propices au compactage du sol.

Gestion des sols chez un producteur de pommes de terre du Nouveau-Brunswick

Des sols différents, un terrain vallonné et la production des pommes de terre contribuent à faire de l'érosion et du compactage du sol les deux principales préoccupations d'un producteur de Saint-André (N.-B.) qui cultive des pommes de terre, des céréales et des pois sur 210 hectares de terres en pleine propriété et jusqu'à 120 hectares de terres louées.

Les sols de la région sont naturellement compactés (ils sont constitués d'un till glaciaire relativement dense), mais le passage des machines agricoles a aggravé le problème. La culture de la pomme de terre peut exiger plusieurs passages des instruments pour la plantation, les pulvérisations et la récolte. La récolte doit parfois être effectuée sur terrain détrempé, et l'équipement utilisé peut être particulièrement lourd, le chargement de pommes de terre récoltées pouvant atteindre 200 barils. Le passage de la machinerie agricole a créé des couches de sol très denses, appelées *semelles de labour*, qui réduisent l'infiltration de l'eau et les rendements de certains champs. En 1987, on a commencé à utiliser le travail au chisel pour ameublir ces terres et éliminer la semelle de labour qui s'était formée à une profondeur d'environ 20 centimètres. Les rendements ont augmenté jusqu'au double pour la première année qui a suivi ce traitement, mais après huit ans, la situation avait empiré et la semelle de labour se trouvait à une profondeur d'environ 30 centimètres. Le producteur s'est équipé d'une sous-soleuse pour disloquer cette couche de sol compact et a ainsi amélioré la pénétration de l'eau dans ces champs.

On a aménagé sur environ 160 hectares des terrasses et des voies d'eau gazonnées qui contribuent à réduire le ruissellement et l'érosion. L'entretien de ces aménagements demande passablement de temps à l'agriculteur. Il faut périodiquement procéder au dragage des terrasses et des voies d'eau inférieures où les sédiments ont tendance à s'accumuler. On a installé un drain en tuyaux qui permet d'améliorer l'infiltration de l'eau et de réduire le ruissellement et l'érosion sur environ 55 hectares.

La production continue de pommes de terre aggraverait le compactage du sol; l'agriculteur utilise donc une rotation sur deux ans (pommes de terre et céréales ou pommes de terre et pois, avec une culture-abri de seigle d'hiver). De nouvelles terres sont défrichées pour accroître la production, améliorer la rotation et utiliser l'équipement plus efficacement. Sur les nouvelles terres, le producteur aménage des terrasses, des voies d'eau gazonnées et des drains afin de s'adapter à la topographie du terrain et aux types de sol.

*G. Fairchild, J.-L. Daigle et J. Damboise
Centre de conservation des sols et de l'eau de l'est du Canada*

Interprétation

Les régions les plus exposées à une aggravation du compactage du sol sont éparpillées dans tout le sud de l'Ontario (figure 10-4) et dans l'Île-du-Prince-Édouard, mais se limitent à la vallée de l'Annapolis en Nouvelle-Écosse. Ce risque accru a peut-être découlé en partie de la mise au point de variétés de maïs adaptées à une saison de croissance plus courte et plus fraîche, qui a permis d'étendre ce type de production dans l'est du Canada. On observe également une tendance, dans certaines régions, à accroître les superficies consacrées aux cultures spéciales de plus grande valeur comme les pommes de terre et les légumes, qui préfèrent les climats plus frais et les sols à texture plus grossière. L'expansion des régions consacrées à la production intensive des cultures commerciales s'est faite principalement aux dépens des cultures céréalières et fourragères, au cours des 15 dernières années.

Dans le sud-ouest, le centre et l'est de l'Ontario (figure 10-1), il existe des zones très étendues où les sous-sols des terres agricoles sont en majorité exposés au compactage. Si les tendances observées dans certaines de ces régions au cours des 15 dernières années se maintiennent, la proportion des terres agricoles soumises à des systèmes

Le drainage comme moyen de réduire le risque de compactage du sol dans la vallée du Bas-Fraser (Colombie-Britannique)

Le climat maritime doux de la vallée du Bas-Fraser, en Colombie-Britannique, est propice à une grande variété de cultures. Toutefois, les fortes précipitations hivernales rendent le sol très mouillé au printemps, et le passage des instruments aratoires dans de telles conditions peut conduire à un compactage important du sol. Le risque de compactage est élevé pour environ 23 % des sols de la vallée, y compris la totalité des sols argileux mal drainés, des loams argileux et de certains sols loameux sur lesquels le travail du sol a des répercussions considérables.

Les systèmes de drainage qui influent sur la nappe phréatique jouent un rôle de première importance dans la réduction du risque de compactage du sol. Une étude à long terme portant sur le drainage a permis de constater que les sols drainés présentent, entre le 1^{er} janvier et le 31 mars, un total de 85 jours au cours desquels la nappe phréatique est assez profonde pour permettre le travail du sol sans risque indu de compactage et donner un rendement de blé d'hiver de 6,8 tonnes par hectare. Des sols semblables, mais non drainés, ne présentent que 20 jours propices au travail du sol et donnent des rendements de 0,5 tonne par hectare.

Cette étude a démontré que des cultures ensemencées l'automne pour protéger les sols non drainés en hiver ont un taux de survie très bas. Cependant, à défaut d'un couvre-sol d'hiver, la pluie détruit la structure du sol de surface et entraîne le compactage de la couche superficielle et la formation de flaques d'eau. Ces conditions contribuent encore à créer des sols détremés au printemps et à réduire le nombre de jours propices au travail du sol. Ainsi, la présence ou l'absence d'un système de drainage souterrain est un indicateur du risque de compactage du sol dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique.

R. Bertrand, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique

cultureaux propices à la compaction du sol risque de s'accroître sensiblement au cours des cinq prochaines années. Cette tendance pourrait être due à l'agrandissement des superficies consacrées à la culture du maïs-grain et du soja (à mesure qu'on met au point des variétés adaptées aux régions plus froides et à saison de croissance plus courte). On a des raisons particulières de s'inquiéter de la viabilité des pratiques culturales en vigueur à l'Île-du-Prince-Édouard puisqu'il semble que les sous-sols y sont presque partout sensibles, à des degrés divers, au compactage (figure 10-2). Le risque de tassement du sol continuera de s'aggraver au cours des cinq prochaines années si les systèmes culturaux qui contribuent à ce phénomène (p. ex., la culture de la pomme de terre) sont adoptés dans de nouvelles régions.

La répartition des zones où le problème du compactage des sols pourrait s'amenuiser avec le temps n'a pas changé sensiblement dans l'est du Canada au cours des 15 dernières années (figure 10-3). Les caractéristiques des sols très compacts comme le mauvais drainage, un réchauffement lent, la résistance à la pénétration des racines et une mauvaise aération limitent vraisemblablement le choix des types de cultures à celles qui peuvent tolérer de telles conditions (p. ex., les plantes fourragères et à pâturage). Les cultures capables d'améliorer la structure des sols semblent avoir maintenu un rôle prédominant dans les rotations adoptées dans ces régions, mais la baisse générale observée à l'échelle des provinces

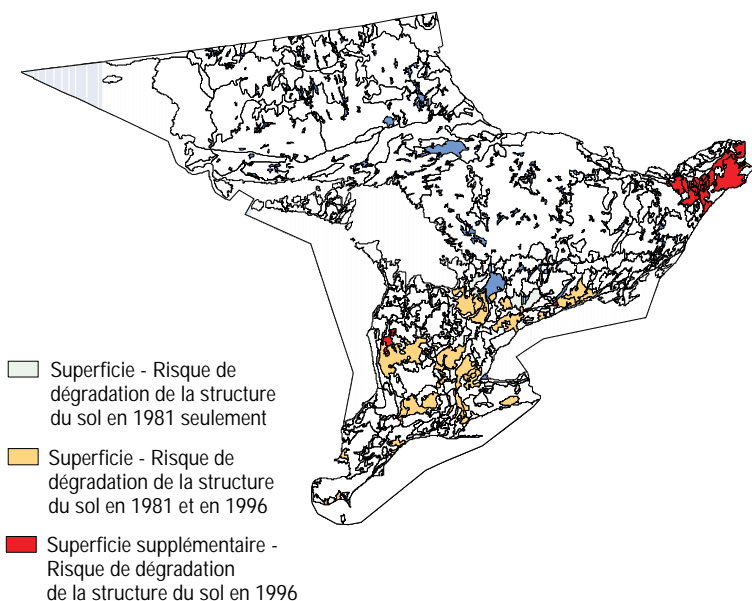
(de 11 à 21 %) des superficies consacrées à ces cultures au cours des 15 dernières années est inquiétante. Par ailleurs, la situation actuelle du sud-ouest de l'Ontario, où les producteurs et les chercheurs ont fait état d'un grave problème de compactage du sol (confirmé par la présente étude), mais où les systèmes de culture propices à une réduction du compactage ne sont utilisés que sur moins du tiers des superficies cultivées, reste une source persistante et importante de préoccupations.

Choix de mesures d'intervention

Une des méthodes éprouvées utilisées au Canada pour réduire la compacité des terres agricoles consiste à utiliser des périodes de rotation plus longues, comprenant la culture d'espèces fourragères à racines profondes pendant au moins deux années consécutives. Dans les régions où on pratique une culture en ligne intensive comme dans le sud-ouest de l'Ontario, cette pratique permettra vraisemblablement d'améliorer les chances de mise en place de systèmes de culture durables. Les pratiques qui augmentent la teneur en matière organique des sols (p. ex., gestion des résidus de culture, épandage de fumier, utilisation de cultures-abris et de culture intercalaire) en améliorent également la structure et réduisent le risque de compactage.

Superficie des terres agricoles de l'Ontario où le sol est sujet au compactage et où les systèmes de culture risquent d'accroître le compactage avec le temps

Figure 10-4



Il existe également d'autres moyens d'éviter le compactage des sols :

- éviter de travailler aux champs lorsque la terre est encore détrempée;
- installer des systèmes de drainage pour éliminer l'excédent d'humidité du sol;
- limiter la charge par essieu et utiliser des pneus basse pression et des instruments à essieux en tandem.

Conclusion

Les renseignements tirés de l'indicateur du risque de compactage du sol présentés dans le présent chapitre sont fondés sur les caractéristiques des sols compilées dans la base de données actuelle des *Pédo-paysages du Canada*. La comparaison du degré de compaction estimé à partir de cette base de données et des valeurs dérivées de bases de données détaillées sur les levés de sols réalisés sur des superficies importantes dans les régions de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick donne à conclure que les données généralisées fondées sur les *Pédo-paysages du Canada* sont adéquates et suffisamment fiables pour réaliser ce type d'analyse.

Les systèmes de travaux du sol n'ont pas été examinés dans la présente étude parce que les données existantes ne portent pas sur une période assez longue pour permettre l'évaluation des changements possibles survenus dans les caractéristiques structurales des sols. À mesure que de nouvelles données deviendront disponibles, les chercheurs pourront mieux évaluer les effets des pratiques culturales sur la structure des sols. On sait par exemple que le travail de conservation a tendance à accroître le degré de compactage tout en influant positivement sur d'autres aspects de la qualité structurale des sols. Les recherches limitées réalisées dans l'est du Canada sur l'efficacité des systèmes à travail profond pour l'ameublissement du sous-sol n'ont pas donné de résultats concluants. Il convient par ailleurs de poursuivre les recherches sur la réaction des récoltes aux opérations de sous-solage et de *défonçage*.

Il serait utile à l'avenir d'actualiser les estimations du degré de compactage des sols pour refléter l'évolution de la densité apparente et de la teneur en carbone organique sous différents systèmes de culture ou de travail du sol. Comme il n'est pas envisageable de procéder à une étude approfondie des changements survenus dans les mesures de la densité apparente à l'échelle provinciale, il est probable que les données issues des bases de données nationales continueront à servir de fondement à l'évaluation des changements futurs apportés aux pratiques agricoles. De nouvelles méthodes pourraient également devenir nécessaires pour prédire l'évolution de la densité apparente et d'autres propriétés importantes des types de sols sous différents systèmes culturaux ou de travail du sol, afin d'évaluer l'état de compactage des sols d'une manière plus dynamique.

Indicateurs connexes

À mesure que la structure des sols se détériore, le risque de compactage du sol augmente, tout comme le risque d'érosion hydrique et le risque d'érosion éolienne. Le risque de compactage du sol augmente également à mesure que la teneur en carbone organique du sol diminue. Plus le tassement s'aggrave, plus la productivité des cultures diminue, ce qui oblige les producteurs à utiliser des volumes d'engrais accrus pour obtenir de meilleurs rendements. Les cultures risquent par ailleurs d'être moins robustes, et donc plus sensibles aux maladies et aux ravageurs, obligeant ainsi les producteurs à utiliser plus de produits antiparasitaires. Le compactage du sol risque donc d'influer sur la gestion des matières nutritives et

Diminution du compactage par des méthodes de travail réduit du sol, en Ontario

Les agriculteurs qui pratiquent la culture avec un travail réduit du sol doivent trouver des moyens d'éviter le compactage du sol sans réduire sensiblement la couche de résidus de culture protectrice ni subir une hausse exagérée des coûts du travail du sol. Pour y parvenir, des producteurs et des chercheurs ontariens ont étudié des systèmes de travail du sol par bandes étroites. Il s'agit de préparer des bandes de sol meuble, exemptes de résidus et idéalement surélevées, tout en laissant le reste du champ recouvert et protégé par les résidus de culture. Ces bandes sont plus sèches, moins denses et plus propices à l'ensemencement du maïs en un seul passage, au printemps.

Des chercheurs de l'Université de Guelph et d'Agriculture et Agroalimentaire Canada étudient divers types d'instruments et des profondeurs de travail différentes pour évaluer les répercussions de l'ameublissement par bandes sur le rendement du maïs. Les instruments de travail par bandes sont équipés pour la plupart d'un couteau unique servant à découper les résidus, d'une dent qui sert à ameublir le sol à des profondeurs variant entre 15 et 45 cm, et de couteaux ou de disques supplémentaires pour confiner le sol ameubli dans le rang travaillé. Les chercheurs examinent également la possibilité de combiner l'épandage d'engrais et le travail par bandes. L'objectif consiste à mettre au point des systèmes culturaux moins coûteux, qui protègent l'environnement et qui donnent des rendements plus élevés tout en offrant des solutions utiles aux problèmes de l'accumulation des résidus de culture et du compactage du sol.



Cet instrument Trans-till^{MC} fait partie d'une gamme d'outils conçus pour réduire le travail du sol tout en réduisant le compactage et en optimisant la croissance du maïs.

G.A Stewart, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario

sur l'apport en produits antiparasitaires. Les sols compacts sont moins perméables à l'eau et ainsi plus exposés au ruissellement. Comme il faut accroître l'apport d'engrais pour favoriser le rendement, le risque de contamination de l'eau par l'azote et le risque de contamination de l'eau par le phosphore augmentent également, tout comme le risque d'émissions d'oxyde nitreux qui influe sur le bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole.

11

Risque de salinisation du sol

R.G. Eilers, W.D. Eilers, et T. Brierley

Portée géographique : provinces des Prairies

Période : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- La salinité du sol correspond à la quantité de sels solubles dans le sol. Une quantité excessive de sel dans la rhizosphère inhibe la croissance des plantes. Une salinité modérée à très élevée réduit les rendements annuels de la plupart des céréales et des oléagineux d'environ 50 %. Il faut un indicateur pour déterminer l'effet de l'utilisation actuelle des terres sur le risque d'augmentation de la salinité des terres cultivées.
- Nous avons mis au point un indicateur pour évaluer le risque de salinisation du sol dans les terres non irriguées des Prairies. L'indicateur est exprimé en fonction de trois catégories de risque : faible, modéré et élevé. Les composantes de l'indicateur sont les suivantes : climat moyen à long terme, caractéristiques des paysages, caractéristiques des sols, facteurs hydrologiques et utilisation des terres. Seule l'utilisation des terres est influencée par l'intervention humaine. L'objectif visé pour cet indicateur est la réduction de la proportion des terres dans les catégories de risque modéré et élevé de salinisation.
- Dans l'ensemble des Prairies, environ 60 % des terres cultivées sont demeurées dans la catégorie de risque faible au cours des trois années de recensement. Environ 3 % des terres cultivées sont passées de la catégorie de risque élevé à la catégorie de risque modéré entre 1981 et 1996, ce qui indique dans l'ensemble une tendance positive pour cet indicateur. La transformation des méthodes agronomiques, notamment l'adoption du travail réduit du sol et la réduction de la superficie en jachère, a sans doute contribué à la diminution graduelle du risque.
- Environ 76 % des terres cultivées de l'Alberta et environ 44 % de celles de la Saskatchewan étaient exposées à un faible risque d'augmentation de la salinité du sol au cours des années de recensement. La proportion des terres cultivées de l'Alberta dont le risque de salinisation était modéré ou élevé a peu changé au cours des années de recensement, mais 4 % des terres cultivées de la Saskatchewan ont sorti de la catégorie de risque élevé en 1991, et la tendance s'est maintenue en 1996. Par contre, au Manitoba, la diminution du risque observée entre 1981 et 1991 s'est renversée entre 1991 et 1996, et une proportion appréciable de terres cultivées est passée de la catégorie de risque faible à la catégorie de risque modéré.
- Les proportions des terres cultivées dans les diverses catégories de risque varient d'une province à l'autre en fonction du degré d'utilisation de la jachère. Cette forme d'utilisation des terres a encore eu tendance à diminuer en Alberta et en Saskatchewan, mais elle a légèrement augmenté au Manitoba en 1996.
- L'indicateur nous fournit un instantané du risque de salinisation du sol, qui reflète les variations annuelles de la température, des marchés, des décisions de gestion à l'échelle locale, ainsi que le moment de l'exécution du recensement et l'utilisation des terres déclarées. Par conséquent, si l'indicateur risque de ne pas refléter les tendances à long terme, il peut être utile pour cibler les régions où l'augmentation de la salinité pourrait poser un problème dans le cadre des pratiques de gestion en vigueur. En outre, l'indicateur montre indirectement dans quelle mesure le secteur agricole adopte les pratiques de conservation du sol.

L'enjeu

La salinité du sol correspond à la quantité de sels solubles dans le sol. Une quantité excessive de sel dans la rhizosphère inhibe la croissance des plantes. Une salinité modérée à très élevée réduit les rendements annuels de la plupart des céréales et des oléagineux d'environ 50 %.

La salinisation, soit l'accumulation de sels dans la rhizosphère, se produit généralement lorsque la quantité d'eau perdue par le sol par *évapotranspiration* dépasse celle provenant de l'infiltration des précipitations. Ce déficit en eau se produit naturellement dans beaucoup de zones agricoles du sud des Prairies. Une évaluation de la salinité en surface réalisée en 1990 dans les Prairies a montré que la plupart des terres cultivées des Prairies (62 %) présentaient une faible salinité (moins de 1 % des terres touchées), 36 % présentaient une salinité modérée (de 1 à 15 % des terres touchées) et 2 % présentaient une salinité élevée (plus de 15 % des terres touchées).

Effets de l'utilisation des terres sur la salinisation

La salinisation est le processus par lequel des sels solubles s'accumulent au niveau de la rhizosphère des sols. À mesure que les sols sont altérés par les intempéries et qu'ils se dégradent, ils laissent s'échapper lentement des sels solubles. Ces sels peuvent alors se dissoudre dans l'eau du sol et être transportés vers des zones du paysage où l'eau s'évapore, ce qui entraîne une concentration des sels à des teneurs qui nuisent à la croissance des plantes.

Une partie des terres agricoles arides des Prairies est retirée de la production et laissée en jachère dans le but de conserver l'humidité du sol. Une terre en jachère est dénuée de couverture végétale, ce qui permet à l'eau de s'infiltrer plus profondément dans le sol. Si la quantité d'eau qui pénètre dans le sol est plus élevée que ce que ce dernier peut retenir, l'excès d'eau peut dissoudre les sels et les déplacer dans le paysage vers des zones où les conditions sont favorables à la concentration par évaporation, ce qui augmente la salinisation dans ces zones. Ainsi, la jachère est considérée comme une utilisation des terres qui favorise la salinisation du sol.

On pense que la gestion des terres visant une utilisation plus efficace de l'eau dans le sol est le facteur le plus important pour réduire la salinisation du sol. En gardant une terre agricole sous une couverture végétale permanente ou en culture continue, on favorise la lutte contre la salinisation en permettant aux plantes de capter une partie de l'eau qui autrement pourrait transporter les sels vers des parties plus sensibles du paysage. Une couverture végétale permanente est associée au plus faible risque de salinisation parce que des plantes sont en place toute l'année. Les terres en jachère sont considérées comme celles qui présentent le risque le plus élevé, et les terres où sont cultivées des plantes annuelles présentent un risque à peu près intermédiaire.

W.D. Eilers, *Agriculture et Agroalimentaire Canada*

Le processus de salinisation est influencé par plusieurs facteurs autres que le déficit en eau, notamment :

- la topographie;
- la teneur en sel du matériau d'origine du sol et de la couche géologique sous-jacente;
- les facteurs hydrologiques (drainage du sol);
- l'utilisation des terres.

Bien que la salinisation du sol soit principalement un phénomène naturel, l'utilisation des terres (notamment les pratiques qui influent sur la gestion du sol et de l'eau) relève de l'intervention humaine. Le recours à la jachère contribue grandement à accroître la salinité du sol (*voir l'encadré sur l'utilisation des terres*). Il faut un indicateur pour déterminer l'effet de l'utilisation des terres, notamment le recours à la jachère, sur le risque d'augmentation de la salinité dans une région particulière.

L'indicateur

Description

Nous avons mis au point un indicateur pour suivre la variation du risque de salinisation du sol dans les terres non irriguées des Prairies en fonction des changements d'utilisation des terres. L'indicateur ne mesure pas la superficie réelle des terres salines, mais le niveau de risque résultant de l'utilisation actuelle des terres agricoles. Par conséquent, il sert à déterminer si les méthodes agronomiques peuvent augmenter la salinité du sol et si le secteur agricole atteint ses objectifs en matière d'agriculture durable, plus particulièrement en ce qui concerne la qualité des sols agricoles à long terme. L'indicateur est exprimé en fonction de trois catégories de risque : faible, modéré et élevé. L'objectif visé pour cet indicateur est la réduction de la proportion des terres dans les catégories de risque modéré et élevé de salinisation.

Méthode de calcul

L'indicateur a été basé sur le calcul d'un indice de risque de salinité. Cet indice a servi à classer les sols en fonction du risque que leur salinité augmente. Les facteurs utilisés pour le calcul étaient les suivants :

- état de la salinité du paysage;
- topographie;
- drainage du sol;
- déficits hydriques climatiques;
- utilisation agricole des terres.

L'état de la salinité a été obtenu à partir de cartes de salinité des sols existantes. Les valeurs pour la topographie et le drainage du sol ont été obtenues des bases de données des cartes existantes de *Pédo-paysages du Canada* pour chaque province des Prairies. Un comité d'experts sur la salinité dans les Prairies a par la suite fixé une valeur de pondération relative pour chaque facteur utilisé dans le calcul de l'indice en fonction de leur influence relative sur la salinité du sol. Les valeurs de l'indice ont ensuite été divisées en trois catégories et utilisées pour générer des cartes de risque pour les Prairies. Le comité d'experts a examiné ces cartes pour savoir dans quelle mesure elles représentent fidèlement le risque relatif de salinisation.

Dans le cadre de la présente analyse, nous avons considéré que les sols, les paysages et les facteurs hydrologiques n'ont pas changé avec le temps. Bien que le déficit hydrique climatologique varie d'une année à l'autre, il y a régulièrement un déficit chaque année. Pour isoler l'incidence de la gestion des terres sur le risque de salinisation du sol, nous avons utilisé le déficit hydrique climatique moyen à long terme attribué à chaque zone de cartographie pour chaque année d'analyse. Par conséquent, l'utilisation agricole des terres, déterminée à partir de chaque recensement, était le seul facteur à changer, et les changements du risque de salinisation du sol ont été attribués aux changements d'utilisation des terres. La pondération du facteur d'utilisation des terres a été fondée sur le rapport entre la proportion des terres en jachère et la proportion des terres sous couverture végétale permanente dans chaque zone de cartographie de chaque province des Prairies. L'information sur les proportions de terres cultivées et de terres en jachère a été tirée des trois rapports du *Recensement de l'agriculture*. Les résultats pour l'indicateur ont été soumis à une comparaison d'une année à l'autre (c.-à-d. 1981-1991, 1981-1996 et 1991-1996).

Limites

Les effets des utilisations non agricoles des terres sur la salinisation du sol ne ressortent pas dans cette analyse à grande échelle. Ces utilisations touchent principalement le facteur de drainage du sol dans l'indice.

La variabilité du climat peut avoir des effets significatifs sur le risque de salinisation. Toutefois, pour isoler l'incidence de l'activité humaine, nous avons utilisé les données moyennes à long terme dans la présente analyse. On pourrait faire une analyse similaire pour isoler le changement du risque dû à la variabilité du climat si l'on disposait

Signes de la salinisation et endroits touchés

La salinisation se produit lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- présence de sels solubles dans le sol;
- nappe phréatique élevée;
- taux d'évaporation élevé (l'eau s'évapore plus rapidement de la surface du sol qu'elle ne s'infiltre dans le sol par les précipitations).

Ces caractéristiques se présentent souvent dans les dépressions et les réseaux de drainage, à la base des collines et dans les zones plates et basses entourées de marécages et de plans d'eau peu profonds. La salinité du sol peut être généralisée dans les zones qui reçoivent des apports d'eau souterraine.

Il est possible de détecter les sols salins avant qu'ils ne deviennent gravement atteints. Les signes précoces de la salinité du sol sont les suivants :

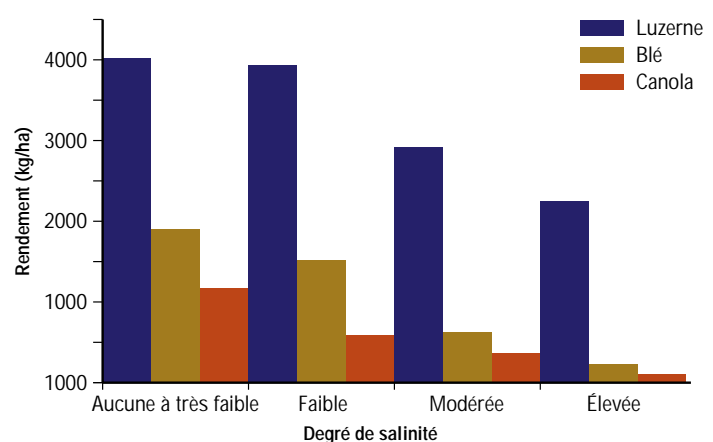
- augmentation subite de la croissance des plantes et obtention de rendements élevés;
- hydratation accrue du sol, pouvant même rendre l'endroit inaccessible;
- croissance de mauvaises herbes tolérant le sel, comme le kochia à balais (*Kochia scoparia*), dans la culture.

À mesure que la teneur en sel du sol s'accroît, les signes deviennent plus évidents :

- croissance irrégulière des cultures dans le champ et manque de vigueur des plants;
- formation d'une croûte blanche en surface;
- motif de sels en forme d'anneau brisé près des plans d'eau;
- taches et stries blanches dans le sol, même à des endroits dénués de croûte en surface;
- croissance de plantes présentant une forte tolérance au sel, comme le passe-pierre (*Salicornia rubra*).

Une concentration élevée de sel dans le sol a le même effet qu'une sécheresse, car il y a moins d'eau disponible pour les racines des plantes. Cet effet provient de la différence de concentration de sel entre la plante et le sol. Selon le degré de salinité, cet effet réduit la capacité du sol de produire des cultures et il abaisse également les rendements.

Effet de la salinité du sol sur le rendement des récoltes



Source: Eilers et al., 1995

de données climatiques suffisantes pour chaque année de recensement.

Cette analyse fournit des instantanés des conditions signalées dans les recensements. Étant donné que l'utilisation des terres change au cours des années, cette série d'instantanés risque de ne pas indiquer les tendances réelles en matière de risque de salinité. Par exemple, la fluctuation rapide des prix des denrées ou des conditions météorologiques, comme une inondation à la fin du printemps, peut être à l'origine de changements inhabituels et non planifiés de l'utilisation des terres dans une zone ou une région particulière. De telles conditions, qui peuvent s'observer au cours de n'importe quelle année, peuvent influencer les résultats de l'analyse.

Résultats

Le tableau 11-1 montre la proportion de terres cultivées à divers niveaux de risque d'accroissement de la salinisation. Dans l'ensemble des Prairies, le risque de salinisation des terres non irriguées a diminué quelque peu entre

1981 et 1991; 3 % des terres cultivées sont passées de la catégorie de risque élevé à la catégorie de risque faible. La même proportion de terres cultivées est passée de la catégorie de risque faible à la catégorie de risque modéré entre 1991 et 1996. Il y a donc eu encore amélioration en 1996 par rapport à 1981, mais cette amélioration a été moins grande qu'en 1991. La tendance pour les Prairies était fortement influencée par le changement des valeurs d'utilisation des terres dans le cas du Manitoba.

En Alberta, le risque d'accroissement de la salinisation a très peu changé entre 1981 et 1996. La plupart des terres cultivées (75 %) sont demeurées à faible risque durant cette période. En Saskatchewan, une proportion relativement élevée des terres cultivées sont demeurées dans les catégories de risque faible (44 %) et de risque modéré (40 %) d'augmentation de la salinité, alors qu'une diminution d'environ 4 % a été enregistrée dans la catégorie de risque élevé entre 1981 et 1996. Au Manitoba, le risque a considérablement diminué entre 1981 et 1991, avec une augmentation marquée de la proportion de terres cultivées dans la catégorie de risque faible et une diminution des

Risque de salinisation du sol dans les terres cultivées des Prairies de 1981 à 1996

Tableau 11-1

Province	Proportion (%) des terres cultivées dans les différentes catégories de risque								
	Risque faible			Risque modéré			Risque élevé		
	1981	1991	1996	1981	1991	1996	1981	1991	1996
Alberta	75	78	76	21	18	20	4	4	4
Saskatchewan	43	45	44	39	41	42	18	14	14
Manitoba	50	58	42	28	25	37	22	17	21
Prairies	56	59	56	30	30	33	14	11	11

Variation du risque de salinisation du sol entre les années de recensement

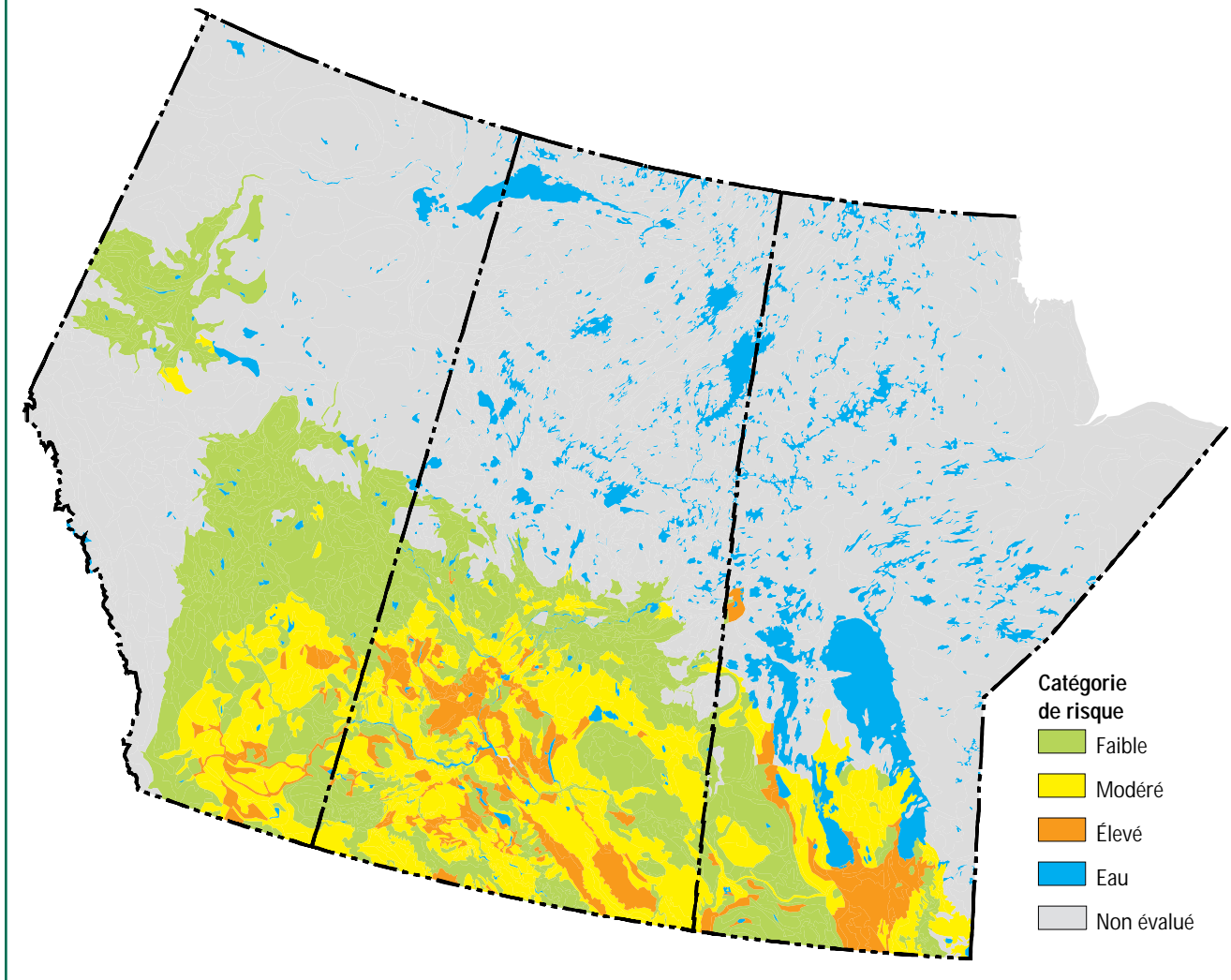
Tableau 11-2

Province	Variation du risque (%)								
	Risque faible			Risque modéré			Risque élevé		
	1981-91	1981-96	1991-96	1981-91	1981-96	1991-96	1981-91	1981-96	1991-96
Alberta	3	1	-2	-3	-1	-2	—	—	—
Saskatchewan	2	1	-1	-2	3	1	-4	-4	—
Manitoba	8	-8	-16	-3	9	12	-5	-1	4
Prairies	3	—	-3	—	3	3	-3	-3	—

Nota : Un nombre positif indique que cette proportion des terres cultivées a augmenté, un nombre négatif indique que la proportion a diminué et un tiret indique qu'il n'y a pas eu de changement significatif.

Figure 11-1

Risque de salinisation du sol dans les terres cultivées des Prairies dans le cadre des méthodes de gestion en vigueur en 1996



proportions dans les catégories de risque modéré et élevé. Toutefois, la situation s’est renversée entre 1991 et 1996, de sorte que l’augmentation marquée de la proportion de terres cultivées dans la catégorie de risque modéré entre 1981 et 1996 provient principalement de terres où le risque est passé de faible à modéré (8 %) et d’une petite proportion seulement de terres (1 %) où le risque est passé d’élevé à modéré.

Dans chaque province des Prairies, la proportion de terres cultivées dans la catégorie de risque faible a augmenté entre 1981 et 1991 et a diminué entre 1991 et 1996, et de façon fort remarquable au Manitoba. Dans cette province, la proportion des terres dans la catégorie de risque modéré a augmenté plus rapidement que dans les autres provinces. Le tableau 11-2 présente ces observations.

La figure 11-1 montre la distribution des terres agricoles dans les diverses catégories de risque dans les Prairies en 1996. Le profil varie généralement en fonction de la zone de sol, la catégorie de risque la plus faible correspondant à la zone de sol noir, plus humide. Le Manitoba fait exception : l’absence de relief et le piètre drainage des pédo-paysages exposent la partie centrale de la province à un risque de salinisation du sol essentiellement plus élevé.

Interprétation

Les valeurs du tableau 11-1 n’indiquent pas une réelle augmentation ou diminution des terres classées comme salines, mais plutôt la variation du risque auquel ces terres sont exposées dans le cadre des méthodes

Surveillance de la salinité à des sites repères

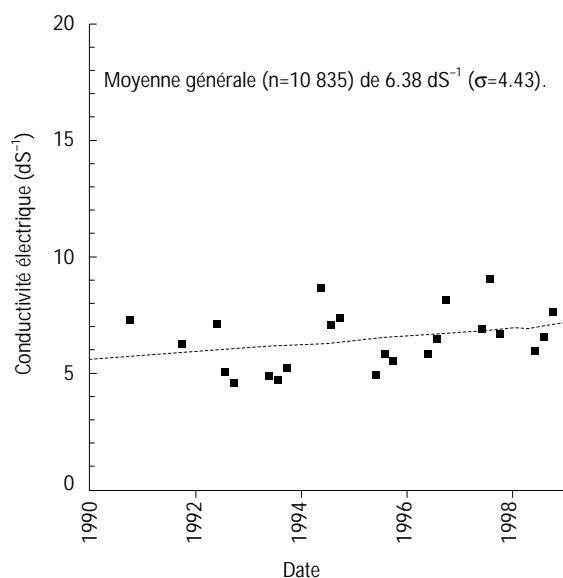
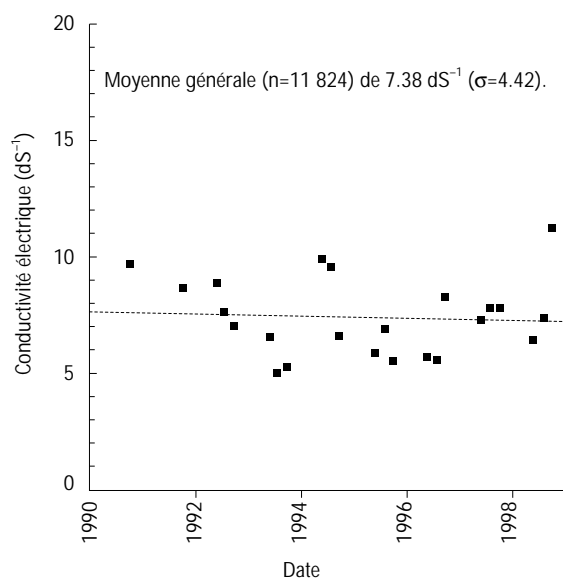
En 1990, l'équipe de recherche pédologique d'Agriculture et Agroalimentaire Canada dans la région des Prairies a établi une série de sites repères dans cette région pour surveiller la dynamique de la salinité des sols et pour observer les tendances relatives à l'étendue et à l'ampleur de la salinité des sols. Un site a été établi près de Warren (Manitoba) dans une zone touchée par la salinité où il existait des sédiments argileux lacustres provenant du lac glaciaire Agassiz.

Le site est constitué de deux parcelles, chacune mesurant environ 100 mètres sur 450 mètres. Une parcelle a été cultivée continuellement avec des plantes annuelles, sans jachère. Le travail du sol a été effectué de manière classique, avec trois à quatre passages d'un cultivateur en profondeur, d'une herse et d'un pulvérisateur à disques. L'autre parcelle est située immédiatement à côté de la première, mais de l'autre côté de la route. Elle a été ensemencée en luzerne et en graminées et n'a pas été cultivée depuis 1984.

Les deux sites ont fait l'objet d'une surveillance trois fois par année à l'aide d'un appareil à induction électromagnétique qui mesure la salinité dans le champ. Le degré de salinité du sol fluctue énormément au cours d'une saison, principalement à cause des variations de la température. Malgré cette variabilité saisonnière, la tendance de la teneur moyenne du sol en sel dans les 60 premiers centimètres de la rhizosphère dans l'ensemble de la parcelle sous couverture végétale permanente semble s'être stabilisée au cours des huit dernières années à environ 7 décisiemens par mètre (dS/m, unité de mesure de la conductivité électrique du sol, qui indique la salinité du sol). Par contre, la teneur moyenne en sel de la parcelle cultivée avec des plantes annuelles a graduellement et régulièrement augmenté à un taux d'environ 0,14 dS/m par année au cours des huit dernières années (voir les graphiques ci-dessous). Si l'on avait inclut la jachère, le taux d'augmentation aurait probablement été plus élevé. Cette étude indique qu'une utilisation particulière des terres durant de longues périodes peut influencer sur la salinité du sol dans les terres non irriguées, à des endroits vulnérables de paysages des Prairies particulièrement sensibles.

Étant donné les fluctuations saisonnières du niveau de salinité, des différences entre deux points consécutifs sur les graphiques peuvent être plus grandes que le changement enregistré entre 1990 et 1998. En raison de cette caractéristique de la salinité, on peut difficilement dégager les tendances avec une certaine certitude lorsqu'on ne prélève que quelques échantillons au cours d'une courte période. Par conséquent, une surveillance à long terme est essentielle pour obtenir un tableau exact des tendances en matière de salinité.

Salinité du sol en fonction du temps avec travail classique du sol ou couverture végétale permanente, au Manitoba



R.G. Eilers, Agriculture et Agroalimentaire Canada

agronomiques en vigueur à ce moment-là. Ces valeurs sont trop peu nombreuses pour indiquer une forte tendance vers la salinisation. Elles reflètent plutôt le niveau de risque de salinisation dans le cadre des méthodes agronomiques utilisées. Les valeurs positives dans le tableau 11-2 pour les changements dans la catégorie de risque faible reflètent un changement souhaitable, tout comme les valeurs négatives pour les changements dans les catégories de risque modéré et élevé.

Au Manitoba, on observe des changements plus importants dans la proportion de terres cultivées dans les catégories de risque modéré et élevé d'augmentation de la salinisation, comparative-ment aux autres provinces des Prairies. Cette situation reflète la tendance générale à la diminution des terres en jachère signalée par chaque province. La Saskatchewan et l'Alberta continuent de présenter une tendance à la baisse de cette utilisation des terres. Le Manitoba a probablement atteint la limite en ce qui a trait à la tendance annuelle à la baisse, et les variations annuelles pourraient être à la hausse ou à la baisse, selon les conditions météorologiques locales et le type de gestion. Au Manitoba, le risque a augmenté dans les régions du Sud-Est, des lacs et de l'ouest des lacs. La proportion de terres salines dans les régions du Sud-Est et des lacs est très faible en fait. Toutes ces régions sont planes, le sol est constitué d'argile lourde et l'eau s'y accumule très souvent au printemps. Ces caractéristiques peuvent avoir contribué à leur inclusion comme terres en jachère en 1996. Toutefois, il y a probablement plusieurs raisons pour indiquer que des terres sont en jachère au cours d'une année donnée dans toutes les provinces, notamment :

- changement des cultures en rotation;
- problèmes de mauvaises herbes au cours des années précédentes;
- basses températures à la fin du printemps;
- excès d'humidité dû à des inondations;
- récoltes à la fin de l'automne qui empêchent la préparation de la terre pour l'ensemencement au printemps.

De nombreux événements imprévisibles peuvent changer significativement le type de cultures ensemencées et l'ampleur de la récolte au cours d'une année. Par exemple, le froid et les pluies peuvent retarder l'ensemencement au printemps, de sorte que la date admissible pour l'assurance-récolte est dépassée. Ainsi, la terre peut être laissée en jachère ou peut être ensemencée plus tard en une céréale qui sera récoltée comme fourrage,

ce qui se traduit par une saison de récolte très courte du point de vue de la consommation d'eau. Les variations que connaissent les marchés et les prix des denrées peuvent influencer le choix des cultures utilisées et l'ampleur de la récolte d'une année à l'autre, et certainement d'un recensement à l'autre.

L'expansion des cultures spéciales destinées à être transformées localement peut modifier considérablement la consommation annuelle et saisonnière d'eau dans le sol. Par exemple, dans les Prairies, une augmentation importante des cultures à cycle court, comme les haricots et les lentilles, le canola et tout particulièrement la pomme de terre, dans les Prairies, peut modifier le risque de salinisation de certains paysages. La culture de la pomme de terre, qui repose sur un travail du sol en profondeur et qui laisse peu de résidus, laisse la terre exposée pendant une bonne partie de la saison, au cours de laquelle des précipitations en excès peuvent s'ajouter aux nappes phréatiques locales. Ce changement des conditions hydriques peut se traduire par une modification du risque de salinisation du sol dans les zones périphériques et adjacentes.

La présente analyse est basée sur l'influence probable de l'utilisation des terres sur le risque de modification de l'état de salinité à l'échelle du paysage. En fait, la salinité varie d'un endroit à l'autre dans le champ. Les processus à l'origine de la salinisation sont lents et font appel à de nombreux facteurs qui doivent être réunis dans certaines conditions physiques et climatiques. Nos données montrent que le risque de salinisation a changé, mais que la proportion des terres salines a probablement peu changé au cours de la période d'étude. Les recherches en cours qui ont trait à la surveillance de la variation du degré de salinité à des sites repères dans les Prairies montrent que le degré de salinité peut varier davantage au cours d'une saison que d'une année à l'autre (*voir l'encadré*).

Dans la présente analyse, nous avons classé les régions en fonction du risque relatif d'accroissement de la salinité. Cette information pourrait être utilisée par les spécialistes de la conservation des sols, le personnel de vulgarisation, les organisations de conservation locales et les groupes de producteurs à des fins de planification de la conservation des sols, de développement de programmes et de transfert de technologies.

Choix de mesures d'intervention

La seule solution pratique dont disposent les producteurs pour réduire le risque de salinisation du sol consiste à modifier l'utilisation de leurs terres, et donc leur gestion du sol et de l'eau. Les programmes de diagnostic et l'éducation permettront de sensibiliser davantage les producteurs et de leur faire mieux comprendre les causes de la salinisation et de déterminer les mesures qu'ils peuvent prendre.

Avant les années 1990, les changements dans l'utilisation des terres aux sols salins étaient largement influencés par le climat économique et politique à court terme, plutôt que par des efforts délibérés et à long terme pour conserver la qualité du sol et résoudre des problèmes environnementaux. Cette attitude peut être en train de changer. On accepte davantage de tenir compte de valeurs non liées à l'agriculture pour certains de nos paysages les plus sensibles ou pour des parties de ces paysages. Des zones salines ou à risque élevé de salinisation dans le cadre d'une utilisation agricole peuvent avoir une valeur importante pour la diversité de l'habitat naturel et de l'environnement.

Les pratiques de gestion des terres et de l'eau qui peuvent aider les producteurs à réduire le risque de salinisation des terres non irriguées sont les suivantes :

- augmenter les zones de culture avec travail réduit du sol ou sans travail du sol;
- augmenter les zones de pâturage, les zones cultivées en fourrages et celles plantées d'arbres;
- réduire les zones en jachère;
- inclure des cultures tolérant davantage le sel dans les rotations;
- utiliser plus efficacement les intrants, comme les engrais minéraux et le fumier;
- utiliser de nouvelles technologies, comme celles de l'agriculture de précision;
- assurer un drainage adéquat en surface dans les zones temporairement inondées;
- installer des bandes interceptrices de cultures fourragères ou un système de drainage souterrain aux endroits stratégiques.

Il faut également s'efforcer de sensibiliser davantage les producteurs à l'augmentation de la salinité des sols par suite de la construction d'infrastructures comme des routes, des tranchées,

des canaux, des drains, des étangs et des réservoirs de stockage. Ces structures sont conçues pour contenir ou acheminer l'eau, ou encore pour en restreindre le mouvement, et elles ont donc un effet sur les conditions hydriques et géologiques locales. Toutefois, ces structures présentent souvent des fuites ou suintent et elles provoquent la salinisation de terres agricoles voisines. On observe souvent ces problèmes des années seulement après la construction de ces structures et après que la productivité du sol en a déjà beaucoup souffert. Il faut trouver des solutions au moment de la construction pour prévenir ce type de salinisation du sol.

Conclusion

L'utilisation agricole des terres modifie le risque de salinisation du sol dans certaines régions et certains paysages des Prairies. Cet effet varie d'une année à l'autre, et donc d'un recensement à l'autre. La salinité change relativement lentement en réalité, comparativement à l'utilisation des terres, aussi n'est-il pas facile d'observer les répercussions de changements d'utilisation des terres sur une grande échelle.

La présente analyse nous fournit toutefois un moyen de cibler la gestion. Certains paysages sont beaucoup plus sensibles que d'autres aux changements d'utilisation des terres et à la salinisation du sol. Par exemple, certains paysages plats sont plus susceptibles de présenter une augmentation des superficies touchées par le sel, alors que d'autres paysages plus accidentés sont davantage sujets à une aggravation de la salinité existante. Les sols, les facteurs géologiques et topographiques et l'aridité sont les principaux facteurs qui interviennent dans ces cas.

Les perspectives à long terme quant au changement d'utilisation des terres en vue de réduire le risque de salinisation du sol des terres non irriguées sont assez positives. La sensibilisation accrue des producteurs et l'utilisation croissante de techniques de pointe pour la gestion des terres agricoles contribuent à réduire le risque de salinisation. À l'heure actuelle, l'agriculture de précision est centrée sur des intrants variables, mais elle peut s'adapter de façon à tenir compte des exigences de gestion d'autres variables, notamment celles liées à la lutte contre la salinisation du sol des terres non irriguées.

L'analyse régionale périodique, comme celle dont il est ici question, est un outil de surveillance utile. L'indice de risque de salinisation, associé

aux activités actuelles de surveillance et de recherche dans des sites salins, nous aide à déterminer dans quelle mesure le secteur agricole s'efforce de protéger et de soutenir la capacité de production des sols des Prairies.

Indicateurs connexes

Cet indicateur a trait à la qualité du sol, tout comme le risque d'érosion hydrique, le risque d'érosion éolienne, le risque d'érosion attribuable au travail du sol, le carbone organique du sol et le risque de compactage du sol. Le risque de salinisation est principalement lié à la gestion de l'eau, comme l'est le risque d'érosion hydrique. Comme le risque d'érosion éolienne, le risque de salinisation du sol s'applique principalement aux provinces des Prairies. Des terres très salines impropres à l'agriculture fournissent un habitat de choix pour la faune, ce qui augmente la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles.

D

La qualité de l'eau

D La qualité de l'eau

Le cycle de l'eau passe par différents stades ou types d'utilisation sur terre, puis l'eau retourne aux océans d'où elle s'évapore de nouveau dans l'atmosphère. Quand ce cycle est à l'état d'équilibre, l'eau qui provient de l'une des utilisations est suffisante en quantité et en qualité pour permettre l'utilisation suivante. Chaque utilisation doit répondre à un certain nombre de caractéristiques liées à la qualité de l'eau, sinon on observe des effets indésirables comme la dégradation de l'environnement. Quand l'eau est contaminée, elle est impropre à certaines utilisations parce que ses caractéristiques chimiques, physiques ou biologiques sont altérées.

La qualité de l'eau est un des principaux problèmes environnementaux au Canada. Au cours des trente dernières années, la production agricole s'est intensifiée au pays, et certaines méthodes agronomiques ont contribué à dégrader la qualité de l'eau par l'apport de sédiments, d'éléments nutritifs destinés aux cultures, de pesticides et d'agents pathogènes (des bactéries par exemple). L'apport d'éléments nutritifs est généralement considéré comme l'effet le plus grave de l'agriculture sur la qualité de l'eau, et les deux éléments nutritifs les plus nuisibles à cet égard sont l'azote et le phosphore.

L'azote, élément nutritif essentiel aux cultures, s'ajoute principalement au sol par la décomposition de la matière organique naturelle (déchets végétaux et animaux), la fixation d'azote atmosphérique par certains organismes (p. ex. les légumineuses) et l'épandage de fumier et d'engrais minéraux. L'azote peut être assimilé par les cultures quand il est soluble dans l'eau, notamment sous forme de nitrates. Comme ils sont solubles, les nitrates qui ne sont pas absorbés par les cultures peuvent être entraînés par l'eau sous la rhizosphère (zone de la couche arable occupée par les racines) et jusque dans les aquifères. On retrouve des nitrates à l'état naturel dans toutes les eaux souterraines, mais l'activité agricole peut contribuer à en accroître les concentrations. En beaucoup d'endroits au Canada, les aquifères constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable et en eau servant à d'autres activités humaines. Les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines peuvent atteindre des niveaux dangereux pour les humains et les animaux. Même si les nitrates eux-mêmes sont relativement inoffensifs, ils peuvent se transformer en nitrites dans le système digestif des jeunes enfants et des ruminants, comme les vaches et les moutons, auquel cas ils deviennent toxiques.

Le phosphore, qui est également un élément nutritif essentiel aux cultures, est ajouté au sol principalement par l'épandage du fumier et des engrais minéraux. Il peut se dissoudre dans l'eau ou demeurer sous forme de particules qui adhèrent aux particules de sol. Il peut quitter les terres agricoles dissous dans l'eau de ruissellement ou fixé aux particules de sol qui sont emportées par l'érosion. Comme l'érosion touche les particules les plus fines qui se trouvent à la surface du sol et auxquelles le phosphore est fixé, les sédiments qui atteignent les eaux de surface sont habituellement plus riches en phosphore que le sol d'où ils proviennent. Les quantités de phosphore provenant des terres agricoles peuvent faire augmenter les

concentrations de cette substance dans les eaux de surface au point d'entraîner leur eutrophisation. Il se produit alors une prolifération d'algues et d'autres plantes aquatiques qui a pour effet d'appauvrir l'eau en oxygène et de modifier son pH (acidité). L'eutrophisation réduit la qualité des eaux de surface du point de vue écologique et économique en entraînant les conséquences suivantes :

- perte de diversité des espèces de poissons et autres espèces aquatiques;
- dégradation de la qualité des sources d'eau potable;
- prolifération d'algues et d'herbes pouvant nuire à la pratique des loisirs aquatiques comme la baignade et la navigation de plaisance.

Par ailleurs les eaux souterraines et les eaux de ruissellement chargées de nitrates peuvent atteindre les eaux de surface et contribuer à leur eutrophisation, mais le phosphore est habituellement

l'élément nutritif déterminant. Dans certains plans d'eau de l'intérieur, les fortes concentrations de phosphore favorisent la croissance d'algues bleu-vert (cyanobactéries) qui ont un effet toxique sur les êtres humains et les animaux. Ainsi certaines personnes qui avaient consommé des coquillages ont été victimes d'intoxication aiguë causée par une prolifération d'algues attribuable à la présence de nitrates d'origine agricole dans les eaux du littoral atlantique.

Deux chapitres de la présente section traitent du risque de contamination de l'eau sous l'effet de l'activité agricole. Les chapitres 12 et 13 portent respectivement sur le risque de contamination de l'eau par l'azote et par le phosphore. Les travaux à venir sur les indicateurs pourraient comporter une étude du risque de sédimentation et de contamination sous l'effet des pesticides et des agents pathogènes.

12 Risque de contamination de l'eau par l'azote

K.B. MacDonald

Portée géographique : provinces

Période : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- L'azote est un élément essentiel qui devient assimilable par les cultures sous une forme soluble, notamment sous forme de nitrates. Les nitrates peuvent se retrouver par lixiviation dans les eaux souterraines, une source importante d'eau potable, où ils peuvent atteindre des concentrations dangereuses pour les humains. Les nitrates peuvent également pénétrer dans les eaux de surface et contribuer à la surcharge en éléments nutritifs et à une éventuelle eutrophisation.
- Nous avons mis au point un indicateur pour évaluer le risque de contamination de l'eau par l'azote (N) provenant des terres agricoles en nous fondant sur la limite de sécurité qui figure dans les *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*. Pour l'eau potable, la limite d'azote sous forme de nitrates est fixée à 10 milligrammes par litre d'eau. Nous avons calculé l'indicateur en divisant la quantité d'azote pouvant provenir des terres agricoles (azote résiduel) par la quantité d'eau en excès. L'objectif visé est que le risque de contamination de l'eau par l'azote soit faible ou nul pour l'ensemble des terres agricoles du Canada.
- Comme l'eau en excès n'existe que dans les régions humides du Canada, nous avons calculé l'indicateur uniquement pour les zones agricoles de la Colombie-Britannique, de l'Ontario, du Québec et des provinces de l'Atlantique. Le risque a été exprimé en fonction de trois catégories : faible, intermédiaire et élevé. Dans les régions exemptes d'eau en excès (c'est-à-dire 90 % des terres agricoles au Canada), la contamination de l'eau par l'azote dans le cadre des méthodes agronomiques actuelles est liée à des événements bien précis, comme des orages ou l'accumulation d'eau dans les sols en jachère, ou à la production végétale ou animale intensive.
- Dans la région agricole humide de la Colombie-Britannique, environ 70 % des terres agricoles se retrouvaient dans la catégorie à risque élevé. Des mesures sont prises pour corriger la situation, ce qui explique probablement pourquoi la Colombie-Britannique est la province dont la plus faible proportion de ses terres agricoles (57 %) est dans la catégorie de risque croissant.
- Dans le centre du Canada, l'Ontario est la province dont la proportion (17 %) des terres agricoles présente le risque le plus élevé de contamination de l'eau par l'azote. Entre 1981 et 1996, la teneur de l'eau en azote estimée a augmenté d'au moins 1 mg/L sur 68 % des terres agricoles de l'Ontario. Les régions à risque élevé étaient le sud-ouest de l'Ontario, la zone entourant le lac Simcoe et le bassin hydrographique de la rivière South Nation. Au Québec, 6 % des terres agricoles, qui sont principalement situées dans la région des basses terres du Saint-Laurent et dans la région au sud de la ville de Québec, étaient dans la catégorie à risque élevé. Entre 1981 et 1996, la teneur de l'eau en azote estimée a augmenté d'au moins 1 mg/L sur la plupart (77 %) des terres agricoles du Québec.
- Dans les provinces de l'Atlantique, plus de 80 % des terres agricoles étaient à faible risque de contamination de l'eau par l'azote en 1996, mais la teneur en azote estimée a augmenté d'au moins 1 mg/L sur environ 60 % des terres agricoles entre 1981 et 1996.
- L'indicateur est soumis aux limites des données, mais il est quand même utile pour établir des comparaisons entre les régions; en effet, il souligne les zones où il serait recommandable de faire des tests sur le terrain et il nous indique d'avance quelles régions peuvent être confrontées à un risque plus élevé de contamination de l'eau par l'azote si les méthodes agronomiques ne sont pas modifiées adéquatement pour réduire ce risque.

L'enjeu

La contamination de l'eau par l'azote provenant des terres agricoles suscite le plus de préoccupations dans les régions où l'on pratique l'agriculture intensive et où le sol est excessivement humide. Dans ces conditions, on ajoute souvent au sol des quantités élevées d'azote (qui se transforme en nitrates, sa forme soluble) pour maintenir une production optimale, et l'eau présente dans les terres agricoles a fortement tendance à migrer dans les eaux avoisinantes.

Comme la demande mondiale d'aliments et de fibres pousse les agriculteurs à augmenter leur production, la tendance vers une intensification croissante de l'agriculture dans ces régions humides du Canada se poursuivra. Le risque de contamination de l'eau par l'azote devient donc une préoccupation croissante. Il faut un indicateur pour évaluer ce risque dans les régions sensibles du pays et pour en surveiller l'évolution avec le temps.

L'indicateur

Description

Nous avons mis au point un indicateur pour évaluer le risque de contamination de l'eau par l'azote provenant des terres agricoles. La capacité de l'azote d'origine agricole de contaminer l'eau sous forme de nitrates est liée directement à la perte d'eau des terres agricoles, soit par ruissellement, soit par lixiviation dans les eaux souterraines. Par conséquent, l'indicateur est basé sur des estimations de la concentration d'azote sous forme de nitrates qui peut migrer hors des terres agricoles. Le niveau de risque associé à diverses concentrations est basé sur la limite de sécurité de l'azote sous forme de nitrates dans l'eau potable (10 milligrammes par litre) qui figure dans les *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*. L'objectif visé pour le secteur agricole est de veiller à ce que l'activité agricole ne réduise pas de façon importante la qualité de l'eau des terres agricoles qui se retrouve dans les eaux souterraines et de surface.

Enquête sur les eaux souterraines en Ontario

En 1991 et en 1992, une enquête a été réalisée sur les puits d'eau potable des fermes en Ontario. L'objectif de l'enquête était de déterminer la qualité et l'innocuité de l'eau potable pour les familles agricoles et de déterminer l'effet des méthodes agronomiques sur la qualité de l'eau souterraine à l'échelle provinciale.

Quatre puits de ferme ont été choisis dans chaque canton dans lequel plus de 50 % de la superficie des terres servait à la production agricole. Ailleurs, on a échantillonné habituellement un puits par canton. Chaque ménage participant a rempli un questionnaire sur la construction du puits, la distance de sources de contamination éventuelle (lits et réservoirs de fosse septique suintants, parcs d'engraissement ou d'exercice et fosses à fumier), l'utilisation de fumier et d'engrais, le système de récolte, l'utilisation de pesticides et l'entreposage de pétrole.

Environ 40 % des 1 292 puits de ferme vérifiés renfermaient au moins un des contaminants cibles. Des concentrations d'azote sous forme de nitrate supérieures à la limite de sécurité pour l'eau potable (10 milligrammes par litre) ont été mesurées dans 14 % des puits, et des bactéries associées à de l'azote sous forme de nitrates ont été trouvées dans 7 % des puits. Les résultats de l'enquête sur la contamination par les nitrates n'étaient pas significativement différents de ceux signalés lors d'une enquête sur les puits en Ontario réalisée entre 1950 et 1954, mais la fréquence des bactéries a presque doublé depuis l'enquête précédente.

M. Goss, Université de Guelph

Méthode de calcul

On détermine la concentration d'azote qui peut migrer hors des terres agricoles en divisant la quantité d'azote par la quantité d'eau disponible pour diluer cet azote (eau en excès). La quantité d'azote qui peut quitter les terres agricoles, appelée azote résiduel, a été calculée comme il a été décrit ailleurs dans le présent rapport pour l'indicateur de l'azote résiduel. Comme on l'a souligné dans ce chapitre, les valeurs d'azote résiduel sont directement reliées à la production végétale et nous fournissent une bonne estimation des charges en azote pour des utilisations moyennes des terres. Elles comprennent l'apport d'azote du fumier, mais les résultats ont été présentés sous forme de moyennes qui proviennent de superficies habituellement trop importantes pour montrer les répercussions de zones localisées de production animale intensive, où les valeurs d'azote du fumier risquent d'être beaucoup plus élevées.

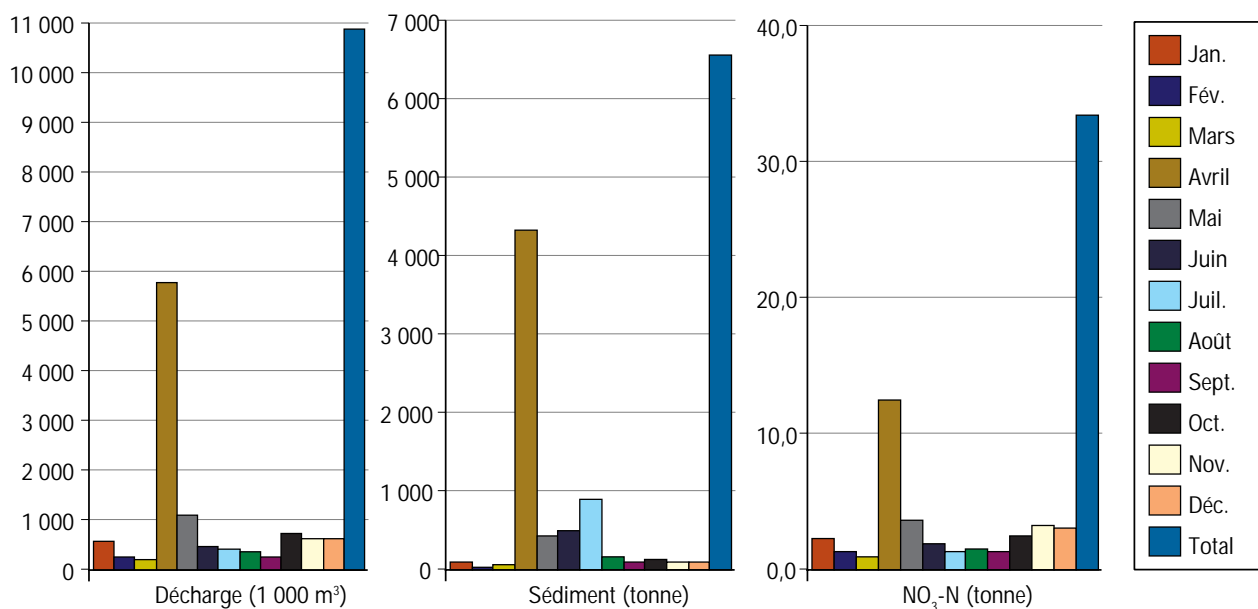
Nous avons calculé la quantité d'eau qui peut quitter les terres agricoles grâce à un bilan de l'eau obtenu à partir des moyennes des précipitations sur 30 ans (apport d'eau) et du potentiel d'évapotranspiration (sortie d'eau). Nous avons utilisé la différence entre ces deux valeurs pour estimer l'*excès d'eau* ou le *déficit en eau*. Nous n'avons retenu que les régions où il y avait excès d'eau pour calculer l'indicateur. Ces régions sont situées dans les secteurs agricoles de la Colombie-Britannique, de l'Ontario, du Québec et des provinces de l'Atlantique.

Pertes de nitrates dans le cadre de la production de pommes de terre au Nouveau-Brunswick

La contamination de l'eau de surface et de l'eau souterraine par les nitrates est une préoccupation environnementale importante pour les producteurs de pommes de terre des provinces de l'Atlantique. On cultive souvent la pomme de terre sur des terres en pente qui sont sujettes à l'érosion et qui exigent des apports d'éléments nutritifs assez élevés. Ces conditions de production, auxquelles s'ajoute le climat maritime humide de cette région, résultent souvent en une érosion et une perte d'éléments nutritifs importantes des terres agricoles.

Un programme de surveillance dans le bassin hydrographique du ruisseau Black, lequel alimente une région de production intensive de pommes de terre au Nouveau-Brunswick, a pour but de surveiller la qualité de l'eau souterraine et le mouvement des sédiments et des éléments nutritifs dans les eaux de surface du bassin versant. Le graphique qui suit présente les valeurs cumulatives d'écoulement de l'eau de surface et des sédiments qui l'accompagnent, ainsi que les concentrations d'azote sous forme de nitrates, entre 1992 et 1994. Près de la moitié des eaux sont déversées chaque année durant la crue nivale en avril. Les charges annuelles de nitrates représentent environ 6 % de la quantité d'azote appliquée sous forme d'engrais minéral. Les concentrations d'azote sous forme de nitrates dans les eaux de ruissellement variaient régulièrement entre 2 et 9 milligrammes par litre, et elles ont dépassé deux fois la limite de sécurité pour l'eau potable (10 mg/L) durant cette période. Les concentrations d'azote sous forme de nitrates dans l'eau souterraine approchent les 10 mg/L dans l'ensemble du bassin hydrographique. Les concentrations ne diminuent pas de façon appréciable avec la profondeur, ce qui suggère un état d'équilibre à long terme. Les plus faibles concentrations d'azote sous forme de nitrates ont été mesurées au niveau de la décharge du bassin, où les effets combinés de toutes les utilisations des terres, agricoles et non agricoles, seraient décelés.

Déversement cumulatif des eaux de surface et pertes de sédiments et de nitrates à partir du bassin hydrographique du ruisseau Black (N.-B.), de 1992 à 1994



T.L. Chow, P.H. Milburn et H.W. Rees, *Agriculture et Agroalimentaire Canada*

La capacité du sol de retenir l'eau disponible était également un facteur important dans le bilan hydrique. Cette capacité a été estimée à 100 millimètres pour le sable ou le loam sableux, à 150 mm pour le loam, à 200 mm pour le loam argileux et à 250 mm pour les sols argileux. Si l'eau disponible (précipitations - capacité d'évapotranspiration) est inférieure à la capacité de rétention d'eau du sol, le sol n'est pas saturé et le

mouvement de l'azote dans les eaux souterraines ou les eaux de ruissellement est peu probable. Le contraire est également vrai.

Le risque de contamination de l'eau par l'azote a été exprimé en fonction de trois catégories de risque : faible (0-6milligrammes d'azote par litre), concentration inférieure à la recommandation pour l'eau potable; intermédiaire (6,1-14mg N/litre),

Risque de contamination de l'eau par l'azote sur les terres agricoles dans les régions humides du Canada dans le cadre des pratiques de gestion en vigueur en 1996

Tableau 12-1

Province	Superficie des terres agricoles* (millions ha)	Proportion (%) des terres agricoles dans les diverses catégories de risque de contamination de l'eau		
		Faible (0-6 mg N/litre)	Intermédiaire (6,1-14 mg N/litre)	High (> 14 mg N/litre)
Colombie-Britannique	0,1	6	25	69
Ontario	4,2	39	44	17
Québec	1,9	58	35	6
Provinces de l'Atlantique	0,4	82	15	3

* La superficie des terres agricoles est la somme de toutes les catégories de terres du *Recensement de l'agriculture*, excepté la catégorie « Toutes les autres terres ». La valeur pour la Colombie-Britannique ne s'applique qu'à la région côtière sud.

dans laquelle certaines régions présentaient des concentrations d'azote dans l'eau qui pouvaient se rapprocher de la recommandation pour l'eau potable et même la dépasser; élevée (14,1 mg N/litre ou plus), dans laquelle certaines régions présentaient des concentrations d'azote dans l'eau risquant de dépasser la recommandation pour l'eau potable.

Pour montrer les tendances de l'indicateur, nous avons retenu les changements (augmentations ou

diminutions) de plus de 1mg/L, ce qui représente 10% de la norme pour l'eau potable. L'objectif de rendement visé est de faire en sorte que toutes les terres agricoles au Canada présentent peu ou pas de risque de contamination de l'eau par l'azote.

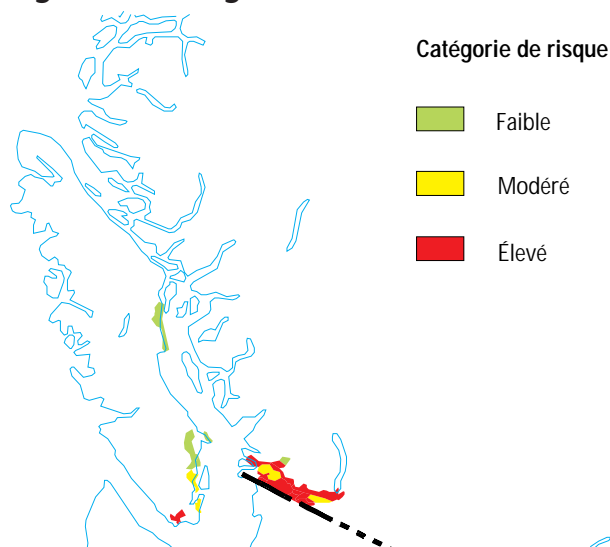
Limites

Le calcul de cet indicateur est soumis aux mêmes limites que celles décrites pour le calcul de l'azote résiduel, présenté dans le chapitre sur l'indicateur d'azote résiduel. La méthode utilisée pour calculer l'excès d'eau sous-estime la vraie valeur, car la capacité d'évapotranspiration est toujours plus élevée que l'évapotranspiration réelle. Par conséquent, les valeurs de l'indicateur sont surestimées.

Les résultats des calculs de l'excès d'eau montrent qu'environ 90% des terres agricoles du Canada (les régions agricoles semi-arides des Prairies et de la Colombie-Britannique) ne sont généralement pas à risque de causer une contamination de l'eau par l'azote. Toutefois, il y a des zones localisées d'agriculture intensive (où l'on pratique principalement l'élevage, mais également la culture de terres agricoles irriguées) dans des régions situées près de ressources hydriques sensibles, qui entraînent une contamination de l'eau. La méthode décrite dans ces lignes n'est pas assez sensible pour repérer ces zones. Elle ne peut pas non plus détecter la contamination de l'eau par l'azote associée à des orages et à des événements de ruissellement importants dans les régions semi-arides, parce que les calculs de l'indicateur sont basés sur des données de normales climatologiques.

Risque de contamination de l'eau par l'azote sur les terres agricoles de la Colombie-Britannique dans le cadre des méthodes de gestion en vigueur en 1996

Figure 12-1



Résultats

Le tableau 12-1 présente les valeurs relatives au risque de contamination de l'eau en 1996 pour les régions agricoles de la Colombie-Britannique et de l'Est du Canada, où il y a généralement excès d'eau. Une petite partie seulement (environ 5%) des terres agricoles de la Colombie-Britannique présentent en moyenne chaque année un surplus d'eau, mais le risque de contamination de l'eau par les activités agricoles est élevé dans la plus grande partie de cette région. Dans l'Est du Canada, le risque de contamination de l'eau est faible ou intermédiaire sur la plupart des terres agricoles. Toutefois, 17% des terres agricoles de l'Ontario, 6% de celles du Québec et 3% de celles de l'Atlantique sont à risque élevé.

Les figures suivantes montrent les régions particulièrement à risque de contamination de

l'eau par l'azote en 1996 en Colombie-Britannique (figure 12-1), de même qu'au centre du Canada et dans les provinces de l'Atlantique (figure 12-2). Ces régions comprennent les basses terres du fleuve Fraser et l'île de Vancouver en Colombie-Britannique, le sud-ouest de l'Ontario, la zone entourant le lac Simcoe et le bassin hydrographique de la rivière South Nation, les basses terres du Saint-Laurent au Québec et la région située au sud de la ville de Québec.

Entre 1981 et 1996, la teneur en azote estimée de l'eau a augmenté d'au moins un milligramme par litre dans le sol de 57 à 77 % des terres agricoles évaluées par cet indicateur (tableau 12-2).

Interprétation

Le sud de l'Ontario et les basses terres du Saint-Laurent au Québec présentaient la plus grande superficie de terres agricoles à risque le plus élevé de contamination de l'eau par l'azote. Les zones où le risque est le plus élevé correspondent à celles où l'on pratique l'agriculture intensive. Bien que la superficie des terres agricoles ait en fait diminué depuis 1981, la superficie ensemencée en cultures annuelles est restée à

Proportion des terres agricoles dans lesquelles la teneur en azote estimée de l'eau a changé entre 1981 et 1996

Tableau 12-2

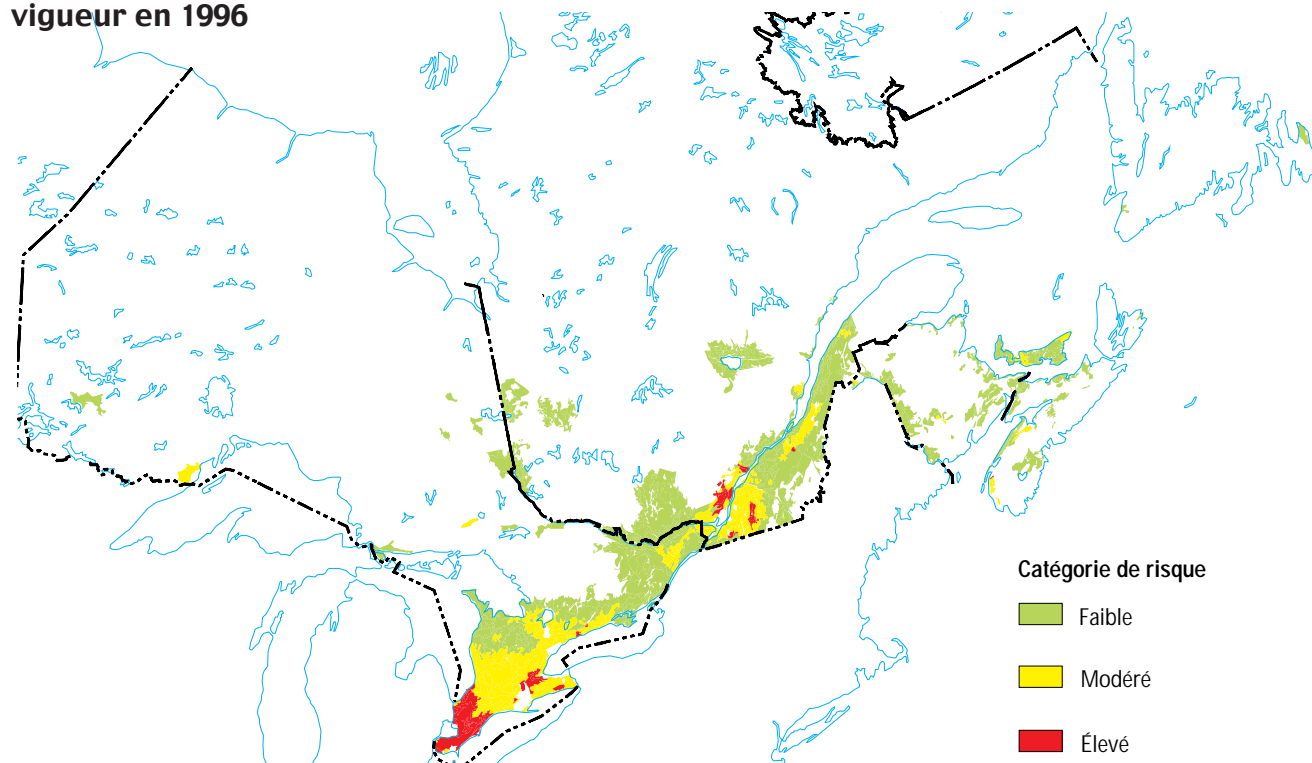
Écozone	Superficie des terres agricoles* (millions ha)	Proportion (%) des terres agricoles dans lesquelles la teneur en azote de l'eau a changé		
		Teneur ayant diminué d'au moins 1 mg N/litre	Pas de changement (\pm 1 mg N/litre)	Teneur ayant augmenté d'au moins 1 mg N/litre
Colombie-Britannique	0,1	31	12	57
Ontario	4,2	2	30	68
Québec	1,9	1	22	77
Provinces de l'Atlantique	0,4	2	36	62

* La superficie des terres agricoles est la somme de toutes les catégories de terres du *Recensement de l'agriculture de 1996*, sauf la catégorie « Toutes les autres terres ». Les valeurs pour la Colombie-Britannique ne s'appliquent qu'à la région côtière sud.

peu près la même. Le type de culture a changé de façon importante : une plus grande superficie est consacrée chaque année à des cultures qui utilisent une plus grande quantité d'azote, soit principalement le maïs et le soja. Le maïs exige l'addition d'une plus grande quantité d'azote que d'autres cultures annuelles courantes. Le soja est

Risque de contamination de l'eau par l'azote sur les terres agricoles du centre et de la région atlantique du Canada dans le cadre des méthodes de gestion en vigueur en 1996

Figure 12-2



Contamination d'un aquifère par des nitrates en Colombie-Britannique

L'aquifère Abbotsford–Sumas chevauche la frontière entre la Colombie-Britannique et l'État de Washington. C'est un aquifère libre à substrat de sable et de gravier dont la nappe phréatique varie de 3 à plus de 20 mètres de profondeur et qui est rechargé principalement par les précipitations.

Le problème le plus important de l'aquifère, en ce qui concerne la qualité de l'eau, est la contamination par les nitrates. Les concentrations de nitrates dans l'eau souterraine dépassent la recommandation pour la qualité de l'eau au Canada (10 milligrammes de nitrates par litre) dans une grande partie de l'aquifère, et les concentrations dans les puits individuels ont atteint 40 mg/L. Dans l'aquifère, l'eau souterraine s'écoule principalement vers le sud; la contamination par les nitrates dans la partie canadienne de l'aquifère touche donc les utilisateurs américains.

On a déterminé que l'agriculture était l'un des principaux facteurs responsables de la contamination de l'aquifère par les nitrates, mais il n'est pas le seul. La production agricole au-dessus de l'aquifère comprend une production animale intensive (principalement la volaille, mais également les bovins laitiers et de boucherie) et une production végétale intensive, notamment les framboises. La tendance au cours des 30 dernières années montre une diminution de la production de bovins laitiers et de boucherie, laquelle dispose d'une superficie assez vaste pour l'application du fumier; une augmentation de la production de volaille, laquelle ne dispose pas d'une superficie assez vaste pour l'épandage du fumier; et une augmentation de la production de framboises, une culture qui ne nécessite pas beaucoup d'azote. Il s'ensuit que l'apport d'azote du fumier dépasse maintenant la capacité des terres agricoles d'utiliser l'azote efficacement. Les producteurs prennent actuellement des mesures pour gérer plus efficacement les éléments nutritifs et pour transporter le fumier à des endroits où la population animale est moins élevée.

B. Zearth, Agriculture et Agroalimentaire Canada

capable de fixer de grandes quantités d'azote qui contribuent à sa production. En outre, l'intensité de l'élevage a augmenté dans cette région, ce qui se traduit par une plus grande quantité d'azote ajoutée au sol sous forme de fumier. Environ 70 % des terres agricoles des zones humides de Colombie-Britannique présentaient également un risque élevé à cause de l'intensification croissante de la production végétale et animale (*voir l'encadré*).

Dans d'autres provinces visées par l'indicateur, les terres agricoles sont habituellement davantage fragmentées et leur qualité varie. Ainsi les zones d'agriculture intensive sont habituellement compensées par des zones de terres moins fertiles qui sont soumises à des utilisations moins exigeantes, comme les pâturages. En outre, en raison de facteurs climatiques, certaines régions n'ont pas opté pour des cultures qui produisent une grande quantité de biomasse et qui exigent un apport important d'azote.

Choix de mesures d'intervention

Étant donné que l'indicateur a été élaboré à partir de bases de données générales, les résultats doivent être confirmés par des essais sur le terrain, notamment dans les régions considérées à risque élevé d'après l'indicateur. Il faut également faire des recherches pour mettre au point des méthodes et des bases de données permettant d'évaluer le risque de contamination de l'eau par l'azote dans les régions semi-arides du Canada.

Dans les régions classées dans la catégorie de risque élevé, les mesures destinées à réduire la quantité d'azote perdue par les terres agricoles contribueront à réduire ce risque. Ces mesures peuvent comprendre l'utilisation de *cultures fixatrices d'azote* (habituellement une culture de faible valeur plantée à l'automne après la récolte de la principale culture de plus grande valeur) ou de cultures en rotation comprenant des cultures qui captent l'excès d'azote dans le sol. On peut également avoir recours à de nombreuses pratiques de gestion des éléments nutritifs telles que :

- tenir compte de toutes les sources principales d'azote, notamment celles provenant du fumier, des résidus de culture et de l'engrais vert enfoui;
- améliorer l'estimation des besoins des cultures;
- améliorer les tests qui mesurent l'azote dans les sols et les cultures, et les utiliser davantage pour déterminer les apports d'azote;
- choisir le moment de l'application de l'azote correspondant aux besoins maximaux de la culture, et éviter les périodes où la lixiviation est à son maximum;
- fixer des objectifs de rendement des cultures qui soient durables sur les plans économique et environnemental.

Conclusion

L'indicateur s'applique à environ 10 % des terres agricoles canadiennes; il fournit une estimation raisonnable du risque de contamination de l'eau par l'azote aux niveaux régional et provincial. Il est utile pour établir des comparaisons entre les régions, indiquer des tendances et concevoir une analyse plus détaillée. Cet indicateur s'applique aux régions agricoles humides du Canada, mais des régions plus sèches peuvent également être sensibles à la contamination de l'eau par l'azote, notamment celles où la production animale ou végétale est intensive (*voir l'encadré sur l'Alberta*).

L'analyse des tendances, isolément ou combinée aux données sur le terrain, pourrait nous indiquer d'avance que des régions ne présentant pas de risque pourraient en présenter si les méthodes agronomiques ne sont pas modifiées adéquatement.

Indicateurs connexes

Le présent indicateur peut permettre de déterminer les régions où l'eutrophisation des eaux de surface pose un problème, tout comme le risque de contamination de l'eau par le phosphore. Le risque de contamination de l'eau par l'azote augmente avec les concentrations élevées d'azote résiduel. Les concentrations d'azote dans le sol varient en fonction de divers éléments de la gestion des intrants agricoles – éléments nutritifs et pesticides.

Le contrôle de l'azote dans l'eau des terres agricoles de l'Alberta

Le secteur agricole a connu une forte croissance en Alberta au cours des 25 dernières années. L'étendue des terres agricoles traitées aux engrais minéraux et aux pesticides a presque triplé. La taille du cheptel bovin a augmenté de plus de 50 %, tant et si bien que l'Alberta produit maintenant près de 40 % du bœuf canadien et procède à l'engraissement de plus de 65 % des bovins.

Étant donné la superficie occupée par l'agriculture en Alberta et l'importance des agriculteurs à titre de consommateurs d'eau, la qualité de l'eau est une préoccupation de premier ordre pour le secteur agricole. C'est pourquoi on a entrepris, dans le cadre de l'Entente Canada-Alberta pour un environnement durable en agriculture, une étude de cinq ans (1992-1996) pour évaluer les effets de la production agricole primaire sur la qualité de l'eau dans les régions agricoles de l'Alberta. On a procédé au contrôle des éléments nutritifs, des pesticides et des bactéries dans les puits et les étangs artificiels des fermes, dans les étendues d'eau superficielles — soit les lacs et les cours d'eau — et dans les canaux d'irrigation.

Les principaux résultats de la comparaison des concentrations d'azote mesurées à celles des *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada* sont les suivants :

- 0,6 % des 448 puits profonds échantillonnés présentaient des concentrations de nitrates-nitrites plus élevées que la concentration recommandée pour l'eau destinée à la consommation humaine.
- 13 % des 376 puits peu profonds échantillonnés présentaient des concentrations de nitrates-nitrites plus élevées que la concentration recommandée pour l'eau destinée à la consommation humaine et 0,3 % de ces puits présentaient des concentrations qui dépassaient la concentration recommandée pour l'eau destinée à la consommation animale.
- Dans les étangs artificiels, les cours d'eau et les canaux d'irrigation, les concentrations de nitrates-nitrites ne dépassaient pas la concentration recommandée pour l'eau destinée à la consommation humaine, ni pour celle destinée à la consommation animale. Mentionnons cependant qu'il n'existe pas de recommandation quant à la concentration de cette combinaison de substances pour la protection de la vie aquatique.
- 87 % des cours d'eau situés dans des zones d'agriculture intensive présentaient des concentrations totales d'azote plus élevées que la concentration recommandée pour la protection de la vie aquatique. Ce pourcentage était de 65 % dans les zones d'activité agricole modérée et de 32 % dans les zones de faible activité agricole.

Il a été difficile de déterminer l'origine de l'azote sous forme de nitrates dans les puits peu profonds, mais les recherches démontrent que l'épandage excessif de fumier et d'engrais peut entraîner une contamination généralisée des nappes d'eau souterraine par les nitrates. Les aquifères libres dont la nappe est peu profonde sont les plus à risque.

Source : ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta, 1998.

13 Risque de contamination de l'eau par le phosphore

M.A. Bolinder, R.R. Simard, S. Beauchemin, et K.B. MacDonald

Portée géographique : Québec

Période : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- La migration du phosphore des terres agricoles vers les eaux de surface peut avoir les conséquences suivantes : eutrophisation; prolifération des algues et des plantes aquatiques; appauvrissement de l'eau en oxygène; altération ultérieure de la composition des espèces présentes dans l'écosystème aquatique. Il faut un indicateur permettant de déterminer le risque de migration du phosphore des terres agricoles vers les eaux de surface en fonction des diverses caractéristiques du sol et du relief ainsi que des méthodes agronomiques employées.
- Nous avons élaboré un indicateur préliminaire du risque de contamination de l'eau par le phosphore; pour ce faire, nous avons établi des valeurs de risque de transfert du phosphore, pondéré ces valeurs en fonction de sept caractéristiques de site et additionné celles-ci pour obtenir un indice global. Nous avons d'abord défini cinq catégories de risque : très faible, faible, moyen, élevé, très élevé. Cependant, comme aucune des terres considérées n'entrait dans les catégories « très faible » et « très élevé » nous avons éliminé celles-ci, puis subdivisé la catégorie de risque moyen comme suit : moyen-faible, moyen et moyen-élevé. Un objectif de rendement sera fixé lorsque l'indicateur en sera à un stade d'élaboration plus avancé.
- Les taux de risque ont été calculés pour les régions agricoles du Québec en 1981, en 1991 et en 1996. Ils étaient très voisines en 1981 et en 1996, avec environ 19 % de terres agricoles à faible risque, de 72 à 73 % à risque moyen et de 8 à 10 % à risque élevé de contamination par le phosphore. Cependant cette similitude masque la baisse marquée de la superficie des zones à faible risque (13 %) et l'accroissement de la superficie des zones à risque moyen (77 %), et notamment à risque moyen-élevé, en 1991.
- La méthode a présenté une certaine sensibilité aux variations temporelles dans les données de recensement, notamment pour ce qui est de l'apport de phosphore provenant du fumier et des engrais minéraux (p. ex., selon l'indicateur, le risque relatif de pollution par le phosphore à partir de sources diffuses a augmenté entre 1981 et 1991).
- Il sera nécessaire d'effectuer d'autres travaux sur l'indicateur pour réunir de meilleures données indicatives et tenir compte des méthodes agronomiques spécifiques employées au niveau de l'exploitation agricole. La méthode de l'indicateur doit demeurer flexible pour permettre de tenir compte des différences entre les régions quant aux caractéristiques des sols et au climat. Des modifications doivent être apportées pour améliorer la classification (p. ex. certaines régions que l'on croyait être dans la catégorie de risque élevé au chapitre de la qualité de l'eau n'apparaissent pas comme telles avec l'indicateur).

L'enjeu

Au Québec, les eaux de surface constituent une ressource naturelle abondante couvrant à peu près 10 % du territoire. On compte en effet 4500 cours d'eau, un demi-million de lacs et 430 bassins hydrographiques d'importance majeure. La qualité globale des cours d'eau s'est améliorée ces vingt dernières années, principalement grâce à une lutte plus efficace contre la pollution provenant de sources ponctuelles (p. ex. meilleur traitement des eaux urbaines et réduction de la pollution industrielle). Mais les objectifs environnementaux à long terme n'ont pas encore été atteints et, dans de nombreuses régions, la qualité de l'eau est toujours inacceptable en partie à cause de la pollution par le phosphore provenant de sources diffuses (*voir l'encadré portant sur la rivière Boyer*).

Les régions présentant un risque de contamination de l'eau par le phosphore sont celles où l'eau s'écoule librement des terres agricoles vers les eaux de surface. Ce risque est particulièrement élevé dans les régions où les analyses révèlent de fortes teneurs en phosphore et où la capacité du sol à retenir le phosphore est faible (sol à faible capacité d'adsorption du phosphore). On doit disposer d'un indicateur permettant de localiser

les zones où ce type de contamination d'origine agricole est le plus inquiétant, et de déterminer comment ce risque fluctue dans le temps.

L'indicateur

Description

Il est difficile de mesurer la quantité de phosphore provenant de terres agricoles qui atteint les eaux de surface. Les processus en cause sont complexes, et on sait peu de choses sur la quantité de phosphore qui gagne ces eaux par voie naturelle. Nous avons donc conçu un indicateur permettant de classer les sites en fonction du risque relatif de migration, jusqu'aux eaux voisines des sites, du phosphore qui traverse ces sites. Cet indicateur (le risque de contamination de l'eau par le phosphore) s'obtient à l'aide d'une méthode de calcul élaborée par des scientifiques des États-Unis. Un objectif de rendement sera fixé lorsque l'indicateur en sera à un stade d'élaboration plus avancé.

Méthode de calcul

Nous avons calculé l'indicateur en déterminant la vitesse à laquelle le phosphore se déplacerait à travers un site en fonction de diverses caractéristiques (*voir l'encadré*). Nous avons d'abord établi cinq catégories de risque : très faible, faible, moyen, élevé, très élevé. Cependant, comme aucune des terres envisagées n'entraînait dans les catégories « très faible » et « très élevé », nous avons éliminé celles-ci et, pour mieux refléter les différences de risque, nous avons subdivisé la catégorie de risque moyen comme suit : moyen-faible, moyen et moyen-élevé. L'indicateur a été calculé pour des régions du Québec dont les sites avaient des caractéristiques connues et qui représentaient une superficie de 1,9 millions d'hectares.

Limites

Dans la présente application, l'indicateur comporte les limites suivantes :

- il n'a été calculé que pour le Québec en raison du nombre restreint de données pertinentes disponibles;
- certaines données manquaient (p. ex. les paramètres *disponibilité relative du phosphore dans le sol* et *degré de saturation du sol en phosphore* ont été considérés comme constants pendant toutes les années de recensement parce qu'il n'y avait pas de données disponibles à cet effet; cependant on peut dire que ces valeurs auraient probablement été plus faibles en 1981 qu'en 1991 et en 1996);

Le bassin de la rivière Boyer

La rivière Boyer comptait, il y a une trentaine d'années, de nombreuses frayères d'éperlans. Aujourd'hui, on y trouve un excès d'éléments nutritifs et de matières solides en suspension, mais plus d'éperlans. La rivière Boyer, située près de la ville de Québec, sur la rive sud du Saint-Laurent, draine un bassin de 21 700 ha. Environ 60 % de cette superficie est constituée de terres agricoles, dont une grande partie sert à la production intensive d'animaux d'élevage. Plus de la moitié des 275 exploitations agricoles de la région produisent du porc. On évalue la quantité d'éléments nutritifs présents dans ce bassin (ce qui reste dans le système après la récolte des diverses cultures) à 317 tonnes de phosphore et à 630 tonnes d'azote par année.

De façon générale, le piètre état de la rivière inquiète tous ceux qui vivent dans le bassin. Pour remédier à la situation, on a formé un comité appelé GIRB (Groupe d'intervention pour la restauration de la Boyer) et mis sur pied des programmes spécifiques visant à améliorer la qualité de l'eau et à introduire des mesures de conservation des ressources. Grâce à des fonds fédéraux, provinciaux et privés, les agriculteurs participants ont construit de meilleures installations d'entreposage du fumier, achevé des travaux d'ingénierie pour stabiliser les rives, géré judicieusement les points d'abreuvement des animaux et limité l'accès de ces derniers à la rivière. Ils ont également adopté des pratiques agricoles écologiques visant à améliorer la gestion des éléments nutritifs culturels, à empêcher l'érosion et à mieux gérer les surplus de fumier.

Source : Saint-Laurent Vision 2000, 1998

Caractéristiques du site

Le risque de migration du phosphore à partir d'un site dépend des diverses caractéristiques (paramètres) de ce site. Sept de ces caractéristiques ont été utilisées pour calculer le risque de contamination de l'eau par le phosphore.

Deux des caractéristiques en question sont directement liées au transport du phosphore : l'*érosion du sol*, évaluée à partir de l'équation universelle des pertes en terre révisée pour application au Canada; et le *potentiel de ruissellement*, déterminé grâce à une relation entre le pourcentage de pente et les valeurs de la courbe de distribution du ruissellement.

Deux paramètres de site sont liés à l'état du phosphore dans le sol : le *degré de saturation du sol en phosphore*, lié au risque de transport de P à la fois en surface et sous la surface; et la *disponibilité relative du phosphore dans le sol*. Ces deux paramètres ont été évalués à partir d'une étude pédologique provinciale.

Trois de ces caractéristiques concernent les composantes du bilan annuel de phosphore : résidus de cultures, fumier et engrais minéral. Ces paramètres ont été calculés à l'aide de la méthode élaborée pour l'indicateur du risque de contamination de l'eau par l'azote, qui a été adaptée.

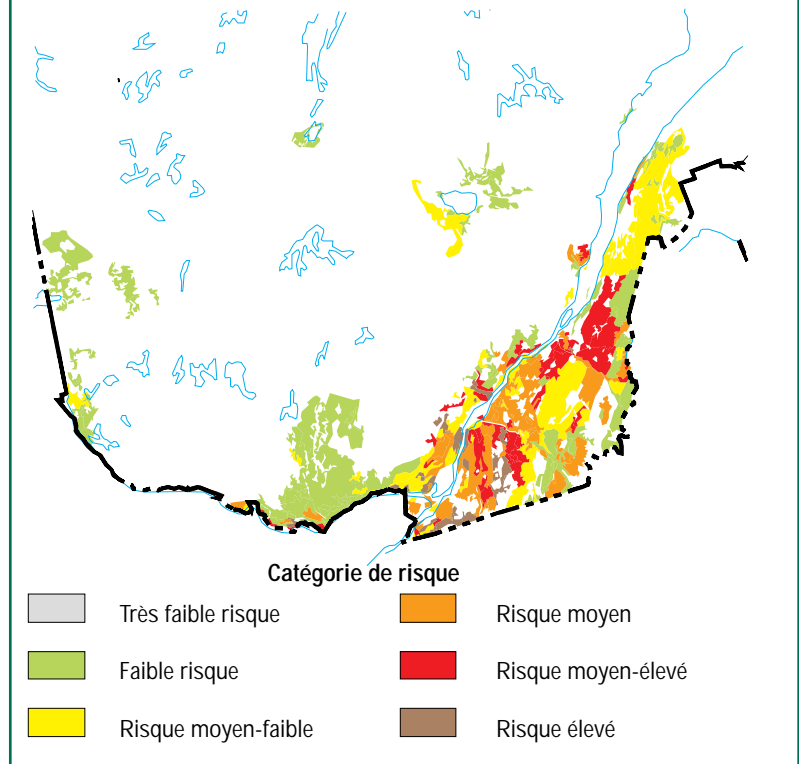
Source: Bolinder et al., 1998

- comme nous avons travaillé à l'échelle des zones de cartographie des *Pédo-paysages du Canada*, il nous a été impossible d'inclure dans l'indicateur de nombreux facteurs importants liés au risque de contamination de l'eau par le phosphore provenant des terres agricoles (p. ex. données sur l'épandage du fumier); la transposition de cette méthode au niveau du bassin hydrographique ou de l'exploitation agricole nécessitera des renseignements plus détaillés;
- jusqu'ici, aucune méthode avec indicateur pour le phosphore n'a jamais été appliquée à une échelle aussi vaste; il faudra travailler davantage sur le sujet si l'on veut raffiner l'indicateur.

Résultats

La figure 13-1 montre les valeurs de l'indicateur pour des régions cartographiées du Québec en 1996. La plupart des zones de cartographie présentant un niveau de risque moyen ou élevé se situaient dans les Basses terres du fleuve Saint-Laurent et dans la région située au

Risque de contamination de l'eau par le phosphore sur les terres agricoles du Québec dans le cadre des méthodes de gestion en vigueur en 1996 **Figure 13-1**



sud de Québec, où l'agriculture est plus intensive. Les zones à risque faible et moyen se trouvaient principalement dans la région des Laurentides et dans l'ouest du Québec, ainsi que dans la région située au nord de Québec, où l'agriculture est moins intensive.

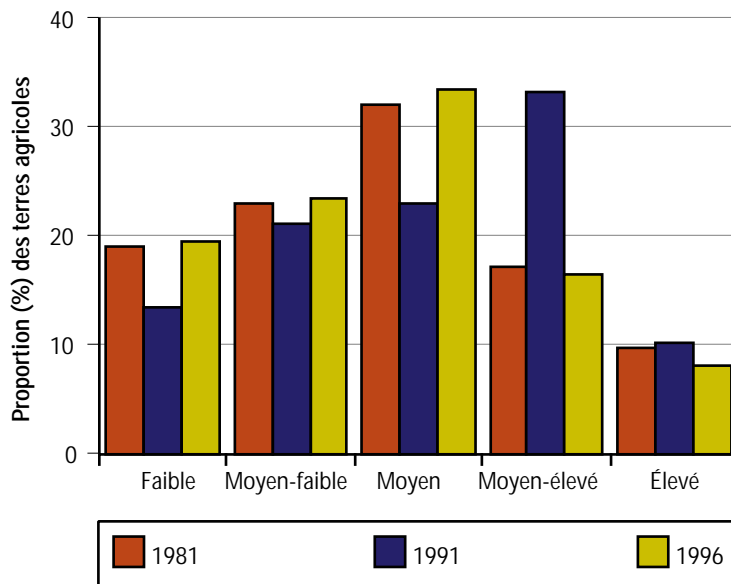
La figure 13-2 montre les fluctuations des niveaux de risque d'une année de recensement à l'autre. Entre 1981 et 1991, la superficie de la région à faible risque de migration du phosphore a diminué, alors qu'on note un agrandissement de la région à risque moyen et surtout de celle à risque moyen-élevé (dont la superficie a plus que doublé pendant cette période). Dès 1996, la région à risques moyen et élevé avait retrouvé à peu près les valeurs de 1981, et la région à risque faible avait progressé d'environ 30 %.

Interprétation

On a souvent observé des concentrations élevées de phosphore dans les régions à forte densité de production animale, où l'élimination sur place du fumier peut se traduire par l'application, dans le sol, de plus grandes quantités de phosphore

Variations du risque de contamination de l'eau par le phosphore au Québec entre 1981 et 1996

Figure 13-2



que ce qui sera soustrait par les récoltes. En outre, on trouve souvent un fort degré de saturation en phosphore dans les sols produisant des cultures commerciales exigeant de grandes quantités de phosphore, notamment le maïs-grain et le soja (et où l'on procède donc généralement à l'épandage de grandes quantités d'engrais phosphorés).

Les concentrations totales de phosphore dépassent souvent la norme provinciale (0,03 milligrammes de phosphore total par litre d'eau) dans les rivières l'Assomption, Boyer (voir l'encadré), Chaudière, Etchemin, Nicolet, Richelieu, Saint-François et Yamaska, qui drainent des bassins à forte densité d'animaux d'élevage. Parmi ces bassins, l'indicateur n'a clairement identifié que quelques régions comme étant dans une situation préoccupante.

Par exemple, dans le cas des régions cartographiées voisines des rivières Etchemin, Chaudière et l'Assomption, l'indicateur prévoyait un niveau de risque élevé. Même si certains niveaux de risque ont varié pour ces régions au cours du temps, la plupart des polygones sont demeurés à un niveau de risque moyen-élevé ou élevé. Le ministère de l'Environnement du Québec signale qu'entre 1988 et 1991, les concentrations de phosphore sont restées supérieures à la norme provinciale pendant 82 % du temps dans la rivière Chaudière, 97 % dans la rivière Etchemin et 100 % dans la rivière l'Assomption.

Par contre, des régions comme l'Abitibi et le Lac-Saint-Jean comptaient principalement des zones cartographiées à niveau de risque faible, bien qu'on remarque également quelques zones à risque moyen-élevé. On y observe moins de cas de pollution des eaux de surface par le phosphore provenant de sources diffuses. Ces régions ont une agriculture plutôt extensive, dominée par la production de viande de bœuf et la production laitière, la majeure partie des terres cultivées étant constituée de pâturages.

Gestion du phosphore à la ferme

La lutte contre la pollution des cours d'eau par des sources agricoles diffuses commence à la ferme même. Il est donc important que les agriculteurs comprennent bien les processus qui entrent en jeu ainsi que les mesures qui s'imposent pour résoudre le problème. Les plans agroenvironnementaux appliqués volontairement par beaucoup d'agriculteurs canadiens représentent un progrès dans ce sens. La méthode de l'indicateur pour le phosphore, accompagnée d'une information détaillée, peut être facilement intégrée aux plans agroenvironnementaux.

Un agronome, M. Jocelyn Magnan, du Club de fertilisation de la Beauce Inc., propose cette méthode aux exploitants agricoles du Québec lorsqu'il les aide à élaborer des plans agroenvironnementaux. D'après M. Magnan, l'avantage de l'indicateur pour le phosphore est que les agriculteurs comprennent facilement les concepts utilisés et les calculs à effectuer. Ils peuvent donc contribuer activement aux décisions qui doivent être prises en vue de réduire les risques pour l'environnement.

Les scientifiques de l'Ontario proposent eux aussi cette méthode aux agriculteurs. La transposition de l'indicateur du risque de contamination de l'eau par le phosphore sur le plan de l'exploitation agricole permet de dégager des pratiques de gestion qui contribueront à réduire le risque de contamination de l'eau par le phosphore. On peut citer les exemples suivants :

- épandre le fumier en fonction des besoins des cultures et de la capacité de rétention du phosphore par le sol;
- mettre en œuvre des mesures de lutte contre l'érosion;
- éviter l'épandage de fumier en automne dans les régions à risque élevé.

Source : Simard et al., 1998

Choix de mesures d'intervention

Pour limiter le risque de migration du phosphore, il existe divers moyens qui dépendent des caractéristiques du site, des méthodes de culture employées et de la quantité de phosphore présente. Par exemple, dans les régions à niveau de risque très faible à moyen on peut réduire la migration du phosphore vers le milieu environnant à l'aide des mesures suivantes :

- empêcher le plus possible l'érosion;
- éviter que les animaux aient accès aux eaux de surface;
- optimiser l'absorption du phosphore par les cultures;

- gérer plus efficacement les engrais minéraux et le fumier.

Dans le cas des bassins hydrographiques dont les sols présentent un risque élevé à très élevé de perte de phosphore, ces mesures doivent être mises en œuvre de concert avec d'autres moyens. Là où la disponibilité relative du phosphore dans le sol est élevée, il est préférable de limiter l'ajout de phosphore et de maintenir la différence entre les intrants et les extrants le plus près possible de zéro. Cela implique que les stratégies de gestion des fumiers doivent se faire en fonction du phosphore plutôt que de l'azote; divers codes de pratiques et réglementations gouvernementales vont dans ce sens (*voir l'encadré* présentant la nouvelle réglementation du Québec).

Là où les concentrations de phosphore dans le sol sont très élevées et où la capacité de rétention est faible, il est souhaitable de réduire la quantité de phosphore présente dans le sol. Cela signifie que la quantité de phosphore utilisée par les cultures doit être supérieure à la quantité ajoutée au sol dans le fumier et les engrais minéraux. On peut également choisir des cultures exigeant de grandes quantités de phosphore (notamment par l'inclusion de maïs à ensilage ou de canola dans les rotations).

Dans les régions à production animale intensive et ayant peu de terres agricoles, il serait très avantageux d'utiliser des technologies permettant à la fois de réduire la quantité ou la solubilité du phosphore contenu dans le fumier et d'exporter celui-ci à l'extérieur du site (à des fins de compostage par exemple).

Conclusion

Le risque de contamination de l'eau par le phosphore met en lumière les différences entre les niveaux de risque existant dans les régions d'agriculture intensive et les autres. Il révèle également une certaine sensibilité des données de recensement aux variations temporelles, particulièrement dans le cas de l'apport de phosphore provenant du fumier de ferme et des engrais minéraux.

Il sera nécessaire d'effectuer d'autres recherches pour vérifier que, dans les sites à niveau de risque élevé et très élevé, on observe régulièrement un transfert de quantités nettement plus élevées de phosphore vers les eaux de surface que dans les sites à niveau de risque inférieur. Soulignons que l'indicateur ne devrait être utilisé que pour déterminer les régions où il y a un risque de transfert de phosphore. Il faudrait ensuite étudier ces régions plus en profondeur afin de vérifier la nature réelle et la gravité des risques.

Nouvelle réglementation québécoise concernant les élevages

La nouvelle réglementation du Québec sur les élevages (*Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole*) est entrée en vigueur en juillet 1998 et vise à protéger la qualité du sol et de l'eau par des dispositions très strictes relatives à la date d'épandage du fumier, à l'application d'éléments nutritifs sur les sols riches en phosphore et aux distances devant séparer les cours d'eau des installations et des activités agricoles. En plus d'obtenir un permis d'exploitation obligatoire, une mesure héritée de l'ancienne réglementation, les éleveurs doivent préparer un plan de gestion des éléments nutritifs (plan agroenvironnemental de fertilisation) pour l'entreposage et l'épandage de fumier, du compost et des engrais minéraux, en spécifiant les périodes et les quantités appropriées pour l'épandage. Le plan doit être approuvé par un agronome, un technologue des sols travaillant sous la supervision d'un agronome ou un producteur formé à cette fin.

En plus des autres exigences, les producteurs doivent :

- disposer d'une capacité d'entreposage du fumier de 200 jours pour les installations construites avant le 3 juillet 1997, et de 250 jours pour les installations construites après cette date;
- éviter tout épandage entre le 1^{er} octobre et le 31 mars à moins qu'un plan de gestion des éléments nutritifs soit en place ou que les pratiques d'épandage soient conformes aux directives provinciales;
- éviter tout épandage d'engrais phosphoré dépassant des besoins des cultures sur des sols riches en phosphore et, dans le plan de gestion des éléments nutritifs, prendre des mesures pour réduire les concentrations de phosphore présentes dans les sols.

Source : Comité directeur de la stratégie de gestion de l'environnement pour le secteur porcin, 1997

La nature des sources de pollution par le phosphore provenant de sources diffuses et les facteurs connexes peuvent être différents d'un endroit à l'autre au Canada. L'indicateur devra donc rester assez flexible pour permettre de prendre en compte les caractéristiques pédologiques et climatiques de chaque région.

Indicateurs connexes

Il existe une relation entre l'indicateur dont il est question ici et le risque d'érosion hydrique, étant donné que le phosphore peut être transporté jusqu'aux eaux de surface par les eaux de ruissellement provenant des terres agricoles. La possibilité de contamination de l'eau par l'azote, un autre élément nutritif culturel qui migre lui aussi des terres agricoles jusque dans l'eau, est évaluée au moyen du risque de contamination de l'eau par l'azote. La quantité de phosphore présente dans le sol constitue l'un des principaux éléments contribuant au risque de contamination de l'eau par le phosphore, cette quantité étant liée à la gestion des intrants agricoles (éléments nutritifs et pesticides).

E

*Les gaz à effet de serre émis
par l'agroécosystème*

E Les gaz à effet de serre émis par l'agroécosystème

La Terre absorbe les rayons de courte longueur d'onde émis par le Soleil et les réémet dans l'atmosphère à de plus grandes longueurs d'onde. Certains gaz atmosphériques, comme la vapeur d'eau, l'oxyde nitreux, le méthane, le dioxyde de carbone et l'ozone, agissent comme les vitres d'une serre et emprisonnent les rayons ainsi émis, ce qui a pour effet de réchauffer la planète. En l'absence de cet *effet de serre naturel* qui réchauffe le globe depuis des milliards d'années, la température moyenne de la Terre ne serait pas de 15 °C, mais de – 18 °C.

On estime que les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et la température moyenne de la Terre ont peu changé au cours des 10 000 dernières années. Toutefois, depuis 50 ans, les concentrations de ces gaz ont augmenté considérablement, et ils captent donc une plus grande partie des rayons réfléchis par la Terre. Par conséquent, l'atmosphère et la surface de la Terre se réchauffent davantage; c'est l'*augmentation de l'effet de serre*.

Les émissions d'oxyde nitreux, de méthane et de dioxyde de carbone comptent pour près de 90 % de l'augmentation de l'effet de serre. Au cours des 50 dernières années, les concentrations de ces gaz ont augmenté :

- de 15 % dans le cas de l'oxyde nitreux;
- de 145 % dans le cas du méthane;
- de 30 % dans le cas du dioxyde de carbone.

Le Protocole de Kyoto

Le Protocole de Kyoto de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques a été adopté par plus de 160 pays en décembre 1997. Son objet est la réduction, à l'échelle mondiale, des émissions d'un groupe de six gaz à effet de serre entre les années 2008 et 2012. L'année de référence pour les mesures des émissions des trois principaux gaz, soit l'oxyde nitreux, le méthane et le dioxyde de carbone, est 1990. Les émissions des trois gaz industriels à longue durée de vie (hydrocarbures fluorés, hydrocarbures perfluorés et hexafluorure de soufre) seront mesurées par rapport aux niveaux de 1990 ou de 1995.

En vertu de ce protocole international, les niveaux de réduction ont fait l'objet de négociations pour chaque pays. La Suisse réduira ses émissions de 8 %, tout comme les pays de l'Union européenne et beaucoup de pays de l'Europe centrale et de l'Est. Les États-Unis réduiront les leurs de 7 % et le Canada, la Hongrie, le Japon et la Pologne, de 6 %. La Russie, la Nouvelle-Zélande et l'Ukraine stabiliseront leurs émissions tandis que la Norvège pourra accroître ses émissions de 1 %, l'Australie de 8 % et l'Islande de 10 %.

R. L. Desjardins, Agriculture et Agroalimentaire Canada

E. Les gaz à effet de serre émis par l'agroécosystème

Des modèles informatiques qui simulent les phénomènes atmosphériques prévoient que si le rythme actuel d'accroissement des concentrations de ces gaz se maintient, la température moyenne de l'air à la surface du globe augmentera d'environ 2 °C d'ici à 2100. On prévoit que le réchauffement accroîtra la variabilité des conditions météorologiques, ce qui aura de graves répercussions sur le secteur agricole et d'autres activités humaines. Bien que les effets du réchauffement planétaire fassent encore l'objet de débats, l'importante augmentation des températures à la surface du globe enregistrée ces dix dernières années a mis en lumière le rôle que joue l'humanité dans les changements climatiques. Une telle hausse de température risque également d'accroître les pertes de carbone à partir des sols, ce qui pourrait influencer directement sur le bilan des gaz à effet de serre.

Reconnaissant la menace que représentent les changements climatiques, de nombreux pays ont adopté récemment le Protocole de Kyoto, qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre (*voir l'encadré*). L'objectif du Canada est de réduire ses émissions de 6 % par rapport aux niveaux de 1990, et ce, entre les années 2008 et 2012. Dans l'état actuel des choses, pour ce faire, il faudrait une réduction d'environ 140 mégatonnes par année d'équivalent en dioxyde de carbone, soit environ 20 % des émissions prévues pour 2010. Pour atteindre un tel résultat, tous les secteurs de l'économie canadienne devront faire un effort concerté.

14

Bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole

R.L. Desjardins et R. Riznek

Portée géographique : Canada, provinces

Période : 1981, 1986, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- Les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère — particulièrement d'oxyde nitreux, de méthane et de dioxyde de carbone — ont augmenté considérablement durant les 20 dernières années, ce qui a eu pour effet d'accroître l'effet de serre, qui réchauffe l'atmosphère de la Terre. L'accumulation incontrôlée de ces gaz dans l'atmosphère est susceptible de causer un réchauffement de la planète, ainsi que d'autres changements climatiques.
- Un indicateur a été conçu pour estimer les émissions combinées d'oxyde nitreux, de méthane et de dioxyde de carbone résultant des activités agricoles. On a estimé les émissions d'oxyde nitreux et de méthane d'après la méthodologie du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, et celles du dioxyde de carbone d'après le modèle Century. L'objectif visé est d'obtenir une diminution des émissions nettes de gaz à effet de serre dans le temps.
- D'après les plus récentes estimations, les émissions d'origine agricole totales d'oxyde nitreux, de méthane et de dioxyde de carbone (les deux premiers exprimés en équivalents de dioxyde de carbone) en 1981, en 1986, en 1991 et en 1996 étaient respectivement de 83, de 78, de 77 et de 86 mégatonnes, ce qui représente près de 13 % des émissions totales du Canada en 1996. Ces chiffres incluent toutes les sources reliées à l'agriculture, sauf la transformation des aliments et le transport, et ils montrent une augmentation de près de 4 % entre 1981 et 1996.
- En 1981, en 1986, en 1991 et en 1996, les émissions d'oxyde nitreux d'origine agricole étaient respectivement de 99, de 96, de 99 et de 120 kilotonnes, ce qui montre une augmentation de 21 % entre 1981 et 1996. Les émissions de méthane ont été relativement constantes durant ces années, représentant 1 045, 927, 949 et 1 074 kilotonnes. Les émissions d'origine agricole totales de dioxyde de carbone ont été de 30, de 28, de 26 et de 26 mégatonnes durant ces mêmes années, marquant une baisse de 13 % entre 1981 et 1996. Cette diminution des émissions de dioxyde de carbone résulte principalement de l'adoption de pratiques agricoles écologiques. Durant cette période, l'augmentation des émissions d'oxyde nitreux et de méthane est due en grande partie à des pratiques agricoles de plus en plus intensives et à l'utilisation croissante d'engrais à base d'azote.
- À l'échelle provinciale, les émissions de gaz à effet de serre de l'Alberta ont augmenté de façon significative, passant de 17 mégatonnes en 1981 à 21 mégatonnes en 1996. Les émissions du Manitoba ont aussi augmenté durant cette période. Les émissions de la Colombie-Britannique, de la Saskatchewan et des provinces de l'Atlantique ont été relativement stables, tandis que celles de l'Ontario et du Québec ont montré des signes de diminution. D'après les estimations de 1996, la Colombie-Britannique a contribué à 4 % du total des émissions du Canada; l'Alberta, 34 %; la Saskatchewan, 19 %; le Manitoba, 13 %; l'Ontario, 17 %; le Québec, 11 % et les provinces de l'Atlantique, 2 %.
- Les émissions, en équivalents de dioxyde de carbone, dues au fumier (19 mégatonnes en 1981, 20 mégatonnes en 1996) et aux engrais minéraux (8 mégatonnes en 1981, 12 mégatonnes en 1996) ont généralement augmenté au cours de cette période, tandis que les émissions dues à la culture (16 mégatonnes en 1981, 14 mégatonnes en 1996) ont montré des signes de diminution. Les émissions dues à la fermentation entérique sont restées relativement stables.
- La libération d'oxyde nitreux peut être réduite au minimum en utilisant des méthodes d'application de l'azote qui améliorent l'efficacité de l'absorption par les plantes, réduisent la libération d'oxyde nitreux par unité d'azote appliquée et réduisent la quantité d'azote dans le fumier en changeant la composition des aliments pour animaux d'élevage. Les émissions de méthane peuvent être réduites en utilisant des méthodes satisfaisantes d'entreposage du fumier et d'alimentation. On peut réduire les émissions de dioxyde de carbone en augmentant la teneur en carbone du sol et en diminuant l'utilisation de combustibles fossiles.

L'enjeu

L'agriculture est la source de 10 à 13 % des émissions de gaz à effet de serre au Canada. Même si elle en représente une part relativement faible, diminuer sa contribution aiderait le Canada à respecter ses engagements quant à la réduction des émissions. L'agriculture est aussi un des secteurs les plus susceptibles d'être affectés par l'évolution du climat. Si les changements se déroulent graduellement, l'agriculture devrait pouvoir s'y adapter. Par contre, des changements subits pourraient engendrer des conséquences néfastes, telles que:

- des changements dans les modes de production;
- une hausse des dommages aux cultures;
- des pénuries d'eau;
- des changements nouveaux et imprévisibles dans les interactions entre les cultures, les mauvaises herbes, les insectes et les maladies.

Le secteur agricole doit prendre des mesures pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et pour en suivre de près les progrès réalisés à cet égard. Pour cela, il faut dresser un inventaire précis des émissions et étudier les facteurs qui entrent en jeu.

L'indicateur

Description

La figure 14-1 montre les principales sources et les principaux puits de gaz à effet de serre associés aux agroécosystèmes. L'indicateur du bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole estime l'échange net d'oxyde nitreux, de méthane

et de dioxyde de carbone, les quantités des deux premiers gaz étant exprimées en *équivalents de dioxyde de carbone* (voir l'encadré). L'objectif fixé pour cet indicateur est d'obtenir une diminution des émissions nettes de gaz à effet de serre dans le temps (il n'y a pas de cible de réduction particulière pour l'agriculture).

Méthode de calcul

L'oxyde nitreux

Nous avons suivi en grande partie la méthodologie du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), en intégrant les données canadiennes lorsque c'était possible, pour établir trois catégories d'émissions d'oxyde nitreux:

- les émissions directes provenant des champs agricoles;
- les émissions directes provenant des systèmes de production animale;
- les émissions indirectes qui tirent leur origine de l'azote provenant des systèmes agricoles.

Les émissions directes à partir des champs agricoles incluent celles provenant

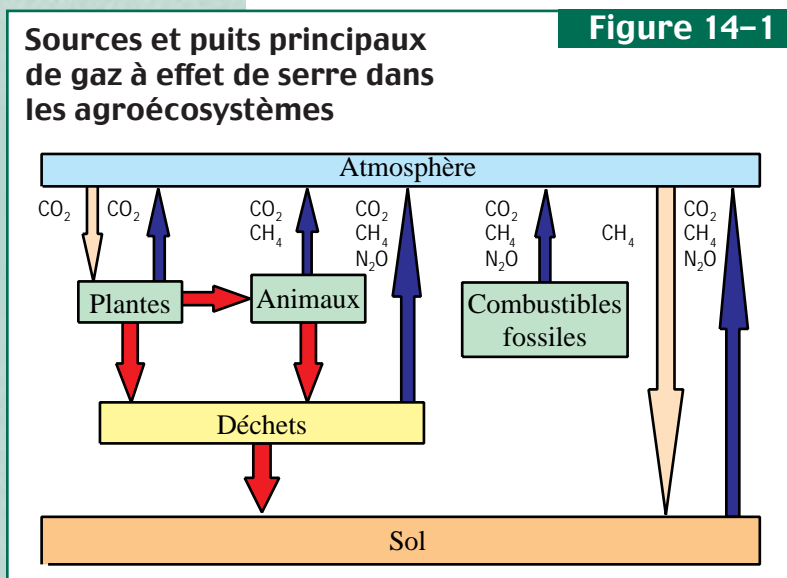
- des engrais minéraux appliqués sur les sols agricoles;
- du fumier;
- des cultures fixatrices d'azote;
- des résidus de culture;
- de la culture de sols organiques.

Les émissions directes à partir des systèmes de production animale incluent celles provenant des déchets animaux (durant la récupération et l'entreposage) et des animaux de pâturage (dépôt direct sur les pâturages).

L'application d'engrais à base d'azote et de fumier, peut mener à la libération indirecte d'oxyde nitreux par:

- la volatilisation et le dépôt atmosphérique d'ammoniac et de différents oxydes d'azote;
- la lixiviation et l'écoulement de l'azote.

Les données utilisées pour estimer les pertes d'azote sous forme d'ammoniac et de différents oxydes d'azote tirent leur origine d'estimations de l'utilisation d'engrais à base d'azote et de l'azote provenant du fumier. Au fur et à mesure que deviendront disponibles d'autres évaluations sur le dépôt d'azote, les facteurs d'émission seront modifiés de manière à mieux refléter les conditions au Canada.



Les équivalents de dioxyde de carbone

La contribution d'un gaz à l'effet de serre ne dépend pas que de sa capacité à absorber et à réémettre le rayonnement, mais aussi de son temps de séjour dans l'atmosphère — le temps qu'il y reste sous cette forme moléculaire. Les molécules de gaz se décomposent ou réagissent graduellement avec d'autres éléments de l'atmosphère pour former de nouvelles molécules avec de nouvelles propriétés de rayonnement.

Le méthane a un temps de séjour moyen d'environ 12 ans, l'oxyde nitreux, de 130 ans et le dioxyde de carbone, de 200 ans. Sur une période de 20 ans, un kilogramme de méthane a 56 fois plus de capacité à retenir le rayonnement qu'un kilogramme de dioxyde de carbone. Par contre, avec le temps, le méthane peut se décomposer en dioxyde de carbone et en eau. Ainsi, après 100 ans, le méthane offre un potentiel de réchauffement planétaire 21 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone. De la même façon, l'oxyde nitreux a 310 fois plus d'effet que le dioxyde de carbone sur une période de 100 ans.

On appelle ces deux chiffres — 21 pour le méthane et 310 pour l'oxyde nitreux — le potentiel de réchauffement planétaire; ils sont utilisés pour mesurer l'effet de ces deux gaz dans le calcul du bilan des gaz à effet de serre. En d'autres termes, les valeurs d'émission du méthane et de l'oxyde nitreux sont exprimées en équivalents de dioxyde de carbone.

L'équivalent de dioxyde de carbone total (mesuré en mégatonnes) des émissions d'oxyde nitreux, de méthane et de dioxyde de carbone est calculé de la façon suivante :

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = (\text{N}_2\text{O} \times 310) + (\text{CH}_4 \times 21) + (\text{CO}_2 \times 1).$$

Le potentiel de réchauffement de la planète, un outil conçu principalement pour les décideurs, fournit une mesure simple pour comparer la force de différents gaz à effet de serre en unités d'équivalents de dioxyde de carbone. Cette comparaison est utile lorsqu'on doit décider des émissions de gaz qui doivent être diminuées et des meilleures options de réduction. Par exemple, une légère réduction des émissions d'oxyde nitreux peut avoir autant d'effet qu'une réduction importante des émissions de dioxyde de carbone. Dans ce rapport, les potentiels de réchauffement de la planète sont basés sur une période de 100 ans.

R.L. Desjardins, Agriculture et Agroalimentaire Canada

Le méthane

Le méthane est émis principalement par les animaux de ferme (leurs rots et leurs flatulences) et par la décomposition *anaérobie* de leur fumier. Pour calculer ces émissions, nous avons utilisé la méthodologie établie par le GIEC. Au fur et à mesure que deviendront disponibles des données représentatives des animaux au Canada, les facteurs d'émission seront ajustés.

Les sols peuvent absorber le méthane comme ils peuvent en être la source, dépendant des conditions d'humidité. Nous avons estimé les émissions de méthane des zones hydromorphes en multipliant la surface totale de sols humides par un facteur d'émission moyen basé sur les mesures du Canada. L'absorption de méthane par les sols agricoles a été estimée à l'aide de la valeur d'absorption observée pour les terres agricoles.

Le dioxyde de carbone

Les émissions de dioxyde de carbone des sols ont été estimées à l'aide du modèle Century sur l'échange de carbone (*voir* l'encadré au chapitre 9), qui rend compte des méthodes de gestion agricole, y compris la plantation, l'application d'engrais, le travail du sol, le

pâturage et l'ajout de matière organique.

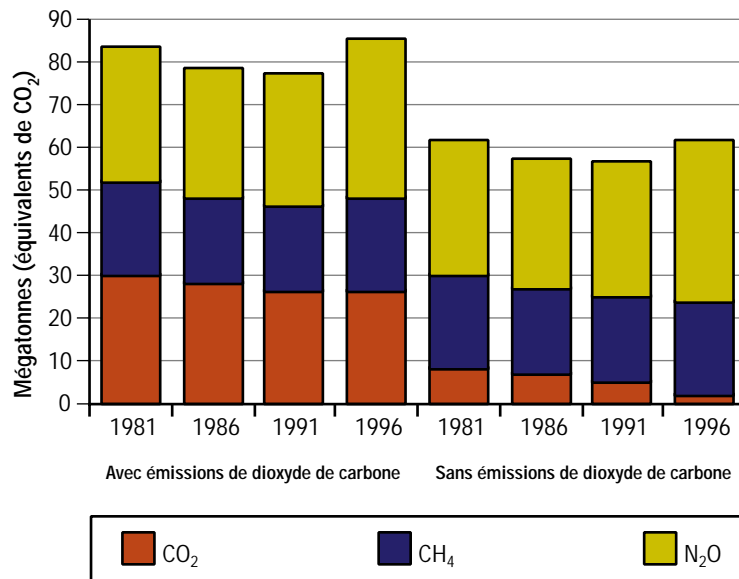
L'inventaire national des gaz à effet de serre du Canada évite le chevauchement des évaluations en attribuant au secteur du transport et au secteur manufacturier le dioxyde de carbone produit par la consommation de combustible et par la fabrication d'engrais et de machinerie. Nous présentons les estimations des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole avec et sans cette contribution.

Limites

L'étude scientifique des gaz à effet de serre est encore très récente, et la plupart des estimations comportent une grande marge d'erreur. Les estimations des émissions d'oxyde nitreux sont les plus sujettes à caution à cause de leur grande variabilité dans l'espace et de l'intermittence des émissions.

Pour le calcul des émissions de gaz à effet de serre, la méthodologie du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat considère que tous les systèmes agricoles sont soumis aux mêmes conditions quant au climat, aux sols, aux cultures et aux systèmes de gestion. Une précision accrue dans les valeurs pour le méthane et l'oxyde nitreux est requise pour refléter les

Émissions de gaz à effet de serre provenant des agroécosystèmes, avec et sans les émissions de dioxyde de carbone provenant des combustibles fossiles utilisés dans les exploitations agricoles et des sources connexes **Figure 14-2**



conditions au Canada. Le calcul de ces valeurs sera possible quand on aura effectué de plus amples observations expérimentales à long terme et amélioré la performance des modèles.

Résultats

Les émissions des trois principaux gaz à effet de serre associés à l'agriculture sont présentées en équivalents de dioxyde de carbone (figure 14-2) et en deux catégories : 1) celle qui inclut toutes les sources reliées à l'agriculture, sauf la transformation des aliments et le transport; et 2) celle qui exclut les contributions en dioxyde de carbone des combustibles fossiles utilisés dans les exploitations agricoles et les autres sources indirectes reliées à l'agriculture (en particulier la fabrication d'engrais, de machinerie et de pesticides, la construction de bâtiments agricoles et la production d'électricité). Les émissions d'oxyde nitreux ont augmenté de 21% entre 1981 et 1996, tandis que les émissions de méthane sont demeurées plutôt constantes. Les émissions de dioxyde de carbone venant de toutes les sources ont diminué de 13%; si l'on exclut les sources indirectes, les émissions ont chuté de 34%.

Émissions d'oxyde nitreux d'origine agricole **Tableau 14-1**

	1981	1986	1991	1996
	Mégatonnes d'équivalents de dioxyde de carbone			
Engrais	3,5	3,5	3,4	4,8
Fumier	3,3	3,0	3,2	3,5
Cultures fixatrices d'azote	2,3	2,8	3,0	3,9
Résidus de culture	4,7	4,7	4,7	5,5
Sols organiques	0,1	0,1	0,1	0,1
Total des sols	13,9	14,1	14,4	17,8
Systèmes de production animale	6,9	6,2	6,7	7,6
Total des émissions indirectes	9,9	9,5	9,6	11,8
Total des émissions d'oxyde nitreux d'origine agricole	31	30	31	37

Les données concernant ces trois gaz sont combinées et présentées à l'échelle provinciale à la figure 14-3, les provinces de l'Atlantique y étant réunies. La figure 14-3 présente des données qui excluent les émissions de dioxyde de carbone provenant de sources indirectes. Durant la période d'étude, ce sont les émissions totales de l'Alberta qui ont présenté l'augmentation la plus marquée. La figure 14-4 montre la contribution des principales sources agricoles au total des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole du Canada.

Les émissions directes provenant des sols représentent environ la moitié des émissions totales d'oxyde nitreux; de cette proportion, le tiers est attribué aux résidus de culture (tableau 14-1). Les émissions indirectes, qui sont les plus difficiles à mesurer, représentent environ le tiers du total des émissions d'oxyde nitreux.

Émissions de méthane d'origine agricole **Tableau 14-2**

	1981	1986	1991	1996
	Mégatonnes d'équivalents de dioxyde de carbone			
Bétail	17,8	15,7	16,2	18,4
Fumier	4,4	4,0	4,0	4,4
Sols	- 0,3	- 0,3	- 0,3	- 0,3
Total des émissions d'origine agricole	22	19	20	23

Le tableau 14-2 présente une analyse des émissions de méthane d'origine agricole. La valeur pour les sols est basée sur des estimations: d'une émission de 12 kilotonnes par année; d'une absorption de 24 kilotonnes par année.

Ainsi, les sols agricoles du Canada sont considérés comme des puits nets de méthane, car ils en absorbent environ 12 kilotonnes chaque année (environ 0,3 mégatonne en équivalent de dioxyde de carbone).

Une analyse des émissions de dioxyde de carbone d'origine agricole est présentée au tableau 14-3. Lorsqu'on inclut les combustibles fossiles utilisés pour l'équipement agricole et la combustion stationnaire, ainsi que ceux utilisés pour la fabrication et le transport de l'engrais, la construction, la fabrication de pesticides et la production d'électricité, les émissions de dioxyde de carbone d'origine agricole en 1996 passent de 1,8 mégatonne à 25,7 mégatonnes.

Interprétation

Les émissions totales d'oxyde nitreux, de méthane et de dioxyde de carbone d'origine agricole sont demeurées relativement stables entre 1986 et 1991, mais elles ont augmenté de façon considérable à partir de 1996, principalement en raison d'une augmentation des émissions d'oxyde nitreux. En excluant les sources indirectes de dioxyde de carbone, l'agriculture contribue à environ 10% des émissions de gaz à effet de serre du Canada. Si l'on inclut toutes les sources de dioxyde de carbone, sauf celles provenant de la transformation des aliments et du transport, la contribution de l'agriculture est d'environ 13%. Cette part est relativement faible, mais à cause de l'exploitation intensive de l'agriculture, une réduction des émissions du secteur agricole est un choix approprié pour aider le Canada à remplir son engagement global en matière de réduction des émissions.

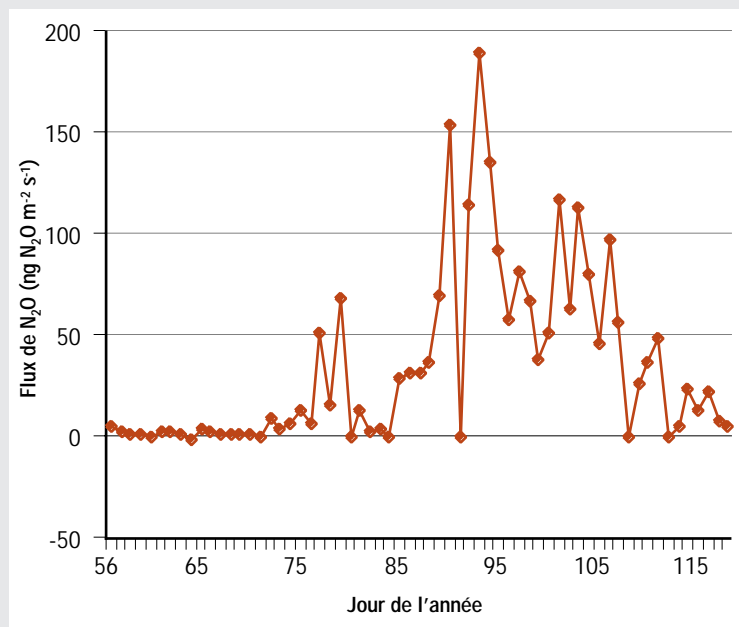
L'augmentation la plus importante d'émissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole a été observée entre 1991 et 1996, pour l'oxyde nitreux. Cette hausse importante est le résultat d'une augmentation de:

- 9% des cultures;
- 22% de la production de légumineuses;
- 18% du nombre de bovins de boucherie;
- 15% du nombre de porcs;
- 33% de la quantité d'engrais à base d'azote utilisée.

Les taux d'émission de méthane utilisés pour cette étude correspondent assez bien aux taux déterminés dans plusieurs études canadiennes. Les émissions de méthane dépendent de la taille du cheptel. On a fait beaucoup de progrès en réduisant ces émissions par l'augmentation du rendement de la production laitière et animale. Par exemple, en 1951, 1,7 million de vaches produisaient 2,4 milliards de litres de lait, alors qu'en 1991, moins de 0,9 million de vaches produisaient la même quantité de lait. Les émissions de

La libération d'oxyde nitreux pendant la fonte des neiges

La libération d'oxyde nitreux est sporadique et se produit souvent par vagues. Environ de 50 à 75 % des émissions annuelles d'oxyde nitreux au Canada surviennent au début du printemps, pendant la fonte des neiges. L'excès d'eau cause des conditions *anaérobies* qui, associées à une quantité de nitrate suffisante, à la disponibilité de carbone et à des températures favorables, provoquent une *dénitrification* et la formation d'oxyde nitreux. Les émissions d'oxyde nitreux sont également sporadiques dans l'espace à cause des différentes conditions d'humidité et de la teneur en azote du sol. Les émissions sont peut-être très faibles dans beaucoup de zones, mais les émissions intenses sont fréquentes aux endroits où les conditions sont idéales pour la production d'oxyde nitreux.



Émissions d'oxyde nitreux mesurées en 1996 dans un champ de soja à Ottawa. Les vagues d'émissions d'oxyde nitreux surviennent juste après le dégel du printemps et l'application d'engrais.

E. Pattey, Agriculture et Agroalimentaire Canada

méthane provenant du fumier, estimées à 200 kilotonnes par année, forment 20% du total des émissions.

En 1996, les sols agricoles du Canada étaient responsables d'environ 7% des émissions de dioxyde de carbone d'origine agricole. Les sols agricoles ont perdu environ 25% de leur teneur en carbone d'origine depuis les débuts de la culture (voir le chapitre 9). La teneur en carbone des sols peut être influencée par certaines pratiques de gestion, comme des méthodes de travail du sol. Selon les prédictions du modèle, si les agriculteurs continuent de délaissier au rythme actuel le travail

Émissions directes et indirectes de dioxyde de carbone d'origine agricole **Tableau 14-3**

	1981	1986	1991	1996
	Mégatonnes de dioxyde de carbone			
Combustibles fossiles	9,5	7,7	8,1	9,5
Sols	7,7	7,3	5,1	1,8
Total des émissions directes	17,2	15,0	13,2	11,3
Fabrication, transport et application d'engrais	4,4	5,5	5,1	6,6
Fabrication et réparation de la machinerie	4,7	4,3	3,9	3,7
Construction de bâtiments	1,5	1,4	1,7	1,4
Fabrication de pesticides	0,2	0,3	0,3	0,3
Production d'électricité	1,8	1,9	2,1	2,4
Total des émissions indirectes	12,6	13,4	13,1	14,4
Total des émissions d'origine agricole*	30	28	26	26

*Excluant la transformation et le transport des aliments.

du sol classique pour des méthodes de culture sans travail du sol, les sols agricoles cesseront d'être une source de dioxyde de carbone avant 2001 et emmagasineront de 0,5 à 0,7 mégatonne de carbone chaque année à partir de 2010. Cette tendance se maintiendra seulement jusqu'à ce que les sols agricoles aient atteint un nouvel équilibre, et seulement si les pratiques favorisant l'augmentation de la teneur en carbone (comme la culture sans travail du sol) sont maintenues.

Une part beaucoup plus importante des émissions de dioxyde de carbone vient de la combustion des combustibles fossiles. Les combustibles utilisés

dans les fermes canadiennes produisent de 8 à 10 mégatonnes de dioxyde de carbone chaque année. Les sources indirectes (notamment la fabrication et le transport d'engrais minéral) contribuent à produire de 14 à 16 autres mégatonnes par l'utilisation de combustibles. Étant donné que l'utilisation d'engrais augmente, les émissions de dioxyde de carbone augmentent elles aussi. Une quantité considérable de dioxyde de carbone est aussi émise pendant la fabrication de machinerie agricole, la construction de bâtiments et la production d'électricité.

La réduction des émissions de dioxyde de carbone d'origine agricole entre 1981 et 1996 résulte principalement des changements apportés dans l'utilisation des terres et dans les méthodes de gestion. Ces changements comprennent:

- la diminution de la mise en jachère;
- l'augmentation de la pratique de la culture sans travail du sol;
- l'ajout de légumineuses et de graminées dans les rotations de cultures;
- une gestion améliorée du sol, qui réduit l'érosion;
- la conversion de terres cultivées à la plantation de graminées vivaces et d'arbres.

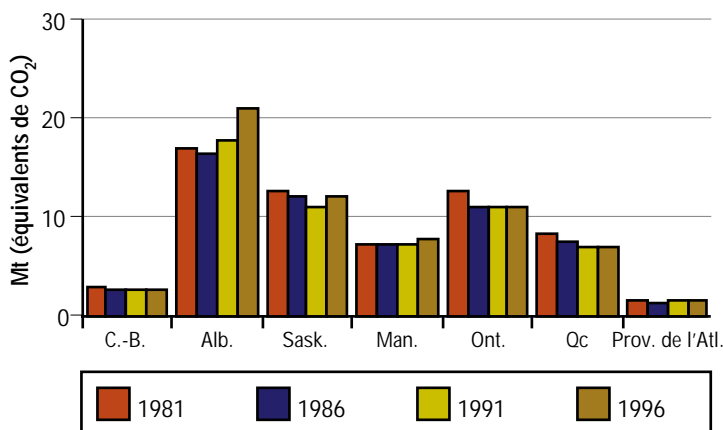
Choix de mesures d'intervention

Les émissions d'oxyde nitreux sont souvent intensifiées par la pauvreté du sol. Des conditions améliorées devraient mener à une utilisation efficace de l'azote. Les méthodes qui favorisent une telle amélioration incluent:

- l'utilisation d'engrais à libération contrôlée;
- l'utilisation d'inhibiteurs de la nitrification;
- l'amélioration des calendriers d'application de l'azote;
- l'amélioration de la gestion de l'eau et des fumiers;
- le raffinement de la teneur en azote des aliments pour animaux d'élevage.

La plus grande partie du méthane provenant du fumier est produite pendant l'entreposage. Lorsque le fumier est entreposé sous forme liquide ou en tas peu aérés, le manque d'oxygène empêche la décomposition complète en dioxyde de carbone, ce qui provoque la production de méthane. La plupart des méthodes servant à réduire les émissions de méthane provenant du fumier impliquent donc :

Émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole, en équivalents de dioxyde de carbone **Figure 14-3**



- une décomposition lente;
- une bonne aération;
- une durée d'entreposage réduite.

On peut réduire la quantité de méthane produite par les animaux de ferme en améliorant les aliments de ces animaux et en accélérant le processus de digestion par des moyens tels que:

- l'utilisation d'aliments faciles à digérer comme les céréales, les légumineuses et les produits d'ensilage;
- la récolte du fourrage à un stade de croissance peu avancé, où le fourrage est gras;
- le hachage des aliments afin d'accroître la surface digestible;
- l'utilisation minimale d'herbe et de foin secs;
- l'ajout aux aliments de suppléments concentrés au besoin.

On peut réduire les émissions de dioxyde de carbone d'origine agricole en réduisant l'utilisation de combustibles fossiles par des pratiques telles que:

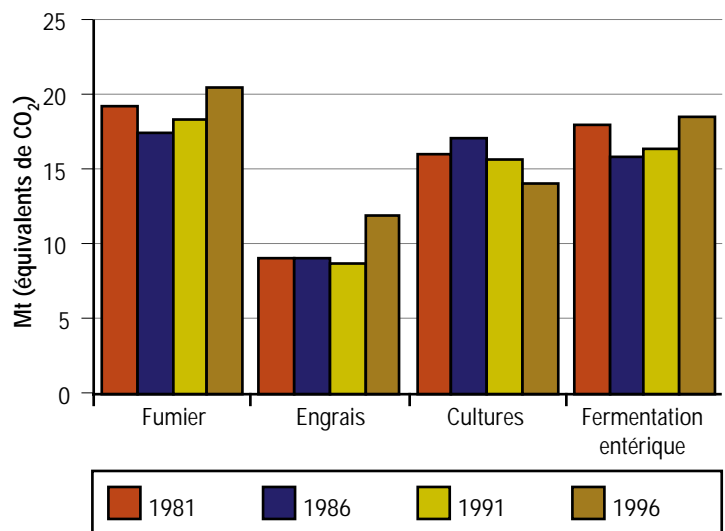
- la réduction du travail du sol;
- l'amélioration des calendriers d'irrigation;
- le séchage des cultures par le soleil;
- l'amélioration de la gestion des engrais;
- l'augmentation de l'efficacité de la machinerie agricole;
- l'utilisation accrue de biocombustibles comme l'éthanol

Un autre moyen de réduire les émissions de dioxyde de carbone est d'augmenter la quantité de carbone retenue dans le sol. Cette méthode peut être favorisée par:

- l'augmentation de la culture de fourrage et de graminées;
- l'utilisation de systèmes de culture sans travail du sol;
- l'utilisation de méthodes qui améliorent les rendements et, par conséquent, l'apport des résidus de culture (p. ex., application d'engrais, amélioration de la fertilisation);
- la réduction de la mise en jachère;
- l'utilisation de pratiques de conservation du sol (p. ex., brise-vent, voies d'eau gazonnées);
- la plantation de graminées ou d'arbres sur les terres à faible rendement.

Lorsqu'on estime la valeur de différentes méthodes de gestion pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, il est important d'analyser

Émissions de gaz à effet de serre provenant des quatre principales sources agricoles, en équivalents de dioxyde de carbone **Figure 14-4**



Les produits de remplacement à base d'éthanol pour les combustibles fossiles

On peut réduire la quantité de dioxyde de carbone libéré par la combustion de combustibles fossiles en augmentant la quantité de biomasse végétale utilisée pour la production d'énergie. Les biocombustibles, tels que l'éthanol, peuvent être produits à partir de produits agricoles comme le maïs, le blé, le colza et l'orge, ou de résidus agricoles comme le bois et les déchets du bois. On peut réduire les émissions provenant du transport en mélangeant 10 % d'éthanol à l'essence. Une grande quantité du dioxyde de carbone produit à partir de la combustion de biocombustibles est absorbée par la végétation en croissance. Cela ne provoque pas d'augmentation nette du dioxyde de carbone, puisqu'il s'agit essentiellement d'un cycle fermé du carbone. À l'opposé, le dioxyde de carbone libéré par les combustibles fossiles marque une augmentation nette des niveaux de dioxyde de carbone, étant donné que ce carbone est extrait des profondeurs de la Terre, et qu'il s'ajoute directement au cycle du carbone.

Au Canada, on produit chaque année environ 30 millions de litres d'éthanol à partir du blé et du maïs, ce qui réduit les émissions de dioxyde de carbone d'environ 21 kilotonnes par année. On s'attend à ce que les récents progrès de l'industrie de l'éthanol fassent augmenter la production canadienne à environ 350 millions de litres d'ici l'an 2000. L'éthanol est dérivé le plus souvent de produits à haute teneur en amidon, mais de nouvelles méthodes rendent possible la production à partir de matière fibreuse, comme les résidus de culture, le fourrage et les déchets de culture. En Saskatchewan, on a estimé récemment qu'environ 2 mégatonnes de paille et de fragments de paille de plus que ce qui est requis pour les litières des animaux et le maintien des sols sont produites chaque année. Cette quantité pourrait produire environ 500 millions de litres d'éthanol, qui remplaceraient environ 0,4 mégatonne de dioxyde de carbone des combustibles fossiles, ce qui équivaut à 2 % des émissions provenant des combustibles fossiles utilisés dans le secteur agricole.

R.L. Desjardins, Agriculture et Agroalimentaire Canada

le système dans son ensemble et de tenir compte des risques de réchauffement de la planète que présente chaque gaz (p. ex., certaines méthodes redonnent du carbone au sol, mais produisent beaucoup d'émissions d'oxyde nitreux).

Conclusions

Le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de gaz à effet de serre à 6% sous les niveaux de 1990 entre 2008 et 2012. Comme les émissions actuelles sont déjà bien au-dessus de celles de 1990, il pourrait devoir réduire ses émissions de gaz à effet de serre d'environ 20% ou l'équivalent de 140 mégatonnes de dioxyde de carbone. Pour atteindre cette diminution, tous les secteurs de l'économie auront un rôle à jouer.

Au Canada, l'agriculture représente 13% des émissions totales de gaz à effet de serre résultant de l'activité humaine si l'on inclut l'utilisation des combustibles fossiles (habituellement attribuée aux secteurs du transport et de la fabrication) ou 10% si on l'exclut. Les émissions totales d'origine agricole ont augmenté de 83 mégatonnes en équivalents de dioxyde de carbone en 1981 à

86 mégatonnes en 1996. Étant donné que les agroécosystèmes sont exploités de façon intensive, ils présentent beaucoup d'occasions d'adopter des mesures réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Pour déterminer les avantages de ces mesures, de meilleures méthodes d'évaluation des émissions de gaz à effet de serre sont requises. Des estimations précises des émissions aideront à déterminer quelles sont les meilleures méthodes de gestion pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Indicateurs connexes

La quantité d'azote résiduel dans le sol est un facteur déterminant de la composante oxyde nitreux du Bilan des gaz à effet de serre de l'agroécosystème. Le degré d'adoption de méthodes de gestion qui limitent les émissions d'oxyde nitreux est reflété dans la gestion des intrants agricoles - éléments nutritifs et pesticides. Étant donné que le potentiel des sols agricoles d'emmagasinier du carbone a des conséquences sur les concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, l'indicateur dont il est ici question est également lié au carbone organique du sol.

F

*La biodiversité
de l'agroécosystème*

F La biodiversité de l'agroécosystème

La diversité biologique, également appelée *biodiversité*, désigne l'immense variété des organismes vivants qui nous entourent. Cette notion se rapporte à la multitude de plantes, d'animaux et d'autres espèces qui peuplent la Terre, et à la diversité génétique qui leur confère leur capacité d'adaptation aux multiples conditions de vie existant dans les milieux naturels. La notion de biodiversité couvre aussi les nombreux écosystèmes qu'on trouve sur la planète, chacun de ceux-ci abritant un ensemble complexe d'espèces, d'individus et de communautés; elle désigne également les interactions entre ces êtres vivants et leur milieu physique.

Reconnaissant que la biodiversité mondiale est une ressource qu'il faut protéger, le Canada et nombre d'autres pays ont signé la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique. Cette entente vise à assurer la conservation de la biodiversité, l'exploitation durable des richesses qu'elle représente et le partage équitable des avantages découlant des ressources génétiques. En vertu de la Convention, les gouvernements du Canada, des provinces et des territoires ont travaillé de concert à élaborer la Stratégie canadienne de la biodiversité, qui comporte de nombreux objectifs touchant l'agriculture.

L'agriculture bénéficie de la biodiversité de nombreuses façons, par exemple :

- la diversité génétique constitue le fondement des programmes de sélection d'animaux et de plantes;
- les espèces sauvages sont une source de matériel génétique permettant d'améliorer les cultures et le bétail par l'intermédiaire du génie génétique;
- les innombrables organismes qui vivent dans le sol sont essentiels à la décomposition et à la formation du sol ainsi qu'au recyclage des éléments nutritifs et de l'énergie dans ce milieu;
- certains insectes et autres organismes jouent le rôle d'agents de lutte biologique contre les parasites des cultures;
- les insectes assurent la pollinisation des plantes.

De plus, la présence d'espèces sauvages sur les terres agricoles est bénéfique aux êtres humains : beauté de la nature, chasse et pêche sportives ou possibilités économiques (écotourisme).

Toutefois, au fil des ans, l'agriculture a contribué à la réduction de la biodiversité, principalement par la modification des habitats naturels, mais aussi par ses effets sur la qualité du sol et de l'eau et par la perte d'anciennes variétés de plantes et d'animaux domestiques. Pour y remédier, le secteur canadien de l'agriculture mène de nombreuses activités visant à préserver et à rétablir les milieux humides et l'habitat riverain, à protéger les espèces sauvages en péril (renard vélocé, châtaignier d'Amérique, stylophore à deux feuilles), à soutenir le rétablissement d'espèces, à conserver les races d'animaux d'élevage et les variétés de plantes en danger de disparition, et à

accroître la qualité de l'eau et des sols là où ils sont affectés par l'agriculture. Ces activités s'inscrivent dans deux des objectifs de la Stratégie canadienne de la biodiversité en matière d'agriculture, soit le maintien du bassin de ressources agricoles et la promotion des pratiques agricoles écologiquement durables compatibles avec l'existence des espèces sauvages.

Le chapitre 15 présente la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles, un indicateur qui mesure la biodiversité de l'agroécosystème. Bien qu'elle ait depuis longtemps l'effet d'appauvrir les habitats, l'agriculture offre des possibilités pour ce qui est de leur rétablissement et de leur amélioration, qu'il s'agisse de la plantation de brise-vent, de l'aménagement de boisés, du nettoyage des drains, du rétablissement des milieux humides et de la gestion des accès pour les animaux d'élevage, ou de l'aménagement des champs en vue d'harmoniser l'agriculture et les besoins de la faune. À l'avenir, il est possible qu'on ajoute à cette section des chapitres portant sur des indicateurs de mesure de la présence d'espèces clés sur les terres agricoles ainsi que la superficie des types de terres que les animaux sauvages préfèrent, soit les prairies, les boisés et les milieux humides.

15

Disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles

P. Neave, E. Neave, T. Weins et T. Riche

Portée géographique : Canada, écozones

Période : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- La perte et l'altération des habitats sont la principale cause de la diminution du nombre d'espèces sauvages, et donc de la perte de biodiversité à l'échelle mondiale. La conversion des terres naturelles en terres agricoles a contribué au phénomène; en revanche, l'agriculture assure un meilleur habitat que d'autres formes d'utilisation du territoire par l'être humain, notamment l'urbanisation. L'existence d'espèces sauvages sur les terres agricoles présente à la fois des avantages (beauté des paysages, chasse, pêche, etc.) et des inconvénients (réduction du rendement des cultures, par exemple).
- Un indicateur de disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles a été mis au point pour les sept principales écozones où l'on pratique l'agriculture au Canada. Il indique le pourcentage des unités d'utilisation d'habitat associées aux types d'habitat des terres agricoles dont la superficie totale a augmenté, a diminué ou est demeurée inchangée entre 1981 et 1996. L'évaluation se fonde sur l'utilisation de l'habitat par les mammifères, les reptiles et les amphibiens fréquentant les régions agricoles dans chaque écozone. De plus, l'indicateur reflète les changements ayant affecté la répartition des types d'habitat agricole pendant la période en question. Bien qu'on n'ait pas encore établi d'objectifs de rendement nationaux, des programmes de conservation des habitats visant des objectifs précis sont en cours partout au pays.
- Pour élaborer l'indicateur, nous avons mis au point des matrices de disponibilité de l'habitat dans chacune des sept écozones. Ces matrices indiquent comment les différentes espèces sauvages utilisent les terres agricoles pour satisfaire leurs besoins en matière d'habitat (reproduction, alimentation, abri, haltes migratoires, hivernage). Chaque utilisation de l'habitat par une espèce donnée correspond à une unité d'utilisation. Nous avons ensuite fait la somme de ces unités par type d'habitat pour chaque écozone. Les cinq types d'habitat évalués correspondent aux cinq grandes catégories d'utilisation des terres définies dans le *Recensement de l'agriculture* de 1996 (terres en culture, jachères, pâturages artificiels ou ensemencés, terres naturelles pour le pâturage, toutes les autres terres).
- Toutes les terres agricoles ont une certaine valeur comme habitat faunique, mais ce sont celles des catégories « toutes les autres terres » et « terres naturelles pour le pâturage » du recensement qui renferment le plus d'unités d'utilisation de l'habitat; viennent ensuite les terres des catégories « terres en culture », « pâturages artificiels ou ensemencés » et « jachères », où l'habitat est peu utilisé par la faune.
- L'indicateur révèle des tendances positives quant à la disponibilité de l'habitat sur les terres agricoles dans trois écozones. Ainsi, la superficie de l'habitat a augmenté pour 86, 80 et 73 % des unités d'utilisation de l'habitat respectivement dans les écozones des Plaines boréales, des Prairies et Maritime de l'Atlantique. En revanche, cette superficie a diminué pour 74 et 75 % des unités d'utilisation d'habitat respectivement dans les écozones des Plaines à forêts mixtes et Maritime du Pacifique. Et enfin la superficie de l'habitat est demeurée relativement inchangée pour 75 et 79 % des unités d'utilisation respectivement dans les écozones du Bouclier boréal et de la Cordillère montagnarde.
- La diminution de la superficie totale des jachères et l'augmentation de la superficie totale de « toutes les autres terres » et des « pâturages artificiels ou ensemencés » expliquent en majeure partie l'accroissement de la disponibilité de l'habitat enregistré entre 1981 et 1996. Quant aux diminutions de la disponibilité de l'habitat, elles sont attribuables en majeure partie à l'expansion des terres en culture due à la conversion de terres agricoles convenant mieux comme habitat faunique, notamment des terres des catégories « terres naturelles pour le pâturage » et « toutes les autres terres ».
- Lorsqu'on disposera de plus d'information sur l'ampleur des besoins d'habitat optimal sur les terres agricoles, le cas échéant, les responsables régionaux de l'aménagement pourront fixer des objectifs afin de répondre aux besoins de groupes d'espèces et d'écosystèmes précis.

L'enjeu

Chaque année, les populations de beaucoup d'espèces animales et végétales diminuent en nombre ou disparaissent, parfois sous l'effet de phénomènes naturels, mais souvent à cause de l'activité humaine. La dégradation de l'habitat est de loin la principale cause de la disparition d'espèces fauniques, qu'il s'agisse de l'empiètement causé par l'urbanisation, la coupe du bois, l'exploitation des mines, l'agriculture, la pêche ou d'autres activités (y compris la pollution et l'introduction d'espèces exotiques).

Par habitat faunique, on entend tout ce dont ces espèces ont besoin pour vivre, soit la nourriture, l'eau, un abri et un espace vital. L'habitat doit également répondre à certains besoins particuliers comme la reproduction et la dispersion. Les espèces peuvent exploiter différents éléments du paysage pour y survivre. Leur capacité de répondre à

tous leurs besoins est fonction à la fois de la *qualité de l'habitat* et de la *disponibilité de l'habitat* (voir l'encadré). Si l'habitat est peu étendu ou de mauvaise qualité (ressources alimentaires limitées ou mauvaise protection contre les prédateurs), il ne permettra pas à certaines espèces de satisfaire leurs besoins.

Les agroécosystèmes diffèrent des écosystèmes naturels parce qu'ils sont aménagés en vue d'une meilleure productivité du point de vue de l'être humain. L'agriculture a réduit la quantité d'habitats naturels, principalement par la conversion du paysage naturel et par certains changements apportés dans l'utilisation du territoire, comme l'assèchement de milieux humides ainsi que la suppression et la fragmentation du couvert forestier. Diverses activités agricoles comme le travail du sol, la fertilisation, l'emploi de pesticides et le pâturage intensif peuvent également réduire la qualité de l'habitat faunique.

Disponibilité de l'habitat

Les espèces fauniques peuvent exploiter différents éléments du paysage pour subvenir à leurs besoins. La disponibilité de l'habitat (possibilité pour une espèce donnée de satisfaire ses besoins dans un paysage donné) est déterminée par :

- l'abondance de l'habitat propice dans l'aire de distribution potentielle de cette espèce;
- le taux de fréquentation courant du type d'habitat en question;
- l'hétérogénéité du paysage (étendue des différentes composantes de l'habitat et distance entre celles-ci);
- l'accessibilité des différentes composantes de l'habitat et le degré de contiguïté entre celles-ci;
- la variabilité des besoins de l'espèce au fil des saisons;
- l'existence d'espèces concurrentes et prédatrices, et de maladies.

Les paysages naturels sont variables par essence et la plupart des espèces exploitent leurs diverses composantes à différents moments pour satisfaire leurs besoins. La survie et la distribution d'une espèce donnée sont fonction des différences qualitatives entre les composantes de l'habitat et de la position de celles-ci dans le paysage. Le degré de liaison entre ces composantes et leur accessibilité pour les animaux sont également des aspects importants. Par exemple, certaines composantes du paysage peuvent représenter des obstacles physiques ou exposer une espèce donnée à la prédation.

Les agroécosystèmes peuvent constituer des mosaïques de terres en culture, de pâturages, de boisés et de milieux humides. L'hétérogénéité du paysage est très propice à certaines espèces comme le cerf de Virginie. En revanche, d'autres espèces comme la buse à queue rousse ont plus de difficulté à vivre dans un environnement hétérogène parce qu'elles ont besoin de grandes étendues de forêt à maturité pour se reproduire. Dans le cas de ces espèces, la fragmentation de l'habitat et la création de nouvelles lisières peuvent accroître la compétition ainsi que le parasitisme et la prédation des nids.

P. Neave et E. Neave, Neave Resource Management

Certaines espèces sauvages peuvent prospérer là où l'habitat naturel a été remplacé par un habitat agricole. D'autres, par contre, doivent se confiner aux habitats naturels ou semi-naturels qui subsistent dans le paysage agricole. Malgré la perpétuelle évolution de l'habitat à l'intérieur des agroécosystèmes, les terres agricoles sont plus favorables aux espèces sauvages que des régions comme les zones urbaines, où l'aménagement est plus intense. On peut citer les avantages suivants :

- des abris sous la forme d'arbres et d'arbustes (p. ex. brise-vent et boisés), d'herbe et d'eau;
- une réserve de nourriture facilement accessible;
- la proximité de paysages naturels;
- une pression humaine moindre que dans les zones urbaines.

Les espèces sauvages qui fréquentent les terres agricoles procurent de nombreux avantages aux agriculteurs et à l'ensemble des Canadiens : beauté naturelle, possibilités de loisirs (chasse et pêche) et, dans certains cas, possibilités économiques (écotourisme). De nombreux agriculteurs aménagent leurs terres au profit des espèces sauvages. Par contre il peut arriver que celles-ci nuisent à la productivité des fermes (notamment en piétinant ou en consommant des cultures) et entraînent des coûts pour les agriculteurs.

L'évaluation de la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles du Canada permet de mieux comprendre les effets néfastes de l'agriculture sur l'environnement.

L'indicateur

Description

Pour déterminer de façon générale les incidences négatives de l'agriculture sur la disponibilité de l'habitat, nous avons élaboré un indicateur pouvant s'appliquer à chacune des sept principales écozones terrestres où l'on pratique l'agriculture. Cet indicateur permet d'identifier le mode d'utilisation des différents types d'habitat agricole par les diverses espèces sauvages, puis d'établir un lien avec les changements qui affectent la superficie de ces mêmes habitats. On se sert ensuite de l'indicateur pour savoir quels types d'habitat du paysage agricole sont les plus propices aux espèces sauvages et déterminer si la superficie de ces habitats a augmenté ou diminué, ou si elle est demeurée inchangée entre 1981 et 1996. Ainsi l'indicateur doit refléter favorablement toute tendance à l'augmentation de la superficie des habitats agricoles de qualité supérieure pour les espèces sauvages. Bien qu'on n'ait pas encore établi d'objectifs nationaux à l'égard de cet indicateur (voir la rubrique « Choix de mesures d'intervention » ci-après), des programmes de conservation des habitats visant des objectifs précis sont en cours partout au pays.

Méthode de calcul

Pour élaborer l'indicateur, nous avons mis au point des *matrices de disponibilité de l'habitat* par écozone pour chacune des espèces sauvages associées à l'habitat agricole. Ces matrices sont des tableaux montrant le lien entre le type d'habitat qu'on trouve sur les terres agricoles et l'utilisation de cet habitat par les espèces sauvages. Nous avons établi une matrice pour chaque espèce d'oiseau, de mammifère, d'amphibien et de reptile qui fréquente les terres agricoles et les zones voisines au Canada pour satisfaire au moins l'un de ses besoins en matière d'habitat. Les listes des espèces en question ont été établies à l'aide de guides sur les animaux sauvages et sur l'avis de spécialistes.

L'axe vertical de la matrice représente les types d'habitat agricole. Au niveau le plus général, ces types correspondent aux catégories d'utilisation des terres établies pour le *Recensement de l'agriculture* :

- terres en culture;
- jachères;
- pâturages artificiels ou ensemencés;
- terres naturelles pour le pâturage;
- toutes les autres terres.

Nous avons ensuite subdivisé ces grandes catégories pour représenter avec plus de précision les différents habitats des terres agricoles. Les terres en culture ont été subdivisées en fonction du type de culture (p. ex. blé, canola et maïs). Trois sous-catégories ont été établies pour les terres naturelles pour le pâturage, soit prairies naturelles, armoises-arbustes et arbustes-boisés. Quant à la catégorie « toutes les autres terres », qu'on considère comme celle qui contient les types d'habitat les plus propices aux espèces sauvages, elle a été divisée comme suit : bâtiments, brise-vent, types de boisés (p. ex., plantations et boisés avec ou sans profondeur) et types de *milieux humides* (p. ex. zones *riveraines*, milieux humides peu profonds avec ou sans bordures étendues et étangs profonds permanents avec ou sans bordures étendues).

L'axe horizontal de la matrice comporte cinq grandes catégories d'utilisation de l'habitat :

- reproduction et nidification;
- alimentation et recherche de nourriture;
- abris, lieux de repos et dortoirs;
- hivernage;
- *haltes migratoires* (pour les oiseaux seulement).

Chaque utilisation d'un type d'habitat donné par une espèce donnée compte pour une *unité d'utilisation de l'habitat*. (Il ne s'agit pas ici du nombre d'espèces utilisant un habitat donné, mais du nombre de modes d'utilisation différents de cet habitat. Par exemple, l'alimentation, la nidification et le repos du canard colvert dans un type d'habitat donné comptent pour trois unités d'utilisation de l'habitat en question.)

Lors de l'établissement des matrices, nous avons attribué un rang à chaque mode d'utilisation en fonction du degré de dépendance de l'espèce considérée envers l'utilisation de l'habitat considéré. Ainsi l'utilisation primaire correspond à la situation d'une espèce entièrement tributaire d'un certain type d'habitat, ou qui a une préférence marquée pour lui (l'équivalent de la notion d'*habitat critique*). L'utilisation secondaire correspond à la situation d'une espèce qui utilise un certain habitat (pour se nourrir par exemple), mais qui n'a pas totalement besoin de cet habitat. L'utilisation tertiaire correspond à un type d'habitat qui n'est pas nécessaire à une espèce donnée, mais où l'on observe toutefois celle-ci à l'occasion. Si une espèce donnée ne fréquente généralement pas un habitat donné, la cellule correspondante de la matrice est laissée en blanc; elle est marquée d'un X si l'espèce évite cet habitat.

Pour résumer les données, nous avons additionné séparément les cas d'utilisation primaire et d'utilisation secondaire pour les cinq grandes catégories d'utilisation, puis nous avons calculé la somme des unités d'utilisation de l'habitat pour chaque écozone. Ensuite, nous avons analysé les variations ayant affecté l'étendue des habitats auxquels correspondaient ces unités d'utilisation afin de calculer l'indicateur. Les données sur la superficie des habitats ont été tirées du *Recensement de l'agriculture*.

Limites

Étant donné que l'indicateur ne fournit de l'information que sur la présence ou l'absence de certaines utilisations de l'habitat, il renseigne peu sur la qualité de celui-ci. Nous avons tenté d'intégrer

cet aspect en subdivisant trois types d'utilisation des terres établis dans le recensement (terres en culture, terres naturelles pour le pâturage et toutes les autres terres) en différentes catégories présentant une valeur différente pour chaque espèce. Toutefois la grande variation de qualité parmi les cinq grands types envisagés montre qu'il est difficile d'utiliser des données de recensement pour des études sur l'habitat. Ainsi parmi les terres de la catégorie « toutes les autres terres », on trouve des voies de circulation, des serres et des bâtiments de ferme, qui ne conviennent pas à la plupart des espèces fauniques. De plus, il se peut que certains exploitants agricoles ne classent pas les milieux humides et les boisés dans cette dernière catégorie. Ultérieurement, dans le cadre de futurs travaux de développement de l'indicateur, il pourrait être utile de séparer les milieux humides et les boisés des terres de la catégorie « toutes les autres terres ».

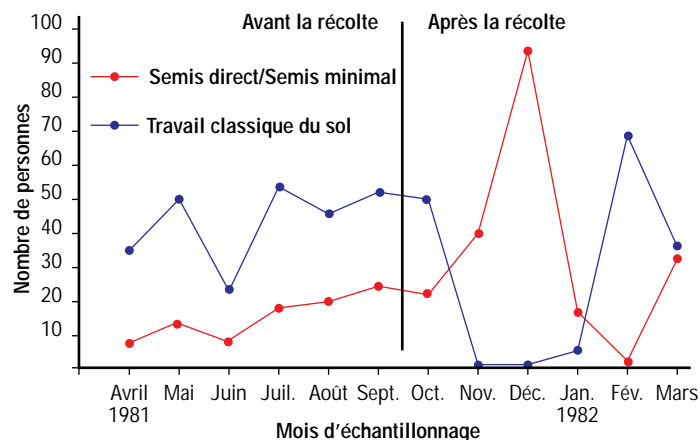
Effets du travail du sol sur la faune

Au cours des 15 dernières années, nombre d'agriculteurs ont adopté des pratiques de conservation du sol, dont la culture sans travail du sol. Ainsi le matériel de labour est très peu utilisé ou pas du tout et une plus grande quantité de résidus de culture demeure à la surface. Cette méthode de travail produit, entre autres, les effets suivants :

- réduction de la perturbation du sol;
- modification du régime hydrique et de la masse volumique apparente du sol;
- accroissement de la teneur en matière organique;
- réduction du risque d'érosion éolienne et hydrique.

Plusieurs études ont montré les effets bénéfiques du travail de conservation du sol pour la faune. Par exemple, on observe une augmentation du nombre d'invertébrés, qui bénéficient de la protection assurée par les résidus de culture à la surface du sol et ne sont plus exposés à la mortalité due aux labours; on observe également une augmentation des effectifs de nombreuses espèces d'oiseaux qui se nourrissent de ces invertébrés.

Fréquence de la présence d'oiseaux dans les champs de maïs ensemencés par semis direct et conventionnel



P. Neave et E. Neave, *Neave Resource Management*

À cet égard l'indicateur ne prend pas en compte l'efficacité des modes d'utilisation de l'habitat. Cette efficacité est parfois reflétée dans le système d'attribution d'un rang (p. ex., dans le cas de la nidification du canard colvert, une utilisation primaire a été attribuée aux habitats où le succès de la nidification est élevé et une utilisation secondaire pour les habitats où il est moins élevé). Cette information était souvent disponible pour la sauvagine, mais rarement pour d'autres espèces. Ainsi donc, même si la superficie totale d'un type d'habitat faunique donné augmente, la qualité de l'habitat en question ne suffit pas nécessairement à assurer la reproduction et à maintenir l'effectif des espèces qui le fréquentent.

L'emploi des grandes catégories d'utilisation des terres ne tient pas compte des facteurs biologiques qui peuvent limiter l'utilisation d'un type d'habitat particulier. Par exemple, il se peut qu'une espèce donnée n'utilise pas un habitat pour différentes raisons :

- l'un de ses besoins est satisfait (p. ex. alimentation), mais pas les autres (p. ex. eau et sites de nidification);
- l'habitat est trop fragmenté;
- il existe des obstacles à l'utilisation de l'habitat pour des raisons de comportement;
- l'habitat de prédilection est déjà occupé.

L'indicateur ne permet pas de déterminer les effets des diverses pratiques d'aménagement des terres, ce qui constitue une autre limite. Toutefois les effets des pratiques comme le travail du sol (voir l'encadré) et la lutte contre les mauvaises herbes sur l'utilisation de l'habitat sont abordés ailleurs.

Types d'habitat agricole et unités d'utilisation de l'habitat correspondantes, 1996.
Tableau 15-1

Écozone	Superficie totale des terres agricoles évaluées (1000 ha)	Proportion (%) des terres agricoles (1) et des unités d'utilisation de l'habitat (2) correspondant à diverses utilisations des terres agricoles										Total des unités d'utilisation primaire et d'utilisation secondaire de l'habitat
		Terres en culture		Jachères		Pâturages artificiels ou ensemencés		Terres naturelles pour le pâturage		Toutes les autres terres		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Maritime du Pacifique	139	49	7	<1	<1	11	3	26	17	14	73	3 048
Cordillère montagnarde	1 532	16	9	<1	<1	9	3	62	17	13	70	4 011
Plaines boréales	13 445	49	13	5	<1	10	3	24	14	12	69	3 098
Prairies	41 853	53	17	13	<1	5	4	24	19	5	59	3 865
Bouclier boréal	1 245	37	8	1	<1	9	3	24	14	29	75	3 262
Plaines à forêts mixtes	6 294	75	11	<1	<1	6	3	10	14	9	71	3 784
Maritime de l'Atlantique	1 546	40	12	<1	<1	8	3	13	12	39	73	2 792

Résultats

Le tableau 15-1 montre la proportion des terres agricoles dans cinq différents types d'habitat agricole ainsi que la proportion d'unités d'utilisation de l'habitat correspondant à chacun de ces cinq types d'habitat dans les sept écozones étudiées. Bien que des espèces sauvages fréquentent les habitats des cinq catégories dans les sept écozones, ce sont les catégories « terres naturelles pour le pâturage » et « toutes les autres terres » qui reçoivent le plus grand nombre d'unités d'utilisation de l'habitat, et ce dans toutes les écozones.

La subdivision de ces deux catégories a permis de constater que les habitats les plus importants pour la faune sont les boisés avec ou sans profondeur, les zones riveraines et les milieux humides profonds ou non avec bordure étendue. Les armoises-arbustes, les arbustes-boisés et les prairies naturelles sont également prisés par la faune dans les écozones où l'on retrouve ces types d'habitat. Les terres en culture et les pâturages artificiels ou ensemencés sont moins propices, tandis que les jachères présentent moins de 1 % des unités d'utilisation de l'habitat par les espèces sauvages étudiées.

La figure 15-1 indique la proportion des unités d'utilisation de l'habitat auxquelles correspondent des habitats dont la superficie s'est étendue, a diminué ou est demeurée inchangée entre 1981 et 1996. Dans trois écozones (les Plaines boréales,

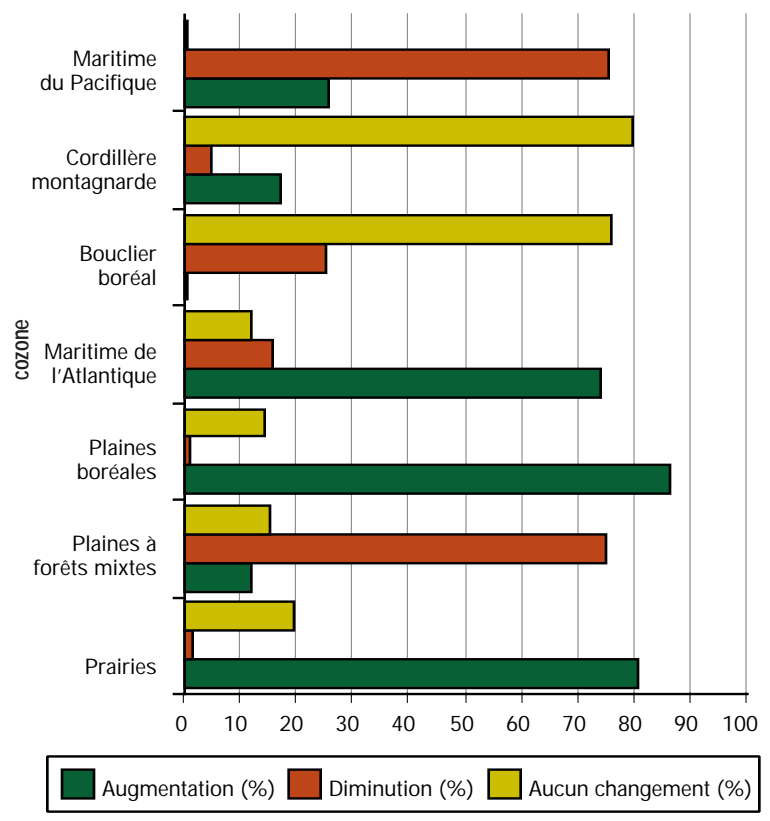
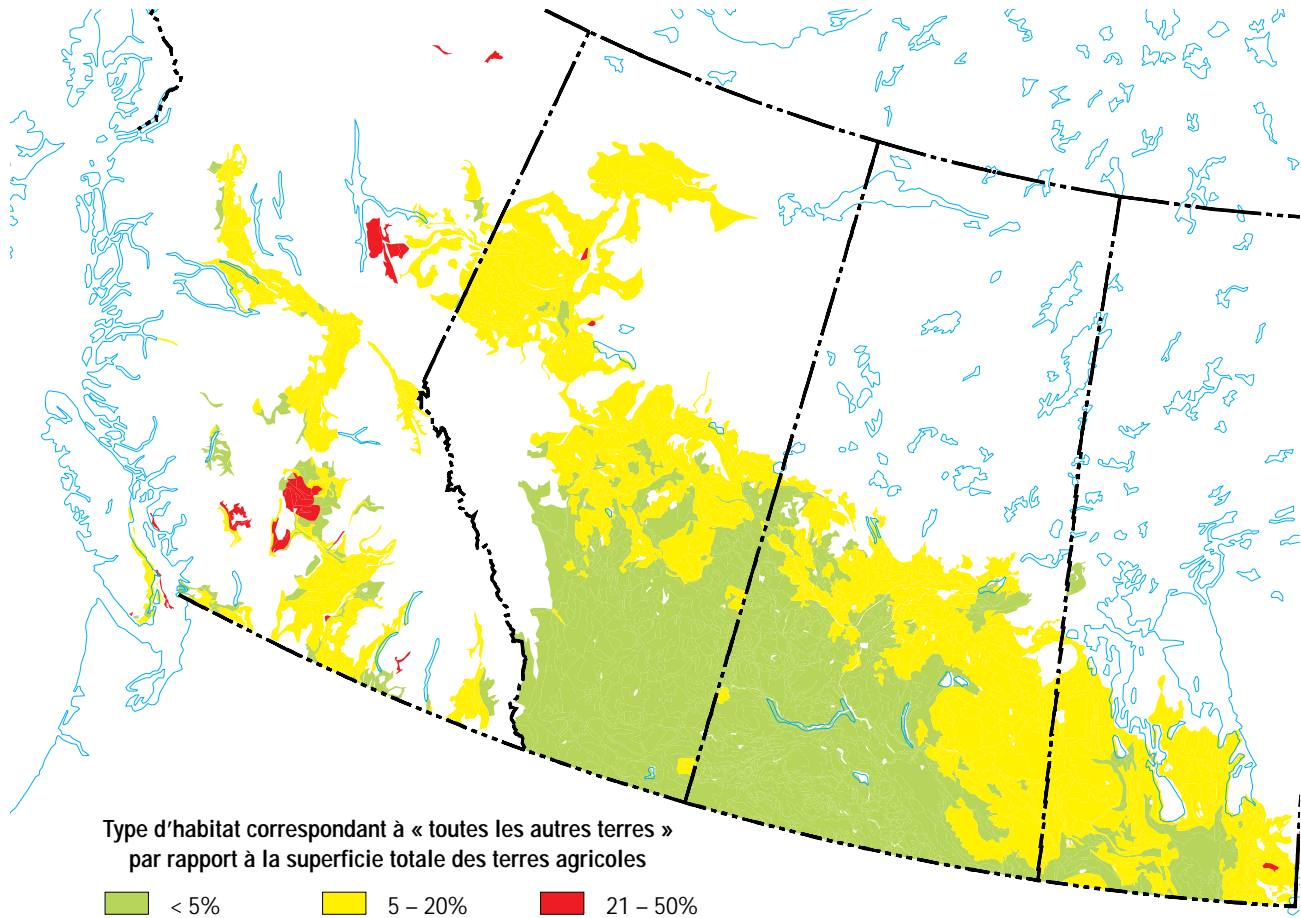
Figure 15-1
Proportion d'unités d'utilisation de l'habitat liées à des habitats dont la superficie a augmenté, a diminué ou est demeurée inchangée entre 1981 et 1996


Figure 15-2

Distribution de « toutes les autres terres » dans l'ouest du Canada, 1996



Changements ayant affecté la superficie des divers types d'habitats sur les terres agricoles entre 1981 et 1996.

Tableau 15-2

Écozone	Changements de superficie en pourcentage					
	Terres en culture	Jachères	Pâturages artificiels ou ensemencés	Terres naturelles pour le pâturage*	Toutes les autres terres*	Superficie totale des terres agricoles
Maritime du Pacifique	28	—	-46	6	- 21	2
Cordillère montagnarde	Inchangé	—	-33	7	Inchangé	11
Plaines boréales	15	- 47	41	Inchangé	8	13
Prairies	17	- 33	13	Inchangé	16	3
Bouclier boréal	- 21	—	-55	- 7	Inchangé	-24
Plaines à forêts mixtes	35	—	-50	Inchangé	- 19	10
Maritime de l'Atlantique	Inchangé	—	-52	- 9	13	-20

*Nous avons déterminé les changements de superficie des terres naturelles pour le pâturage et de toutes les autres terres entre 1991 et 1996 parce que la définition de ces types de terre aux fins du recensement de l'agriculture a été modifiée entre 1981 et 1991.

Nota : Les valeurs positives indiquent un accroissement de la superficie, et les valeurs négatives une diminution de la superficie. Le symbole — indique que la superficie du type d'habitat en question est négligeable.

les Prairies et l'écozone Maritime de l'Atlantique) on observe des tendances positives à cet égard. Dans le Bouclier boréal et la Cordillère montagneuse, 75 et 79 % respectivement des unités d'utilisation de l'habitat sont associées à des habitats dont la superficie est demeurée inchangée. Dans deux écozones, les Plaines à forêts mixtes et l'écozone Maritime du Pacifique, 74 et 75 % respectivement des unités sont associées à des habitats dont la superficie a diminué.

Le tableau 15-2 montre les fluctuations survenues dans la superficie des cinq types d'habitats entre 1981 et 1996. Les figures 15-2 et 15-3 montrent la distribution de « toutes les autres terres » dans l'ouest et l'est du Canada respectivement.

Interprétation

La disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles au Canada dépend de nombreux facteurs dont le mode d'utilisation des terres. Cette utilisation a changé au cours des 15 dernières années sous l'effet de l'évolution de la demande sur les marchés mondiaux et des

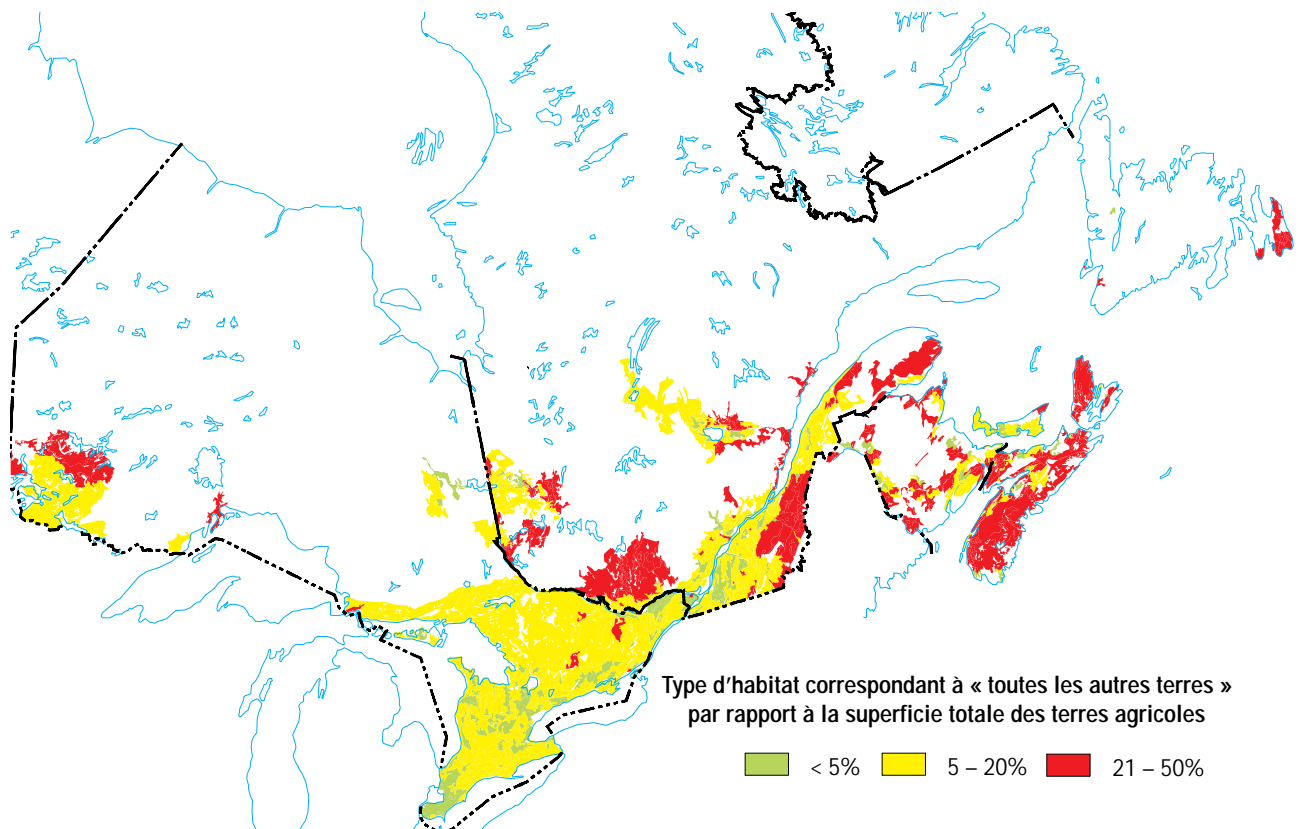
politiques nationales (voir le tableau 15-2). D'autres facteurs contribuent à l'évolution du paysage agricole :

- le prix des cultures;
- l'existence de nouvelles variétés végétales;
- l'emploi croissant de techniques agricoles écologiques;
- l'émergence de nouvelles technologies.

Dans l'ensemble, la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles a augmenté de 1981 à 1996, surtout sous l'effet de l'expansion des terres en culture, elle-même attribuable à la diminution de la superficie des jachères et à l'accroissement de la catégorie « toutes les autres terres ». De plus la superficie de toutes les autres terres, des pâturages artificiels ou ensemencés et des terres naturelles pour le pâturage est demeurée relativement inchangée, ce qui a également contribué à maintenir la disponibilité de l'habitat faunique. Les régions où la jachère est la plus répandue sont les Plaines boréales et les Prairies, où la superficie des terres soumises à cette pratique a diminué respectivement de 47 et de 33 % entre 1981 et 1996. Les anciennes jachères sont

Figure 15-3

Distribution de « toutes les autres terres » dans l'est du Canada, 1996



habituellement converties en cultures ou en pâturages artificiels ou ensemencés, qui constituent un habitat plus propice à la faune.

Dans les écozones Maritime du Pacifique et des Plaines à forêts mixtes, l'agriculture s'est intensifiée ces dernières années. On a mis en culture des terres agricoles qui étaient utilisées auparavant à d'autres fins, comme des boisés ou des pâturages naturels, ce qui a réduit leur valeur du point de vue de l'habitat faunique. Nous traitons ci-après des changements ayant affecté l'habitat dans les différentes écozones.

La préservation de la faune sur les terres soumises à une exploitation agricole intensive en Colombie-Britannique

En 1993, des agriculteurs et des organismes de protection de l'environnement ont créé le *Delta Farmland and Wildlife Trust* pour soutenir et promouvoir le caractère écologique des terres agricoles et de l'habitat faunique dans le delta du Bas-Fraser. Ce delta constitue une importante halte pour les oiseaux qui empruntent la voie migratoire du Pacifique. C'est également l'endroit où l'on enregistre la plus grande densité et la plus grande diversité de sauvagine, d'oiseaux de rivage et d'oiseaux de proie au Canada en hiver. Le Service canadien de la faune et les autres organismes de gestion de la faune reconnaissent que les terres agricoles du delta du Fraser sont absolument essentielles à la survie des 1,5 million d'oiseaux qui fréquentent cette région chaque année (on y trouve effectivement d'importantes réserves de nourriture et des lieux de nidification et de repos).

Pendant les mois d'hiver, des canards d'Amérique, des oies des neiges et des cygnes trompette font grand usage des cultures couvre-sol (orge, blé d'hiver et seigle d'automne) et des résidus de cultures de maïs et de pomme de terre. En 1998, le *Delta Farmland and Wildlife Trust* a commandité la plantation de plantes de couverture sur plus de 3800 acres au coût de 171 000 \$. Cet organisme parraine également un important programme de retrait des prairies. Les agriculteurs qui participent à ce programme laissent des champs soumis à une culture intensive sans production pendant de trois à cinq ans et y font pousser des herbacées pour fournir un habitat aux petits mammifères, qui sont la principale source de nourriture des oiseaux de proie (hiboux, chouettes, buses, éperviers, aigles, etc.). En 1998, on a ainsi mis de côté une superficie totale d'environ 600 acres au coût de 180 000 \$.

En outre, le *Delta Farmland and Wildlife Trust* a encouragé les agriculteurs à planter des haies qui fournissent un habitat à de nombreuses espèces d'oiseaux chanteurs comme le merle d'Amérique, la mésange à tête noire et le bruant des prés. Au cours des deux dernières années, on a ainsi planté de nombreuses haies. Tous les programmes parrainés par cet organisme se révèlent avantageux tant pour les ressources fauniques exceptionnelles de la vallée du Fraser que pour la communauté agricole de la région.

R.A. Bertrand, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique

Maritime du Pacifique

L'urbanisation, l'agriculture et l'habitat faunique sont souvent des utilisations conflictuelles des terres dans le bassin de Géorgie, en particulier dans les basses terres continentales de la Colombie-Britannique. Entre 1981 et 1996, dans l'écozone Maritime du Pacifique, on note une augmentation de 2 % de la superficie des terres agricoles (superficie totale des cinq catégories d'utilisation des terres, ou types d'habitat, établies dans le recensement et analysées pour l'établissement de l'indicateur). Toutefois la superficie des terres en culture a augmenté de 28 %, ce qui représente une tendance défavorable à l'habitat faunique puisque l'augmentation est due en majeure partie à la conversion de terres des catégories « pâturages artificiels ou ensemencés » et « toutes les autres terres », deux types d'habitat plus propices à la faune.

Cordillère montagnarde

L'habitat a changé dans cette écozone, où l'on note une perte de qualité des prairies naturelles due aux opérations de lutte contre les incendies, à l'introduction de bovins et d'espèces sauvages non indigènes et au drainage de milieux humides. De plus l'exploitation forestière, principale industrie, affecte grandement l'habitat faunique de cette écozone où l'on observe la plus grande diversité d'écosystèmes au Canada.

Toutefois les cinq principaux types d'habitat agricole sont répartis uniformément dans la plupart des régions agricoles. Même là où les habitats agricoles ayant la plus grande valeur ont une superficie limitée, on trouve habituellement près de ceux-ci des zones boisées qui procurent un couvert amplement suffisant. La superficie des terres agricoles s'est accrue de 11 % entre 1981 et 1996, tandis que celle des terres en culture est demeurée stable. De 1991 à 1996, la superficie des terres naturelles pour le pâturage a augmenté et celle de toutes les autres terres est demeurée relativement inchangée (augmentation de 5 %).

Plaines boréales

La superficie totale des terres agricoles a augmenté de 13 % dans cette écozone de 1981 à 1996, ce qui a produit un effet très marqué sur l'habitat faunique. La coupe du bois exerce aussi une importante influence à cet égard. La superficie des terres en culture, des pâturages artificiels ou ensemencés et de toutes les autres terres a également augmenté entre 1991 et 1996, surtout aux dépens des jachères. La superficie des terres naturelles pour le pâturage n'a pas changé. L'expansion de toutes les autres terres et des pâturages artificiels ou ensemencés est considérée comme bénéfique pour la faune parce qu'on y retrouve un plus grand nombre d'unités d'utilisation de l'habitat.

La distribution irrégulière des terres agricoles dans les Plaines boréales permet, dans la plupart des cas, l'accès des espèces sauvages aux habitats non agricoles. En général, ces terres coexistent avec les types de couverture forestière dominants, à savoir :

- la forêt coniférienne (51 % des terres de cette écozone);
- la forêt mixte (23 %);
- la forêt de feuillus (17 %).

Cette combinaison de terres et de forêts est avantageuse pour la plupart des espèces sauvages, qui trouvent des habitats dans les zones de transition et les forêts ainsi que de la nourriture et un couvert à proximité.

Prairies

Les terres agricoles couvrent près de 93 % de l'écozone des Prairies, et ce qui reste de la végétation indigène se répartit comme suit :

- 1 % de prairies d'herbes longues;
- 19 % de prairies mixtes;
- 16 % de tremblaies-parcs.

Par conséquent la faune, qui doit composer avec l'agriculture, utilise souvent les terres agricoles et les zones voisines.

Dans les Prairies, la superficie totale des terres en culture, des pâturages artificiels ou ensemencés et de toutes les autres terres a augmenté de 1981 à 1996, surtout sous l'effet de l'expansion de 3 % (1,3 million d'hectares) de la superficie totale des terres agricoles et de la diminution de la superficie des jachères. La superficie des terres naturelles pour le pâturage est demeurée stable (variation inférieure à 5 %). Le phénomène s'explique par le fait que les agriculteurs se tournent vers la culture continue et la couverture permanente pour améliorer la productivité et leurs revenus, et pour prévenir la dégradation des sols.

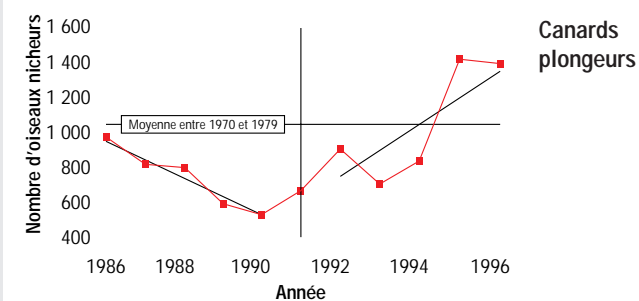
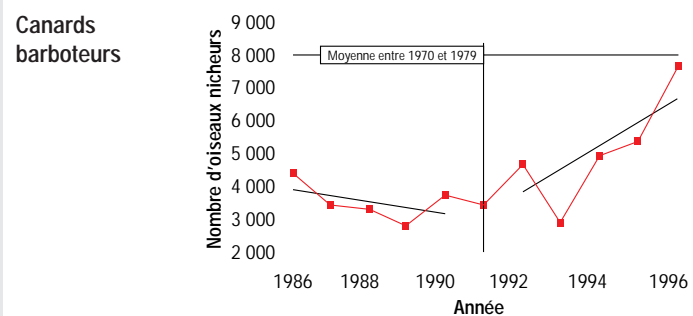
La plupart des unités d'utilisation de l'habitat se retrouvent dans les terres des catégories « toutes les autres terres » et « terres naturelles pour le pâturage », soit les types d'habitat agricole les plus avantageux pour la faune, qui représentent ensemble environ 29 % de la superficie des terres agricoles dans l'écozone des Prairies. De ce fait, la majorité de ces unités sont associées à des habitats en expansion. Étant donné que les terres agricoles des Prairies représentent environ 62 % des terres agricoles du Canada et que leur étendue dans cette écozone est de loin supérieure à celle enregistrée dans toute autre écozone, cette amélioration revêt une grande importance pour certaines espèces fauniques. Toutefois on observe

Le rétablissement de la sauvagine

Dans les années 1980, les populations de sauvagine ont commencé à chuter à un rythme alarmant en Amérique du Nord, à tel point que le Canada, les États-Unis, et par la suite le Mexique (en 1994), ont mis en œuvre un programme de rétablissement de ces populations aux niveaux des années 1970 par la protection de l'habitat propice à ces espèces ainsi qu'à d'autres animaux des milieux humides. Le Plan nord-américain de gestion de la sauvagine, adopté en 1986, est le plus important programme de conservation au monde. Au Canada, il porte avant tout sur les principaux habitats de la sauvagine, en particulier dans les Prairies où se reproduisent près de 40 % des canards du continent. Les objectifs de ce plan comprennent la conservation et le rétablissement des milieux humides et des milieux secs. Pour ce faire, on a adopté une démarche portant sur l'ensemble du paysage et conclu des ententes avec des agriculteurs et d'autres propriétaires fonciers pour qu'ils modifient leurs pratiques d'aménagement et d'utilisation des terres tant pour rendre leurs activités plus rentables que pour améliorer la situation de la faune. Un volet important de ce plan est la réforme de la politique d'utilisation du territoire visant à supprimer les pressions qui s'exercent pour la mise en production agricole de terres naturelles.

Au départ, beaucoup de gens considéraient les objectifs du plan comme trop ambitieux. Or, dix ans après le lancement de cette initiative, les populations de canards barboteurs ont presque atteint la moyenne des années 1970 bien qu'il reste encore beaucoup à faire en ce qui touche à d'autres espèces comme le canard pilet. Des études provinciales sur les résultats socio-économiques du plan indiquent que les propriétaires fonciers et le grand public se montrent favorables à la protection des milieux humides et de la sauvagine, et que les mesures prises produisent des retombées économiques pour les collectivités sous forme d'emplois et de potentiel touristique.

Tendances des populations de canards d'Amérique du Nord



B. Robinson, Environnement Canada

encore la réduction de la superficie de certains habitats indigènes, dont les milieux humides des prairies; il est donc essentiel de protéger ces précieuses ressources en assurant la conservation des terres agricoles au moyen de programmes de gestion des terres.

Tendances suivies par les effectifs d'oiseaux nicheurs dans deux écozones

Le Relevé des oiseaux nicheurs (BBS) est un programme nord-américain d'envergure qui a été mis sur pied en 1966. Récemment, on a déterminé les tendances suivies par les effectifs de toutes les espèces communes d'oiseaux dans les régions couvertes pour la période 1966-1996. Les résultats sont présentés ici pour les écozones des Prairies et des Plaines à forêts mixtes, où l'agriculture exerce une forte pression sur les espèces fauniques et leur habitat.

Prairies. Les données du BBS pour la Saskatchewan ont été utilisées comme indicateurs pour cette écozone. Des 101 espèces d'oiseaux dénombrés dans cette région, 59 ont connu une baisse d'effectif et 42 une augmentation. La diminution moyenne de l'effectif calculée sur l'ensemble des espèces recensées est faible (moins de 0,18 %), mais le grand nombre d'espèces dont les populations diminuent est assez préoccupant. L'effectif des espèces des prairies (le pipit de Sprague et le bruant de Le Conte par exemple) est généralement en baisse, peut-être en raison de la réduction de la superficie totale des terres naturelles pour le pâturage. Même si leur superficie totale augmente, les pâturages artificiels ou ensemencés fournissent à beaucoup d'espèces de cette guildes un habitat de moins bonne qualité que les terres naturelles pour le pâturage. Les populations des espèces des milieux humides se sont accrues dans le centre-sud et le centre de la Saskatchewan, mais elles ont diminué ailleurs. Les effectifs des espèces qui fréquentent les strates de végétation arbustive-préclimacique diminuent dans le sud-est de l'Alberta et de la Saskatchewan, mais ils augmentent dans le sud-ouest et le centre de la Saskatchewan ainsi que dans le sud du Manitoba. Quant aux oiseaux des boisés, leur nombre augmente actuellement sur presque tout le territoire des Prairies.

Plaines à forêts mixtes. Les données du BBS pour l'Ontario ont été utilisées comme indicateurs pour cette écozone. Des 141 espèces d'oiseaux dénombrées qui ont servi à l'établissement des matrices d'habitat, 70 ont connu une augmentation et 71 une diminution. Si l'on excepte la bernache du Canada et le roselin familier (deux espèces qui profitent grandement de l'agriculture et dont les populations ont augmenté de plus de 50 %), l'effectif moyen des autres espèces a augmenté de 0,03 %. Bien que beaucoup d'espèces connaissent un recul, de nombreux facteurs autres que l'agriculture entrent probablement en ligne de compte. Les populations d'espèces des prairies sont généralement en baisse, sauf le long de l'axe Frontenac, entre Kingston et Ottawa. Les espèces des milieux humides sont généralement en augmentation. Quant aux populations des espèces qui fréquentent les arbustes, les peuplements forestiers de succession normale et les boisés, elles diminuent sur environ la moitié du territoire de l'écozone et augmentent dans l'autre moitié (notamment dans l'est de l'Ontario, où l'abandon de terres agricoles peut être un facteur, et dans le secteur Grey-Bruce dans le sud-ouest de cette province).

Pour obtenir de plus amples renseignements sur le Relevé des oiseaux nicheurs, on peut visiter son site Web, à l'adresse suivante : <http://www.mbr-pwrc.usgs.gov/bbs/>

P. Neave et E. Neave, Neave Resource Management

Bouclier boréal

L'écozone du Bouclier boréal couvre 18 % des terres du Canada, mais l'agriculture y occupe une très petite superficie (moins de 1 % du territoire de l'écozone). La superficie totale des terres agricoles y a chuté de 24 % de 1981 à 1996. Bien que la superficie des habitats agricoles de quatre types sur cinq ait également diminué, celle de « toutes les autres terres » est demeurée stable. Cette situation joue en faveur de beaucoup d'espèces fauniques étant donné que 75 % des unités d'utilisation de l'habitat correspondent aux terres de cette catégorie. Dans les régions boisées du Bouclier canadien, les terres agricoles sont bien réparties, ce qui assure la présence de boisés à proximité de celles-ci dans la plupart des cas.

Plaines à forêts mixtes

Les terres en culture et les pâturages représentent une part importante (environ 55 %) du territoire de cette écozone, mais les forêts mixtes et d'autres types de forêt sont étendus dans certaines régions. Toutefois, le territoire boisé n'est pas réparti également et la perte d'habitat forestier est particulièrement marquée dans le sud-ouest de l'Ontario. Ainsi, dans le comté d'Essex, on ne retrouve plus que 4 % de la forêt originelle. En revanche, dans l'est de l'Ontario, nombre de champs et de fermes ont été abandonnés au cours des 30 dernières années, ce qui a entraîné un changement d'habitat bénéfique pour certaines espèces fauniques. Il semble toutefois que la tendance s'inverse sous l'effet de la montée des prix des produits agricoles.

Les milieux humides sont encore abondants dans l'est de l'Ontario, mais environ 90 % des milieux humides du sud-ouest de cette province ont été drainés. Dans cette écozone, une grande partie de la forêt carolinienne, qui abrite beaucoup d'espèces typiques des régions plus méridionales, a été soumise à une agriculture intensive. Par conséquent, l'effectif de nombreuses espèces fauniques a diminué, et certaines de celles-ci sont même classées comme rares, menacées ou en danger de disparition.

Plus de la moitié de la population du Canada vit dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes, et l'étalement urbain empiète de plus en plus sur les terres agricoles et les autres habitats fauniques. Face aux pressions qu'exerce cette expansion sur l'habitat, la conservation des zones agricoles peut contribuer au maintien de la biodiversité.

La superficie totale des terres agricoles a augmenté de 10 % et celle des terres en culture de 35 % entre 1981 et 1996. On a cependant enregistré une

baisse de la superficie des types d'habitat correspondant aux catégories « pâturages artificiels ou ensemencés » et « toutes les autres terres ».

L'analyse révèle que la plupart des unités d'utilisation de l'habitat sont associées à la diminution de la superficie des types d'habitats les plus avantageux pour les espèces fauniques. Heureusement, la superficie des terres naturelles pour le pâturage n'a pas changé.

Maritime de l'Atlantique

L'écozone Maritime de l'Atlantique compte des habitats très variés, dont de vastes forêts mixtes, forêts conifériennes et milieux humides. L'influence de l'agriculture sur l'habitat y est beaucoup moins prononcée que dans les écozones à prédominance agricole. Cependant l'existence d'activités agricoles dans les régions les plus productives de cette écozone, en particulier dans les vallées fluviales, n'est pas sans nuire à la faune.

De 1981 à 1996, la superficie totale des terres agricoles a diminué de 20 %, mais celle des terres en culture est restée stable et celle de toutes les autres terres a augmenté de 13 %. La repousse de la forêt sur les terres agricoles abandonnées peut profiter à certaines espèces, mais comme 88 % du territoire sont occupés par la forêt, les terres agricoles peuvent assurer une diversité d'habitats nécessaire à une plus grande biodiversité.

Choix de mesures d'intervention

Pour pouvoir établir des objectifs de rendement liés à l'indicateur de la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles, il faut se fixer des buts raisonnables pour ce qui est des habitats. S'il faut accroître la superficie de l'habitat agricole optimal, il importe de déterminer avec plus de précision dans quelle mesure cela est nécessaire. Or c'est à l'échelle régionale qu'on peut le mieux recueillir l'information pertinente, de sorte que les aménagistes pourront, de concert avec les propriétaires fonciers :

- fixer des objectifs concernant les habitats en tenant compte des besoins de certains groupes d'espèces (*guildes*) fréquentant la région visée, et établir des seuils en deçà desquels la faune ne peut survivre;
- établir des objectifs concernant les habitats et l'écosystème en vue d'atteindre plus facilement ces objectifs régionaux.

Comme les terres agricoles sont habituellement des propriétés privées, les mesures d'intervention possibles impliquent généralement la participation

Programmes de gestion des terres de l'Alberta Fish and Game Association

Les régions de la prairie-parc et des prairies du centre et du sud de l'Alberta comptent parmi les paysages soumis à l'aménagement le plus intensif au monde. Au cours des cent dernières années, c'est-à-dire depuis l'implantation des Européens, les effets combinés des cultures, du pâturage, de l'urbanisation, de la construction de voies de transport, de l'exploitation pétrolière et gazière, de l'irrigation, des mines et d'autres activités humaines ont entraîné la disparition de 75 % des prairies naturelles mixtes, de 90 % des prairies à fétuque du Nord et de 95 % des habitats indigènes de la prairie-parc. Des 31 espèces en péril qu'on dénombre en Alberta, 24 (77 %) sont tributaires de ces mêmes habitats des prairies et des prairies-parc.

La dégradation de ce qui reste de ces habitats en Alberta, et qui est principalement situé sur des propriétés privées, se poursuivra vraisemblablement à moins que les propriétaires ne soient encouragés à les conserver. À titre d'incitatif, on pourrait simplement reconnaître le rôle de la gestion des terres privées dans la conservation de la faune des prairies et des prairies-parc, c'est-à-dire fournir à leurs propriétaires les ressources qui leur permettront de prendre des décisions éclairées à cet égard et faire ressortir les avantages économiques de l'intégration de l'habitat faunique dans une stratégie globale d'agriculture durable.

L'Alberta Fish and Game Association, aidée financièrement par Habitat faunique Canada, a élaboré deux programmes de conservation de la faune dans les prairies et sur la prairie-parc de l'Alberta soumises à un aménagement intensif. L'opération « *Grassland Community* », lancée en 1989, a permis de conclure des ententes avec des propriétaires fonciers en vue de conserver l'habitat des prairies pour la chevêche des terriers, la pie-grièche migratrice et d'autres espèces animales des prairies. À l'heure actuelle, 226 participants assurent la conservation d'habitats des prairies représentant une étendue totale de 20 007 hectares dans le sud de l'Alberta. Depuis 1996, le *Parkland Stewardship Program* a recruté 63 familles agricoles possédant au total 7 695 hectares de terres agricoles qui comprennent plus de 8 500 acres d'habitat faunique. En plus de s'engager à conserver les habitats de leurs prairies-parc, plus de la moitié des propriétaires fonciers participants ont pris des mesures pour rendre leurs exploitations agricoles plus accueillantes pour la faune : plantation de brise-vent, installation de structures de nidification, clôturage de zones riveraines et mise au point de systèmes d'abreuvement des animaux de ferme.

Les deux programmes de gestion des terres dont il vient d'être question mobilisent des particuliers, des collectivités et des entreprises. Ils visent à la conservation de tous les habitats naturels qui restent dans la province, y compris les milieux humides, les pâturages des milieux secs, les boisés et les zones riveraines, et ils prévoient des mesures d'information des propriétaires fonciers et de planification de l'aménagement des terres agricoles en vue de l'amélioration de l'habitat faunique dans le paysage agricole.

J. Fortune, Habitat faunique Canada

volontaire des propriétaires. La majorité des agriculteurs comprennent la valeur de la conservation de la faune et de son habitat, mais des programmes d'information et incitatifs permettront de les sensibiliser encore plus et de les encourager à adopter des pratiques d'aménagement du territoire favorables à la faune, comme par exemple :

- travail de conservation du sol;
- report de la fenaison;
- culture de plantes couvre-sol d'hiver;
- pâturage en rotation;
- lutte intégrée contre les parasites;
- aménagement des boisés;
- plantation de brise-vent et de haies;
- aménagement des zones riveraines;
- conservation des milieux humides et de leurs bordures;
- conservation des terres naturelles (indigènes) restantes.

Conclusion

Les terres agricoles comportent différents habitats propices à la faune, mais certaines plus que d'autres, en particulier les terres des catégories « toutes les autres terres » et « terres naturelles pour le pâturage ». La superficie des terres agricoles ne devrait pas connaître une grande expansion au Canada, mais même les petites augmentations qui s'opéreront au détriment des paysages naturels présentent un risque pour la faune à l'échelle locale. L'habitat agricole propice à la faune est supérieur à celui qu'on retrouve dans les zones plus aménagées, comme les centres urbains et les corridors routiers.

Les changements d'utilisation des terres agricoles en vue d'une intensification de la production, notamment la mise en culture de terres peu productives, exercent des pressions sur les espèces fauniques en raréfiant ou en rendant inutilisables une ou plusieurs des ressources en habitat dont elles ont besoin. Par contre, la réduction de la superficie totale des jachères et la conversion de terres peu productives à d'autres fins, notamment en pâturages artificiels ou ensemencés, sont bénéfiques pour la faune. De façon générale, en ce qui concerne l'habitat agricole propice à la survie de certaines espèces fauniques, on remarque des tendances positives ou neutres de 1981 à 1996 partout sauf dans l'écozone Maritime du Pacifique et dans les Plaines à forêts mixtes. Ces deux régions se distinguent par une activité agricole intensive.

Les modes d'utilisation des terres agricoles résultent en grande partie de facteurs économiques, en particulier du prix des produits. Les bonnes années, les agriculteurs peuvent mettre plus de terres en production, dont des terres peu productives où il serait préférable de laisser un couvert végétal permanent qui serait plus bénéfique pour la faune. La tendance récente consistant à réduire la superficie des jachères et à laisser en friche des terres en culture joue en faveur de la faune, mais elle découle plus de considérations économiques que de l'intérêt porté aux espèces sauvages.

En général, les agriculteurs manifestent un intérêt pour la protection de l'environnement et des espèces sauvages. La plupart d'entre eux reconnaissent que les agroécosystèmes font partie de l'environnement au sens large et que les fermes peuvent servir non seulement à la production de produits alimentaires mais aussi à d'autres fins comme la création d'habitats fauniques. Comme il existe peu d'incitatifs économiques encourageant les agriculteurs à protéger la faune et son habitat, ils doivent généralement assumer eux-mêmes le coût des mesures qu'ils prennent à cet égard.

Indicateurs connexes

Comme les organismes du sol et les espèces qui s'en nourrissent sont tributaires de la qualité du sol, il existe des liens entre la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles et tous les indicateurs de la qualité du sol : risque d'érosion hydrique, risque d'érosion éolienne, risque d'érosion attribuable au travail du sol, carbone organique du sol, risque de salinisation du sol et risque de compactage du sol. Beaucoup de pratiques d'aménagement visant à enrayer l'érosion, comme la plantation de brise-vent, améliorent également l'habitat faunique. Il en est de même de la pratique consistant à laisser les résidus de culture sur le sol, d'où le lien entre l'indicateur décrit dans le présent chapitre et le degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture. Comme l'utilisation de produits chimiques pour l'agriculture peut également réduire la qualité de l'habitat faunique, il existe aussi un lien avec l'indicateur de gestion des intrants agricoles (éléments nutritifs et pesticides). De plus, les espèces fauniques qui fréquentent les milieux humides, les zones riveraines et les habitats aquatiques sont touchées par l'accroissement des risques de contamination de l'eau par l'azote et par le phosphore. Les changements climatiques pourraient affecter considérablement des éléments de l'habitat agricole et, par conséquent, la biodiversité, d'où le lien avec l'indicateur du bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole.

G

Intensité de la production

G Intensité de la production

L'agriculture a connu une expansion et la production s'est intensifiée dans de nombreuses régions du Canada. L'intensification de l'agriculture peut faire augmenter les rendements, accroître la productivité et même procurer des avantages écologiques (par exemple, il se peut que les producteurs aient besoin de moins de terres). Toutefois elle fait aussi augmenter les risques et les impacts environnementaux, cet aspect dépendant surtout du degré d'efficacité de la production. On a créé le terme *écoefficience* pour désigner cette notion.

L'écoefficience désigne la fabrication de produits ou la prestation de services à valeur ajoutée à partir d'une moindre quantité de matières et d'intrants énergétiques, l'objectif étant de réduire autant que possible la pollution et les pertes en direction du milieu naturel. Elle se fonde sur les critères suivants :

- réduction maximale des quantités de matières et d'énergie nécessaires pour fabriquer des produits et fournir des services;
- maximisation de l'emploi de ressources renouvelables;
- accroissement de la recyclabilité des matières;
- amélioration de la durabilité des produits;
- réduction maximale de la dispersion des substances toxiques.

La production agricole fait appel à de nombreux intrants : capitaux, main-d'œuvre, machines, terres, eau, éléments nutritifs, pesticides, énergie, etc. Les intrants représentent une part importante des coûts globaux d'exploitation agricole. Dès lors, l'utilisation inefficace des intrants représente une perte économique pour les producteurs, et le recours inefficace aux intrants qui sont liés à l'environnement (en particulier l'énergie, les éléments nutritifs et les pesticides) peut également entraîner un coût environnemental pour la société, notamment la dégradation de la qualité de l'eau, la perte de biodiversité et l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre.

Comme la plupart des intrants ont un prix sur le marché, leur utilisation efficace présente un avantage économique. On a déployé et on continue de déployer des efforts considérables pour promouvoir l'efficacité de la production agricole. Ainsi la recherche rend possible la mise au point de méthodes de production plus efficaces, et il existe des programmes d'information et de vulgarisation permettant aux agriculteurs d'améliorer l'efficacité de leurs opérations. Toutefois il peut subsister des lacunes à cet égard, notamment dans les cas suivants :

- quand les coûts privés des intrants sont inférieurs à la somme des coûts sociaux qu'entraîne leur utilisation;
- quand il n'existe pas suffisamment d'information sur les quantités à employer ainsi que sur le stade du cycle de production auquel cet intrant doit être utilisé.

Les deux chapitres qui suivent traitent de deux aspects de l'intensité et de l'efficacité de la production agricole. Le chapitre 16 traite de la quantité d'azote résiduel présent après la récolte. Dans le chapitre 17, nous examinons la quantité d'énergie consommée pour la production agricole (l'apport d'énergie) et la quantité contenue dans les produits (production d'énergie). D'autres chapitres du présent rapport exposent également des enjeux environnementaux liés à l'intensité de la production. Ainsi, le chapitre 5 traite de la gestion de certains intrants agricoles dans l'ensemble du pays, et les chapitres 12, 13 et 14 exposent certains risques environnementaux découlant de l'utilisation inefficace des intrants.

16

Azote résiduel

K. B. MacDonald

Portée géographique : provinces**Période :** 1981, 1991, 1996**POINTS SAILLANTS**

- L'application d'azote au-delà des besoins des cultures dénote une gestion inefficace des éléments nutritifs, entraîne des coûts inutiles et constitue une menace pour la qualité de l'eau. Le transfert de l'azote dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac et d'oxyde nitreux contribue à altérer la qualité de l'air et il peut accélérer le réchauffement de la planète.
- Un indicateur a été conçu pour évaluer la différence entre la quantité d'azote (N) disponible pour la culture et la quantité prélevée par les plantes récoltées. Cette différence a été appelée azote résiduel. L'indicateur a été calculé pour toutes les provinces (les résultats ont été combinés pour les provinces de l'Atlantique) pour 1981, 1991 et 1996. L'objectif est de faire entrer toutes les terres agricoles du Canada dans des catégories où il n'y a aucune accumulation nette d'azote dans le temps.
- Nous avons réparti les terres agricoles canadiennes en quatre catégories pour ce qui est de l'azote résiduel : catégorie 1, concentration inférieure ou égale à 20 kilogrammes d'azote par hectare (minimum); catégorie 2, concentration de 2 à 40 kg N/ha (excepté dans les régions soumises à une agriculture intensive, avec des cultures à faible demande d'azote, comme les céréales); catégorie 3, concentration de 41 à 60 kg N/ha (excepté dans les régions soumises à une agriculture intensive avec des cultures à forte demande d'azote); catégorie 4, concentration supérieure à 60 kg N/ha. Les catégories 3 et 4 peuvent correspondre à des régions où il y a accumulation d'azote présentant un risque pour l'environnement. En 1996, les provinces de l'Atlantique (52 %) et la Colombie-Britannique (70 %) comptaient la plus grande proportion de terres agricoles de catégorie 1. L'Ontario (37 %) et le Québec (28 %) comptaient la proportion la plus élevée de terres agricoles de catégorie 4.
- Les résultats du calcul de l'indicateur révèlent de fortes concentrations d'azote résiduel (catégorie 4 dans les régions avec des cultures à forte demande, et catégorie 3 dans celles avec des cultures à faible demande) dans les régions où la tendance vers l'intensification des cultures est confirmée par d'autres indicateurs. Parmi ces régions, on peut citer : la vallée du Bas-Fraser, en Colombie-Britannique; le corridor de terres agricoles s'étendant de Lethbridge jusqu'à Edmonton en passant par Red Deer, en Alberta; la région de Melfort dans le nord-est de la Saskatchewan; la vallée de la rivière Rouge, au Manitoba; la région entourant le lac Simcoe et la vallée du cours inférieur de la rivière des Outaouais, dans le sud-ouest de l'Ontario; les Basses terres du fleuve Saint-Laurent et la région située au sud de la ville de Québec, au Québec; la vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse; la vallée de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick.
- Entre 1981 et 1996, nous avons noté une forte tendance vers une augmentation des concentrations d'azote résiduel dans toutes les provinces, à l'exception de la Colombie-Britannique. Le pourcentage de terres agricoles présentant une augmentation des concentrations d'azote résiduel d'au moins 5 kg/ha entre ces deux années variait de 27 % en Colombie-Britannique à 80 % au Manitoba.
- L'information limitée utilisée pour calculer l'indicateur ne permet que des interprétations très générales des résultats obtenus. L'indicateur semble utile pour les comparaisons à l'échelle régionale et pour la localisation des zones où il faudrait effectuer des analyses de sol pour vérifier les concentrations réelles d'azote présentes. L'indicateur ne pourra être amélioré que si on raffine de nombreuses composantes liées aux données.

L'enjeu

L'azote est un élément nutritif essentiel qui doit être géré correctement si on veut réduire les pertes dans l'environnement et les coûts pour les agriculteurs. Comparativement à d'autres pays industrialisés, le Canada présente un bilan relativement faible en ce qui concerne l'azote agricole (*voir l'encadré*), mais il y a inévitablement accumulation d'azote résiduel du

fait de la production culturale. Des surplus excessifs peuvent présenter un risque pour l'environnement, particulièrement dans des conditions d'humidité.

Du fait de sa présence dans le fumier, l'azote constitue un lien important entre les animaux d'élevage et les cultures. Le fumier produit par les animaux peut être un atout pour les cultures lorsqu'il est appliqué sur les champs dans le cadre d'un système complet de gestion des éléments nutritifs. Par contre, il peut constituer un handicap si on l'applique principalement pour son élimination plutôt qu'à des fins de recyclage d'éléments nutritifs.

En utilisant seulement la quantité d'azote nécessaire pour une production culturale économiquement optimale, les agriculteurs peuvent:

- aider à maintenir la qualité du sol, ce qui favorise la productivité;
- aider à empêcher les émissions d'oxyde nitreux, puissant gaz à effet de serre;
- réduire le risque de contamination de l'eau;
- utiliser de façon optimale l'azote provenant du fumier et des légumineuses, de façon à réduire les coûts de production, d'achat, de transport et l'application d'engrais minéraux;
- éliminer les coûts éventuels (p.ex. les amendes et les frais pour la remise en état) entraînés par la non-conformité à la réglementation sur la pollution par l'azote.

Un indicateur est nécessaire pour évaluer combien d'azote subsiste après la récolte lorsque les recommandations sur l'azote sont suivies, et pour surveiller la variation de la concentration d'azote résiduel en fonction du temps.

Bilans de l'azote dans les pays de l'OCDE

Parmi les indicateurs élaborés par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) figure le bilan des éléments nutritifs en agriculture. Cet indicateur exprime la différence entre la quantité d'éléments nutritifs entrant dans les systèmes agricoles et la quantité de ces éléments qui est prélevée par les cultures. Un surplus ou un déficit d'éléments nutritifs ne signifie pas nécessairement qu'il y a une incidence environnementale notable. Cependant, des surplus d'azote élevés et durables présentent des risques de problèmes environnementaux comme la pollution de l'eau et les émissions de gaz à effet de serre, alors que des déficits prolongés indiquent qu'il y a risque de diminution de la fertilité du sol. Le tableau ci-dessous présente des résultats préliminaires de l'utilisation de cet indicateur dans certains pays de l'OCDE.

Les résultats donnent une estimation à l'échelle nationale, mais masquent d'importantes variations régionales à l'intérieur des pays. L'OCDE améliorera éventuellement l'indicateur pour qu'il indique les variations régionales par rapport à la moyenne nationale. Le Canada, par exemple, possède l'un des surplus d'azote les moins élevés à l'échelle nationale, comparativement à d'autres pays de l'OCDE, mais, comme le montre le présent chapitre, il compte beaucoup de régions agricoles où les concentrations d'azote résiduel dépassent 60 kg/ha/an. D'autres pays, avec des systèmes de production agricole beaucoup plus intensive, comme le Japon et le Danemark, présentent des concentrations nationales d'azote excédentaire beaucoup plus élevées. L'analyse de l'OCDE a révélé une tendance globale à la baisse pour l'azote excédentaire dans la plupart des pays membres durant la dernière décennie. Le Canada n'a pas suivi cette tendance. L'augmentation des concentrations au pays reflète l'utilisation croissante d'engrais pour remédier à la sous-fertilisation historique des sols, à la production grandissante de cultures à besoins élevés en azote (p. ex. le maïs) et à l'accroissement de l'effectif d'animaux d'élevage, en particulier les bovins et les porcs.

Bilan de l'azote de certains pays de l'OCDE

Pays	Bilan de l'azote (kg N/ha/an)		Variation en %
	1985-1987	1995-1997	
Canada	6	13	113
Danemark	154	119	-23
France	59	53	-11
Japon	145	135	-7
Nouvelle-Zélande	5	6	32
États-Unis	25	31	24

Source : Secrétariat de l'OCDE

L'indicateur

Description

L'indicateur de l'azote résiduel est une estimation de la quantité d'azote subsistant dans le champ après la récolte. C'est la différence entre la quantité d'azote disponible de toutes sources pour les plantes cultivées et la quantité maximale prélevée par la partie récoltée des cultures dans des conditions moyennes. Les besoins en azote de la culture sont considérés comme correspondant à la quantité recommandée pour obtenir une production économiquement optimale.

Les concentrations d'azote ont été déterminées à partir des taux recommandés pour l'application d'engrais, plutôt que pour les rendements des

récoltes, de façon à refléter la situation réelle des agriculteurs qui doivent décider au tout début de la croissance des plantes cultivées combien d'azote il faut appliquer. Le rendement des cultures n'est que partiellement régi par les intrants de la gestion, car des conditions incontrôlables pendant la saison de croissance exercent une influence majeure. Là où les concentrations d'azote disponible sont inférieures ou égales aux recommandations formulées pour les cultures, le rapport de l'azote restant à l'azote disponible correspond aux valeurs normalisées publiées et reflète la capacité totale des cultures à utiliser l'azote. Là où il y a excès d'azote, le rapport augmente.

L'indicateur comme tel ne donne aucun éclairage sur les conséquences environnementales de diverses concentrations d'azote résiduel dans différentes situations agricoles. Le surplus d'azote peut présenter un risque pour l'environnement, mais ce risque dépend également d'autres facteurs, comme le type de sol et les conditions climatiques. Par exemple, la migration de l'azote des terres agricoles jusque dans l'environnement au sens large du terme est liée au déplacement de l'eau. Dans les régions sèches de l'intérieur de la Colombie-Britannique et des Prairies, la migration de l'azote dans l'eau est restreinte; elle se produit principalement lors de fortes précipitations et de périodes de ruissellement abondant. Les risques de présence d'azote résiduel dans le sol sont plus grands dans les régions humides, comme dans le centre et l'est du Canada. L'azote résiduel a donc également été utilisé pour évaluer le risque de contamination de l'eau par l'azote, un autre indicateur étudié dans le présent rapport.

L'indicateur comprend quatre catégories : catégorie 1, concentration inférieure ou égale à 20 kilogrammes d'azote par hectare (minimum d'azote résiduel); catégorie 2, concentration de 21 à 40 kg N/ha (excepté dans les régions soumises à une agriculture intensive, avec des cultures à faible demande d'azote, comme les céréales); catégorie 3, concentration de 41 à 60 kg N/ha (excepté dans les régions soumises à une agriculture intensive, avec des cultures à forte demande d'azote, comme le maïs, qui produisent de grandes quantités de biomasse et qui renferment donc davantage d'azote dans la partie récoltée ainsi que dans les résidus et les racines. Dans les régions où l'agriculture n'est pas intensive ou lorsque les besoins sont faibles, du fait d'une production un peu inférieure de biomasse totale, cette catégorie indiquerait qu'il y a accumulation d'azote et qu'il existe des risques pour l'environnement); catégorie 4, concentration supérieure à 60 kg N/ha (indiquant l'accumulation d'azote et des risques pour l'environnement). L'objectif est

de faire entrer toutes les terres agricoles du Canada dans des catégories où il n'y a aucune accumulation nette d'azote dans le temps.

Méthode de calcul

L'indicateur a été calculé comme suit:

- calcul de la quantité d'azote disponible de toutes sources (dans certains cas, il y avait dans la zone de cartographie une quantité d'azote supérieure à la quantité indiquée dans les recommandations);
- estimation de la quantité d'azote prélevée par la partie récoltée de la culture, en prenant comme base une combinaison des concentrations recommandées et des valeurs normalisées de la portion prélevée au moment de la récolte;
- calcul de la différence entre les deux quantités pour obtenir la quantité d'azote résiduel.

Les calculs comprenaient les trois principales sources agricoles d'azote: engrais minéral, fumier et fixation de l'azote par les légumineuses. Dans les régions semi-arides, les intrants comprenaient également les résidus de culture et la minéralisation de l'azote du sol pendant les périodes de jachère. Les calculs ont été effectués pour 1981, 1991 et 1996 de façon à pouvoir déceler une tendance dans le temps et à évaluer l'azote résiduel dans la situation actuelle. Lorsqu'on utilise les données du *Recensement de l'agriculture*, la catégorie « Toutes les autres terres » (qui comprend les cours de ferme, les terres boisées, etc.) a été exclue du total pour les terres agricoles, du fait que ce type de terre n'est généralement pas utilisé pour les cultures.

Les recommandations provinciales et régionales actuelles relatives à l'azote dans le cas de cultures et de régions précises ont été tirées de sources publiées ou obtenues auprès de spécialistes en vulgarisation, puis utilisées aux fins d'estimation des besoins des cultures. L'information publiée sur la répartition de l'azote dans les plantes a servi à évaluer la quantité d'azote prélevée par la partie récoltée des plantes cultivées (les estimations courantes pour l'azote prélevé par les plantes cultivées ont servi aux calculs portant sur l'intérieur de la Colombie-Britannique, les Basses terres continentales et l'île de Vancouver). Là où la quantité totale d'azote disponible de toutes sources dépassait les niveaux recommandés, nous avons supposé qu'aucune quantité d'azote supplémentaire n'était prélevée par les plantes cultivées, mais qu'elle s'ajoutait plutôt à la quantité d'azote résiduel déjà présente. On n'a pas cherché à inclure la quantité d'azote prélevée par les animaux de pâturage.

G. Intensité de la production

La quantité d'azote provenant de l'engrais minéral a été évaluée à partir des données de ventes d'engrais azotés à l'échelle nationale et provinciale. La quantité d'azote provenant du fumier a été déterminée à partir du dénombrement d'animaux d'élevage figurant dans le *Recensement de l'agriculture* et de valeurs bien connues de la teneur en azote de divers types de fumiers. Le fumier provenant d'animaux peu courants (p.ex. émeus, lamas, visons) n'a pas été inclus dans les calculs. Pour la Colombie-Britannique, les valeurs pour l'azote provenant de divers types de fumiers ont été modifiées pour refléter les mesures provenant de recherches effectuées à l'échelle provinciale.

Nous avons posé les hypothèses suivantes :

- l'azote dans la fraction du fumier de bovins épandue sur les cultures (une partie est déposée sur les pâturages) était disponible à 60 % pour les cultures;
- tout le fumier de volaille et le purin de porc a été épandu sur les cultures, et 75 % de l'azote qu'il contenait était disponible;
- l'azote du fumier pouvait combler 75 % des besoins des cultures dans le bilan total;
- en Colombie-Britannique, les taux d'application de l'azote des engrais étaient basés sur l'épandage de fumier à l'échelle régionale; il n'y a pas eu d'ajustement supplémentaire en fonction des données du *Recensement de l'agriculture*.

L'azote provenant des légumineuses a été calculé à l'aide de données de recensement pour le secteur des légumineuses. Nous avons supposé que l'apport des légumineuses annuelles était de 45 kgN/ha et que l'apport du foin de légumineuses était de 100 kgN/ha tous les quatre ans au moment où la terre était retournée, pour un apport annuel de 25 kg N/ha. Lorsque la jachère fait partie de la rotation, on a supposé que l'azote minéralisé pendant la période de jachère comblait les besoins du blé de printemps ou d'autres céréales cultivées l'année suivante.

Limites

Le calcul de cet indicateur souffrait de plusieurs limites au chapitre des données, notamment les suivantes :

- dépendance envers les recommandations officielles pour les apports d'azote, lesquelles peuvent être désuètes ou inexistantes dans le cas de nouvelles variétés de cultures et ne pas inclure d'ajustements pour des facteurs comme l'historique cultural et la gestion du fumier;
- nature générale des données de recensement qui, par exemple, limite la capacité de l'indicateur à localiser les zones à forte accumulation d'azote (comme celles associées aux activités intensives d'élevage d'animaux) ou à tenir compte des effets de l'irrigation;
- distorsion des quantités d'azote évaluées à partir de la consommation d'engrais dans des régions de cultures spéciales, comme les fruits et les légumes (pour lesquelles une partie disproportionnée des coûts liés aux engrais est consacrée à des engrais spéciaux), et dans des régions où les agriculteurs fournissent des données de recensement pour les zones de cartographie où ils habitent, plutôt que pour celles qu'ils exploitent;
- divergences dans le calcul du total des terres agricoles, qui ont entraîné de fausses estimations pour l'azote résiduel; il a fallu pour cette raison exclure des zones de cartographie dont les superficies de terres en culture, de jachère, de pâturage amélioré ou non et d'autres terres donnaient par addition une surface plus grande que celle indiquée pour le total des terres agricoles.

Avec le temps, on disposera peut-être de données plus significatives pour certaines des composantes du calcul de l'indicateur. Cependant, il n'est pas réaliste d'escompter qu'à l'échelle nationale, toutes les données nécessaires seront raffinées à un degré assez précis pour permettre d'utiliser cet indicateur en vue d'une interprétation détaillée. L'indicateur est néanmoins utile pour faire des

Concentrations d'azote résiduel dans les terres agricoles canadiennes, dans le contexte des méthodes de gestion de 1996 **Tableau 16-1**

Province	Superficie des terres agricoles* (millions d'hectares)	Proportion (%) des terres agricoles dans différentes catégories de concentration d'azote résiduel			
		Catégorie 1 ≤ 20 kg/ha	Catégorie 2 21-40 kg/ha	Catégorie 3 41-60 kg/ha	Catégorie 4 > 60 kg/ha
Colombie-Britannique	1.5	70	19	3	9
Alberta	17.7	38	50	12	< 1
Saskatchewan	23.0	31	61	8	< 1
Manitoba	6.7	18	51	27	5
Ontario	4.2	26	22	15	37
Québec	2.0	41	20	12	28
Prov. de l'Atlantique	0.5	52	33	12	4

* La superficie des terres agricoles est ici la somme de toutes les catégories de sol du *Recensement de l'agriculture*, à l'exception de « toutes les autres terres ».

comparaisons à l'échelle régionale et pour repérer des régions qui devraient faire l'objet d'analyses sur le terrain pour mesurer les concentrations d'azote. La méthodologie comme telle est un bon point de départ pour des interprétations plus détaillées et pourrait être utilisée ou adaptée pour servir dans des régions précises plus préoccupantes.

Résultats

Le tableau 16-1 présente une classification selon les estimations de l'azote résiduel pour toutes les provinces (les provinces de l'Atlantique sont combinées). La plupart des terres agricoles (de 70 à 90 %) dans les quatre provinces de l'Ouest et dans la région atlantique entrent dans les catégories 1 et 2. L'Ontario et le Québec possèdent de grandes surfaces agricoles produisant des cultures à haut rendement, dont les besoins en azote sont élevés, ce qui explique que de 40 à 52 % des terres de ces deux provinces entrent dans les catégories 3 et 4.

Variations des concentrations d'azote résiduel entre 1981 et 1996

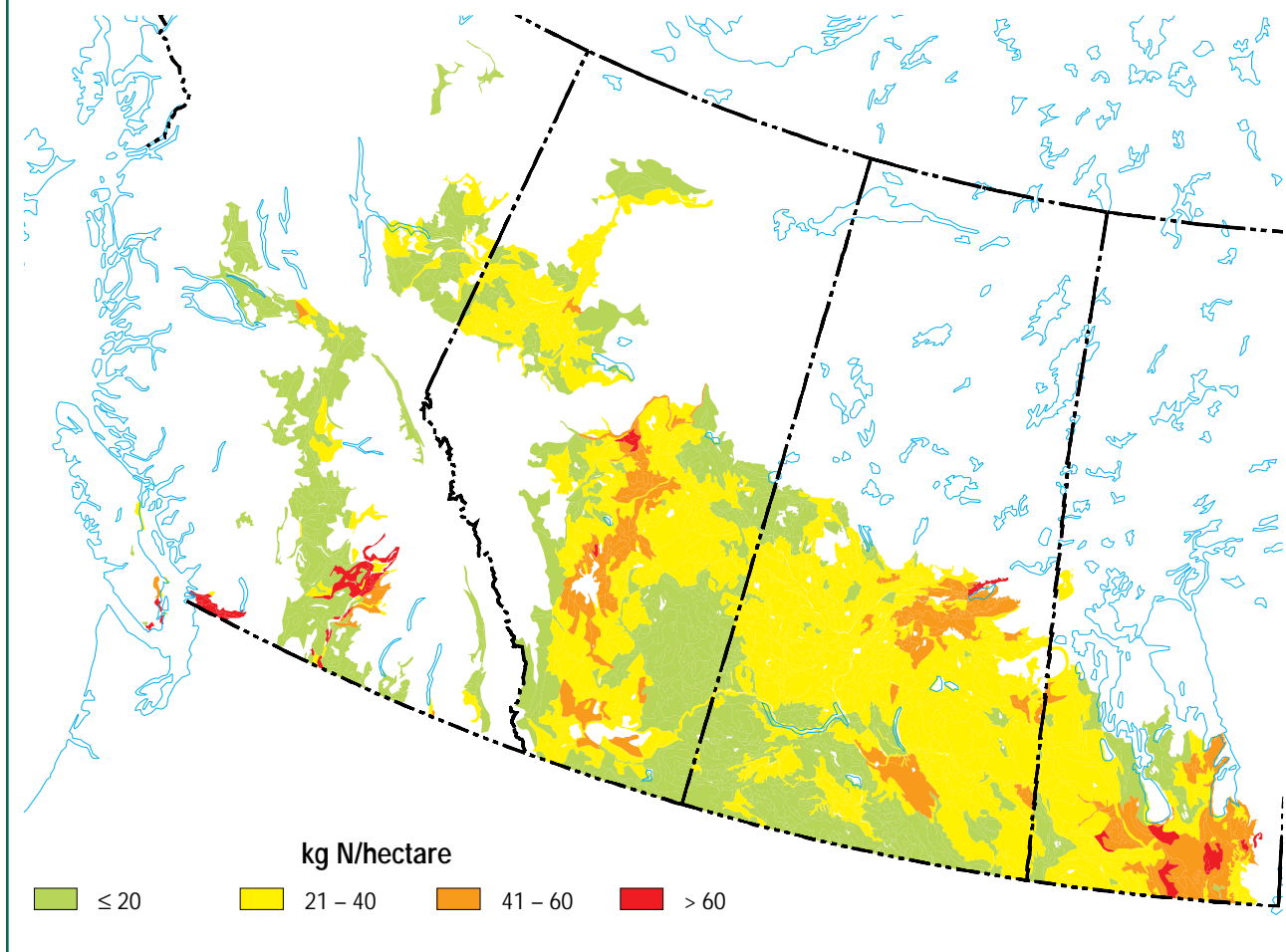
Tableau 16-2

Province	Superficie des terres agricoles* (millions d'hectares)	Proportion (%) des terres agricoles où il y a eu variation de la concentration d'azote résiduel		
		Baisse d'au moins kg/ha	Aucune variation (-5 à +5 kg/ha)	Hausse d'au moins 5 kg/ha
C.-B.	1,5	51	22	27
Alberta	17,7	7	51	42
Saskatchewan	23,0	2	45	53
Manitoba	6,7	1	19	80
Ontario	4,2	0	31	69
Québec	2,0	1	28	71
P. de l'Atlantique	0,5	2	44	53

La superficie des terres agricoles est ici la somme de toutes les catégories de sol du Recensement de l'agriculture de 1996, à l'exception de « toutes les autres terres ».

Concentrations d'azote résiduel des terres agricoles de l'ouest du Canada, dans le cadre des méthodes de gestion en vigueur en 1996

Figure 16-1



Le tableau 16-2 résume les tendances pour l'azote résiduel dans chaque province entre 1981 et 1996. Le cas de la Colombie-Britannique est unique du fait que, entre ces deux années, les concentrations d'azote résiduel ont chuté de plus de 5 kg par hectare sur plus de 50 % de la superficie en terres agricoles. Mais ce résultat doit être confirmé par des sources indépendantes, car les calculs effectués en Colombie-Britannique ont porté sur trois régions contrastantes : l'île de Vancouver et les Basses terres continentales, humides; l'intérieur, sec; et la région de la rivière de la Paix (qui ressemble aux provinces des Prairies). En Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba, il y avait augmentation des concentrations d'azote résiduel d'au moins 5 kg/ha respectivement sur 42 %, 53 % et 80 % des terres agricoles. Entre 1981 et 1996, les concentrations d'azote résiduel ont grimpé d'au moins 5 kg/ha sur une grande partie des terres agricoles de l'Ontario (69 %) et du Québec (71 %).

De façon générale, la concentration d'azote résiduel provenant d'activités agricoles reflète l'intensité relative de l'agriculture dans l'ensemble des régions. La figure 16-1 montre les concentrations d'azote résiduel dans l'ouest du Canada en 1996. Les concentrations les plus élevées se retrouvent dans les parties sud-ouest et centre-sud de la Colombie-Britannique; dans les régions irriguées

entourant Lethbridge et dans les sols noirs autour de Red Deer et d'Edmonton, en Alberta; dans la région de Melfort, en Saskatchewan; et enfin, dans la région de la vallée de la rivière Rouge, au Manitoba

La figure 16-2 indique les concentrations d'azote résiduel dans le centre et l'est du Canada en 1996. Dans ces régions, les concentrations les plus élevées d'azote résiduel correspondent:

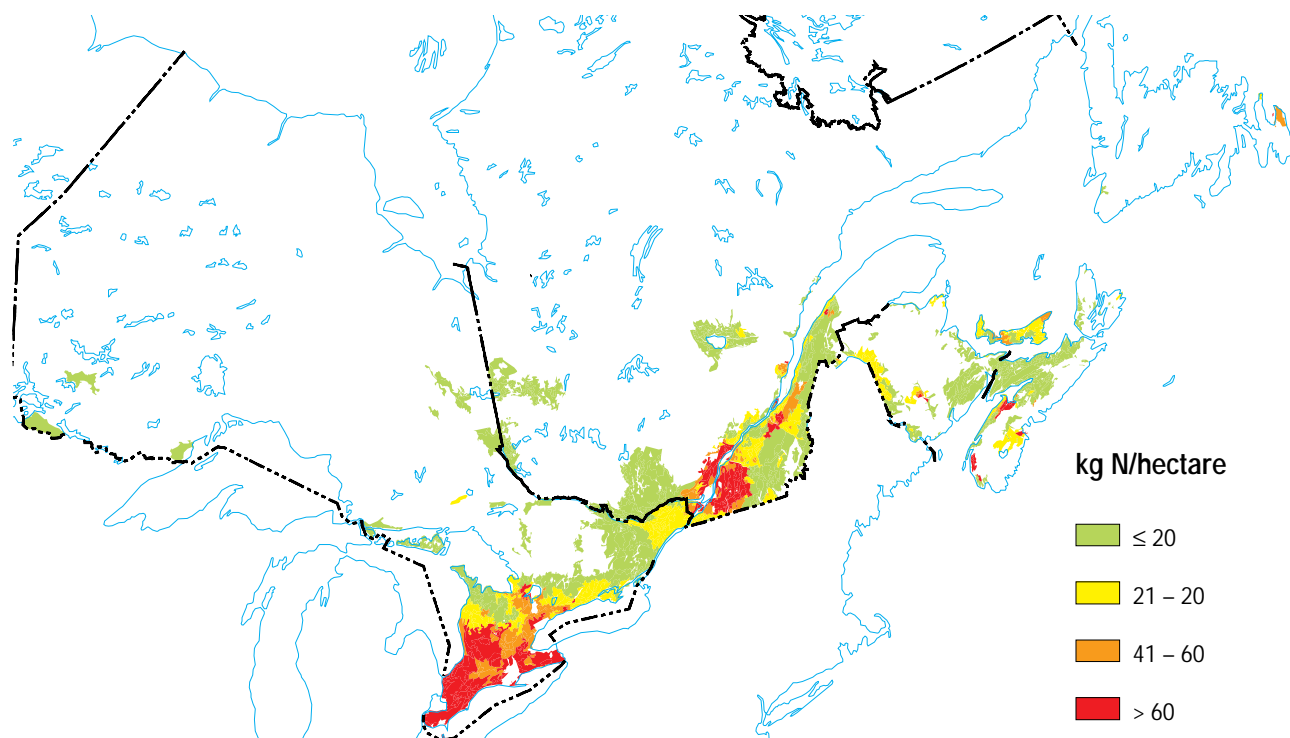
- à la concentration de l'agriculture dans le sud-ouest de l'Ontario et autour du lac Simcoe;
- aux Basses terres du fleuve Saint-Laurent et à la région située au sud de la ville de Québec;
- à la vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse, et à la vallée de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick.

Interprétation

Nous nous attendions à ce qu'il y ait des concentrations plus faibles d'azote résiduel dans les quatre provinces de l'Ouest et dans la région atlantique, où une grande partie des terres agricoles sont consacrées aux fourrages (cultures importantes, mais généralement sous-fertilisées). Dans la région de la rivière de la Paix et dans les

Concentrations d'azote résiduel des terres agricoles de l'est du Canada, dans le cadre des méthodes de gestion en vigueur en 1996

Figure 16-2



L'azote résiduel dans les Prairies

En tant qu'indicateur national, l'azote résiduel est basé sur les mêmes sources de données et les mêmes méthodes pour toutes les régions agricoles du Canada. Nous l'avons calculé en prenant comme base la différence entre la quantité estimative d'azote qui sera prélevée par les plantes cultivées et la quantité d'azote apportée par l'engrais minéral, le fumier et les légumineuses. Comme ce type de données est difficile à obtenir, l'estimation ainsi calculée demeure très approximative.

Dans les Prairies, où la majeure partie des cultures céréalières est exportée, où les légumineuses représentent une composante relativement mineure de la rotation des cultures et où les sources de fumier sont très circonscrites, on a généralement adopté une autre démarche. Le calcul du prélèvement d'azote est basé sur la teneur en protéines, sur laquelle il existe déjà des données dans le cas du blé et souvent du canola, deux des cultures les plus importantes des Prairies. On dispose également d'estimations fiables de la teneur en azote pour diverses cultures, qui peuvent servir à évaluer le prélèvement d'azote par les plantes cultivées.

Le tableau ci-dessous présente les rapports prélèvement-remplacement d'azote pour les trois provinces des Prairies en 1981, en 1991 et en 1996, soit les trois années de recensement pour lesquelles l'indicateur a été calculé. Ces taux ont été calculés à l'aide de statistiques sur la consommation d'engrais azoté et sur la quantité d'azote prélevée par les parties récoltées de toutes les cultures par province. Ils ne comprennent pas l'apport d'azote provenant du fumier ni les quantités estimatives d'azote libérées par le sol en jachère. Cependant, cette estimation sommaire montre que, dans chacune des trois provinces des Prairies, il y a davantage d'azote qui est prélevé par la partie récoltée des cultures que d'azote qui est ajouté par l'engrais minéral, à l'exception du Manitoba, où le prélèvement d'azote par la récolte était égal à l'addition d'azote par l'engrais en 1996.

De même, dans le calcul de l'indicateur de l'azote résiduel, le prélèvement d'azote par les plantes récoltées est nettement plus important que la quantité d'azote appliquée par l'engrais. Cependant, dans le calcul de l'azote résiduel total, on admet que les résidus de culture (racines, paille et fragments de paille) contiennent une petite quantité d'azote. Dans les conditions semi-arides des Prairies, une partie de cet azote deviendra graduellement disponible pour les cultures futures. Les régions de production agricole correspondant aux deux niveaux inférieurs de l'indicateur de l'azote résiduel sont celles où la quantité d'azote présente dans les plantes cultivées récoltées va probablement dépasser la quantité ajoutée par l'engrais. Il faudrait examiner plus en détail la situation dans ces régions pour repérer les endroits où les pratiques de production ne sont pas écologiquement durables du fait que l'azote provenant de la décomposition de la matière organique du sol est transportée dans les plantes récoltées.

En ce qui concerne la qualité des sols, une certaine accumulation d'azote est souhaitable en raison de la sous-fertilisation historique. Il est encourageant de noter qu'il s'est établi un meilleur équilibre, ces dernières années, entre la quantité d'azote ajoutée par l'engrais et celle prélevée par les plantes récoltées, comme le montrent les deux approches.

Rapports prélèvement-remplacement d'azote pour les provinces des Prairies

	Alberta	Saskatchewan	Manitoba	Prairies
1981	1.64	3.15	1.51	2.01
1991	1.71	2.87	1.11	1.87
1996	1.37	1.51	0.96	1.33

(Le prélèvement de l'azote par les cultures a été déterminé pour les cultures suivantes : blé, avoine, orge, seigle, lin, canola, moutarde, céréales mélangées, tournesol, lentilles, petits pois, graines à canaris, maïs-grain, sarrasin, foin cultivé, betterave à sucre et pomme de terre.)

*K.B. MacDonald, consultant
T.C. Roberts, Institut potasse et phosphate du Canada*

G. Intensité de la production

trois provinces des Prairies, la production culturale est relativement intensive, mais les cultures produites demandent peu d'azote, et c'est l'azote libéré par la matière organique du sol qui, généralement, comblait une partie des besoins des cultures.

L'augmentation des concentrations d'azote résiduel dans les provinces des Prairies entre 1981 et 1996 reflète probablement l'emploi accru d'engrais minéraux pour mieux s'ajuster aux besoins des cultures et pour réduire les risques de pertes de matières organiques du sol (*voir* l'encadré). Par contraste, le pourcentage important de terres agricoles où il y a eu une augmentation de la concentration d'azote résiduel d'au moins 5 kg par ha en Ontario (69 %) et au Québec (71 %) reflète

probablement la tendance vers une intensification croissante dans les régions les plus productives de ces provinces. Cependant, les deux provinces renferment également d'importantes superficies consacrées à la production de fourrage et à une agriculture moins intensive correspondant à la région entrant dans les catégories 1 et 2 (48 – 60 %).

Dans l'ouest du Canada, où la production agricole est tributaire de l'eau, l'accumulation d'azote résiduel entraîne des effets nuisibles pour l'environnement, mais seulement dans certaines conditions (p.ex. lors du dégel au printemps). Dans les régions plus humides du Canada, où il y a généralement assez d'eau pour l'agriculture, les fortes concentrations d'azote résiduel du sol peuvent altérer davantage la qualité de l'eau. Les concentrations d'azote résiduel dans ces régions sont utilisées comme base pour calculer un autre indicateur traité dans le présent rapport, soit le risque de contamination de l'eau par l'azote. Le potentiel de perte d'azote à partir des terres agricoles, source de contamination de l'eau, est examiné dans le chapitre portant sur cet indicateur. L'interprétation qui suit s'applique principalement aux régions agricoles semi-arides du Canada.

La production agricole dans les régions semi-arides du Canada est généralement limitée par la quantité d'eau disponible. Excepté dans les régions où l'on dispose d'eau supplémentaire par irrigation, la production se limite à une agriculture extensive, avec un mélange de parcours naturels, de pâturages améliorés et de cultures de plantes fourragères, céréalières et oléagineuses. Même dans les régions soumises à une agriculture intensive, la production se limite généralement aux cultures à faible demande en azote, du fait que le niveau total de production est tributaire de la quantité d'eau disponible. Les concentrations d'azote résiduel sont donc faibles ou modérées dans la majeure partie de la zone agricole.

L'augmentation de la concentration d'azote résiduel entre 1981 et 1996 dans ces régions reflète une intensification de l'agriculture (accroissement de la superficie consacrée à la production de cultures annuelles) et l'objectif consistant à augmenter le rendement des cultures en ajoutant davantage d'engrais azoté. Cette tendance est la plus nette au Manitoba (où 27 % des terres cultivées renfermaient de 41 à 60 kgN/ha en 1996), suivi de l'Alberta (12 %) et de la Saskatchewan (8 %). Ce résultat était prévisible, car toute la superficie agricole du Manitoba se trouve dans la zone de sols noirs, où les conditions d'humidité sont meilleures. Une partie importante de la production de l'Alberta se situe

Planification de la gestion des éléments nutritifs

Les sols agricoles ne peuvent fournir naturellement tous les éléments nutritifs dont les cultures ont besoin. C'est lorsque ces éléments sont appliqués en quantités qui dépassent les besoins des cultures ou d'une façon qui entraîne leur perte dans le milieu environnant qu'ils présentent un risque pour l'environnement. Un bon moyen de prévenir ce risque consiste à élaborer et à appliquer un plan de gestion des éléments nutritifs. Pour concevoir un plan de ce type, il faut :

- bien comprendre les principes de la gestion des éléments nutritifs;
- connaître les caractéristiques du sol et du paysage, les réserves d'éléments nutritifs du sol et les sources appropriées d'éléments nutritifs;
- calibrer le matériel d'épandage pour savoir quelle quantité d'éléments nutritifs est appliquée;
- mettre en oeuvre les meilleures méthodes de gestion pour l'application des éléments nutritifs, protéger le sol et l'eau, et prévoir des mesures d'urgence (p. ex. lors de déversements accidentels).

Le plan de gestion des éléments nutritifs établit un bilan en déterminant la quantité d'éléments nutritifs dont les cultures ont besoin et comment ces besoins seront assurés. Les analyses de sol fournissent les données sur les concentrations existantes d'éléments nutritifs dans le sol. Les taux recommandés pour l'application d'éléments nutritifs, lorsqu'on connaît la teneur en éléments nutritifs des diverses sources supplémentaires (p. ex. fumier, engrais minéraux, biosolides, engrais vert de légumineuses cultivées), peuvent servir à déterminer la quantité additionnelle d'éléments nutritifs nécessaire pour obtenir de bons rendements. De cette façon, on évite d'appliquer trop d'éléments nutritifs et on réduit le risque que ceux-ci s'accumulent dans le sol ou qu'ils se dispersent dans l'air ou dans l'eau. Le plan prévoit également des méthodes pour stocker, manipuler et appliquer les éléments nutritifs qui comportent un risque minimal pour l'environnement.

Élaboré sur mesure pour les conditions environnementales particulières de chaque exploitation agricole, le plan de gestion des éléments nutritifs aide à optimiser la production tout en réalisant des économies sur les intrants et en protégeant la qualité du sol et de l'eau. Enfin, ce plan est flexible; il peut s'adapter aux changements des conditions météorologiques, aux variations de l'état du sol, du système cultural et de la disponibilité des éléments nutritifs, ainsi qu'aux fluctuations de la disponibilité des ressources agricoles.

*Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation
et des Affaires rurales de l'Ontario, 1998*

également dans cette zone, et cette province compte aussi une vaste zone de terres irriguées et une importante industrie d'élevage. Dans les parties semi-arides, où les conditions d'humidité sont plus favorables, il se pourrait que les concentrations d'azote résiduel atteignent la plage de 41-60 kg N/ha. Cependant, il est important de souligner que ces tendances reflètent une intensification graduelle de la production agricole plutôt qu'une accumulation d'azote résultant d'activités intensives et localisées d'élevage.

Dans d'autres parties du pays où les conditions d'humidité sont plus favorables, on prévoyait des concentrations d'azote résiduel correspondant aux catégories 2 et 3, valeurs qui reflètent à la fois l'intensité des activités agricoles dans ces régions et la production plus importante de cultures à rendement élevé, avec de fortes concentrations d'azote à la fois dans la biomasse récoltée et dans la biomasse résiduelle. Ces prévisions étaient fondées sur les résultats pour l'Ontario, le Québec et la région humide des Basses terres continentales de la Colombie-Britannique, où il y avait également des zones se situant dans la catégorie correspondant à la concentration d'azote résiduel la plus élevée (plus de 60 kgN/ha).

Choix de mesures d'intervention

Les régions à concentration d'azote résiduel élevée (catégories 3 ou 4 dans les régions semi-arides et catégorie 4 dans les régions humides d'agriculture intensive) devraient faire l'objet d'une étude plus détaillée visant à déterminer la cause probable de cette situation. Des analyses de sol peuvent servir à confirmer les résultats. Dans l'ouest du Canada, les analyses de sol jouent un rôle important, car elles aident les agriculteurs à ajuster la quantité d'azote résiduel nécessaire pour obtenir de bons rendements. Si les analyses de sol confirment la présence de fortes concentrations d'azote résiduel, des mesures devraient être prises pour corriger la situation. Étant donné qu'une fraction d'environ 40 % de l'azote contrôlé par les agriculteurs provient du fumier et des légumineuses, des travaux de recherche et de développement devraient être consacrés à la question de l'azote résiduel pour la mise sur pied de plans de gestion des éléments nutritifs respectueux de l'environnement (*voir* l'encadré).

Ces plans tiennent compte des éléments suivants :

- l'analyse régulière des sols est fondamentale pour calculer les besoins en azote;

- les moyens de gestion de l'azote des légumineuses (p. ex. le lieu et le taux d'incorporation) sont très limités;
- l'application d'azote par l'intermédiaire du fumier est plus flexible, mais le fumier ne peut être transporté très loin et l'azote du fumier est associé à d'autres éléments nutritifs des plantes, comme le phosphore, qui exercent certains effets sur l'environnement et qui doivent être gérés de façon appropriée;
- l'azote des engrais devrait être utilisé comme complément à l'apport d'azote provenant d'autres sources, car il offre plus de souplesse quant au taux, au calendrier et au lieu d'application.

Dans les régions plus humides, des travaux sont en cours pour mettre au point des méthodes d'analyse des sols permettant de mesurer la quantité d'azote disponible dans le sol. Les sols doivent être échantillonnés et analysés au moment le plus proche possible de la date d'ensemencement et d'application de l'azote, car la concentration d'azote peut changer rapidement sous l'effet du déplacement de l'eau à travers le sol. Il faut également trouver de meilleures méthodes pour tenir compte de l'azote du fumier et des légumineuses.

La présence de concentrations élevées d'azote résiduel dans une zone de cartographie donnée révèle parfois des zones circonscrites où ces concentrations sont encore plus élevées. Ces zones sont généralement associées à des activités d'élevage intensif, les terres n'étant pas assez grandes pour permettre une gestion appropriée de l'azote provenant du fumier. Dans ce contexte, des activités d'information, voire des recherches à la ferme, sont nécessaires pour aider les agriculteurs à trouver d'autres stratégies qui leur permettront de gérer des concentrations d'azote supérieures aux besoins des cultures.

Les tendances de l'indicateur peuvent révéler la présence de zones de fortes concentrations d'azote résiduel, laquelle pourra être confirmée par des analyses de sol. Dans ce cas, l'indicateur révèle peut-être l'existence de zones où l'agriculture s'intensifie, et où il faudra s'efforcer d'adopter des pratiques de gestion visant à mieux gérer l'apport d'azote.

Si les analyses de sol ne confirment pas les fortes concentrations d'azote résiduel signalées par l'indicateur, cela peut signifier que les taux recommandés pour l'application d'azote ne sont peut-être pas valides. D'autres recherches sont nécessaires pour vérifier si les recommandations existantes concernant l'azote sont encore

applicables et pour élaborer de nouvelles recommandations destinées à de nouvelles variétés de cultures dans différentes régions agricoles.

Une divergence entre les concentrations d'azote résiduel révélées par l'indicateur et les analyses de sol pourrait également s'expliquer par des lacunes relativement aux données. Dans ce cas, il faudrait corriger ces lacunes ou éliminer de l'analyse les zones de cartographie douteuses.

Étant donné que les recommandations existantes concernant l'apport d'azote sont fondées uniquement sur l'aspect économique de la production culturale, il est important d'examiner les liens entre les répercussions économiques et environnementales de l'application de ces recommandations. C'est seulement une fois qu'il y aura consensus à cet égard qu'il sera possible d'interpréter pleinement les résultats fournis par l'indicateur du point de vue de l'environnement.

Conclusion

L'indicateur de l'azote résiduel montre assez bien la situation et l'évolution de l'azote résiduel résultant d'activités agricoles. Il repose sur un calcul relativement uniforme de l'apport par les cultures et les activités d'élevage (moyennes pour des zones de cartographie) à l'échelle du Canada et permet donc de faire des comparaisons entre les régions.

Les régions à fortes concentrations d'azote résiduel repérées à l'aide de l'indicateur coïncident avec les régions caractérisées par d'autres indicateurs de l'intensité de l'agriculture, notamment par ceux associés à la production culturale. Au Canada, on observe une tendance évidente vers l'augmentation des quantités d'azote résiduel.

L'indicateur en est encore à ses premiers stades de développement, et il faut donc interpréter les résultats avec beaucoup de prudence. Dans de nombreux cas, les sources actuelles de données permettant de l'utiliser sont limitées, mais des améliorations sont possibles. Dans d'autres cas, il ne serait pas rentable de réunir un ensemble de données à l'échelle nationale possédant le niveau de détail requis pour l'analyse.

Indicateurs connexes

La gestion des pesticides et des éléments nutritifs destinés à l'agriculture intègre des indicateurs associés à l'application d'engrais minéraux et de fumier, qui influent sur les concentrations d'azote résiduel. De fortes concentrations d'azote résiduel aggravent le risque de contamination de l'eau par l'azote et augmentent la quantité d'oxyde nitreux, une des composantes du bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole. Elles reflètent également un accroissement de l'apport d'énergie pour la production et l'application d'engrais minéraux, ce qui influe sur la composante engrais de l'utilisation de l'énergie. Une fertilisation appropriée des cultures peut aider à accumuler et à conserver le carbone organique du sol.

17

Consommation d'énergie

R.J. MacGregor, R. Lindenbach, S. Weseen et A. Lefebvre

Portée géographique : nationale, régionale

Période : de 1981 à 1996

POINTS SAILLANTS

- D'une part l'activité agricole consomme une certaine énergie, et d'autre part elle crée des produits qui contiennent de l'énergie. Pour satisfaire à une demande mondiale en pleine croissance, il faut constamment s'efforcer d'accroître la production sur des terres d'une superficie totale relativement fixe. Pour ce faire, il faut habituellement opter pour de nouvelles technologies qui exigent des intrants supplémentaires, dont l'énergie. La question qui nous occupe est de savoir si ces nouvelles technologies sont écologiquement durables.
- Nous avons mis au point deux indicateurs permettant d'estimer la quantité d'énergie contenue dans les intrants agricoles ainsi que dans les extrants utilisés ou consommés par les êtres humains. Ces indicateurs fournissent également de l'information sur la productivité de certains intrants. Les objectifs préliminaires fixés à l'égard de ces indicateurs sont la réduction de l'apport d'énergie et l'augmentation de la production d'énergie.
- La quantité d'énergie consommée par la production agricole primaire au Canada a augmenté de 8 % entre la période 1981-1985 (341 PJ) et la période 1992-1996 (368 PJ) en partie parce qu'on utilise de plus grandes quantités d'engrais minéraux. La consommation de carburant diesel a également augmenté (3 % par an), mais cette augmentation a été contrebalancée en grande partie par une baisse de la consommation d'essence (5 % par an), parce que les agriculteurs ont remplacé des machines à essence par des machines alimentées au carburant diesel.
- La production totale d'énergie liée à la production agricole primaire au Canada a progressé de 13 % entre la période 1981-1985 et la période 1992-1996, cet accroissement étant principalement dû à la production de céréales majeures, d'animaux et d'autres produits. La production totale d'énergie peut varier de plus de 100 PJ d'une année à l'autre selon les rendements des cultures de céréales.
- Dans les Prairies, l'apport d'énergie a augmenté de 14 % et la production d'énergie de 19 % (104 PJ) entre 1981-1985 et 1992-1996. Ailleurs au Canada, l'apport d'énergie a augmenté de 3 % alors que la production d'énergie a diminué de 3 % (2 PJ) pendant le même intervalle.
- La production d'énergie par l'agriculture semble être largement tributaire des conditions météorologiques, mais aussi de l'amélioration des variétés culturales, des pratiques agricoles et du prix des produits. Ailleurs que dans les Prairies, dans les régions qui se spécialisent davantage dans les productions animales et les cultures fortes consommatrices d'énergie (l'horticulture par exemple), l'apport énergétique est supérieur à la production d'énergie. Dans la région des Prairies, où l'on pratique plutôt la culture des céréales (et l'exportation de grains en vrac), la production d'énergie dépasse de loin les apports énergétiques.

L'enjeu

L'agriculture, comme toutes les activités humaines, consomme de l'énergie, mais elle crée aussi des produits qui en contiennent. L'énergie consommée sert, entre autres, à faire fonctionner les véhicules et les machines agricoles, à fabriquer de l'équipement et des produits chimiques (engrais minéraux, pesticides, etc.) et à alimenter en électricité les habitations des agriculteurs. Le système agricole génère une certaine énergie qui est contenue dans les produits comme les céréales, les cultures horticoles, le bétail et les produits du bétail qui sont soit consommés directement par les êtres humains, soit utilisés pour produire d'autres biens (du cuir par exemple); une certaine quantité d'énergie est également dissipée dans l'environnement.

En étudiant les quantités d'énergie consommées et produites par le système agricole et les formes sous lesquelles elles se trouvent, ainsi que l'évolution suivie par ces quantités au cours du temps, on apprend à mieux connaître le rendement du système. Par exemple, il peut être nécessaire d'accroître l'apport énergétique pour maintenir les rendements au fur et à mesure que les sols s'appauvrissent. De même, la quantité d'énergie contenue dans les produits dépend de l'évolution de la gamme des produits provenant des exploitations

Amélioration de l'indice de conversion des aliments pour animaux

La recherche a permis d'importantes améliorations des taux de conversion des aliments pour animaux, comme en témoignent les exemples suivants.

- Les progrès de la génétique et des systèmes de gestion permettent aux producteurs de porc du Manitoba d'utiliser environ 30 % de moins d'orge que dans les années 1970 pour produire un porc de marché.
- Aujourd'hui, il faut environ sept semaines pour produire un poulet à griller alors qu'il fallait douze semaines dans les années 1950. De plus la production d'un volume comparable de poulets à griller exige moins de nourriture et de bâtiments.
- Au Canada, le nombre de vaches laitières continue de diminuer alors que le rendement par tête augmente de 1 à 2 % par année.

R..J. MacGregor, Agriculture et Agroalimentaire Canad

agricoles, et notamment de l'accroissement de la production de bétail.

Les producteurs utilisent les intrants le plus efficacement possible pour accroître leur revenu net (c'est-à-dire pour réduire le coût des intrants par unité de production). De plus, l'amélioration de l'efficacité se traduit par une meilleure protection de l'environnement. Si les producteurs utilisent moins d'engrais minéraux, de pesticides et d'autres intrants, l'environnement en souffrira moins. L'optimisation des intrants présente certains avantages écologiques comme par exemple :

- la conservation de ressources non renouvelables comme les combustibles fossiles;
- la réduction des émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement planétaire (notamment l'oxyde nitreux provenant des engrais minéraux);
- la diminution du risque pour l'environnement à l'échelle locale (p. ex. qualité de l'eau et habitat de la faune).

La croissance du secteur agricole et l'intensité d'utilisation des ressources sont des aspects essentiels de l'interprétation des indicateurs ayant trait à la consommation d'énergie. Pour répondre à une demande mondiale en pleine croissance, on doit constamment chercher à accroître la production sur des terres dont la superficie totale est relativement fixe. Pour ce faire, il faut généralement exploiter de nouvelles technologies qui exigent des intrants supplémentaires, y compris de l'énergie. La question qui nous occupe ici est de savoir si ces nouvelles technologies sont écologiquement durables.

L'indicateur

Description

En fait nous avons mis au point deux indicateurs, l'un qui permet d'évaluer la quantité totale d'énergie contenue dans les intrants agricoles (*apport d'énergie*), et l'autre qui décrit la quantité d'énergie contenue dans les produits agricoles (*production d'énergie*). L'indicateur de l'apport d'énergie exclut les apports directs d'énergie solaire et reflète donc la quantité d'énergie non renouvelable consommée par le secteur agricole. Les indicateurs sont mesurés à l'échelle provinciale, mais nous présentons ici les résultats pour la région des Prairies, les autres régions et l'ensemble du pays ainsi que des informations propres à certaines provinces. Nous présentons également les moyennes mobiles sur cinq ans pour la période 1981-1996 afin de lisser

les importantes fluctuations annuelles des valeurs de production d'énergie.

L'apport d'énergie et la production d'énergie peuvent évoluer à court ou à long terme en fonction des changements qui affectent les facteurs suivants :

- la technologie;
- les politiques gouvernementales ayant un effet sur les décisions qui touchent l'apport d'énergie et à la production d'énergie;
- les conditions atmosphériques qui influent sur les rendements (et qui peuvent causer d'importantes fluctuations de la production annuelle d'énergie);
- les méthodes agronomiques employées.

Au fil du temps, tous ces facteurs exercent une influence sur la quantité d'énergie consommée ou produite. En général, l'accroissement de l'apport d'énergie implique une exploitation plus intensive des ressources et un risque plus élevé pour l'environnement. Une augmentation de la production d'énergie non accompagnée d'un changement notable dans la gamme de produits agricoles livrés témoigne de l'amélioration de la productivité et de l'efficacité. Les objectifs préliminaires fixés à l'égard des indicateurs dont il est ici question sont la réduction de l'apport d'énergie et l'augmentation de la production d'énergie. Toutefois on ne peut véritablement évaluer le rendement obtenu que si l'on connaît la cause des changements ayant affecté l'apport et la production d'énergie.

Pour pouvoir comparer les apports et la production énergétiques et évaluer le rendement qui en résulte, il faut d'abord avoir une connaissance parfaite de l'ensemble du cycle de vie de l'énergie en fonction des technologies dont disposent les producteurs. Ce genre de comparaison pourrait faire partie des travaux de perfectionnement ultérieur des deux indicateurs.

Méthode de calcul

L'unité métrique de mesure de l'énergie employée pour le calcul des indicateurs est le pétajoule (PJ). Un pétajoule équivaut à 1000 billions de joules (1 PJ = 10^{15} joules). Une calorie équivaut à 4,1686 joules et une BTU (British Thermal Unit) équivaut à 1054,6 joules.

Pour le calcul des apports d'énergie, nous avons employé la méthode décrite dans la publication intitulée *Energy Use Trends in Canadian Agriculture*, que nous avons modifiée pour prendre en compte la rareté de l'information à l'échelle provinciale et pour étendre la période couverte jusqu'en 1981.

Les intrants énergétiques considérés dans le calcul des apports sont le gaz naturel, l'essence (à moteur), le carburant diesel (mazout), l'électricité, les liquides du gaz naturel (propane, butane, etc.), l'énergie servant à la fabrication des engrais minéraux et des pesticides ainsi que l'énergie contenue dans les bâtiments et les machines. Les données sur les apports d'énergie ont été tirées directement ou indirectement de publications de Statistique Canada et d'autres rapports sur l'énergie. Quand il manquait des données pour certaines années, nous avons effectué une estimation à partir des données connues. Pour assurer la cohérence avec d'autres études, nous n'avons pas inclus les valeurs de déperdition de ressources énergétiques (facteur qui reflète l'extraction et le raffinage des combustibles fossiles ainsi que leur transport jusqu'à l'utilisateur final).

Nous avons calculé la production d'énergie à partir du contenu énergétique de 34 des produits agricoles les plus répandus, cette information ayant été extraite de la base de données sur les éléments nutritifs du département de l'Agriculture des États-Unis ou des bases de données d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ces produits sont les suivants : blé (d'hiver et de printemps), durum, orge, seigle, avoine, canola, graine de lin, lentilles, pois des champs, soja, maïs (maïs-grain), pomme de terre, bœuf, porc, lait, poulet, œufs, dindon, carotte, chou-fleur, maïs (frais), concombre, laitue, oignon, pois, tomate, pomme, bleuet, raisin, pêche, poire, framboise et fraise. Le foin et l'herbe de pâturage ne sont pas inclus parce qu'ils sont intégrés aux productions animales et non commercialisés directement.

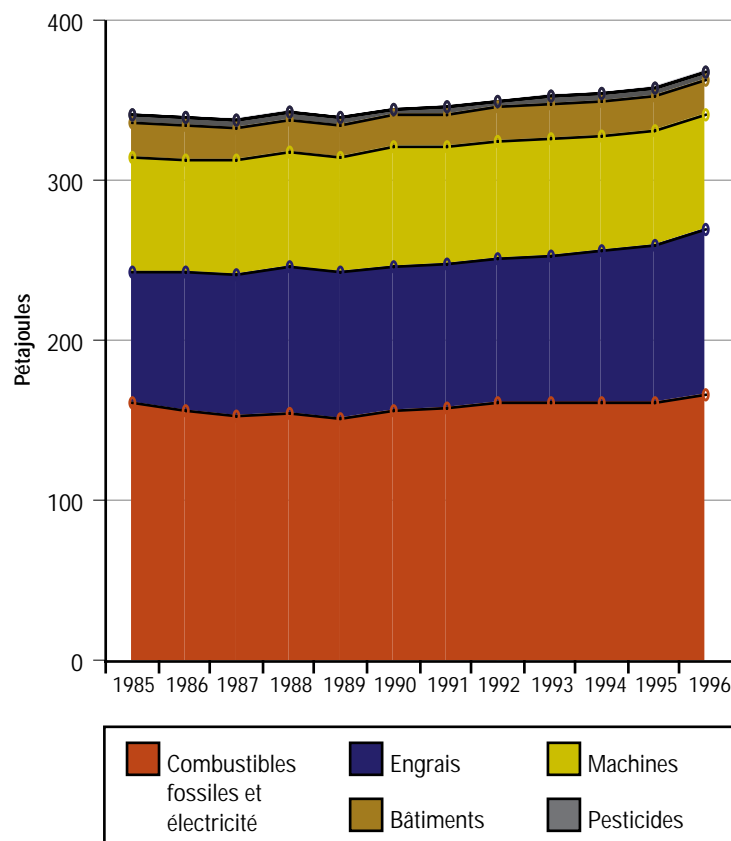
Le contenu énergétique de chaque produit a été multiplié par le volume provenant de chaque province d'après les rapports de Statistique Canada. Nous avons ensuite additionné l'énergie contenue dans l'ensemble des produits pour obtenir la production annuelle totale. Pour éviter les dédoublements, nous avons réduit la quantité d'énergie contenue dans les grains pour tenir compte de l'énergie présente dans l'alimentation des animaux d'élevage.

Limites

Le calcul des indicateurs comportait certaines limites. Certaines données étaient inexistantes tandis que d'autres étaient désuètes ou douteuses. Nous avons tenté de remédier à ces lacunes, mais le calcul des indicateurs serait plus exact si nous disposions de meilleures données. L'absence de données a fait que certains produits mineurs ont pu être négligés dans le calcul de la production d'énergie. Le rapport entre les apports et la production

Quantité d'énergie utilisée pour la production agricole au Canada

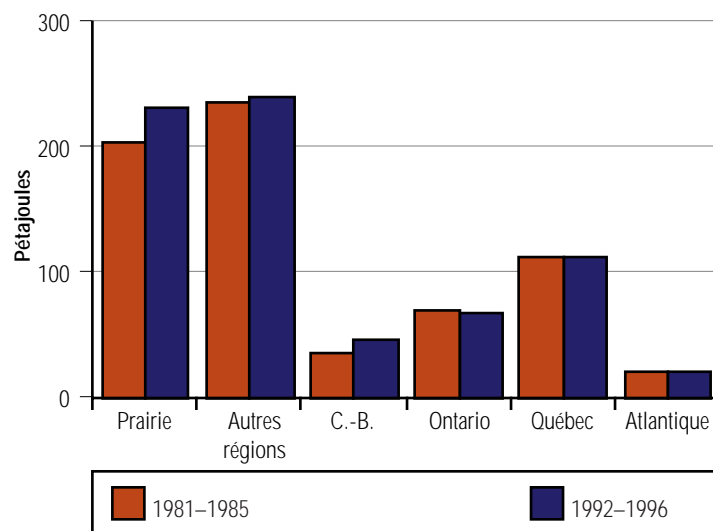
Figure 17-1



Nota : Les valeurs pour chacune des années représentent une moyenne mobile sur cinq ans. Par exemple, la valeur pour 1985 représente une moyenne pour la période 1981-1985.

Quantité d'énergie utilisée pour la production agricole par région

Figure 17-2



d'énergie est différent d'une région à l'autre, mais ces écarts traduisent la diversité des genres d'exploitations agricoles et du climat au Canada, et non les différences d'efficacité des méthodes agronomiques employées. De plus, les différences de traitement des sources de données et des statistiques sur l'utilisation des aliments pour animaux font en sorte que la somme des valeurs estimées pour les provinces ne correspond pas à la somme des valeurs pour l'ensemble du pays. Bien que ces dernières valeurs soient plus fiables, nous avons aussi indiqué les valeurs à l'échelle provinciale parce qu'elles reflètent l'évolution dans le temps.

Résultats

Apports d'énergie

Au Canada, les apports d'énergie ont augmenté de 8 % entre la période 1981-1985 et la période 1992-1996 (figure 17-1), principalement à la suite d'un accroissement de 14 % dans les Prairies (qui résulte surtout de l'utilisation accrue d'engrais minéraux), contre une augmentation de 3 % dans le reste du pays. Les apports d'énergie liés à la consommation d'engrais minéraux se sont accrus de 26 % (taux d'augmentation annuel de 1,4 %) entre la période 1981-1985 et la période 1992-1996; cette valeur représente 26 % du total national des apports d'énergie durant la période de 15 ans considérée. L'apport d'énergie sous la forme de pesticides a également augmenté (20 %), mais, étant donné sa très petite contribution en valeur absolue, son incidence était négligeable. La consommation totale de combustibles fossiles a augmenté de 3 % durant cette période, et on note une popularité croissante des machines alimentées au carburant diesel au détriment des appareils à essence.

La figure 17-2 représente la consommation d'énergie à l'échelle régionale et provinciale. L'utilisation d'aliments pour animaux a été comptée comme un apport d'énergie en Colombie-Britannique, au Québec et dans les provinces de l'Atlantique vu qu'on a consommé plus d'énergie à ce chapitre qu'on en a produit par l'intermédiaire des grandes cultures dans ces provinces. Dans les Prairies, les apports d'énergie ont augmenté en moyenne de 1 % par année contre 0,1 % dans le reste du Canada.

Voici les taux de variation annuelle de l'apport d'énergie par province pour l'intervalle compris entre les périodes 1981-1985 et 1992-1996 :

- 2,8 % en Colombie-Britannique, surtout à cause de la hausse des importations de céréales fourragères;

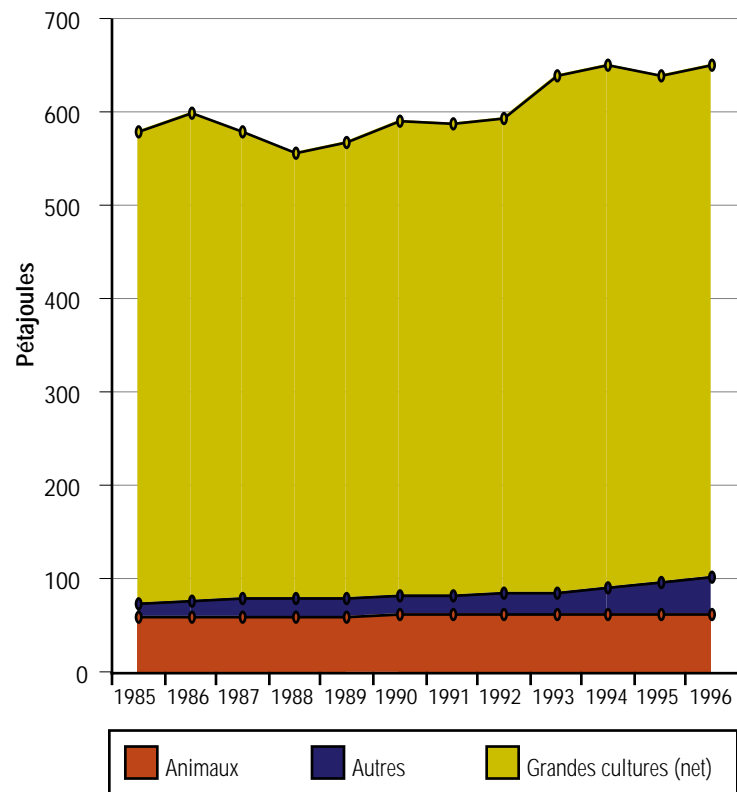
- - 0,2 % en Alberta, où l'on a enregistré une baisse de la consommation de combustibles fossiles plus importante que l'augmentation de la consommation d'engrais minéraux;
- 1,6 % en Saskatchewan, où la consommation de combustibles fossiles et d'engrais minéraux a augmenté;
- 2,2 % au Manitoba, où la consommation de combustibles fossiles et d'engrais minéraux a également augmenté;
- - 0,4 % en Ontario, où la consommation d'engrais minéraux et l'apport d'énergie pour l'exploitation des machines ont diminué;
- - 0,4 % au Québec, où l'on a enregistré une légère diminution de la consommation d'énergie sous forme de combustibles fossiles et d'engrais minéraux;
- - 0,6 % dans les provinces de l'Atlantique, où la consommation d'engrais minéraux a augmenté et où le recul au chapitre de l'utilisation d'aliments pour animaux a été compensé par une baisse de la consommation de combustibles fossiles.

Production d'énergie

Au Canada, la production totale d'énergie a augmenté de 13 % entre les périodes 1981-1985 et 1992-1996 (figure 17-3). Même avec l'effet de lissage résultant de l'emploi de moyennes mobiles sur cinq ans, on observe une variabilité considérable à l'échelle nationale. L'indicateur de production d'énergie est sensible aux rendements des grandes cultures. Le taux annuel de croissance de la production d'énergie par le biais de ces cultures était d'environ 1,2 %, mais ce chiffre tombe à 1 % quand on déduit la consommation d'aliments pour animaux (qui a augmenté au rythme de 1,6 %). La production d'énergie a augmenté au taux de 0,4 % au chapitre des productions animales et de 8 % pour ce qui est des autres produits (bien que le volume de ces productions ait été très faible par rapport à celui des grandes cultures). En moyenne, ces cultures (autres que les aliments pour animaux) représentaient 86 % de la production d'énergie.

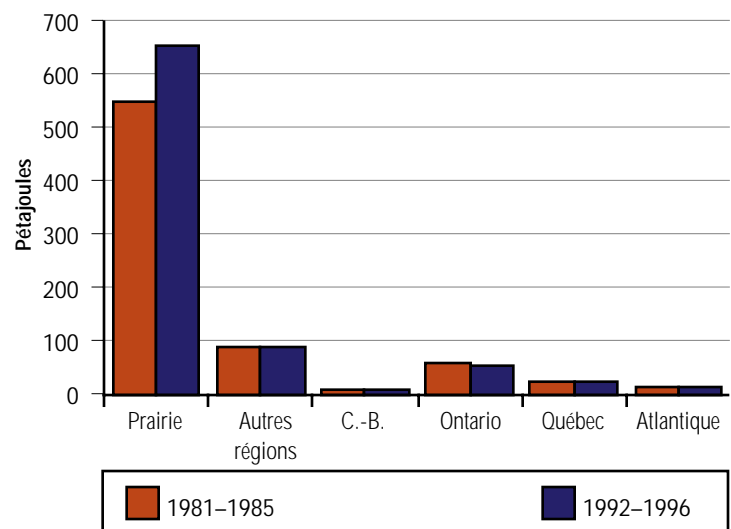
Le bilan national est fortement influencé par la situation qui prévaut dans les Prairies, d'où proviennent plus de 85 % de la production totale d'énergie du pays. Dans cette région, on a enregistré une hausse de 19 % de la production d'énergie pendant la période étudiée, la tendance à la hausse étant semblable à celle qu'on observait dans l'ensemble du Canada (figure 17-4). Toujours dans les Prairies, la production d'énergie par le biais des grandes cultures a augmenté de 1,5 % par an sous l'effet de l'amélioration des rendements (qui

Figure 17-3
Production d'énergie liée à la production agricole au Canada



Nota : Les valeurs pour chacune des années représentent une moyenne mobile sur cinq ans. Par exemple, la valeur pour 1985 représente une moyenne pour la période 1981-1985.

Figure 17-4
Production d'énergie liée à la production agricole par région



La productivité

La productivité est une mesure de l'efficacité de l'utilisation des intrants. Bien qu'il s'agisse d'une notion facile à comprendre, la productivité est difficile à mesurer à un niveau global. Elle augmente si les extrants augmentent plus rapidement que les intrants, ce qui suppose un perfectionnement des technologies ou des systèmes de gestion dans le temps. Pour mesurer les variations de la productivité dans le temps, on met au point des indices composés basés sur les quantités d'intrants et d'extrants.

Nous avons calculé la productivité pour les engrais minéraux (azote, phosphore et potassium), les pesticides et l'énergie (combustibles fossiles utilisés pour faire fonctionner les machines et produire de l'électricité). Nous avons également mis au point des indices basés sur les dépenses et les recettes en tenant compte des variations des prix au fil des ans. Les engrais minéraux et les pesticides ont été comparés aux produits des cultures, et l'énergie a été comparée aux produits des cultures et aux productions animales. Les données ont été tirées de la base de données sur la productivité d'Agriculture et Agroalimentaire Canada pour la période allant de 1961 à 1992, dernière année pour laquelle on disposait de données à la date de production du présent rapport.

Les estimations de la productivité pour la période 1983-1992 confirment les tendances relevées dans ces pages, les intrants et les extrants étant exprimés en fonction de l'énergie qu'ils contiennent. Au lieu de faire intervenir l'énergie comme unité de calcul, les indices de productivité permettent de comparer la quantité d'intrants avec la quantité d'extrants (qui sont toutes exprimées en dollars constants). La productivité s'accroît à un taux annuel de 1 %, 2,5 % et 1,9 % respectivement pour les engrais minéraux, les pesticides et les combustibles fossiles, ce qui va dans le sens de la constatation selon laquelle la production d'énergie augmente plus rapidement que les apports d'énergie pour ces trois paramètres.

La consommation totale d'engrais minéraux a connu une croissance importante dans les Prairies, tout comme l'apport d'énergie sous la forme d'engrais minéraux qui a pratiquement doublé. L'efficacité de l'utilisation de ces engrais a augmenté de 2,3 % par année, ce qui traduit une amélioration globale de la productivité. Jusqu'en 1980, la consommation totale d'engrais minéraux était à peu près la même dans les Prairies que dans les autres régions du Canada. Par la suite, elle a eu tendance à se stabiliser dans ces dernières régions (ou à diminuer d'environ 1 % selon l'estimation de la consommation d'énergie), et il y a peut-être eu une certaine perte de productivité. À l'échelle nationale, cette tendance a ramené le taux d'accroissement de l'efficacité de l'utilisation à 1 %.

La consommation totale de combustibles fossiles mesurée en dollars constants est en baisse depuis le milieu des années 1970. En même temps que la croissance marquée des différents extrants, on remarque une augmentation de l'efficacité globale dans les Prairies et les autres régions du pays. L'apport d'énergie sous forme de combustibles fossiles a augmenté lentement entre 1981-1985 et 1992-1995.

En ce qui concerne les pesticides, l'indice d'efficacité a connu une diminution de 1,6 % par an dans les Prairies, diminution qui a été plus que compensée par une augmentation rapide de l'efficacité de la consommation, qui est de 8,8 %, dans les autres régions. À l'échelle nationale, l'accroissement du taux d'efficacité de la consommation atteint presque 2 %. Les deux variables (quantité et énergie) reflètent une augmentation très rapide de la consommation d'énergie dans les Prairies. Toutefois, ce n'est pas le cas dans les autres régions, où les quantités consommées accusent une diminution tandis que l'apport d'énergie sous la forme de pesticides augmente de 0,7 % par année.

S. Narayanan, Agriculture et Agroalimentaire Canada

découle en partie du recours accru aux engrais minéraux) et de l'accroissement des superficies enssemencées au détriment des superficies en jachère. La consommation d'aliments pour animaux a augmenté à un rythme supérieur, soit de 2,7 %, ce qui a entraîné une hausse de 1,5 % de la production d'énergie par les produits animaux. La production d'énergie liée aux autres produits (lentilles, pois des champs, pomme de terre, cultures horticoles, etc.) s'est accrue de près de 15 % par année, et ce même si le volume total était très faible. En 1996, les autres produits ne représentaient que 4 % de la production totale d'énergie. Dans les régions autres que les Prairies, on a enregistré une légère baisse (de 3 %) de la production d'énergie. En Ontario, cette baisse s'explique par le fait que la consommation d'aliments pour animaux a connu une croissance plus rapide que la production d'énergie attribuable aux grandes cultures, ce qui a laissé une moindre quantité d'énergie à exporter.

Les taux de variation annuelle de la production d'énergie pour l'intervalle compris entre les périodes 1981-1985 et 1992-1996 sont les suivants :

- 1,2 % en Colombie-Britannique, où l'on a enregistré un accroissement des productions animales et du déficit au chapitre des aliments pour animaux;
- 1,6 % dans les Prairies, où la production d'énergie a augmenté dans les trois catégories;
- -0,6 % en Ontario, où la consommation d'aliments pour animaux a connu une augmentation, mais où la production d'énergie par le biais des productions animales est demeurée assez constante;
- 0,1 % au Québec, où la production d'énergie aux chapitres des productions animales et des autres produits a légèrement augmenté;
- 1,2 % dans les provinces de l'Atlantique, où la production d'énergie a augmenté au chapitre des autres produits et légèrement augmenté en ce qui a trait aux productions animales.

Les taux de variation annuelle de la production d'énergie liée à certains produits pour l'intervalle compris entre les périodes 1981-1985 et 1992-1996 sont les suivants :

- bœuf et lait, -0,6 %;
- porc, 1,3 %;
- poulet, 3,6 %;
- blé (y compris le durum), 0,2 %;
- orge, -2,4 %;
- canola, 6,1 %;
- lin, -0,7 %;

- avoine, 13,5 %;
- soja, 7,8 %;
- maïs, - 2 %.

Dans les Prairies, la production nette d'énergie liée aux grandes cultures a connu une augmentation générale, surtout à cause de la réduction de la jachère. Comme les taux de variation annuelle le montrent, la production d'énergie résultant de la culture du blé a augmenté très lentement, alors que celle due à la culture de l'orge a diminué au profit du canola et de l'avoine. Dans l'Est du Canada, le passage de la culture du maïs à celle du soja est évident. La baisse de la production d'énergie au chapitre de la production bovine qu'on observe dans l'Est du Canada a plus que compensé la croissance enregistrée dans l'Ouest, en particulier en Alberta, où la production d'énergie a augmenté de 12 % entre 1981-1985 et 1992-1996. La production d'énergie liée à la production laitière a augmenté en Colombie-Britannique, mais on observe une réduction générale à l'échelle du pays suite aux baisses de production relevées en Ontario et au Québec pendant cet intervalle. Et enfin la production d'énergie attribuable à la production de porc et de poulet a connu une progression constante.

Interprétation

Dans les Prairies, entre les périodes 1981-1985 et 1992-1996, la production d'énergie engendrée par les grandes cultures et les autres produits a augmenté plus rapidement que l'apport d'énergie (principalement sous forme d'engrais minéraux). La hausse de la production d'énergie découle en majeure partie de l'amélioration des rendements (qui est due au progrès technologique) et de la réduction de la jachère. Une autre façon de mesurer le rendement des divers intrants agricoles consiste à examiner la *productivité des intrants*, ce qui permet de corroborer cette interprétation, du moins en ce qui concerne les principaux intrants que sont les engrais minéraux et les combustibles fossiles (voir l'encadré). La consommation de combustibles fossiles est en lente augmentation, ce qui indique que le secteur agricole contribue à l'utilisation efficace de ces ressources non renouvelables, avec les répercussions que cela implique pour ce qui est des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole. Dans les Prairies, il faudra utiliser davantage d'engrais minéraux pour rétablir la fertilité des sols, qui décline sous l'effet de la production de céréales, d'oléagineux et de cultures fourragères.

Pour ce qui est des autres intrants, il semble que l'attrait économique que suscite une utilisation rentable des intrants suffit à faire diminuer les quantités consommées. Les apports d'énergie ont diminué dans toutes les régions de l'Est du Canada, y compris la consommation d'engrais minéraux au Québec et en Ontario, probablement suite aux changements survenus dans le choix des cultures (p. ex. accroissement de la culture du soja) et suite à l'utilisation accrue du fumier. Le phénomène illustre bien l'effet que les systèmes de production de remplacement peuvent avoir sur l'utilisation des intrants. Bien que les machines et les bâtiments agricoles contiennent une grande quantité d'énergie, celle-ci est demeurée relativement constante pendant cet intervalle. Globalement, le changement qui a affecté la composition de la production (tant les cultures que les productions animales) n'a eu qu'un faible impact sur ces intrants.

Les céréales destinées à l'alimentation des animaux constituent un autre facteur important. Les céréales et le fourrage sont les principaux intrants de la production animale. La hausse de l'apport d'énergie sous forme de céréales fourragères (1,6 %) survenue entre les périodes 1981-1985 et 1992-1996 surpasse l'augmentation globale de la production d'énergie par le biais des grandes cultures, qui se chiffre à 1,2 %. En moyenne, 36 % du contenu énergétique des principales céréales sont allés à l'alimentation des animaux d'élevage. Pendant la période 1992-1996, l'apport d'énergie représenté par la part des céréales ayant servi à nourrir les animaux équivalait à 90 % de la somme des autres apports d'énergie. Si l'on peut accroître l'indice de conversion des aliments pour animaux, on pourra réaliser des gains importants; cela pourrait aussi se répercuter sur les quantités d'intrants consacrées à la production d'aliments pour animaux ainsi que sur le fumier et les autres sous-produits de l'élevage.

Choix de mesures d'intervention

Comme les indicateurs de l'apport d'énergie et de la production d'énergie intègrent de nombreuses composantes différentes, ils ne se prêtent pas à des interventions très ciblées. Par exemple, il faudrait étudier la croissance de la consommation d'engrais minéraux dans les Prairies pour confirmer qu'elle permet de maintenir ou d'accroître la productivité. Il serait souhaitable de trouver d'autres moyens de fertiliser les sols pour réduire la dépendance envers les engrais minéraux.

Quoique faible, l'accroissement de la consommation de pesticides est préoccupant. La hausse annuelle représente presque 1 % de l'apport d'énergie, et elle s'ajoute à la baisse de l'indice de productivité dans les Prairies, ce qui montre bien qu'il faut s'attaquer à cette question. Il faudra également étudier en quoi l'évolution de la gamme des produits pourrait influencer l'utilisation des intrants. La production d'autres cultures a fortement augmenté, de même que celle du canola et de l'avoine; si les pesticides prennent de plus en plus de place dans la production de ces cultures, il faudra tenter de trouver d'autres méthodes de lutte contre les parasites.

Conclusion

Pendant la période étudiée, le taux de croissance de la production d'énergie (1,2 %) a dépassé celui de l'apport d'énergie (0,7 %). Les indicateurs de productivité à l'égard des engrais minéraux, des pesticides et des combustibles fossiles confirment l'augmentation constante des rendements dans le secteur agricole. L'énergie contenue dans les divers intrants représente un coût important, que les producteurs chercheront certainement à réduire. Les indicateurs dont il est ici question viennent appuyer cette hypothèse.

Bien que la consommation d'énergie sous forme d'engrais minéraux et de pesticides ait augmenté pendant la même période dans les Prairies, celle qui a eu lieu par le biais des autres intrants est demeurée relativement constante, ce qui a suffi à permettre d'importants gains de productivité par l'accroissement des rendements et la réduction de la jachère. L'augmentation de la consommation

de pesticides dans les Prairies est préoccupante, et il serait souhaitable d'effectuer des recherches sur les systèmes agricoles pour en évaluer les répercussions. L'indice de conversion des céréales fourragères est un autre élément clé pour lequel des améliorations s'imposent, étant donné que ces céréales représentent l'apport d'énergie le plus important, qui équivaut presque à la somme de tous les autres intrants du secteur agricole. Enfin, l'utilisation de l'énergie contribue à l'émission de gaz à effet de serre et influe sur le bilan des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole.

Indicateurs connexes

Il existe des liens entre l'indicateur de consommation d'énergie et la plupart des indicateurs présentés dans le présent rapport. Ainsi il faut mobiliser plus d'énergie pour maintenir la production agricole au fur et à mesure que les sols s'appauvrissent, de sorte que cet indicateur est lié aux indicateurs suivants : risque d'érosion hydrique, risque d'érosion éolienne, risque d'érosion attribuable au travail du sol, carbone organique du sol, risque de tassement du sol et risque de salinisation du sol. L'indicateur de « gestion des intrants agricoles - éléments nutritifs et pesticides » permettra de mesurer la consommation d'engrais minéraux et de pesticides, qui influe sur les apports d'énergie associés à ces intrants. De même, si l'on augmente le degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture, on pourra réduire l'apport d'énergie lié aux machines et aux combustibles fossiles pour le travail du sol, mais il se pourrait alors qu'on consomme davantage d'énergie sous la forme d'herbicides.

H *Résumé*



18

Analyse régionale de l'agriculture écologiquement durable

T. McRae et C.A.S. Smith

Portée géographique : Colombie-Britannique, provinces des Prairies, Ontario, Québec, provinces de l'Atlantique

Période : 1981, 1991, 1996

POINTS SAILLANTS

- De 1981 à 1996, le produit intérieur brut (PIB) du secteur agricole primaire de la Colombie-Britannique a augmenté d'environ 30 %. Certains risques environnementaux ont diminué, tandis que d'autres sont demeurés stables et que d'autres encore ont augmenté. Des améliorations ont été observées quant aux sols, mais des portions importantes des terres cultivées sont toujours menacées par des taux non viables d'érosion hydrique et d'érosion attribuable au travail du sol. L'habitat faunique supportant la plupart des unités d'utilisation est demeuré stable dans la partie centrale de la province, a augmenté dans la région de la rivière de la Paix, mais a diminué dans les régions de l'écozone Maritime du Pacifique où l'agriculture est plus intensive. Les émissions de gaz à effet de serre ont été stables. Le risque de contamination de l'eau par l'azote s'est accru. Certains sols de l'écozone de la Cordillère montagnarde et de la région de la rivière de la Paix sont sous-fertilisés, tandis que l'eau en excès du sol d'autres régions de la province où l'horticulture et la production animale sont intensives présente des teneurs en éléments nutritifs. Dans le secteur agricole de la Colombie-Britannique, le taux de croissance de l'apport d'énergie a surpassé celui de la production d'énergie.
- Dans les provinces des Prairies, la forte croissance d'environ (59 %) du PIB du secteur agricole primaire enregistrée de 1981 à 1996 s'est accompagnée de progrès notables en matière de préservation de l'état du sol et, dans une certaine mesure, dans la conservation des habitats fauniques des terres agricoles pour la plupart des unités d'utilisation. Les coûts environnementaux de l'agriculture étaient principalement attribuables à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Les augmentations des concentrations d'azote résiduel ont eu des effets partagés, puisqu'elles ont permis de préserver la fertilité du sol, qu'elles ont contribué aux émissions de gaz à effet de serre (oxyde nitreux) et qu'elles ont probablement fait croître le risque de contamination de l'eau par l'azote. Dans la région des Prairies, l'utilisation de l'énergie semble également s'être relativement améliorée puisque les augmentations de la production d'énergie ont dépassé la croissance des apports d'énergie. À l'heure actuelle, certains indicateurs liés à des enjeux importants dans les Prairies, comme la gestion de l'eau et les effets de l'irrigation et de la production animale intensive sur la qualité de l'eau, font défaut.
- En Ontario, le PIB agricole n'a connu une croissance modérée d'environ (8 %) et les mesures de réduction des risques environnementaux prises entre 1981 et 1996 n'ont remporté qu'un succès mitigé. Le risque de dégradation du sol a diminué, sauf celui associé au compactage du sol, mais un pourcentage important des terres cultivées est toujours menacé par des taux non viables d'érosion hydrique et d'érosion attribuable au travail du sol. Les émissions de gaz à effet de serre sont demeurées stables. L'habitat sur les terres agricoles pour la plupart des unités d'utilisation s'est maintenu dans la région agricole septentrionale, mais a régressé dans les régions du sud, du centre-sud et du sud-est de la province. Les concentrations d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau par l'azote ont énormément augmenté dans la majeure partie de la province. L'apport et la production d'énergie ont diminué, cette dernière à un rythme légèrement plus rapide.
- Au Québec, la croissance du PIB agricole a été modérée d'environ (13 %). Des gains environnementaux ont été indiqués dans certaines régions et les risques sont demeurés stables ou ont empiré dans d'autres entre 1981 et 1996. L'état des sols s'est nettement amélioré puisque la plupart des risques de dégradation ont diminué, et la majeure partie des terres cultivées est classée dans la catégorie de risque tolérable d'érosion. Les émissions de gaz à effet de serre ont également diminué. La superficie de l'habitat faunique sur les terres agricoles pour la plupart des unités d'utilisation est demeurée stable dans le nord de la province, mais elle a régressé dans certains secteurs de l'écozone des Plaines à forêts mixtes où la production est plus intensive. Les concentrations d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau par l'azote ont énormément augmenté dans la majeure partie de la province. Le risque de contamination de l'eau par le phosphore ainsi que l'apport et la production d'énergie par le secteur agricole sont demeurés largement inchangés.
- Dans la région de l'Atlantique, le PIB agricole a légèrement d'environ (1 %) et les conditions et les risques environnementaux ont varié considérablement de 1981 à 1996. L'habitat sur les terres agricoles s'est accru ou est demeuré stable pour la plupart des unités d'utilisation dans la région; le degré de couverture des sols a augmenté et les risques de dégradation ont diminué pour certains sols. Toutefois, les améliorations apportées à la gestion des sols en général ont été modestes et des portions importantes des terres cultivées sont toujours menacées par des risques excessifs d'érosion. Les concentrations estimées d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau par l'azote ont beaucoup augmenté dans la majeure partie de la région. La production d'énergie a augmenté de 17 % de 1981 à 1996, tandis que l'apport d'énergie a diminué de 4 %.

Introduction

Les chapitres précédents du rapport portent sur les différents indicateurs agroenvironnementaux. Dans le présent chapitre, nous examinons sous un angle régional certains indicateurs ainsi que d'autres facteurs pertinents afin :

- de cerner les liens entre les indicateurs;
- d'évaluer les performances accomplies par le secteur agricole en matière d'environnement au cours de la période 1981–1996;
- de définir les défis liés à l'environnement;
- d'examiner les tendances agroenvironnementales par rapport aux changements en matière de rendement économique.

Les régions à l'étude sont la Colombie-Britannique, les provinces des Prairies (Alberta, Saskatchewan et Manitoba), l'Ontario, le Québec et les provinces de l'Atlantique (Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Île-du-Prince-Édouard, Terre-Neuve et Labrador). Le produit intérieur brut (PIB) du secteur agricole primaire est l'indicateur utilisé à des fins d'analyse économique. Pour atteindre les objectifs économiques et environnementaux, l'idéal serait que le PIB augmente avec le temps et que les risques pour l'environnement diminuent. Des changements structurels de l'agriculture et le recours à des pratiques et à des procédés plus respectueux de l'environnement peuvent permettre de réaliser ce double idéal.

Colombie-Britannique

En 1996, la Colombie-Britannique possédait 3,5 % des terres agricoles du Canada et comptait pour environ 7 % du PIB du secteur agricole primaire. Ses régions agricoles les plus importantes sont la région de la rivière de la Paix (dans l'écozone des Plaines boréales), les vallées du sud de la région centrale intérieure (dans l'écozone de la Cordillère montagnarde) et la région des Basses terres continentales (dans l'écozone Maritime du Pacifique).

L'écozone Maritime du Pacifique jouit d'un climat côtier doux caractérisé par d'abondantes précipitations en hiver. Les sols agricoles les plus productifs de la région se trouvent dans les basses terres de la vallée du Fraser et dans le sud-est de l'île de Vancouver où prédominent l'horticulture (production en plein champ ou en serre) ainsi que la polyculture et l'élevage. L'écozone de la Cordillère montagnarde couvre les régions méridionales de l'intérieur de la Colombie-Britannique où le climat est doux et relativement sec.

L'horticulture et l'élevage y sont les principales activités agricoles. La région de la rivière de la Paix est située dans l'écozone des Plaines boréales et se spécialise dans la production de céréales et d'oléagineux. Elle ressemble à la région agricole du nord des provinces des Prairies et est très différente du reste de la Colombie-Britannique. Puisque la majeure partie des terres agricoles de la province se trouvent dans cette région, les conditions qui y règnent ont tendance à biaiser les indicateurs pour cette province.

En raison de la douceur du climat de cette province, certaines terres de la Colombie-Britannique figurent parmi les zones agricoles les plus productives du Canada, et l'agriculture y est très diversifiée. Au regard des recettes monétaires agricoles de 1997 (1,7 milliard de dollars), les principaux groupements de production spécialisée sont les produits laitiers (19,5 %), la volaille et les oeufs (19 %), les fruits et les légumes (18,5 %), les viandes rouges (16,5 %), les céréales et les oléagineux (1,5 %) et la catégorie « autres » (25 %), comme les champignons, les bulbes, les fleurs et les arbustes d'ornement et le miel.

Le tableau 18-1 présente les principaux résultats obtenus pour certains indicateurs agroenvironnementaux et économiques en Colombie-Britannique.

Interprétation

Les conditions et les tendances environnementales relevées dans le secteur agricole de la Colombie-Britannique de 1981 à 1996 sont inégales. Le PIB agricole a augmenté énormément et certains indicateurs environnementaux montrent des tendances positives. D'autres laissent voir des augmentations considérables des risques pour l'environnement dus à l'agriculture.

Des améliorations modestes ont été apportées à la gestion des ressources pédologiques. De 1981 à 1996, les indicateurs du degré de couverture des sols (par les cultures et les résidus de culture), des teneurs en carbone organique des sols et des risques d'érosion due au travail du sol se sont globalement améliorés, mais l'érosion attribuable au travail du sol s'est aggravée dans les régions méridionales de la côte et de l'intérieur de la province. Les risques d'érosion hydrique sont généralement restés inchangés, mais ils ont augmenté dans l'écozone Maritime du Pacifique et dans celle de la Cordillère montagnarde. Les améliorations apportées à la gestion des sols sont en partie attribuables à un travail réduit du sol des terres cultivées (en 1996, des méthodes culturales de conservation du sol ou de culture sans travail

Tableau 18-1

Indicateurs agroenvironnementaux et économiques du secteur agricole de la Colombie-Britannique

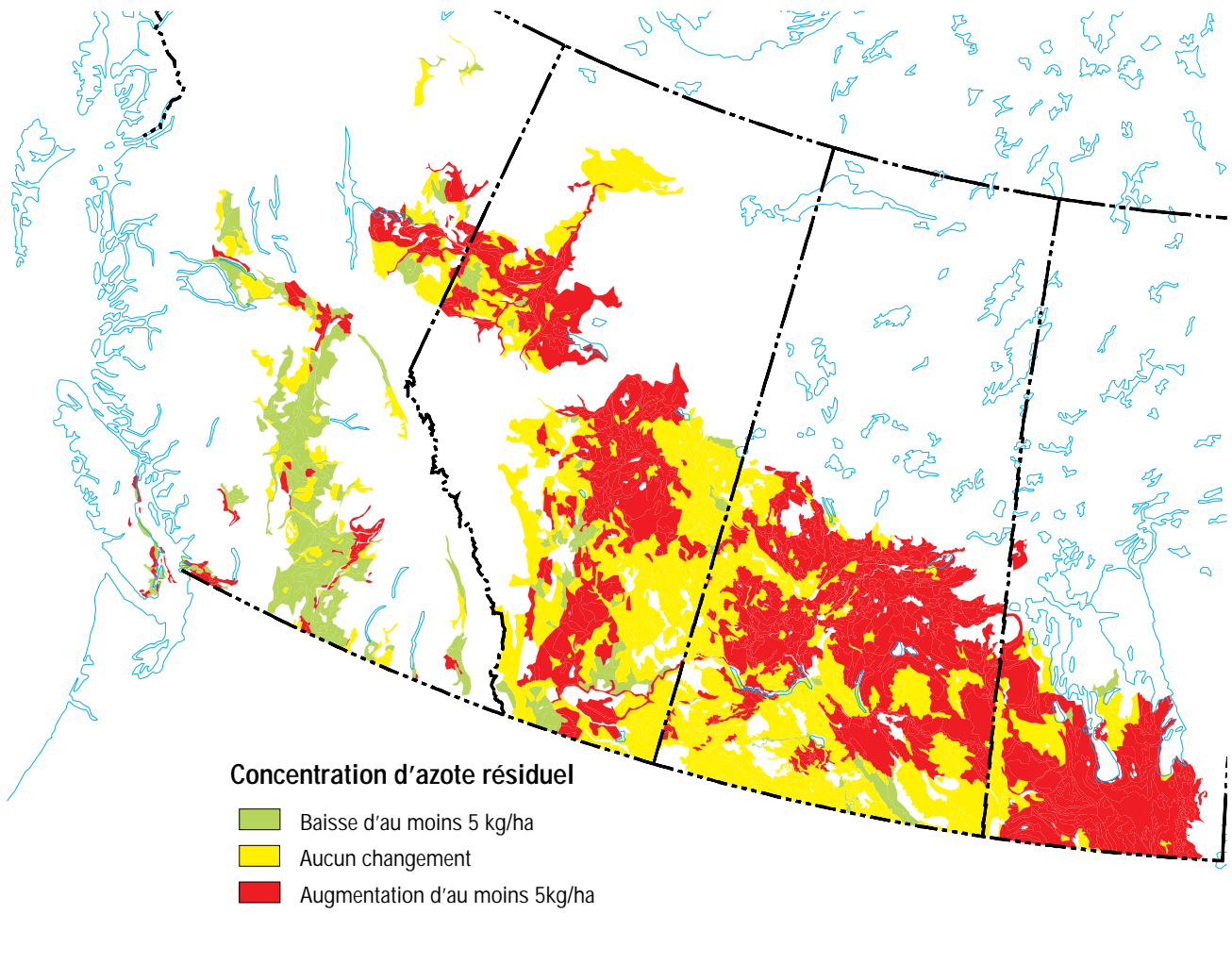
Enjeu	Indicateur	Situation en 1996	Type de changement de 1981 à 1996
Terres et sols	Degré de couverture des sols	Degré adéquat de couverture des sols (34 jours sans couverture du sol/hectare).	Changement positif : diminution de 25 % du nombre de jours sans couverture du sol.
	Érosion hydrique	44 % des terres cultivées menacées par des taux non viables d'érosion hydrique.	Aucun changement : la superficie des terres cultivées présentant un risque tolérable d'érosion demeure inchangée (ce résultat ne rend pas compte des améliorations récentes dues à la plantation de couvertures végétales hivernales dans l'écozone Maritime du Pacifique).
	Érosion attribuable au travail du sol	50 % des terres cultivées menacées par des taux non viables d'érosion attribuable au travail du sol.	Changement positif : réduction de 19 % du risque d'érosion attribuable au travail du sol.
	Carbone du sol	Très faible perte (12 kg/ha) de carbone.	Changement positif : réduction de 40 % du taux estimé de perte du carbone du sol.
Changement climatique	Émissions de gaz à effet de serre	Émission de 5 millions de tonnes d'équivalents de CO ₂ (6 % des émissions agricoles nationales).	Aucun changement
Biodiversité	Habitat faunique des terres agricoles	Unités d'utilisation de l'habitat par écozone : Maritime du Pacifique (3 048) Cordillère montagnarde (4 011) Plaines boréales (3 098).	Changement négatif dans l'écozone Maritime du Pacifique : 75 % des utilisations de l'habitat supportées par une superficie décroissante d'habitat Aucun changement dans l'écozone de la Cordillère montagnarde : 80 % des utilisations de l'habitat supportées par une superficie inchangée. Changement positif dans l'écozone des Plaines boréales : 86 % des utilisations de l'habitat supportées par une superficie sans cesse croissante.
Concentration de la qualité de l'eau	Risque de contamination de l'eau par l'azote (N)	94 % des terres agricoles évaluées dont l'eau en excès risque d'avoir une concentration en N approchant ou dépassant la recommandation pour l'eau potable (uniquement dans l'écozone Maritime du Pacifique).	Changement négatif : 57 % des terres agricole évaluées (uniquement dans l'écozone Maritime du Pacifique) présentaient des risques grandissants de contamination de l'eau par l'azote.
Intensité de la production	Azote résiduel (AR)	70 % des terres agricoles évaluées ayant des concentrations estimées d'azote résiduel (AR) de négligeables à faibles (<20 kg/ha).	Changement mitigé : 51 % des terres agricoles évaluées présentaient une diminution de leur concentration d'AR d'au moins 5 kg/ha. L'AR a augmenté dans l'écozone Maritime du Pacifique, une tendance négative. L'AR a augmenté et diminué dans différentes parties de l'écozone de la plaine boréale et de la Cordillère montagnarde, un effet positif sur la santé des sols, mais négatif sur les émissions de gaz à effet de serre dans les endroits où l'AR a augmenté; un effet négatif dans les endroits où l'AR a diminué, en raison de la sous-fertilisation des sols.
	Énergie	De 1992 à 1996, l'apport d'énergie a été de 45,6 PJ et la production d'énergie, de 5,0 PJ.	Changement négatif : l'augmentation de l'apport d'énergie (35 %) dépassait celle de la production d'énergie (15 %).
Rendement économique	PIB agricole	Environ 850 millions de dollars (en dollars constants de 1992).	Augmentation d'environ 30 %.

du sol étaient appliquées sur 53 % des superficies ensemencées) et à une réduction des jachères dans le secteur de la rivière de la Paix. Pourtant, en 1996, près de la moitié du territoire agricole de la Colombie-Britannique comportait des

secteurs où les risques d'érosion hydrique et d'érosion attribuable au travail du sol étaient jugés non viables, et des sols continuaient de perdre de petites quantités de carbone organique.

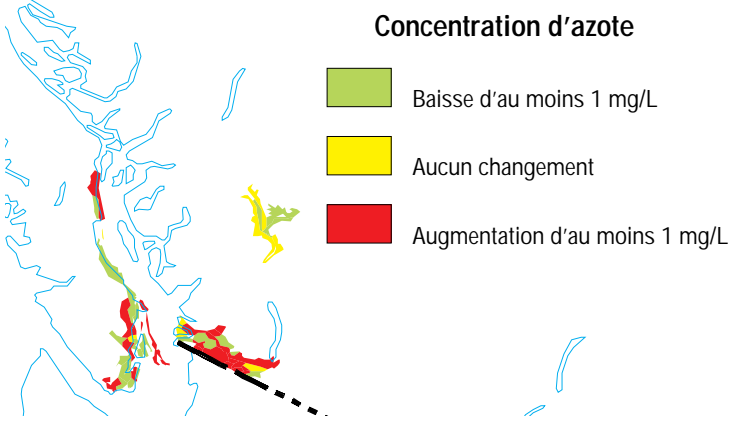
Variation de la concentration d'azote résiduel sur les terres agricoles de l'ouest du Canada entre 1981 et 1996

Figure 18-1



Évolution du risque de contamination de l'eau par l'azote sur les terres agricoles de la Colombie-Britannique entre 1981 et 1996

Figure 18-2



Les émissions totales de gaz à effet de serre sont demeurées stables et aucun changement significatif des émissions des différents gaz n'a été relevé. Toutefois, les émissions de gaz à effet de serre par unité de surface sont relativement élevées en Colombie-Britannique. La disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles pour la plupart des unités d'utilisation est demeurée stable dans la région centrale de la province; elle a augmenté dans la région de la rivière de la Paix et a considérablement diminué dans l'écozone Maritime du Pacifique par suite de la conversion (p.ex., en terres cultivées) d'habitats fauniques de choix (comme des milieux humides ou des terrains boisés situés sur des terres agricoles).

Les concentrations estimées d'azote résiduel variaient d'une région à l'autre de la province en 1996 (figure 16-1). Dans l'ensemble, seul un faible pourcentage (9 %) des terres agricoles présentait

des concentrations élevées (supérieures à 60 kgN/ha), mais celles-ci étaient principalement situées dans les basses terres continentales et dans certaines parties de la portion méridionale centrale de la province où les préoccupations à l'égard de la qualité de l'eau sont omniprésentes. Les concentrations d'azote résiduel dans les autres régions agricoles de la province étaient beaucoup plus faibles. Les modifications des concentrations d'azote résiduel étaient également inégales (figure 18-1). En règle générale, les régions à concentrations élevées montraient également des augmentations de plus de 5 kg/ha entre 1981 et 1996. La région de la rivière de la Paix avait également connu des augmentations. Par ailleurs, les concentrations d'azote résiduel ont diminué sur la plupart des terres agricoles de l'écozone de la Cordillère montagnarde.

Le risque de contamination de l'eau par l'azote n'a été évalué que dans l'écozone Maritime du Pacifique où, selon les estimations, la concentration d'azote de l'eau en excès approchait ou dépassait la recommandation pour l'eau potable (10 mg/L) sur presque toutes les terres agricoles (figure 12-1). De 1981 à 1996, cette concentration a augmenté d'au moins 1mgN/L (10 % de la recommandation pour l'eau potable) sur près de 60 % des terres agricoles évaluées, une tendance inquiétante. Cette augmentation a surtout été relevée dans certaines parties de la vallée du Fraser et dans des îlots de la côte est de l'île de Vancouver (figure 18-2).

Dans le secteur agricole de la Colombie-Britannique, l'utilisation d'énergie a augmenté considérablement plus vite, en termes absolu et relatif, que la production d'énergie.

Défis

Le secteur agricole de la Colombie-Britannique doit relever les grands défis suivants.

- S'attaquer aux problèmes d'excès d'azote et de contamination connexe de l'eau dans l'écozone Maritime du Pacifique et dans certains secteurs de l'écozone de la Cordillère montagnarde. Les concentrations actuelles et les augmentations des quantités d'azote résiduel relevées et le risque de contamination de l'eau ne sont pas jugés viables, car ils menacent la qualité de l'eau. Il faut prendre des mesures pour améliorer la gestion des éléments nutritifs ainsi que le stockage et la manutention du fumier.
- Veiller à ce que les apports d'engrais soient adéquats dans les sols de la province où la culture des céréales et des oléagineux a entraîné des carences en azote, comme dans la région de la rivière de la Paix.

- Collaborer avec les agriculteurs à la conservation des habitats fauniques qui subsistent dans les secteurs agricoles de la région des Basses terres continentales où les modifications de l'utilisation des terres ont entraîné une diminution de la disponibilité des habitats utiles à de nombreuses espèces.
- Résoudre les autres problèmes de qualité des sols (comme l'érosion) dans les régions agricoles où les sols courent toujours des risques de dégradation.

Provinces des Prairies

En 1996, les provinces des Prairies renfermaient 81,5 % de l'ensemble des terres agricoles du Canada et comptaient pour environ 46 % du PIB du secteur agricole primaire. L'agriculture est surtout pratiquée dans l'écozone semi-aride des Prairies, mais elle est également extensive et très productive dans la portion méridionale des secteurs frais et subhumides de l'écozone des Plaines boréales.

Dans les provinces des Prairies, le territoire agricole se caractérise par de vastes blocs continus de terres cultivées et par un climat subhumide à semi-aride. Les sols à texture fine de la région ont une fertilité relativement élevée et un bon pouvoir de rétention de l'eau, caractéristiques qui les rendent très productifs. La majeure partie de la portion méridionale de l'écozone des Prairies est régulièrement victime de sécheresses.

Les Prairies sont au cœur de l'activité agricole du Canada, les recettes monétaires agricoles y ayant totalisé 14,5 milliards de dollars en 1997. Au regard de leur pourcentage des recettes monétaires totales, les principales productions sont les céréales et les oléagineux (52 %), les viandes rouges (33,5 %), les produits laitiers (4 %), la volaille et les oeufs (2,5 %), les fruits et les légumes (0,5 %) et les autres produits agricoles (7,5 %). Ces dernières années, l'agriculture s'est diversifiée dans les Prairies avec l'avènement d'une production de cultures spéciales (comme les lentilles, le carvi et la moutarde) et de l'élevage d'animaux non traditionnels (comme le wapiti et le bison).

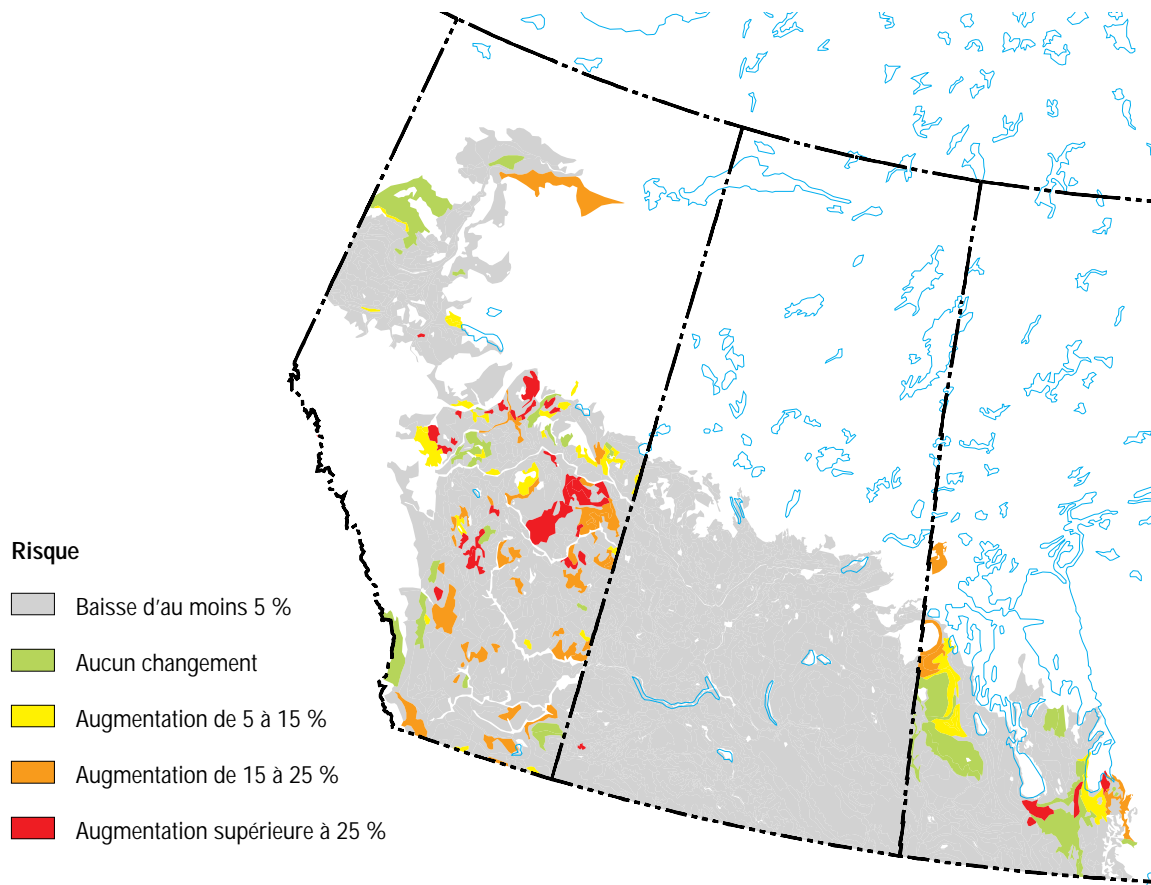
Le tableau 18-2 présente les principaux résultats obtenus pour certains indicateurs agroenvironnementaux et économiques dans les provinces des Prairies.

Interprétation

La plupart des indicateurs agroenvironnementaux indiquent des tendances positives dans les Prairies

Évolution du risque d'érosion hydrique sur les terres cultivées des provinces des Prairies entre 1981 et 1996

Figure 18-3



de 1981 à 1996. De plus, le PIB agricole y a augmenté d'environ 59 % pendant cette période.

Des gains importants ont été réalisés au chapitre de la conservation des sols. De 1981 à 1996, le degré de couverture des sols a augmenté; les risques d'érosion attribuables au vent, à l'eau (figure 18-3) et au travail du sol ont diminué, et le taux de perte de carbone organique du sol a baissé à un point tel que les sols de la Saskatchewan accumuleraient maintenant du carbone, quoiqu'à un taux très modéré. Ces améliorations sont en grande partie attribuables à une réduction des superficies en jachère, à un travail réduit du sol et à des changements d'utilisation de certaines terres peu productives qui servent non plus à la production de cultures annuelles, mais plutôt à celle de cultures fourragères. Toutefois, certains sols courent toujours des risques importants de dégradation par l'érosion et la salinisation, signe qu'il faut déployer d'autres efforts de conservation dans les secteurs touchés.

La superficie des habitats sur les terres agricoles a augmenté pour la plupart des unités d'utilisation de l'habitat. Ces améliorations résultent d'une augmentation de la superficie des pâturages et de « toutes les autres terres », les catégories de terres agricoles les plus utilisées comme habitat par la faune.

Les émissions de gaz à effet de serre attribuables à l'agriculture ont augmenté dans l'ensemble des Prairies, surtout en raison des hausses survenues en Alberta. Les émissions d'oxyde nitreux et de méthane ont augmenté principalement en raison d'un recours accru aux engrais minéraux et du plus grand nombre d'animaux d'élevage, notamment de porcs et de bovins. Seule la Saskatchewan fait exception, puisque les émissions y ont légèrement diminué de 1981 à 1996, en partie à cause de réductions importantes des émissions de dioxyde de carbone par les sols.

Les concentrations d'azote résiduel ont augmenté de 5 kg/ha sur environ la moitié des terres agricoles

Tableau 18-2

Indicateurs agroenvironnementaux et économiques du secteur agricole des provinces des Prairies

Enjeu	Indicateur	Situation en 1996	Type de changement de 1981 à 1996
Terres et sols	Degré de couverture des sols	Degré moyen de couverture des sols (78 jours sans couverture du sol/hectare).	Changement positif : diminution de 21 % du nombre de jours sans couverture du sol.
	Érosion hydrique	13 % des terres cultivées menacées par une érosion excessive.	Changement positif : augmentation de la superficie des terres cultivées présentant un risque tolérable d'érosion (8 % en Alberta, 26 % en Saskatchewan et 1 % au Manitoba).
	Érosion éolienne	Environ 6 % des terres cultivées dans la catégorie élevée à grave de risque d'érosion éolienne.	Changement positif : diminution d'un tiers du risque d'érosion éolienne.
	Érosion attribuable au travail du sol	Un peu plus de la moitié des terres cultivées menacées par une érosion excessive.	Changement positif : réduction générale de 24 % du risque d'érosion attribuable au travail du sol.
	Carbone du sol	Taux de perte faibles et variables du carbone du sol en Alberta et au Manitoba et faibles gains en Saskatchewan.	Changement positif : réduction générale du taux estimé de perte de carbone du sol.
	Salinité	44 % des terres cultivées dans les catégories de risque modéré (33 %) à élevé (11 %) d'augmentation de la salinité.	Aucun changement : réduction de 3 % de la superficie entrant dans la catégorie de risque élevé.
Changement climatique	Émissions de gaz à effet de serre	Émission de 55 millions de tonnes d'équivalents de CO ₂ (64 % des émissions agricoles nationales sur 82 % des terres agricoles du pays).	Changement négatif : augmentation de 12 % des émissions.
Biodiversité	Habitat faunique des terres agricoles	Unités d'utilisation de l'habitat par écozone : Prairies (3 865), Plaines boréales (3 098).	Changement positif : 80 % des unités d'utilisation de l'habitat dans les Plaines boréales et 86 % dans l'écozone des Prairies supportées par une superficie croissante d'habitat faunique.
Intensité de la production	Azote résiduel	Le tiers des terres agricoles des Prairies ayant une concentration faible à négligeable d'azote résiduel (≤ 20 kg/ha), le reste dépassant cette valeur, notamment 13 % > 40 kg/ha.	Changement mitigé : 53 % des terres agricoles présentaient une augmentation d'au moins 5 kg/ha de leur concentration d'azote résiduel. Une certaine partie de cette augmentation peut avoir des effets positifs sur l'épuisement des éléments nutritifs du sol; une surfertilisation peut se produire dans d'autres régions et contribuer aux émissions d'oxyde nitreux.
	Utilisation de l'énergie	De 1992 à 1996, l'apport d'énergie a été de 229,8 PJ et la production d'énergie, de 649,3 PJ.	Changement positif : l'augmentation de la production d'énergie (19 %) dépassait celle de l'apport d'énergie (14 %).
Rendement économique	PIB agricole	Environ 5,4 milliards de dollars (en dollars constants de 1992).	Augmentation d'environ 59 %.

évaluées (figure 18-1). Les sols des Prairies ont toujours reçu des apports insuffisants d'engrais, de sorte que cette augmentation a des effets positifs sur la santé et la productivité des sols (la sous-fertilisation épuisant les éléments nutritifs du sol). Le tiers de la superficie des terres agricoles ayant des concentrations d'azote inférieures à 20 kg/ha après la récolte de 1996 (figure 16-1) profiterait vraisemblablement d'applications additionnelles d'azote. Toutefois, selon les estimations, quelque 13 % des terres agricoles des Prairies auraient un

excédent de plus de 40 kg N/ha après la récolte, contribuant peut-être aux émissions d'oxyde nitreux, un gaz à effet de serre.

En raison des méthodes utilisées (voir le chapitre 12), le risque de contamination de l'eau par l'agriculture n'a pas été évalué dans les Prairies. Toutefois, l'expansion des exploitations d'élevage intensif, notamment en Alberta et au Manitoba, a fait augmenter le risque dans certains endroits (p.ex., certains bassins versants).

Dans la région des Prairies, les utilisations de l'énergie semble également s'être relativement améliorée puisque les augmentations de la production d'énergie ont dépassé la croissance des apports d'énergie.

Défis

Le secteur agricole des provinces des Prairies doit relever les grands défis suivants.

- Préserver les gains réalisés en matière de conservation des sols, notamment si les systèmes de culture continuent de se tourner vers des productions végétales qui produisent une couverture résiduelle moindre du sol, et renforcer les efforts de conservation des sols qui courent encore des risques de dégradation (y compris les terres peu productives qui continuent de servir à la production de cultures annuelles).
- Veiller à l'utilisation optimale des pratiques de gestion des éléments nutritifs et des terres de façon à ce que l'accumulation du carbone organique et la fertilité des sols continuent de progresser.
- Gérer les risques environnementaux pour la qualité de l'eau et le climat (dus aux émissions de gaz à effet de serre) résultant de la croissance incessante du secteur de l'élevage, notamment des porcs et de l'élevage intensif d'autres

animaux, grâce au choix de sites d'implantation appropriés et à une saine gestion du fumier et des éléments nutritifs.

- Conserver les habitats fauniques essentiels sur les terres agricoles, notamment les milieux humides et riverains.

Ontario

En 1996, l'Ontario possédait 8,3 % de l'ensemble des terres agricoles du Canada et comptait pour environ 25 % du PIB du secteur agricole primaire. Dans la province, l'agriculture est surtout pratiquée dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes, principalement dans les Basses terres du Lac Érié et les Basses terres du fleuve Saint-Laurent. Des îlots de terres agricoles s'avancent plus au nord jusqu'à la limite méridionale de l'écozone du Bouclier boréal.

Les régions agricoles des Plaines à forêts mixtes jouissent d'un relief plat, de sols fertiles, d'une saison de végétation chaude et de précipitations abondantes. Par conséquent, l'Ontario renferme la majeure partie des terres agricoles les plus productives du Canada, dont la superficie s'effrite pourtant chaque année au profit d'autres utilisations non agricoles concurrentes des terres de la région. Les régions agricoles de l'écozone

Évolution du risque d'érosion hydrique sur les terres cultivées du Centre du Canada et des provinces maritimes entre 1981 et 1996

Figure 18-4

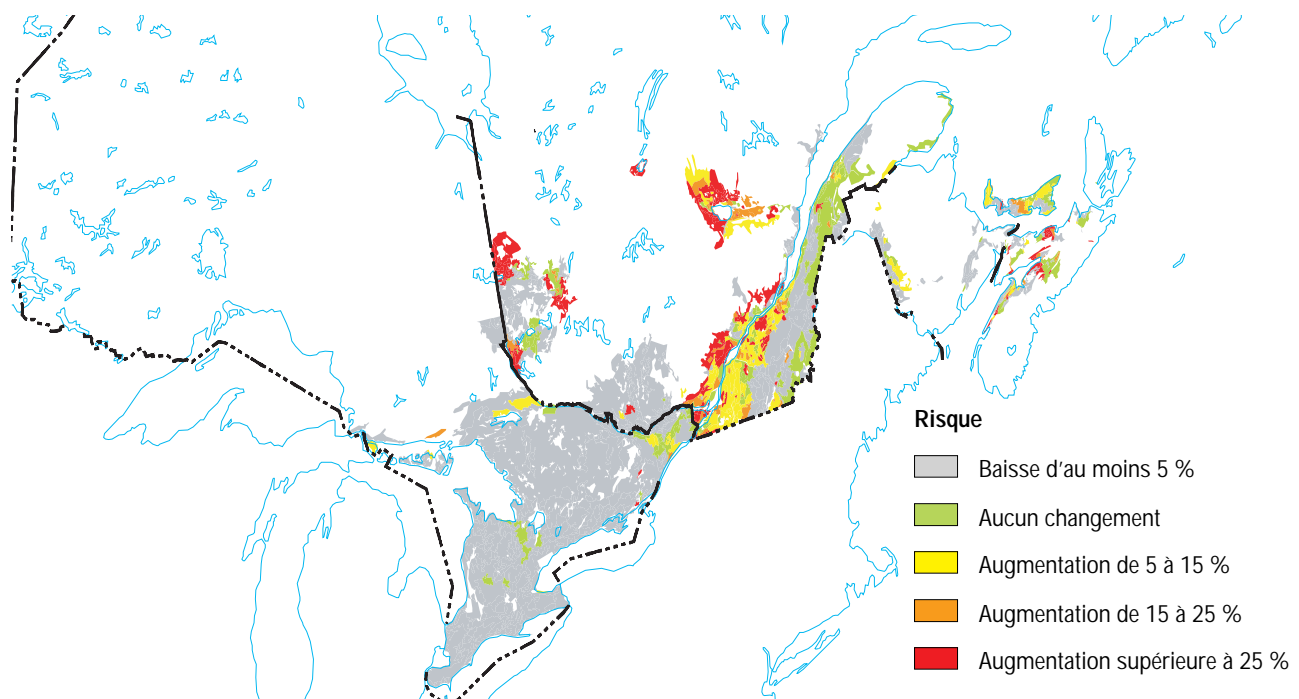


Tableau 18-3

Indicateurs agroenvironnementaux et économiques du secteur agricole de l'Ontario

Enjeu	Indicateur	Situation en 1996	Type de changement de 1981 à 1996
Terres et sols	Degré de couverture des sols	Degré modéré de couverture des sols (96 jours sans couverture du sol/hectare).	Changement positif : diminution de 16 % du nombre de jours sans couverture du sol.
	Érosion hydrique	42 % des terres cultivées menacées par une érosion hydrique excessive.	Changement positif : augmentation de 7 % de la superficie des terres cultivées présentant un risque tolérable d'érosion.
	Érosion attribuable au travail du sol	59 % des terres cultivées menacées par une érosion excessive attribuable au travail du sol.	Changement positif : réduction de 26 % du risque d'érosion attribuable au travail du sol.
	Carbone du sol	Taux très faible d'accumulation (3 kg/ha/an).	Changement positif : conditions proches du point d'équilibre.
	Compactage du sol	310 300 hectares de terres agricoles vulnérables ensemencés pour la production de cultures favorisant le compactage.	Changement négatif : augmentation de 61 % des superficies vulnérables ensemencées pour la production de cultures favorisant le compactage.
Changement climatique	Émissions de gaz à effet de serre	Émissions de 16 millions de tonnes d'équivalents de CO ₂ (19 % des émissions agricoles nationales sur 8,3 % des terres agricoles du pays).	Aucun changement
Biodiversité	Habitat faunique des terres agricoles	Unités d'utilisation de l'habitat par écozone : Plaines à forêts mixtes (3 784) Bouclier boréal (3 262).	Changement négatif dans l'écozone des Plainnes à forêts mixtes : 75 % des unités d'utilisation de l'habitat supportées par une superficie décroissante d'habitat. Changement neutre dans l'écozone du Bouclier boréal : superficie d'habitat stable pour 75 % des unités d'utilisation de l'habitat; diminution de la superficie pour le reste des unités.
Qualité de l'eau	Risque de contamination de l'eau par l'azote (N)	61 % des terres agricoles évaluées dont l'eau en excès risque d'avoir une concentration en N approchant ou dépassant la recommandation pour l'eau potable; 39 % dans la catégorie de risque faible de contamination de l'eau par l'azote.	Changement négatif : 68 % de la superficie agricole évaluée dont l'eau en excès du sol montre une augmentation de la concentration estimée d'azote; 30 % ne présentant aucun changement.
Intensité de la production	Azote résiduel	Concentration supérieure à 60 kg N/ha sur 37 % de la superficie agricole évaluée.	Changement négatif : 69 % de la superficie agricole montrant une augmentation de la concentration d'azote résiduel d'au moins 5 kg/ha.
	Utilisation de l'énergie	De 1992 à 1996, l'apport d'énergie a été de 64,5 PJ et la production d'énergie, de 48,9 PJ.	Changement neutre : légères diminutions de l'apport (6 %) et de la production (10 %) d'énergie.
Rendement économique	PIB agricole	Environ 2,9 milliards de dollars (en dollars constants de 1992).	Augmentation d'environ 8 %.

du Bouclier boréal ont un climat plus froid et des sols moins productifs. Dans cette écozone, l'activité agricole se limite généralement à l'élevage et à la production de foin.

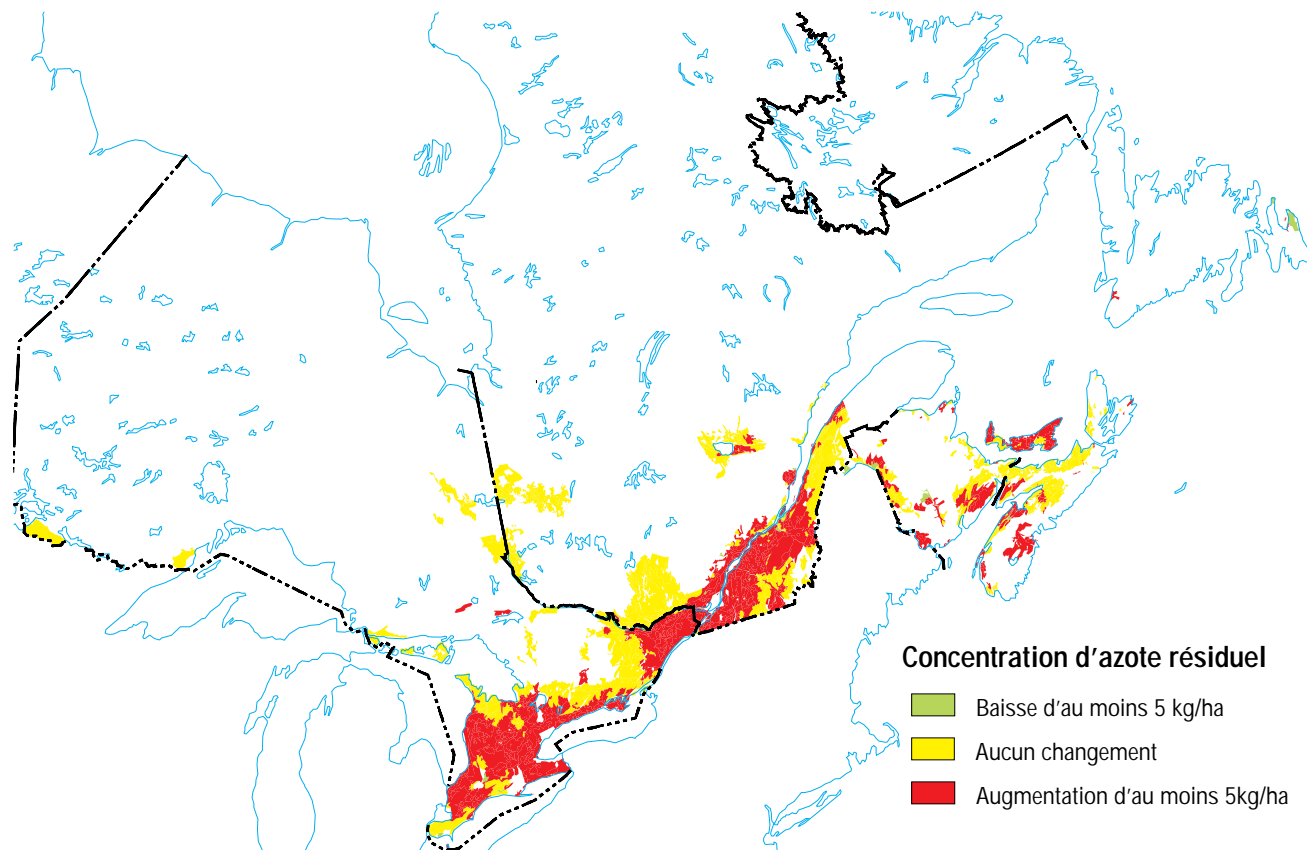
En Ontario, l'agriculture est très diversifiée, et les recettes monétaires agricoles de 1997 ont totalisé 6,6 milliards de dollars. Au regard de leur pourcentage des recettes monétaires totales, les principaux groupements de production spécialisée

sont les viandes rouges (23,0 %), les céréales et les oléagineux (19,0 %), les produits laitiers (18,5 %), la volaille et les oeufs (12,0 %), les fruits et les légumes (10,0 %) et les autres produits agricoles (17,5 %). L'Ontario est le plus important producteur de maïs et de soja du Canada.

Le tableau 18-3 présente les principales tendances environnementales et économiques en Ontario de 1981 à 1996.

Variation de la concentration d'azote résiduel sur les terres agricoles de l'est du Canada entre 1981 et 1996

Figure 18-5



Interprétation

Les conditions et les tendances environnementales relevées dans le secteur agricole de l'Ontario de 1981 à 1996 sont inégales. Le PIB agricole a augmenté d'environ 8 % et certains indicateurs environnementaux montrent des tendances légèrement positives, tandis que d'autres laissent voir des augmentations considérables des risques pour l'environnement dus à l'agriculture.

Dans l'ensemble, la gestion des sols agricoles s'est améliorée. Le degré de couverture des sols par les résidus a augmenté et les risques d'érosion hydrique (figure 18-4) et d'érosion attribuable au travail du sol ont diminué. Les améliorations apportées au degré de couverture des sols ont été annulées dans une certaine mesure par une augmentation de la superficie ensemencée à l'aide de cultures moins couvrantes, comme le soja. Toutefois, un pourcentage important des terres cultivées de l'Ontario présentent toujours des niveaux intolérables d'érosion hydrique (figure 6-2) et d'érosion attribuable au travail du

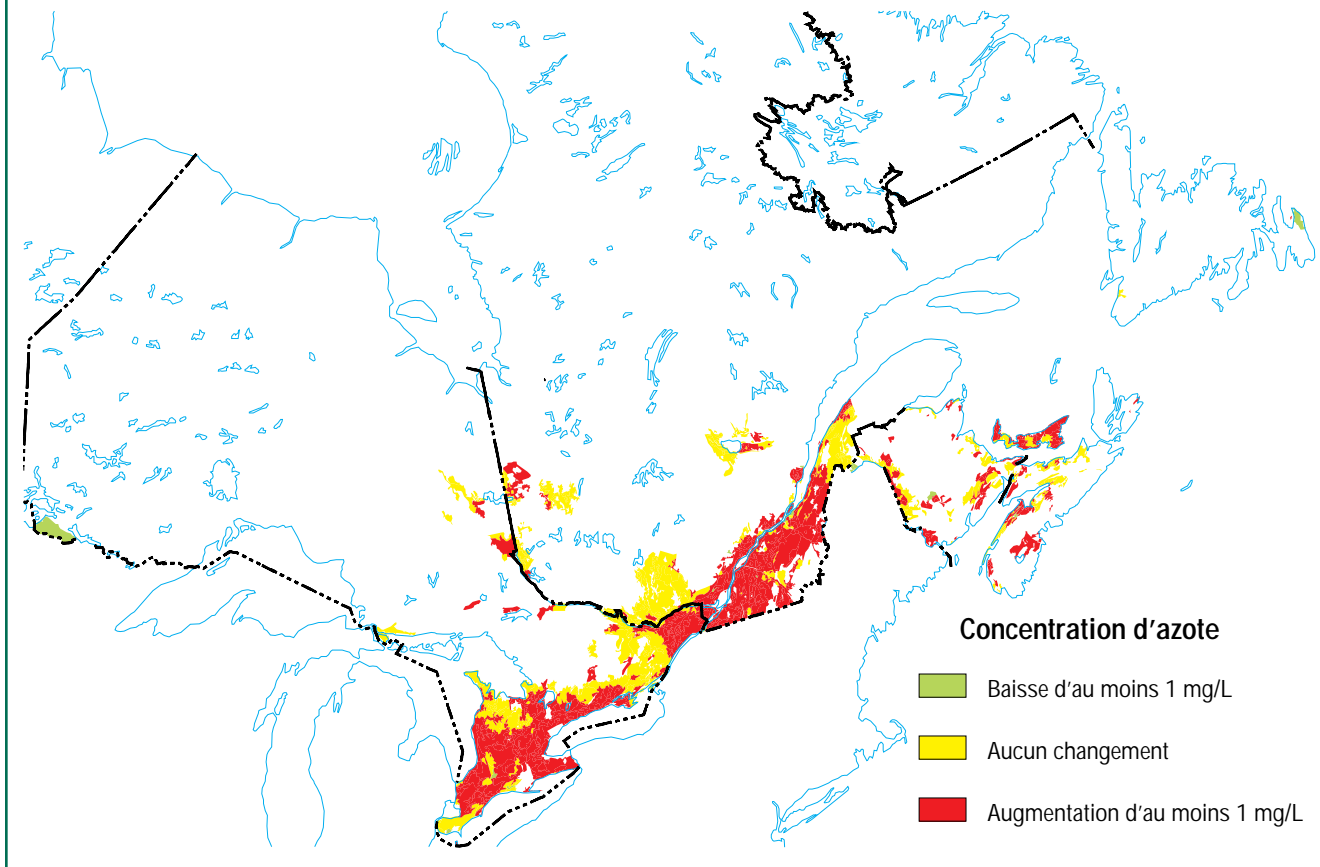
sol. Les risques que le compactage fait courir à la qualité du sol ont énormément augmenté en raison d'une augmentation de la superficie ensemencée à l'aide de cultures favorisant le compactage du sol (maïs-grain, plantes-racines et légumes). En 1996, les concentrations de carbone organique du sol se trouvaient sensiblement en équilibre écologique.

Les émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole de l'Ontario sont restées sensiblement stables de 1981 à 1996. L'apport et la production d'énergie ont à peine diminué pendant cette période.

La superficie des habitats disponibles, sur les terres agricoles, pour la plupart des unités d'utilisation a diminué de façon marquée dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes (sud et sud-est de l'Ontario) en raison de la conversion en terres cultivées de superficies entrant dans les catégories « pâturages » et « toutes les autres terres ». La superficie de l'habitat disponible,

Évolution du risque de contamination de l'eau par l'azote sur les terres agricoles du centre du Canada et de la région atlantique entre 1981 et 1996

Figure 18-6



dans l'écozone du Bouclier boréal, pour les trois quarts des unités d'utilisation est restée inchangée, tandis que la superficie de l'habitat a diminué pour l'autre quart des unités d'utilisation, principalement en raison d'une réduction de la superficie des pâturages.

Les concentrations estimées d'azote résiduel (figure 18-5) et le risque de contamination de l'eau par l'azote ont nettement augmenté dans l'ensemble (figure 18-6), notamment dans le sud-ouest et le centre-sud de la province où la culture et l'élevage sont plus intensifs. Dans ces régions, la concentration estimée d'azote résiduel dépassait souvent 60 kg/ha (figure 16-2). Selon les estimations, la concentration d'azote de l'eau en excès provenant des terres agricoles approchait ou dépassait la recommandation pour l'eau potable (figure 12-2). L'extrême-est de l'Ontario est une région qui pourrait devenir préoccupante. Même si les concentrations d'azote de l'eau provenant des terres agricoles y sont généralement inférieures à la recommandation pour l'eau potable, les concentrations d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau par l'azote ont augmenté

de façon saisissante, principalement en raison de la production animale plus intensive et de l'augmentation de la superficie ensemencée à l'aide de cultures exigeant des apports élevés d'azote (comme le maïs). Dans les régions agricoles plus septentrionales de la province où l'agriculture est moins intensive, les concentrations d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau sont plus faibles et ont peu changé

Défis

Le secteur agricole de l'Ontario doit relever les grands défis suivants :

- améliorer la gestion des éléments nutritifs dans les régions de production végétale et animale intensive. Les augmentations des concentrations d'azote du sol dans la majeure partie de la région vont à l'encontre des objectifs environnementaux de l'agriculture et il existe un risque que les concentrations d'azote (ainsi que celles de phosphore, de bactéries et de pesticides, qui ne sont pas couverts par les indicateurs) dans l'eau des terres agricoles continuent d'augmenter à mesure que l'agriculture prendra de l'expansion et s'intensifiera;

Indicateurs agroenvironnementaux et économiques du secteur agricole du Québec

Enjeu	Indicateur	Situation en 1996	Type de changement de 1981 à 1996
Terres et sols	Degré de couverture des sols	Degré moyen de couverture des sols (62 jours sans couverture du sol/hectare).	Aucun changement
	Érosion hydrique	88 % des terres cultivées menacées par un taux tolérable d'érosion hydrique.	Aucun changement : augmentation de 1 % de la superficie des terres cultivées présentant un risque tolérable d'érosion.
	Érosion attribuable au travail du sol	75 % des terres cultivées menacées par un taux tolérable d'érosion attribuable au travail du sol.	Changement positif : réduction de 10 % du risque d'érosion attribuable au travail du sol.
	Carbone du sol	Faibles taux de perte du carbone du sol (49 kg/ha/an).	Changement positif : réduction de 50 % du taux de perte du carbone du sol.
Changement climatique	Émissions de gaz à effet de serre	Émissions de 8 millions de tonnes d'équivalents de CO ₂ (9 % des émissions agricoles nationales provenant de 5,1 % des terres agricoles du pays).	Changement positif : réduction de 27 % des émissions.
Biodiversité	Habitat faunique des terres agricoles	Unités d'utilisation de l'habitat par écozone : Plaines à forêts mixtes (3 784), Bouclier boréal (3 262), Maritime de l'Atlantique (2 792).	Changement négatif dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes : 75 % des unités d'utilisation de l'habitat supportées par une superficie décroissante. Aucun changement dans l'écozone du Bouclier boréal : superficie de 75 % des unités d'utilisation de l'habitat demeurée stable, mais décroissante ailleurs. Changement positif dans l'écozone Maritime de l'Atlantique : 74 % des unités d'utilisation de l'habitat supportées par une superficie croissante.
Qualité de l'eau	Risque de contamination de l'eau par l'azote (N)	59 % de la superficie agricole évaluée menacée par un faible risque de contamination de l'eau par l'azote; 41 % de la superficie dont l'eau en excès risque d'avoir des teneurs en N approchant ou dépassant la recommandation pour l'eau potable.	Changement négatif : 77 % de la superficie évaluée présentant un risque accru de contamination de l'eau par l'azote; 22 % ne montrant aucun changement.
	Risque de contamination de l'eau par le phosphore	4 % de la superficie agricole (terres cultivées et pâturages) exposée à un risque élevé de contamination de l'eau par le phosphore et 56 %, à un risque moyen.	Aucun changement : augmentation de la superficie exposée à des risques moyens à élevés de 1981 à 1991; en 1996, retour à des valeurs proches de celles de 1981.
Intensité de la production	Azote résiduel	28 % de la superficie agricole ayant une teneur supérieure à 60 kg N/ha.	Changement négatif : 71 % de la superficie agricole présentant une augmentation de la concentration d'azote résiduel d'au moins 5 kg/ha.
	Utilisation de l'énergie	De 1992 à 1996, l'apport d'énergie a été de 110,0 PJ et la production d'énergie, de 20,5 PJ.	Aucun changement : légère diminution de l'apport d'énergie (1 %) et légère augmentation de la production d'énergie (2 %).
Rendement économique	PIB agricole	Environ 2,05 milliards de dollars (en dollars constants de 1992).	Augmentation d'environ 13 %.

- conserver les habitats fauniques essentiels situés sur les terres agricoles (notamment les milieux humides et les boisés de ferme qui existent encore), spécialement dans les parties méridionales de la province où les terres cultivées ont gagné du terrain au détriment d'habitats de plus grande valeur sur les terres agricoles;

- tirer parti des progrès accomplis en matière de conservation des sols et faire des sols toujours à risque la cible de mesures supplémentaires de conservation.

Gérer la demande de ressources en eau dans les régions méridionales de la province, car l'agriculture exerce une concurrence de plus en plus vive avec d'autres secteurs de l'économie.

Québec

En 1996, le Québec représentait 5,1 % des terres agricoles du Canada et comptait pour environ 17 % du PIB du secteur agricole primaire. Au Québec, la majeure partie de l'activité agricole se déroule dans les Basses terres du fleuve Saint-Laurent, dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes. Des îlots de terres cultivées s'avancent jusque dans les régions du centre-nord de la province (écozone du Bouclier boréal) et dans les régions orientales, comme les Cantons de l'Est et le Bas-Saint-Laurent-Gaspésie, dans l'écozone Maritime de l'Atlantique.

Dans la portion québécoise des Plaines à forêts mixtes, l'agriculture est dominée par les céréales fourragères et les cultures commerciales (maïs, céréales, légumes), les cultures fourragères et les fermes laitières et porcines. La superficie ensemencée de maïs a beaucoup augmenté ces dernières années avec l'obtention de nouvelles variétés adaptées à des saisons de végétation plus courtes. L'élevage et la production fourragère dominent les écozones du Bouclier boréal et Maritime de l'Atlantique en raison des conditions climatiques et pédologiques moins favorables qui y règnent.

D'après leur pourcentage des recettes monétaires agricoles de 1997, qui totalisaient 4,5 milliards de dollars, les principaux groupements de production spécialisée du Québec sont les viandes rouges (31 %), les produits laitiers (30,5 %), la volaille et les oeufs (12,5 %), les céréales et les oléagineux (8,5 %), les fruits et les légumes (7 %) et les autres produits (10,5 %).

Le tableau 18-4 présente les grandes tendances environnementales et économiques du secteur agricole québécois de 1981 à 1996.

Interprétation

Les tendances environnementales dans le secteur agricole du Québec de 1981 à 1996 ressemblent généralement à celles de l'Ontario, mais l'état des ressources pédologiques présente certaines différences de taille. Le PIB agricole de la province a augmenté d'environ 13 %. Certains indicateurs environnementaux ont révélé des améliorations et d'autres, des changements négatifs.

La gestion des sols agricoles s'est légèrement améliorée. Le degré de couverture des sols par les résidus et les plantes cultivées est resté inchangé, tout comme le risque d'érosion hydrique (figure-18-4). Le risque d'érosion attribuable au travail du sol a diminué d'environ 10 %, en raison principalement d'une diminution marquée du travail du

sol. Ces améliorations résultent surtout de réductions importantes du travail du sol. Dans l'ensemble, un pourcentage important des terres cultivées du Québec (88 %) présentait un niveau tolérable d'érosion hydrique (figure 6-2) en 1996, et 75 % d'entre elles étaient classées dans la catégorie de risque tolérable pour l'érosion attribuable au travail du sol. L'indicateur concernant le compactage du sol n'a pas été calculé au Québec, même si cette forme de dégradation constitue une préoccupation importante dans cette province. Les sols agricoles du Québec perdent toujours du carbone, mais le taux de perte a diminué de moitié depuis 1981 et reste toujours faible.

Les émissions de gaz à effet de serre par le secteur agricole du Québec ont diminué d'un quart de 1981 à 1996 en raison d'une réduction des émissions de dioxyde de carbone (par les sols) et de méthane (attribuable à une diminution du nombre d'animaux d'élevage, sauf des porcs). Les émissions d'oxyde nitreux sont demeurées inchangées.

La valeur comme habitat fauniques des terres agricoles du Québec des écozones des Plaines à forêts mixtes et du Bouclier boréal était semblable à celle décrite précédemment pour l'Ontario (puisque l'indicateur s'applique à toutes les terres agricoles de ces écozones). Un faible pourcentage des terres agricoles du Québec est situé dans l'écozone Maritime de l'Atlantique où l'on observe un agrandissement de l'habitat en territoire agricole qui supporte près des trois quarts des utilisations de l'habitat (figure 15-1).

Les concentrations estimées d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau par l'azote ont fortement augmenté respectivement sur 71 % et 77 % des terres agricoles évaluées dans les régions où l'agriculture est plus intensive qu'ailleurs (figures 18-5 et 18-6). Selon les estimations, la concentration d'azote de l'eau en excès provenant des terres agricoles approchait ou dépassait la recommandation pour l'eau potable dans une région beaucoup plus petite située principalement dans les zones agricoles situées au nord et au sud de Montréal ainsi qu'au sud de la ville de Québec (figure 12-2). Tout comme en Ontario, les augmentations des concentrations estimées d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau par l'azote sont principalement attribuables à l'intensification de la production animale et à l'augmentation de la superficie ensemencée pour la production de cultures exigeant des apports élevés d'azote (surtout le maïs). L'augmentation des concentrations d'azote résiduel dans l'eau dans certaines zones où elles sont actuellement inférieures à la recommandation concernant l'eau potable pourrait constituer un jour un problème.

Indicateurs agroenvironnementaux et économiques du secteur agricole des provinces de l'Atlantique

Enjeu	Indicateur	Situation en 1996	Type de changement de 1981 à 1996
Terres et sols	Degré de couverture des sols	Degré moyen de couverture des sols (65 jours sans couverture du sol/hectare).	Changement positif : diminution de 14 % du nombre de jours sans couverture du sol.
	Érosion hydrique	40 % des terres cultivées menacées par une érosion hydrique non viable.	Changement inégal : augmentation de 12 % de la superficie des terres cultivées présentant un risque tolérable d'érosion au N.-B.; aucun changement à l'I.-P.-É.; diminution de 3 % de la superficie présentant un risque tolérable d'érosion en N.-É.
	Érosion attribuable au travail du sol	% de terres cultivées comportant des superficies menacées par une érosion attribuable au travail du sol non viable : 62 % au N.-B.; 34 % en N.-É.; 51 % à l'I.-P.-É.	Changement positif : réduction du risque d'érosion attribuable au travail du sol de 8 % au N.-B. et de 15 % en N.-É.; aucun changement à l'I.-P.-É.
	Carbone du sol	Faible taux de perte (39 kg/ha/an) du carbone du sol.	Aucun changement
	Compactage du sol	30 000 hectares de terres agricoles vulnérables ensemencées pour la production de cultures favorisant le compactage (76 % de cette superficie à l'I.-P.-É.).	Changement inégal : changement (%) dans les régions vulnérables ensemencées pour la production de cultures favorisant le compactage : 16 % au N.-B. 47 % en N.-É., 81 % à l'I.-P.-É..
Changement climatique	Émissions de gaz à effet de serre	Émissions de 2,5 millions de tonnes d'équivalents de CO ₂ (3 % des émissions agricoles nationales provenant de 1,6 % des terres agricoles du pays).	Changement négatif : augmentation de 14 % des émissions.
Biodiversité	Habitat des terres agricoles	Unités d'utilisation de l'habitat par écozone : Maritime de l'Atlantique (2 792), Bouclier boréal (3 262).	Changement positif dans l'écozone Maritime de l'Atlantique : 74 % des unités d'utilisation de l'habitat supportées par une superficie croissante. Aucun changement dans l'écozone du Bouclier boréal : superficie demeurée stable dans 75 % des unités d'utilisation de l'habitat et décroissante dans 25 % des unités.
Qualité de l'eau	Risque de contamination de l'eau par l'azote	82 % des terres agricoles évaluées menacées par un faible risque de contamination de l'eau par l'azote; 18 % de ces terres dont l'eau en excès risque d'avoir des teneurs en N approchant ou dépassant la recommandation pour l'eau potable.	Changement négatif : 62 % de la superficie agricole évaluée présentant une augmentation de la concentration d'azote de l'eau en excès du sol et 36 % ne montrant aucun changement.
Intensité de la production	Azote résiduel	4 % des terres agricoles évaluées ayant une teneur en azote résiduel supérieure à 60 kg/ha et 52 %, une concentration négligeable (≤ 20 kg N/ha).	Changement négatif : 53 % de la superficie agricole évaluée présentant une augmentation de la concentration d'azote résiduel d'au moins 5 kg/ha et 44 % ne montrant aucun changement. Une certaine partie de cette augmentation peut avoir des effets positifs sur l'épuisement des éléments nutritifs du sol; une surfertilisation peut se produire dans d'autres régions.
	Utilisation de l'énergie	De 1992 à 1996, l'apport d'énergie a été de 18,5 PJ et la production d'énergie, de 9,0 PJ.	Changement positif : diminution de 4 % de l'apport d'énergie et augmentation de 17 % de la production d'énergie.
Rendement économique	PIB agricole	Environ 456 millions de dollars (en dollars constants de 1992).	Augmentation d'environ 1 %.

¹ Les résultats présentés pour les indicateurs du compactage du sol, de l'érosion hydrique et de l'érosion attribuable au travail du sol excluent Terre-Neuve et le Labrador.

La majeure partie du territoire agricole évalué court un risque moyen de contamination de l'eau par le phosphore et 8 % de ce territoire est classé dans la catégorie de risque élevé. Les superficies entrant dans ces catégories de risque sont principalement situées dans les Basses terres du Saint-Laurent et au sud de la ville de Québec, tout particulièrement dans les régions où la production animale atteint une forte densité (figure 13-1). Le risque a notamment augmenté dans les régions agricoles de Québec, de la Beauce-Appalaches et des Bois-Francs (figure 13-2).

L'apport et la production d'énergie du secteur agricole du Québec sont demeurés pratiquement inchangés de 1981 à 1996.

Défis

Le secteur agricole du Québec doit relever les grands défis suivants.

- Améliorer la gestion des éléments nutritifs dans les régions de production végétale et animale intensive. Les augmentations des concentrations d'azote résiduel du sol dans la majeure partie de la région vont à l'encontre des objectifs environnementaux de l'agriculture, et les concentrations d'azote dans l'eau des terres agricoles peuvent continuer d'augmenter à mesure que l'agriculture prendra de l'expansion et s'intensifiera. Il faut également faire preuve de vigilance dans la gestion des concentrations de phosphore dans les sols.
- Conserver les habitats fauniques essentiels situés sur les terres agricoles (notamment les milieux humides et les boisés de ferme qui existent encore), spécialement dans l'écozone des Plaines à forêts mixtes où les terres cultivées ont gagné du terrain au détriment d'habitats de plus grande valeur sur les terres agricoles.
- Veiller à ce que toute augmentation future des cultures en ligne annuelles soit accompagnée de mesures de conservation des sols.

Provinces de l'Atlantique

En 1996, les provinces de l'Atlantique comprenaient pour 1,6 % des terres agricoles du Canada (situées en grande partie dans l'écozone Maritime de l'Atlantique, un faible pourcentage se retrouvant à Terre-Neuve et au Labrador dans l'écozone du Bouclier boréal) et pour environ 4 % du PIB du secteur agricole primaire.

La proximité de l'océan Atlantique donne un climat maritime humide et frais. La saison de végétation est plus courte et plus fraîche que dans nombre des autres régions agricoles du Canada et l'activité agricole est surtout dispersée dans les vallées et les plaines côtières. Les sols ont tendance à être acides, à avoir une texture variable et à être associés à un lessivage intense. De plus, il arrive souvent que le drainage soit entravé par un sous-sol dense.

L'agriculture est mixte, mais elle est dominée par la production de pommes de terre, de céréales et de foin. La production animale est également courante. Les recettes monétaires agricoles totalisaient 999 millions de dollars en 1997 et se répartissaient entre les produits laitiers (22 %), les viandes rouges (18,5 %), la volaille et les oeufs (17,5 %), les fruits et les légumes (8 %), les céréales et les oléagineux (1 %) et les autres produits agricoles (33 %). La région atlantique est la principale région productrice de pommes de terre au Canada.

Le tableau 18-5 présente les grandes tendances environnementales et économiques du secteur agricole des provinces de l'Atlantique.

Interprétation

Les tendances environnementales relevées dans le secteur agricole des provinces de l'Atlantique de 1981 à 1996 sont inégales. Le PIB agricole a augmenté de 1 % dans l'ensemble, certains indicateurs environnementaux montrant des améliorations et d'autres, une tendance à la baisse. Les conditions varient énormément d'une province à l'autre.

À l'Île-du-Prince-Édouard, la plupart des indicateurs de l'état des sols présentaient une tendance stable ou négative. Le degré de couverture des sols par les résidus a légèrement augmenté, le risque d'érosion attribuable à l'eau ou au travail du sol sont demeurés inchangés, et on note une forte augmentation de la superficie des terres vulnérables ensemencées pour la production de cultures favorisant le compactage. Selon les estimations établies pour 1996, 41 % et 51 % de la superficie cultivée présentait toujours des niveaux intolérables d'érosion attribuable respectivement à l'eau (figure 6-2) et au travail du sol.

Les indicateurs laissent voir qu'il faut déployer des efforts supplémentaires de conservation des sols dans les provinces de l'Atlantique, notamment à l'Île-du-Prince-Édouard. La superficie plantée de pommes de terre continue d'augmenter et l'utilisation de méthodes de travail réduit du

sol reste plus faible que dans les autres régions du Canada. Toutefois, le risque d'érosion hydrique est vraisemblablement surestimé dans certaines régions, car les calculs ne tiennent pas compte de certaines mesures de conservation, comme l'aménagement de terrasses et de voies d'eau gazonnées. D'autre part, le risque d'érosion attribuable au travail du sol est très probablement sous-estimé, car les terrasses ne sont pas prises en compte.

Les émissions régionales de gaz à effet de serre ont augmenté de 14 % de 1981 à 1996 dans la région, mais ne contribuent que pour un faible pourcentage (3 %) au total des émissions du secteur agricole canadien.

Les tendances en matière d'utilisation des terres agricoles ont été profitables à la faune en général. En effet, la superficie des habitats supportant les trois quarts des unités d'utilisation a augmenté dans l'écozone Maritime de l'Atlantique. De plus, les conditions de l'habitat sont demeurées stables sur la plupart des terres de l'écozone du Bouclier boréal. Ces améliorations résultent d'une augmentation de la superficie de « toutes les autres terres » (figure 15-3).

Les concentrations estimées d'azote résiduel sont demeurées inchangées sur un peu moins de la moitié du territoire agricole évalué, le reste montrant une augmentation d'au moins 5kg/ha, y compris la majeure partie de l'Île-du-Prince-Édouard et certaines parties du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse (figure 18-5). Même la concentration estimée d'azote de l'eau en excès provenant des terres agricoles était très inférieure à la recommandation pour l'eau potable sur quelque 80 % de la superficie évaluée; toutefois, on a relevé sur 62 % de cette superficie une augmentation de la concentration d'azote dans l'eau d'au moins 1mgN/L (figure 18-6), signe d'éventuels problèmes. La figure 12-2 montre les superficies dont les taux de concentration d'azote en excès dans le sol et dans l'eau correspondaient ou étaient supérieures à la recommandation pour l'eau potable en 1996. Les augmentations sont principalement attribuables à une plus grande utilisation généralisée des engrais et à une augmentation de la superficieensemencée de cultures exigeant des apports plus élevés d'azote (principalement la pomme de terre).

Dans le secteur agricole, la production d'énergie a augmenté considérablement entre 1981 et 1996 en raison d'une plus grande production d'une vaste gamme de denrées, alors que l'utilisation d'énergie a diminué légèrement.

Défis

Le secteur agricole des provinces de l'Atlantique doit relever les grands défis suivants.

- Veiller à ce que toute augmentation future des cultures annuelles en ligne, notamment de la pomme de terre, soit accompagnée de mesures de conservation des sols. La durabilité de l'agriculture à l'Île-du-Prince-Édouard est menacée par un risque accru d'érosion, et il faudra déployer des efforts pour renverser cette tendance. D'autres mesures de conservation des sols devront également être mises en œuvre dans certaines régions du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse menacées par des niveaux non viables d'érosion hydrique.
- Améliorer la gestion des éléments nutritifs dans les régions de production végétale et animale intensive. Selon les estimations, les concentrations d'azote dans l'eau en excès de la vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse, dépassent largement la recommandation pour l'eau potable, et des augmentations de ces concentrations ont été établies pour nombre de régions agricoles de ces trois provinces.

Conclusions

Une analyse régionale intégrée des indicateurs environnementaux et économiques révèle l'existence de différences considérables dans les conditions et les tendances agroenvironnementales et dans les systèmes de production dans l'ensemble du Canada. La croissance du PIB agricole a été accompagnée par :

- une amélioration générale de la gestion des sols;
- le maintien ou l'expansion de l'habitat agricole pouvant supporter la plupart des utilisations de l'habitat dans toutes les écozones, sauf l'écozone Maritime du Pacifique et l'écozone des Plaines à forêts mixtes;
- une hausse des coûts environnementaux liés à des augmentations des concentrations d'azote résiduel, des émissions de gaz à effet de serre et du risque de contamination de l'eau par l'azote.

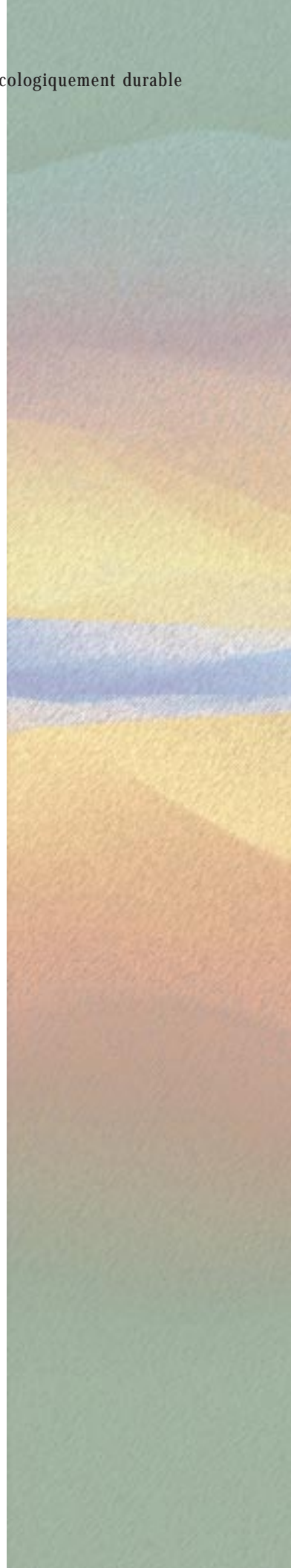
On décèle des indicateurs montrant des tendances négatives dans toutes les grandes régions du pays.

Les Prairies forment une région semi-aride en grande partie caractérisée par une production végétale extensive (culture de céréales et d'oléagineux et pâturages) et par une production animale extensive et intensive. L'ensemble des indicateurs semble révéler que des progrès

considérables ont été accomplis dans cette région dans la voie de la pérennité de l'environnement. Des réductions du travail du sol, des jachères et de l'utilisation des terres peu productives ont débouché sur des gains en matière de conservation et de qualité des sols. Des modifications de l'utilisation des terres ont également profité à la faune en général. Toutefois, les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté, certains sols sont toujours menacés de dégradation et la qualité de l'eau à l'échelle locale pourrait être compromise en raison de la plus grande utilisation d'engrais et de la production animale plus intensive. Une intensification plus poussée de la production végétale et animale fera augmenter les risques environnementaux, à moins que des mesures de gestion de ces risques ne soient prises.

Les conditions climatiques, géographiques et agricoles sont nettement différentes dans les autres régions agricoles (autres que les Prairies) du Canada où le climat plus favorable permet des formes plus intensives d'agriculture. Ces régions se caractérisent par des productions végétales de plus grande valeur (comme le maïs, la pomme de terre, les légumes et le soja) et par des volumes d'intrants agricoles plus élevés. Les fermes laitières, porcines, avicoles et bovines sont aussi courantes. Cette forme plus intensive d'agriculture dans un milieu où l'approvisionnement en eau est abondant accroît les possibilités d'effets néfastes de l'agriculture sur l'environnement.

Les indicateurs laissent voir que des améliorations ont été apportées à la conservation des sols dans le sud et le centre de la Colombie-Britannique, en Ontario, au Québec et dans les Maritimes, mais qu'il y a encore place à amélioration. Les changements d'utilisation des terres dans certaines parties de la Colombie-Britannique et du centre du Canada ont eu des effets néfastes sur l'habitat faunique. Les estimations des concentrations d'azote résiduel et le risque de contamination de l'eau par l'azote dans la plupart des régions humides du pays laissent percevoir des tendances négatives.



19

Conclusions

T. McRae et C.A.S. Smith

POINTS SAILLANTS

- Le secteur agricole canadien a accompli des progrès considérables en ce qui touche la conservation des ressources naturelles qui soutiennent la production, bien que des sols soient encore exposés à une dégradation non souhaitable. Les facteurs qui expliquent l'amélioration observée comprennent l'investissement dans la recherche ainsi que la mise au point et l'utilisation de technologies agricoles et de pratiques de conservation des sols nouvelles et rentables.
- En ce qui concerne la compatibilité des activités agricoles avec les systèmes naturels, les résultats sont mitigés. Dans certaines régions, plusieurs risques environnementaux ont augmenté et la détérioration de l'environnement s'est accrue. Le principal facteur responsable de cette situation est l'intensification de l'agriculture dans la majeure partie du pays, qui est attribuable à des changements structurels et à l'augmentation de la demande de certains produits.
- Les résultats de l'étude présentés dans ce rapport montrent que les décideurs, les producteurs, les chercheurs, les analystes, les éducateurs et la population en général doivent maintenir les efforts visant à rendre le secteur agricole plus écologique. Dans cet ordre d'idées, nous avons présenté des façons d'utiliser les indicateurs agroenvironnementaux pour soutenir les interventions à cet égard.
- L'étude des indicateurs agroenvironnementaux a permis de déceler des limites à la capacité d'évaluer le caractère écologique de l'agriculture à l'échelle nationale. Pour accroître cette capacité, il importe de poursuivre la recherche afin de mieux connaître les interactions entre la production agricole et l'environnement et les processus qui entrent en jeu, et de combler le manque de données et les lacunes en cette matière.

Introduction

Au Canada, l'agriculture est diversifiée et soumise à une gestion intensive et elle apporte une importante contribution à la prospérité nationale. Elle a non seulement contribué à la création du pays, mais elle continue de fournir aux Canadiens et aux Canadiennes des aliments en abondance à un prix raisonnable, procure des avantages économiques et favorise le développement rural. Toutefois, le secteur agricole n'est pas à l'abri des effets de l'évolution dans d'autres secteurs d'activité et il est de plus en plus soumis à des influences sur lesquelles il a peu de prise.

Parmi ces influences, l'évolution des technologies, des marchés et du prix des produits ainsi que la nécessité d'accroître la productivité et la compétitivité occupent une place primordiale. Cette évolution a entraîné des changements structurels dans les exploitations agricoles, tels que la concentration et l'intensification de la production, qui suscitent à leur tour des interrogations et des préoccupations quant aux incidences environnementales des activités agricoles. Dans ce chapitre, nous présentons une vue d'ensemble des principales constatations et conclusions qui ressortent de l'étude, ainsi que leurs implications.

L'agriculture écologiquement durable

Le chapitre 2 du présent rapport énonce deux critères pour l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles du point de vue environnemental :

- l'efficacité avec laquelle l'agriculture conserve les ressources naturelles soutenant la production;
- le degré de compatibilité des systèmes agricoles avec les systèmes et les processus naturels.

Le tableau 19-1 présente les principales conclusions relatives au caractère écologique de l'agriculture par section ou chapitre du rapport.

En ce qui a trait à la conservation des ressources naturelles, les indicateurs révèlent le maintien des tendances signalées dans le rapport d'Agriculture et Agroalimentaire Canada intitulé *La santé de nos sols - Vers une agriculture durable au Canada*, paru en 1995. Des progrès substantiels ont été accomplis et continuent d'être réalisés, car la gestion des sols s'est améliorée dans l'ensemble et la plupart des risques de dégradation des sols ont été réduits.

De toute évidence, le secteur agricole canadien a répondu de façon favorable aux préoccupations exprimées dans les années 1980 quant à la dégradation des sols. Par exemple :

- les gouvernements ont investi dans la recherche pédologique et les services de vulgarisation connexes;
- des programmes ont été mis en oeuvre pour cesser d'exploiter des terres marginales pour la production de cultures annuelles;
- des producteurs ont formé volontairement des associations visant à promouvoir la conservation des sols;
- de nouvelles technologies rentables (comme des semoirs pour semis direct et des pratiques améliorées de gestion des terres) ont été mises au point et utilisées pour assurer une meilleure gestion des ressources pédologiques.

Néanmoins, la conservation des sols doit demeurer une part importante des mesures générales prises par le secteur agricole pour relever les défis environnementaux. Les progrès sont variables au pays à ce chapitre, et les sols demeurent exposés à un risque de dégradation insoutenable dans la plupart des régions où l'on pratique une agriculture intensive. Dans certaines régions, l'intensification des cultures a occulté les progrès que l'adoption de pratiques de conservation avait permis de réaliser.

Quant à la compatibilité de l'agriculture avec les systèmes naturels, le degré de réussite est variable. Les risques pour l'environnement ont augmenté dans certaines régions, et l'état des milieux naturels a parfois empiré. La principale cause de cette situation est l'intensification de la production agricole dans beaucoup de régions où les conditions climatiques, agronomiques et économiques y sont propices. Ces changements se sont traduits par l'utilisation accrue d'azote et d'autres éléments nutritifs par unité de superficie, ce qui a fait augmenter le risque de diminution de la qualité de l'eau et d'accroissement des émissions de gaz à effet de serre.

L'évolution de l'utilisation des terres depuis 1981 a fait augmenter la superficie des habitats fauniques de grande valeur sur les terres agricoles au Canada, sauf dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique, dans le sud de l'Ontario et dans le sud du Québec. Dans ces régions, la disponibilité de l'habitat faunique a diminué, principalement à cause de la diminution de la superficie des terres agricoles dans certaines zones et de l'expansion de la superficie des terres cultivées au détriment d'habitats fauniques agricoles de plus grande valeur.

Principales conclusions relatives au caractère écologique de l'agriculture

Tableau 19-1

Chapitre ou section	Résultats (portant sur la période 1981-1996, sauf indication contraire)
Facteurs influant sur l'agriculture écologiquement durable	<p>La mondialisation de l'économie, l'évolution technologique, la croissance démographique et les variations de la demande des marchés ont souvent eu pour effet d'intensifier la production agricole, parfois au détriment de l'environnement. En revanche, l'évolution des choix sociaux crée une demande pour une agriculture plus écologique.</p> <p>Les risques pour l'environnement continueront d'augmenter à mesure que la production agricole s'intensifiera, de sorte que le secteur, les gouvernements et les consommateurs devront réagir sur le plan de la gestion.</p>
Gestion agroenvironnementale	<p>La gestion des sols agricoles s'est améliorée globalement.</p> <p>Dans l'ensemble, on a adopté de saines pratiques de lutte antiparasitaire et d'utilisation des pesticides, mais il y a place à amélioration. Le fumier est la source d'éléments nutritifs dont la gestion laisse le plus à désirer (conclusions basées seulement sur les données de 1995).</p>
Qualité du sol	Les risques de dégradation du sol ont été réduits dans l'ensemble. Il faut consentir des efforts pour préserver les sols encore exposés à un degré de dégradation non souhaitable.
Qualité de l'eau	Le risque de contamination de l'eau par l'azote a augmenté en général dans les régions les plus humides (il n'a pas été évalué dans les Prairies, mais il s'est vraisemblablement accru dans cette région en raison de l'élevage intensif).
Émissions de gaz à effet de serre	On a enregistré une légère augmentation globale des émissions, en majeure partie de 1991 à 1996. Les émissions de dioxyde de carbone ont diminué, les émissions d'oxyde nitreux ont augmenté et les émissions de méthane sont demeurées stables.
Disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles	Les espèces sauvages font grand usage de l'habitat des terres agricoles. La majorité des utilisations de l'habitat ont été favorisées par l'accroissement de la superficie de l'habitat sur les terres agricoles, sauf dans le sud-ouest de la Colombie-Britannique et dans le sud du Québec et de l'Ontario, où la plupart des utilisations de l'habitat faunique ont été affectées par une diminution de l'étendue de l'habitat en milieu agricole.
Intensité de la production	<p>Les concentrations d'azote résiduel par hectare ont augmenté dans la plupart des régions agricoles, sauf en Colombie-Britannique, où l'on a cependant constaté des augmentations évidentes dans certaines régions. L'accroissement des concentrations dans les Prairies est bénéfique pour les sols soumis à des systèmes de production caractérisés par un déficit net en azote.</p> <p>Des gains relatifs ont été réalisés à l'échelle nationale et dans les Prairies, car la croissance de la production d'énergie a dépassé celle de l'utilisation de l'énergie dans le secteur agricole. À l'extérieur des Prairies, l'utilisation globale d'énergie a augmenté tandis que la production globale d'énergie a diminué.</p>

Tout bien considéré, les risques que fait peser l'agriculture sur l'environnement ont diminué dans certaines régions et augmenté dans d'autres. Les implications de ces constatations pour les décideurs sont abordées plus loin dans le présent chapitre.

Capacité nationale d'analyse des incidences environnementales de l'agriculture

Nous avons fait grand usage des données et du savoir-faire disponibles, de la capacité de recherche et de modèles, ce qui nous en a appris beaucoup sur notre capacité nationale d'analyse

des incidences environnementales de l'agriculture. Les résultats de l'étude, résumés ci-après, ont des implications sur la recherche biophysique et économique ainsi que sur le travail futur de collecte de données sur les indicateurs.

L'utilité et l'application des indicateurs sont limitées à des évaluations globales, car le caractère national de l'étude a nécessité le regroupement de données portant sur des régions étendues. Il en est donc résulté une perte d'information sur les sources ponctuelles de pollution (telles les opérations de production animale intensive dont la gestion est déficiente), qui influent grandement sur la vue d'ensemble de la performance de l'agriculture du point de vue de l'environnement.

La plupart des résultats ayant trait aux indicateurs souffrent d'une certaine incertitude, en raison surtout de la connaissance imparfaite des processus

propres à l'écosystème et des relations entre l'agriculture et l'environnement, mais aussi à cause des limites relatives aux données. Cette incertitude est plus grande en ce qui touche les aspects auxquels les chercheurs s'intéressent depuis relativement peu de temps, comme l'émission d'oxyde nitreux à partir des sols.

Au cours de l'étude, nous avons atteint les limites des données disponibles. Ces limites sont évidentes en ce qui a trait :

- au niveau de détail sur le plan spatial ainsi qu'à l'exactitude quant aux lieux et au degré de couverture des données de recensement, pédologiques et autres;
- à la difficulté d'attribuer une valeur économique aux actifs et aux services agroenvironnementaux;
- à la faible fréquence des évaluations attribuable au fait que le *Recensement de l'agriculture* a lieu tous les cinq ans;
- à l'insuffisance des données ou à l'absence de données sur d'importants aspects, tels le nombre et la diversité des espèces dans les régions agricoles; le nombre et la position géographique d'habitats agricoles essentiels (comme les milieux humides et les boisés); la gestion de l'eau, des éléments nutritifs et des pesticides dans les exploitations agricoles; les concentrations de contaminants d'origine agricole; et les quantités de pesticides utilisés pour l'agriculture.

Les aspects énumérés ci-dessus ont également affecté la portée des enjeux traités dans la présente étude. Les domaines non couverts ou partiellement couverts incluent l'évaluation :

- de la qualité de l'eau, car l'étude n'a pas permis d'examiner les risques inhérents aux opérations de production animale intensive, aux activités agricoles dans les régions agricoles semi-arides ni à la contamination par les sédiments, les pesticides, les agents pathogènes et le phosphore (ailleurs qu'au Québec);
- de la gestion de l'eau, notamment l'efficacité de l'irrigation;
- des risques environnementaux à l'échelle régionale de l'utilisation des pesticides en agriculture, tels les effets négatifs sur l'écosystème et la biodiversité;
- des aspects de la biodiversité autres que les habitats fauniques agricoles, comme la diversité des espèces et la diversité génétique dans le domaine de l'agriculture.

De plus, le présent rapport n'exprime pas les résultats de l'utilisation des indicateurs en termes économiques, ce qui faciliterait la comparaison

de l'évolution de l'environnement avec celle d'autres aspects de l'agriculture, notamment la valeur de la production.

En somme, pour accroître l'exactitude des résultats ainsi que notre capacité d'évaluer le caractère écologique de l'agriculture, il faut pousser la recherche sur les interactions entre l'agriculture et l'environnement ainsi que repousser les limites dont souffrent les données et pallier le manque d'information.

Utilisation des indicateurs agroenvironnementaux pour la promotion de l'agriculture écologiquement durable

Nous avons présenté dans ce rapport de l'information sur le rapport entre l'agriculture et l'environnement. Cette information a des implications pour l'ensemble des personnes et des organismes qui se préoccupent de l'état de l'environnement et de l'industrie agricole canadienne : les décideurs et les analystes, les agriculteurs et les chefs de file du monde agricole, les chercheurs, les éducateurs et la population en général. Les paragraphes qui suivent exposent comment ces intervenants peuvent utiliser les indicateurs agroenvironnementaux pour la promotion de l'agriculture écologiquement durable.

Décideurs

Les décideurs du monde agricole doivent relever un défi de taille, soit établir un équilibre optimal entre les objectifs sociaux, économiques et environnementaux de l'agriculture en vue d'en maximiser les retombées sociales nettes. Il faut évaluer les politiques de production agricole par rapport non seulement à leurs incidences économiques et sociales, mais aussi par rapport à leurs répercussions sur l'environnement. L'élaboration et la réforme des politiques vont déjà dans ce sens, et cela doit continuer.

On peut utiliser les indicateurs agroenvironnementaux pour :

- aider à l'analyse quantitative des liens entre les effets économiques et environnementaux des politiques existantes et proposées;
- recueillir d'importants renseignements permettant de déterminer si l'état de l'environnement justifie la modification de politiques existantes ou l'adoption de nouvelles politiques;

La prévision des répercussions environnementales, nouvel outil pour l'élaboration de politiques

Les facteurs qui façonnent le monde d'aujourd'hui influenceront également sur la société de demain. Bien qu'on ne puisse prédire l'avenir avec certitude, on peut élaborer des scénarios reposant sur des hypothèses qui permettent de déterminer comment les facteurs actuels et d'autres facteurs orienteront l'avenir. Si les décideurs disposaient d'information sur les répercussions possibles de leurs interventions, ils seraient mieux en mesure d'agir dès maintenant pour éviter les conséquences néfastes, et donc mieux préserver l'environnement dans l'avenir. Par exemple, les économistes produisent régulièrement des prévisions et, en réaction à ces prévisions, on actionne des leviers économiques, comme les taux d'intérêt, pour tenter d'orienter les conditions économiques de demain.

Or, en général, en matière d'environnement, les décideurs n'ont pas pu utiliser des prévisions des répercussions environnementales pour orienter les politiques. Cette situation commence à changer à mesure qu'on élabore des outils d'analyse et des modèles perfectionnés, tels les indicateurs environnementaux. Et ces instruments deviennent de plus en plus nécessaires pour l'établissement des objectifs des politiques environnementales, comme les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre auxquels on a adhéré les pays signataires du Protocole de Kyoto.

Si un indicateur environnemental est sensible à des facteurs économiques et sociaux, on peut l'utiliser pour déterminer ses orientations possibles dans l'avenir. Une grande partie des indicateurs agroenvironnementaux présentés dans ce rapport ont été conçus, et commencent à être utilisés, dans ce sens. L'indicateur du bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole, dont il est question au chapitre 14, en est un exemple. Il a été élaboré à l'aide d'information sur des populations animales, la production végétale, les pratiques de gestion, l'utilisation des engrais et des combustibles fossiles et d'autres facteurs agricoles qui influent sur les émissions nettes. Afin de déterminer comment les émissions d'origine agricole pourraient évoluer, on a réalisé une projection de cet indicateur à 2010 à partir de données de référence à moyen terme d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (qui servent à prévoir les prix des produits agricoles et la production agricole). Le potentiel de réduction des émissions a été estimé en fonction de l'adoption de pratiques agricoles qui ont un effet sur les émissions, par exemple l'utilisation du fourrage, les stratégies d'alimentation des animaux d'élevage, les niveaux de travail du sol, les stratégies de pâturage, l'utilisation d'engrais, les systèmes de manutention des fumiers, le recours à la jachère et l'agroforesterie.

Certains résultats de ces travaux sont présentés ci-dessous. En vertu du Protocole de Kyoto, le Canada doit réduire la moyenne de ses émissions totales de gaz à effet de serre d'au moins 6 % par rapport au niveau de 1990 au cours de la période allant de 2008 à 2012. Pour atteindre cet objectif :

- il faudrait réduire les émissions d'origine agricole d'environ 17 % par rapport aux niveaux prévus pour 2010 dans un scénario de statu quo, en fonction de la méthode courante de mesure des émissions de gaz à effet de serre (une réduction de 8 % serait fixée comme objectif si l'on tenait compte des puits de carbone des sols);
- il faudrait réduire les émissions d'origine agricole d'environ 30 % par rapport aux niveaux prévus dans un scénario de forte croissance des exportations du secteur agricole (un autre objectif de ce secteur), en l'absence de puits de carbone dans les sols;
- l'accroissement de la superficie où l'on pratique la culture sans travail du sol jusqu'à 50 % de la superficie des terres cultivées des Prairies, la réduction de la superficie en jachère de 5 millions à 3 millions d'hectares, l'amélioration de la gestion des pâturages et la plantation de brise-vent supplémentaires permettraient de réduire les émissions pratiquement au niveau prescrit par le Protocole de Kyoto, mais seulement si le calcul de la séquestration du carbone dans les sols, aspect non abordé dans ce protocole, est effectué à l'échelle internationale. Si les puits de carbone des sols ne sont pas inclus dans les dispositions du Protocole, les mesures décrites ci-dessus conduiraient en fait à une légère augmentation des émissions associées au scénario du statu quo.

On utilise ce genre d'information pour aider au choix des stratégies optimales pour la réduction des émissions d'origine agricole. Ce travail fait partie d'un processus national global visant à élaborer des stratégies permettant au Canada de respecter ses engagements au titre du Protocole de Kyoto.

R.J. MacGregor et T. McRae, Agriculture et Agroalimentaire Canada

- renseigner les décideurs sur les répercussions environnementales de l'évolution prévue ou potentielle des marchés, des politiques, des technologies et d'autres facteurs (*voir* l'encadré).

Les signaux provenant du cadre économique dont fait partie l'agriculture constituent un aspect primordial lié aux politiques. Si les intrants naturels

(l'eau par exemple) ou les intrants affectant l'environnement (les pesticides par exemple) employés dans le secteur agricole ont un prix inférieur à leur valeur réelle, leur utilisation peut être inefficace et nuire à l'environnement. De même, le marché rétribue généralement les agriculteurs seulement pour les biens économiques qu'ils produisent. Ceux-ci ont moins d'incitation économique à

fournir des produits et des services publics (non liés au marché), y compris des services environnementaux, tels que l'habitat faunique, ce qui peut conduire à une pénurie. D'ici à ce que les prix soient davantage alignés sur les coûts réels, et à ce que les marchés et des incitatifs encouragent la fourniture optimale de biens et de services environnementaux par l'agriculture, il est probable que des problèmes environnementaux persisteront.

Il est encourageant de constater qu'au cours des 15 dernières années, différentes politiques ont été mises en place pour améliorer la performance environnementale de l'agriculture, tant au palier local qu'au plan international. L'objectif consiste à réaliser et à appliquer la combinaison optimale d'instruments dans le but d'obtenir les résultats souhaités dans le domaine de l'agriculture. Les indicateurs portent à croire que les risques pour l'environnement inhérents à la production agricole augmenteront à mesure que cette production s'accroîtra. Les politiques agricoles et environnementales doivent être souples et axées sur l'avenir si l'on veut que les producteurs aient à leur disposition les outils, l'information et les incitatifs dont ils ont besoin pour intégrer des considérations environnementales à leurs activités.

Agriculteurs et chefs de file du monde agricole

Les agriculteurs ont un important rôle à jouer pour rendre leur secteur plus respectueux de l'environnement. L'adoption de pratiques agricoles écologiques peut contribuer à la prospérité économique de cette industrie et à la vitalité des milieux ruraux. Le secteur agricole a franchi des pas de géant quant à la sensibilisation des agriculteurs aux aspects environnementaux de la production agricole et à l'adoption de processus, de méthodes et d'outils novateurs qui augmentent la productivité et qui font la promotion de la gestion environnementale des exploitations agricoles.

Bien que les résultats des indicateurs ne soient pas présentés à l'échelle de l'exploitation agricole, ils ont des incidences sur la façon dont les agriculteurs gèrent leurs activités. La nature des pratiques en usage et des risques varie d'une ferme à l'autre mais, dans l'ensemble, les indicateurs montrent que des améliorations s'imposent en ce qui concerne les aspects suivants :

- la gestion du fumier et des autres intrants agricoles;
- l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs;
- la préservation de la qualité de l'eau;
- la conservation de l'habitat faunique à la ferme;

- la réduction des émissions de gaz à effet de serre;
- le maintien de la qualité des sols.

À l'échelle de l'exploitation agricole, les indicateurs peuvent être mis à profit pour la prise en compte des multiples aspects de la gestion agroenvironnementale et pour les évaluations environnementales. L'évolution vers la gestion agricole intégrée, appuyée par des plans agroenvironnementaux et des clubs-conseils en agroenvironnement, représente une voie d'avenir. La gestion agricole intégrée fournit une occasion aux agriculteurs de considérer et de gérer leurs exploitations non seulement comme des systèmes de production alimentaire, mais aussi comme des systèmes nécessitant une gestion prudente des intrants environnementaux et comportant des bénéfices environnementaux pour la société, notamment des paysages agréables et des habitats pour la faune.

Les agriculteurs et les chefs de file du secteur agricole peuvent utiliser les indicateurs pour donner davantage d'information sur les réalisations de ce secteur en matière d'environnement ainsi que sur les défis à relever. De plus, les indicateurs peuvent faciliter les échanges entre les agriculteurs, les gouvernements et les citoyens sur les enjeux agroenvironnementaux tout en fournissant une base d'information solide. Un examen plus exhaustif des enjeux augmenterait l'utilité des indicateurs à cet égard.

Enfin, le secteur agricole prend une part de plus en plus active à la prestation de programmes environnementaux et au financement de la recherche environnementale en agriculture. On peut utiliser les indicateurs pour cerner les problèmes exigeant une attention prioritaire et pour assurer le ciblage stratégique des programmes et des autres initiatives en fonction des régions et des ressources qui courent les plus grands risques sur le plan de l'environnement.

Chercheurs et analystes

Les chercheurs et les analystes ont un rôle primordial à jouer pour aider l'agriculture à devenir plus respectueuse de l'environnement. À cet égard, les indicateurs agroenvironnementaux pourraient être mis à contribution de diverses façons :

- établissement de priorités concernant la recherche;
- détermination des lacunes en matière de connaissances sur les processus de l'agroécosystème;

- détermination des domaines où de nouvelles données sont nécessaires pour le perfectionnement des sorties de modèles ou pour la validation des modèles de processus existants;
- outil pour le transfert de technologie afin de conseiller les décideurs et les agriculteurs.

Nous résumons ci-dessous, par rapport à quatre grands axes, les défis qui se posent à la recherche agricole et les orientations nécessaires.

1. Rendre l'agriculture de plus en plus productive et efficiente quant à l'utilisation des ressources. Pour ce faire :

- mener des recherches afin d'accroître l'efficacité de la production et de la fixation des éléments nutritifs par les plantes; d'améliorer la résistance des plantes au stress climatique, à la maladie et aux insectes; et de hausser la productivité des opérations d'élevage;
- concevoir des instruments pour étendre le recours au travail réduit du sol à d'autres cultures et accroître l'efficacité des opérations de culture, de semis et de récolte ainsi que la précision des applications d'éléments nutritifs;
- mettre en place ces nouveaux outils dans de nouveaux systèmes de production agricole (p. ex., de nouvelles rotations culturales, utilisations des cultures et interactions entre les systèmes de production animale et les milieux naturels ambiants);
- intégrer la souplesse aux systèmes de production agricole, ainsi que la capacité de s'adapter à la variabilité croissante des conditions météorologiques et aux changements climatiques à long terme, dans le but de réduire le risque de baisse des rendements et l'incertitude liée au rendement économique pour les agriculteurs.

2. Assurer un meilleur contrôle interne des processus biologiques dans les écosystèmes agricoles (par exemple, par le recours à la lutte biologique) afin de réduire la dépendance envers des intrants externes non biologiques.

À cette fin :

- poursuivre la recherche en vue de trouver des méthodes améliorées de lutte antiparasitaire dans le but ultime de réduire, et dans certains cas d'éliminer, l'utilisation de pesticides sur de nombreuses cultures;
- pousser la recherche sur les seuils critiques relatifs aux ravageurs, sur la technologie de la lutte intégrée contre les parasites et sur de nouveaux produits chimiques pour remplacer certains des pesticides utilisés depuis longtemps qui sont moins compatibles avec cette technologie.

3. Assurer une meilleure intégration des cycles des éléments nutritifs aux écosystèmes agricoles et ainsi prévenir les fuites de ces éléments dans le milieu ambiant et la pollution qui s'ensuit.

Pour ce faire :

- mener des recherches en génie et en gestion, notamment pour mettre au point des systèmes améliorés de manutention et d'entreposage des fumiers, pour optimiser l'utilisation des aliments par les animaux et pour réduire la production de méthane par les animaux de ferme;
- trouver des moyens de réduire la consommation d'énergie liée à l'utilisation de combustibles fossiles à la ferme et, partant, les émissions atmosphériques de dioxyde de carbone;
- mettre au point et transférer des outils et de l'information pour l'application précise et en temps opportun d'éléments nutritifs (principalement l'azote et le phosphore) sur les terres agricoles afin de réduire les pertes dans le milieu naturel ambiant.

4. Fournir, en temps opportun, de l'information pertinente et facilement accessible afin d'appuyer et d'évaluer les décisions en matière d'environnement des intervenants et des responsables de l'élaboration des politiques.

À cette fin :

- produire, en temps opportun, de l'information accessible, fiable et pertinente concernant les interactions entre l'agriculture et l'environnement;
- améliorer l'évaluation des risques posés par les technologies et les pratiques nouvelles de manière que leurs avantages et leurs coûts au plan environnemental soient compris et pris en considération;
- au sein des gouvernements, maintenir la capacité d'élaborer et d'améliorer les indicateurs agroenvironnementaux ainsi que de repousser les limites des analyses et de combler le manque de données signalés précédemment dans ce chapitre.

Population

Les méthodes de production écologiques qui contribuent à assurer la salubrité des aliments et à réduire les effets environnementaux de l'agriculture à l'extérieur des exploitations agricoles, et qui procurent des avantages à la société sur le plan de l'environnement présentent un intérêt pour la population.

Les indicateurs agroenvironnementaux fournissent de l'information générale qui peut aider les citoyens intéressés :

- à surveiller la performance environnementale de l'agriculture canadienne;
- à mieux se renseigner sur les possibilités qui s'offrent aux producteurs agricoles et sur les contraintes auxquelles ils sont confrontés;
- à soutenir les programmes publics (tels que les programmes de recherche agricole et de conservation) qui font la promotion de l'agriculture écologiquement durable;
- à appuyer les efforts déployés par le secteur agricole afin d'améliorer l'environnement en achetant des produits agricoles écologiques dans les régions où ces produits sont vendus (en pratiquant l'agrotourisme par exemple);
- à prendre des décisions éclairées pour l'achat d'aliments;
- à déterminer les domaines où ils pourraient exercer des pressions pour qu'on améliore la situation davantage.

Les éducateurs peuvent se servir des indicateurs pour mieux informer les étudiants en agriculture et les agriculteurs de demain sur les interactions entre l'agriculture et l'environnement.

L'avenir

A court terme, on peut faire des compromis quant aux objectifs environnementaux, sociaux et économiques de l'agriculture, mais à long terme, il faut assurer une compatibilité totale entre la saine gestion de l'environnement et des ressources et les autres objectifs de l'agriculture durable.

L'amélioration de l'environnement dans le domaine agricole est un processus continu qui implique la collaboration et le partenariat entre toutes les parties directement ou indirectement concernées. Nous espérons que l'information présentée dans ce rapport favorisera la compréhension et le dialogue, sur lesquels cette collaboration et ce partenariat devront s'appuyer.

Glossaire

Agriculture de précision Gestion agricole pratiquée à un niveau permettant d'adapter l'utilisation des intrants aux diverses conditions présentes dans un même champ.

Agriculture durable Agriculture qu'on peut pratiquer indéfiniment sans compromettre des objectifs sociaux, économiques et environnementaux.

Agriculture écologiquement durable

Agriculture qu'on peut pratiquer indéfiniment sans causer de dommages importants à l'environnement.

Agroécosystème Écosystème soumis à une gestion agricole; système ouvert et dynamique relié à d'autres écosystèmes par le transfert d'énergie et de matières.

Agrotourisme Forme de tourisme basée sur l'utilisation à des fins récréatives de terres agricoles; type d'**écotourisme**.

Aménagement de terrasses Création de banquettes dans le but de rompre une pente.

Ammoniac anhydre Forme liquide de l'engrais minéral à base d'azote.

Anaérobie Se rapporte aux conditions caractérisées par l'absence ou par une faible quantité d'oxygène libre.

Analyse de sol Analyse d'un échantillon de sol visant à déterminer les principales propriétés de ce sol à l'égard de la production végétale, telles que le pH, la teneur en éléments nutritifs et la teneur en carbone organique.

Application à la volée Méthode d'application de l'engrais par dispersion égale sur toute la surface du sol.

Application en bandes Méthode d'application de l'engrais minéral sec le long d'une ligne ensemencée sur une terre cultivée, par opposition à l'**application à la volée**.

Apport d'énergie Quantité d'énergie non renouvelable utilisée dans les systèmes agricoles, par exemple pour faire fonctionner les véhicules motorisés et les machines agricoles, pour fabriquer de l'équipement et des produits chimiques (p.ex., engrais et pesticides) et pour assurer le maintien des fermes.

Augmentation de l'effet de serre Effet de l'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère faisant en sorte qu'une plus grande partie des rayons réfléchis par la Terre y sont emprisonnés, ce qui peut entraîner le **réchauffement planétaire**.

Azote Important élément nutritif cultural et polluant de l'eau observé sous des formes solubles, comme des **nitrate**s; aussi sous la forme d'**oxyde nitreux**.

Biodiversité Voir **Diversité biologique**.

Biomasse Masse totale de matériel vivant d'une espèce ou d'un groupe d'espèces donné par unité spatiale ou par rapport à l'ensemble des espèces d'une communauté.

Biophysique Se rapporte aux caractéristiques biologiques et physiques d'un environnement.

Biotechnologie Dans le domaine de l'agriculture, désigne la science du génie génétique et les méthodes connexes qui servent à produire de nouvelles variétés végétales ou animales supérieures.

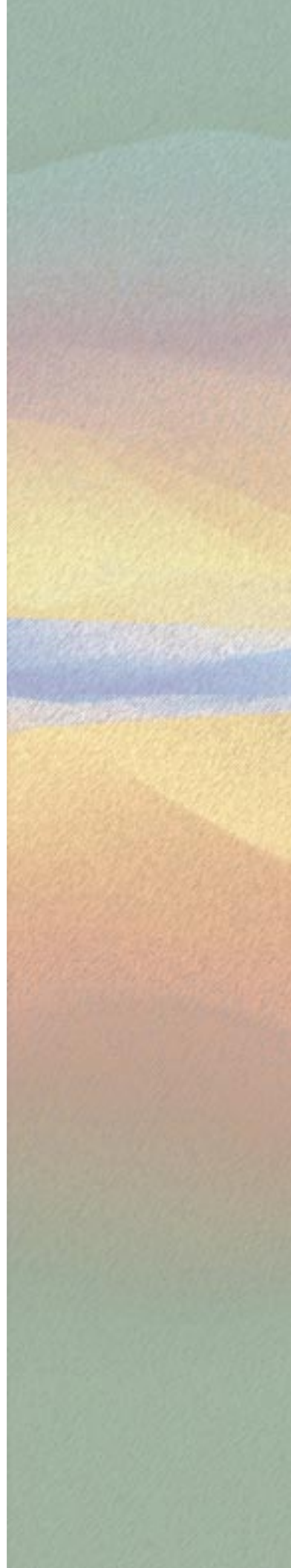
Cadre facteurs-résultats-réactions Cadre conceptuel servant à l'évaluation de la pérennité de l'environnement qui indique les facteurs influant sur les activités agricoles, les résultats de ces activités et les réactions de la société, en vue d'obtenir des résultats souhaitables.

Céréales Terme désignant les grains ou les plantes qui produisent des grains, tels que le blé, l'orge, le seigle et l'avoine.

Changements climatiques Ensemble des changements que peut connaître le climat du globe à cause de l'**augmentation de l'effet de serre**, y compris le **réchauffement planétaire** ainsi que les variations de la quantité et de la configuration des précipitations.

Club-conseil en agroenvironnement Association volontaire d'agriculteurs intéressés à améliorer la gestion environnementale de leurs fermes.

Compactage Phénomène naturel ou causé par l'être humain impliquant la compression du sol et faisant augmenter sa **densité apparente**.



Compost Résidus organiques, souvent additionnés de terre, qui sont entassés, mélangés, humidifiés et laissés en décomposition et qui servent à amender les sols.

Couverture du sol Végétation, y compris les cultures, et résidus de culture présents à la surface du sol.

Culture fixatrice d'azote Généralement, culture de courte durée, intercalée entre les rangs d'une culture principale ou effectuée l'automne, après la récolte de la culture principale de plus grande valeur, dans le but d'absorber les surplus d'éléments nutritifs, tel l'azote, contenus dans les sols.

Culture en ligne (syn. *culture en ligne intensive*)

Culture en ligne intensive Méthode de culture exigeant une grande quantité d'intrants (carburant, engrais et main-d'oeuvre par exemple) et présentant donc généralement un niveau de production élevé par unité de surface; s'applique aux cultures par bandes très espacées entre lesquelles on peut ensemer d'autres cultures pour lutter contre les mauvaises herbes, aux cultures soumises à un buttage ou aux deux, notamment la pomme de terre, le tabac, les légumes, les haricots (blancs, verts, Pinto, etc.), la betterave à sucre et le maïs.

Culture intercalaire Culture implantée entre les rangs d'une autre culture considérée comme principale, pour accroître le degré de couverture du sol ou la concentration d'éléments nutritifs, lutter contre les parasites ou procurer d'autres avantages sur le plan de la production.

Culture sans travail du sol Mode de culture dans lequel la culture est implantée directement dans le sol à l'aide d'un semoir spécial, sans que la terre ait été soumise à un travail primaire ou secondaire après la récolte précédente. On pratique parfois cette forme de culture de concert avec le **défonçage** (syn. **sous-solage**) pour faciliter l'ensemencement et la croissance rapide des racines; les résidus de surface sont laissés pratiquement intacts, sauf le long d'une mince tranchée creusée par la dent de la charrue sous-soleuse.

Déficit en eau Insuffisance de l'approvisionnement en eau d'un sol pour les cultures.

Défonçage (syn. **sous-solage**) Opération primaire de travail du sol servant à approfondir le labour et exécutée à l'aide d'une charrue à ciseau lourde (chisel) qui disloque le sol.

Dégradation du sol Baisse de la qualité du sol le rendant moins apte à une utilisation particulière, comme la culture.

Degré de saturation du sol en phosphore Pourcentage des sites potentiels de rétention du phosphore dans les particules de sol contenant déjà du phosphore.

Densité apparente Masse de sol sec par unité de volume brut. Le volume brut est calculé avant le séchage du sol par étuvage.

Dioxyde de carbone Important gaz à effet de serre produit par la décomposition de la matière organique des sols dans des conditions d'oxydation, ainsi que par la combustion de combustibles fossiles.

Disponibilité de l'habitat Degré d'accessibilité et d'utilité d'un habitat pour une espèce donnée selon des facteurs comme la proportion de ce genre d'habitat dans l'aire de distribution de l'espèce; degré d'occupation courant de l'habitat; degré de dispersion de l'habitat dans le paysage; variation des besoins de l'espèce selon les saisons; degré d'existence d'espèces concurrentes, de prédateurs et de la maladie dans l'habitat.

Disponibilité relative du phosphore dans le sol Quantité de phosphore extraite au moyen d'une méthode de laboratoire courante dans le but de formuler des recommandations pour l'application d'engrais.

Diversification des cultures Augmentation de la variété des cultures dans le but d'accroître la rentabilité des exploitations agricoles.

Diversité biologique (syn. **biodiversité**) Diversité des espèces et des écosystèmes sur la Terre ainsi que des processus écologiques dont ils font partie; la diversité biologique est formée de trois composantes: la diversité des écosystèmes, la diversité des espèces et la diversité génétique.

Eaux souterraines Eaux situées sous terre dont la surface forme ce qu'on appelle la nappe phréatique dans des matériaux géologiques comme les sols, les formations de sable et de gravier et le substrat rocheux.

Écodistrict Unité cartographique détaillée du système de classification écologique des terres du Canada; une **écorégion** comprend au moins deux écodistricts.

Éco-efficacité Processus au cours duquel on produit des biens ou des services de plus grande valeur ou en plus grande quantité en utilisant moins de matériel et d'énergie, ce qui minimise les pertes dans l'environnement et réduit la pollution.

Écorégion Unité cartographique du système de classification écologique des terres du Canada; une **écozone** comprend au moins deux écorégions.

Écosystème naturel Écosystème non altéré par l'activité humaine.

Écotourisme Forme de tourisme basée sur la promotion des milieux naturels et de leurs caractères écologiques.

Écozone Unité cartographique la plus générale du système de classification écologique des terres du Canada. On pratique l'agriculture dans sept des quinze écozones du pays.

Élément nutritif Substance dont un organisme a besoin pour sa croissance et son développement; les principaux éléments nutritifs des cultures sont l'azote, le phosphore et le potassium.

Empirique Qui est basé sur des données d'observation (qualitatives) ou d'expérimentation (quantitatives).

Engrais minéral Préparation commerciale d'éléments nutritifs culturels, comme l'azote, le phosphore et le potassium, sous une forme inorganique, notamment le phosphate d'ammonium, le chlorure de potassium et le nitrate de calcium.

Engrais vert Végétaux enfouis dans le sol par labourage au moment où ils sont encore verts et qui servent d'engrais naturel.

Équivalent de dioxyde de carbone Expression de l'efficacité d'un gaz à produire un effet de serre dans l'atmosphère de manière comparable au dioxyde de carbone.

Érodabilité du paysage Mesure dans laquelle un paysage donné peut s'éroder en raison de ses caractéristiques naturelles, telles que les conditions pédologiques et topographiques. Ce terme s'applique aussi à l'**érosion attribuable au travail du sol**.

Érodabilité inhérente Tendance naturelle d'un sol à s'éroder à cause de ses caractéristiques physiques ou des particularités du paysage, telles que l'inclinaison.

Érosion attribuable au travail du sol Érosion du sol causée par l'utilisation d'instruments de travail du sol et accentuée par la gravité.

Érosion éolienne Perte de sol en surface causée par le vent.

Érosivité Propension d'une opération ou d'une suite d'opérations de travail du sol à éroder le sol; fonction de la conception et du fonctionnement de l'instrument aratoire et du caractère approprié de l'ensemble tracteur-instrument.

Évapotranspiration Transfert d'eau de la surface terrestre vers l'atmosphère par l'évaporation des liquides et des solides et la transpiration des plantes.

Excès d'eau Présence d'eau dans le sol en quantité supérieure aux besoins des cultures.

Facteur Dans le présent rapport, influences de la société (p.ex., signaux des marchés, politiques gouvernementales et technologies de production) ou du secteur agricole (p.ex., stratégies et pratiques de production et intrants) qui orientent les effets de l'agriculture sur l'environnement.

Fixation des résidus Action de fixer, par des moyens mécaniques, la paille ou d'autres résidus de culture en position debout ou inclinée sur le champ après la récolte dans le but de protéger le sol.

Fonction de pédotransfert Équation utilisée pour estimer la valeur d'une propriété d'un sol en fonction de la valeur d'autres propriétés connexes (par exemple, on peut estimer la densité apparente d'un sol si l'on connaît sa texture et sa teneur en carbone organique).

Fourrage Herbes ou légumineuses récoltées pour nourrir les animaux d'élevage; elles peuvent être entreposées à l'état sec sous forme de foin ou à l'état humide sous forme d'ensilage ou être introduites dans le sol par labourage sous forme **d'engrais vert**.

Génie génétique Manipulation du matériel génétique d'un organisme pour obtenir certaines caractéristiques désirées.

Gestion des résidus Maintien d'une certaine quantité de résidus de culture sur la surface du sol pour prévenir sa dégradation; pratique associée au **travail de conservation du sol**.

Guilde Groupe d'espèces qui partagent un habitat donné, qui exploitent les mêmes ressources ou qui exploitent des ressources de la même façon et ayant ainsi des niches écologiques ou des spectres biologiques semblables.

Habitat essentiel Habitat essentiel au maintien et à la survie d'une espèce sauvage.

Habitat faunique Partie d'un environnement dont dépend un organisme vivant pour sa survie.

Halte migratoire Lieu de rassemblement d'oiseaux pour le repos, habituellement durant les migrations.

Indicateur agroenvironnemental Mesure d'un paramètre, d'un risque ou d'un changement important de l'environnement attribuable à l'agriculture ou à des pratiques de gestion employées par les producteurs agricoles.

Indicateur de risque Indicateur utilisé pour estimer, à l'aide de formules ou de modèles mathématiques, le risque qu'il se produise une certaine forme de dégradation de ressources.

Indicateur d'état Indicateur exprimant l'état courant d'une ressource, généralement à partir de mesures directes sur le terrain.

Injection Méthode d'introduction d'engrais liquide ou gazeux sous la surface du sol dans des tubes; on l'emploie généralement pour appliquer l'engrais liquide ou l'**ammoniac anhydre**.

Intrant agricole Facteur entrant dans un système de production agricole, tel que l'énergie, les pesticides et les éléments nutritifs.

Jachère chimique Jachère où l'on élimine les mauvaises herbes par des traitements herbicides plutôt que par le travail du sol.

Jachères Catégorie d'utilisation des terres agricoles établie pour le *Recensement de l'agriculture* et terme général désignant les terres cultivées qui sont laissées au repos pendant au moins un an, mais qui sont soumises à des pulvérisations ou dont la terre est travaillée.

Jour sans couverture du sol Jour ou équivalent d'un jour (deux demi-journées par exemple) où le sol n'est pas couvert par des cultures ou des résidus de culture et est donc exposé aux éléments.

Kilotonne Unité équivalant à mille tonnes ou à un million de kilogrammes (environ 2,2 millions de livres).

Labour suivant les courbes de niveau Mode de travail du sol dans le sens horizontal plutôt qu'à contre-pente vers le haut ou le bas.

Légumineuses à graines Légumineuses dont les graines sont comestibles, telles que les haricots, les pois et les lentilles.

Libéralisation du commerce (ou de l'économie) Accroissement des échanges commerciaux de biens et de services entre pays par suite soit de l'ouverture de marchés, soit de la réduction ou de la suppression d'obstacles au commerce, notamment d'obstacles tarifaires.

Lutte antiparasitaire intégrée Lutte contre les parasites faisant appel à une combinaison de techniques, dont les rotations des cultures, les pratiques culturales et la répression biologique et chimique des parasites.

Matière organique du sol Matière du sol contenant du carbone et produite par des organismes vivants.

Matrice de disponibilité de l'habitat Carte établissant une relation entre le type d'habitat qu'on retrouve sur les terres agricoles et l'utilisation de cet habitat par une espèce faunique donnée.

Mégatonne Unité équivalant à un million de tonnes ou à un milliard de kilogrammes (environ 2,2 milliards de livres).

Milieux humides Zones terrestres inondées par des eaux de surface ou des eaux souterraines. Il en existe cinq classes selon le Système de classification des terres humides du Canada: les tourbières oligotrophes, les tourbières minérotrophes, les marais, les marécages et les eaux libres.

Minéralisation Dans les systèmes biologiques, dégagement d'éléments nutritifs par la décomposition de matière organique; terme souvent employé pour décrire la conversion microbiologique d'éléments nutritifs reliés par les liens organiques en des formes ioniques convenant à l'absorption par les plantes.

Nitrate Forme soluble de l'azote constituant une source répandue d'azote pour les plantes. On retrouve des nitrates à l'état naturel dans les eaux souterraines et les eaux de surface, mais celles-ci sont parfois présentes à des concentrations trop élevées, à cause de l'agriculture, et produisent de la pollution.

Oléagineux Plantes dont les graines servent à produire de l'huile (p. ex., canola, lin et tournesol).

Oxyde nitreux Puissant gaz à effet de serre.

Paillage Action de recouvrir le sol d'une couche de paille pour prévenir l'érosion.

Pâturage en rotation Pratique de gestion des animaux d'élevage comportant le transfert systématique des animaux d'un pâturage à un autre.

Pâturages artificiels ou ensemencés Catégorie d'utilisation des terres agricoles, établie pour le *Recensement de l'agriculture*, qui comprend les pâturages qui ont été améliorés par des moyens comme des façons culturales, le drainage, l'irrigation, la fertilisation, l'ensemencement ou des pulvérisations.

Pédo-paysages du Canada Ensemble national de cartes pédologiques à grande échelle (1/1000000^e) renseignant sur les propriétés des sols et des terrains.

Pesticide Produit chimique utilisé pour la répression des parasites. Les pesticides comprennent les herbicides, les insecticides, les fongicides, les nématicides, les rodenticides et les miticides.

Phéromone Substance biochimique produite par un organisme vivant pour stimuler un comportement ou une réaction physiologique chez un individu de la même espèce.

Phosphore Important élément nutritif cultural et polluant potentiel de l'eau, en particulier des eaux de surface.

Photosynthèse Production de glucides par les plantes à partir du dioxyde de carbone et de l'eau en employant comme source d'énergie la lumière solaire qu'elles captent grâce à la chlorophylle.

Plan agroenvironnemental Plan élaboré et exécuté volontairement par l'agriculteur énonçant les problèmes environnementaux propres à son exploitation agricole ainsi que les mesures à prendre pour résoudre ces problèmes.

Plantes couvre-sol d'hiver (syn. **couvertures végétales hivernales, couvre-sol d'hiver**)

Plantes qui croissent en hiver et qui servent à réduire l'érosion causée par les pluies hivernales et la fonte des neiges.

Polygone Zone de forme irrégulière sur une carte. On utilise des polygones pour l'établissement des cartes des **Pédo-paysages du Canada** et on les superpose aux cartes des secteurs de dénombrement du **Recensement de l'agriculture** pour faire correspondre les données physiques sur les sols et les paysages à l'information sur les pratiques de gestion agricole.

Potassium Important élément nutritif cultural.

Potentiel de réchauffement planétaire Mesure de la capacité d'un gaz à effet de serre de capter le rayonnement et donc de contribuer au **réchauffement planétaire**.

Production animale intensive Production concentrée d'un grand nombre d'animaux sur une faible superficie; comporte habituellement l'emploi d'installations spéciales pour assurer le gîte aux animaux, les nourrir et les élever.

Production d'énergie Quantité d'énergie intégrée aux produits agricoles qui sont utilisés ou consommés par les êtres humains.

Productivité des intrants Rendement ou rentabilité des intrants utilisés dans un système de production agricole.

Qualité de l'habitat Capacité d'un habitat de satisfaire aux besoins d'une espèce donnée.

Qualité du sol Aptitude d'un sol à remplir un usage déterminé, comme la croissance de cultures.

Recensement de l'agriculture Recensement national ayant pour but de recueillir de l'information sur la structure des exploitations agricoles et sur l'économie agricole, les cultures, l'utilisation des terres et l'élevage; ce recensement a lieu tous les cinq ans.

Réchauffement planétaire Hausse prévue des températures mondiales par suite de l'augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre.

Résidus de culture Végétaux, comme des feuilles, des tiges et des racines, demeurant à la surface du sol après la récolte.

Respiration Chez les plantes, dégagement d'oxygène dans le cadre de la **photosynthèse**.

Risque tolérable Degré de dégradation d'une ressource qui ne dépasse pas le taux de rétablissement naturel ou qui est acceptable et durable en raison de l'existence de facteurs qui réduisent le risque; niveau de risque acceptable pour la société.

Riverain Qui borde un cours d'eau ou un autre plan d'eau.

Ruissellement Écoulement d'eau à la surface du sol à la suite de précipitations ou de la fonte de la neige.

Salin Qui contient du sel.

Salinisation Augmentation de la teneur en sel du sol.

Sédimentation Dépôt de particules de sol transportées par l'érosion dans des eaux de surface, comme des cours d'eau et des lacs.

Semelle de labour Zone de sol compactée se trouvant à une profondeur de 20 à 40 cm et qui se forme parfois juste au-dessous de la couche arable sur une terre cultivée.

Semis direct Ensemencement direct sans travail préalable du sol.

Séquestration du carbone Processus biochimique par lequel le carbone de l'atmosphère est absorbé par des organismes vivants, dont les arbres, les micro-organismes des sols et les cultures; stockage de carbone dans les sols pouvant contribuer à réduire les concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Sols brun foncé Groupe de sols rencontrés dans les prairies canadiennes et formés d'un horizon de surface brun foncé reposant sur un horizon B plus clair et un horizon C généralement calcaire.

Sols bruns Groupe de sols des prairies semi-arides du Canada formés d'un horizon de surface brun, d'un horizon B brunâtre moins foncé et d'un horizon C généralement calcaire.

Sols gris Groupe de sols luvisoliques formés d'un horizon de surface de teinte pâle reposant sur un horizon B brunâtre et un horizon C généralement calcaire.

Sols gris foncé Sols de transition rencontrés dans les zones de prairies-parcs des prairies canadiennes et formés d'un horizon de surface gris foncé reposant sur un horizon B brunâtre et un horizon C généralement calcaire.

Sols noirs Groupe de sols des prairies canadiennes formés d'un horizon de surface très foncé, d'un horizon B brunâtre et d'un horizon C généralement calcaire.

Sous-solage (syn. **défonçage**) Dislocation d'une couche inférieure compacte du sol sans la retourner, à l'aide d'une charrue spéciale dotée d'un ou de plusieurs étançons minces et tranchants qui fouille le sol généralement à une profondeur de 30 à 60 cm et sur des bandes espacées de 60 à 150 cm. Cette opération vise à faciliter le déplacement de l'eau et la pénétration des racines dans le sol.

Structure du sol Propriétés physiques d'un sol liées à l'agencement et à la stabilité des particules et des pores.

Temps de séjour Intervalle pendant lequel une composante demeure dans un système (le temps qu'un gaz à effet de serre passe dans l'atmosphère par exemple).

Téragramme Unité équivalant à un milliard de kilogrammes.

Terres en culture Catégorie d'utilisation des terres agricoles, établie pour le *Recensement de l'agriculture*, qui désigne la superficie totale des terres servant aux grandes cultures ainsi qu'à la culture de fruits, de légumes, de produits de pépinière et de gazon.

Terres naturelles pour le pâturage Catégorie d'utilisation des terres agricoles, établie pour le *Recensement de l'agriculture*, qui comprend les terres non défrichées ou non cultivées utilisées comme pâturages.

Toutes les autres terres Catégorie d'utilisation des terres agricoles, établie pour le *Recensement de l'agriculture*, qui comprend les terres occupées par des bâtiments de ferme, des enclos de ferme, des jardins, des serres et des champignonnières, les terres non exploitées, les boisés, les érablières, les brise-vent, les tourbières, les marais, les marécages, etc.

Travail de conservation du sol Mode de travail du sol ayant pour objet de réduire le plus possible les pertes de sol et d'eau; du point de vue de l'exploitation agricole, opération de travail du sol ou de travail-plantation qui laisse une couverture de résidus à la surface du sol équivalant à au moins 30 % de la surface traitée.

Travail du sol classique Opérations primaire et secondaire de travail du sol généralement exécutées pendant la préparation d'une couche de semis et qui laissent habituellement, à leur terme, une couverture de résidus à la surface du sol équivalant à moins de 30% de la surface traitée.

Turbidité Mesure de la limpidité de l'eau; degré auquel un liquide est trouble en raison de la présence de sédiments en suspension.

Unité d'utilisation de l'habitat Chaque utilisation distincte d'un certain type d'habitat par une espèce donnée.

Végétation naturelle Végétation des écosystèmes naturels.

Voie d'eau gazonnée Bande de terre recouverte de gazon qui sert à l'écoulement de l'eau en surface; méthode de lutte contre l'érosion.

Volatilisation Passage à l'état gazeux.

Bibliographie

Chapitre 1. Introduction

Organisation de coopération et de développement économiques. 1997. *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture - Concepts et cadre de travail*. Paris, France.

Pearce, D.W., K. Hamilton et G. Atkinson. 1996. « Measuring Sustainable Development : Progress on Indicators ». *Environment and Development Economics* 1 : 85–101.

Chapitre 2. Étude et évaluation de l'agriculture écologiquement durable

Griggs, D.J. et F.M. Courtney. 1985. *Agriculture and Environment: The Physical Geography of Temperate Agricultural Systems*. Longman Group Limited, New York, N.Y.

Groupe de travail sur la stratification écologique. 1995. *Cadre écologique national pour le Canada*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche, Ottawa (Ont.). Environnement Canada, Direction de l'analyse des écozones, Hull (Qué.).

Organisation de coopération et de développement économiques. 1997. *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture - Concepts et cadre de travail*. Paris, France.

Organisation de coopération et de développement économiques. 1997. *Avantages écologiques de l'agriculture : enjeux et stratégies*. Le séminaire d'Helsinki. Paris, France.

Organisation de coopération et de développement économiques. 1999. *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture - Enjeux et conception*. Séminaire de York. Paris, France.

Chapitre 3. Facteurs influant sur l'agriculture écologiquement durable

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1999. *Rapport trimestriel sur le commerce agroalimentaire, faits saillants : quatrième trimestre 1998*. Direction générale des politiques. Ottawa (Ont.).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1998. *Défis et répercussions associés à l'atteinte des objectifs du CCPA pour les exportations de produits agroalimentaires d'ici l'an 2005*. Direction générale des politiques. Ottawa (Ont.).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1998. *Portrait du circuit agroalimentaire canadien*. Direction générale des politiques. Ottawa (Ont.).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1997. *Profil des tendances de production et des enjeux environnementaux du secteur agricole et agroalimentaire canadien*. Publication 1938/F. Ottawa (Ont.).

Enviroics International Ltd. 1998. *The Environmental Monitor*. Rapport 1998-1. Toronto (Ont.).

Food and Agricultural Policy Research Institute. 1999. *FAPRI 1999 World Agricultural Outlook*. Staff Report 2-99. Iowa State University et University of Missouri–Columbia. Ames, Iowa.

Statistique Canada. 1997. *Aperçu historique de l'agriculture canadienne*. Numéro de catalogue 93-358-XPB. Ottawa (Ont.).

Chapitre 4. Degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture

Curran, P., E. Huffman et M. McGovern. 1996. *Farm Resource Management Indicator: Soil Cover and Land Management*. Rapport n° 18 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Dumanski, J., L.J. Gregorich, V. Kirkwood, M.A. Cann, J.L.B. Culley et D.R. Coote. 1994. *Le point sur l'aménagement des terres agricoles au Canada*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Bulletin technique 1994-3F du Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques. Ottawa (Ont.).

Huffman, E. et J. Dumanski. 1985. « Agricultural Land Use Systems: An Economic Approach to Rural Land Use Inventory ». *Journal of Soil and Water Conservation* 40(3) : 302–306.

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 1992. « Grandes cultures ». *Les pratiques de gestion optimale*. Toronto (Ont.).

Chapitre 5. Gestion des intrants agricoles - Éléments nutritifs et pesticides

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1998. *Gestion du fumier, des engrais et des pesticides au Canada : résultats de l'Enquête sur la gestion des intrants agricoles, 1995*. Direction générale des politiques. Ottawa (Ont.).

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 1998. « Gestion des éléments nutritifs ». *Les pratiques de gestion optimale*. Toronto (Ont.).

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 1998. « Entreposage, manutention et application des pesticides ». *Les pratiques de gestion optimale*. Toronto (Ont.).

Ontario Farm Environmental Coalition. 1994. *Ontario Environmental Farm Plans*. Première édition. Toronto (Ont.).

Statistique Canada. 1995. *Enquête sur la gestion des intrants agricoles, 1995*. N° de catalogue 21F0009XPF. Ottawa (Ont.).

Chapitre 6. Risque d'érosion hydrique

Agriculture Canada. 1990. *Risque d'érosion hydrique : provinces*. Inventaire des sols du Canada, Direction générale de la recherche. Ottawa (Ont.).

Shelton, I.J. et G.J. Wall (dir. de publ.). 1998. *Indicateur des risques de dégradation des sols - Composante érosion : Risques d'érosion des sols au Canada*. Rapport n° 25 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Wall, G.J., E.A. Pringle, G.A. Padbury, H.W. Rees, L.P.J. van Vliet, C.T. Stushnoff, R.G. Eilers et J.-M. Cossette. 1995. « Érosion ». Pages 61–76 dans D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.). *La santé de nos sols - Vers une agriculture durable au Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Wall, G.J., D.R. Coote, E.A. Pringle et I.J. Shelton (dir. de publ.). 1997. *RUSLEFAC: Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 7. Risque d'érosion éolienne

Shelton, I.J. et G.J. Wall (dir. de publ.). 1998. *Indicateur des risques de dégradation des sols - Composante érosion : Risques d'érosion des sols au Canada*. Rapport n° 25 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Wall, G.J., E.A. Pringle, G.A. Padbury, H.W. Rees, L.P.J. van Vliet, C.T. Stushnoff, R.G. Eilers et J.-M. Cossette. 1995. « Érosion ». Pages 61–76 dans D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.). *La santé de nos sols - Vers une agriculture durable au Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 8. Risque d'érosion attribuable au travail du sol

Govers, G., K. Vandaele, P.J.J. Desmet, J. Poesen et K. Bunte. 1994. « The Role of Tillage in Soil Redistribution on Hillslopes ». *European Journal of Soil Science* 45 : 469–478.

Lobb, D.A et R.G. Kachanoski. 1999. « Modelling Tillage Erosion in the Topographically Complex Landscapes of Southwestern Ontario, Canada ». *Soil Tillage Research* 51 : 261–277.

Lobb, D.A., R.G. Kachanoski et M.H. Miller. 1995. « Tillage Translocation and Tillage Erosion on Shoulder Slope Landscape Positions Measured Using ¹³⁷Cs as a Tracer ». *Canadian Journal of Soil Science* 75(2) : 211–218.

Mech, S.J. et G.R. Free. 1942. « Movement of Soil during Tillage Operations ». *Agriculture Engineering* 23 : 379–382.

Shelton, I.J. et G.J. Wall (dir. de publ.). 1998. *Indicateur des risques de dégradation des sols - Composante érosion : Risques d'érosion des sols au Canada*. Rapport n° 25 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 9. Le carbone organique du sol

Gregorich, E. 1995. « Modification de la matière organique du sol ». Pages 41–50 dans D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.). *La santé de nos sols — Vers une agriculture durable au Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Smith, W.N., P. Rochette, C. Monreal, R.L. Desjardins, E. Pattey et A. Jacques. 1997. « The Rate of Carbon Change in Agricultural Soils in Canada at the Landscape Level ». *Canadian Journal of Soil Science* 77 : 219–229.

Smith, W., G. Wall, B. Macdonald et R. Desjardins. 1997. *Pilot Study Using the Century Model to Calculate Change in Soil Organic Carbon in Ontario Soils. Soil Degradation Risk Indicator, Organic Carbon Component*. Rapport n° 22 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 10. Risque de compactage du sol

Can-Ag Enterprises. 1988. *Assessment of Soil Compaction and Structural Degradation in the Lowland Clay Soils*. Rapport produit pour Agriculture Canada dans le cadre du Programme d'amélioration du milieu pédologique et aquatique. London (Ont.).

Conseil des sciences du Canada. 1986. *La dégradation du sol au Canada : un mal en progression*. Ottawa (Ont.).

Kay, B.D. 1990. « Rates of Change of Soil Structure under Different Cropping Systems ». Pages 1–52 dans B.A. Stewart (dir. de publ.). *Advances in Soil Science* (vol. 12). Springer-Verlag New York, Inc. New York, N.Y.

McBride, R.A., G.C. Watson et G. Wall. 1997. *Feasibility Study on the Development and Testing of Agri-Environmental Indicators of Soil Compaction Risk (Eastern Canada)*. *Soil Degradation Risk Indicator, Soil Compaction Component*. Rapport n° 23 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Topp, G.C., K.C. Wires, D.A. Angers, M.R. Carter, J.L.B. Culley, D.A. Holmstrom, B.D. Kay, G.P. Lafond, D.R. Langille, R.A. McBride, G.T. Patterson, E. Perfect, V. Rasiah, A.V. Rodd et K.T. Webb. 1995. « Modification de la structure du sol ». Pages 51–60 dans D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.). *La santé de nos sols — Vers une agriculture durable au Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 11. Risque de salinisation du sol

Eilers, R.G., W.D. Eilers et M.M. Fitzgerald. 1997. « A Salinity Risk Index for Soils of the Canadian Prairies ». *Hydrogeology Journal* 5 : 68–79.

Eilers, R.G., W.D. Eilers et M.M. Fitzgerald. 1996. *Soil Degradation Risk Indicator, Soil Salinity Risk Component*. Rapport n° 16 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Eilers, R.G., W.D. Eilers, W.W. Pettapiece et G. Lelyk. 1995. « Salinisation du sol ». Pages 77–86 dans D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.). *La santé de nos sols — Vers une agriculture durable au Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 12. Risque de contamination de l'eau par l'azote

Harker, B., K. Bolton, L. Townley-Smith et B. Bristol. 1997. *A Prairie-wide Perspective of Nonpoint Agricultural Effects on Water Quality*. Administration du rétablissement agricole des Prairies, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Regina (Sask.).

Linton, Jamie. 1997. *Beneath the Surface: The State of Water in Canada*. Fédération canadienne de la faune. Ottawa (Ont.).

MacDonald, K.B. et H. Spaling. 1995. *Indicateur des risques de contamination de l'eau : Concepts et principes*. Rapport n° 5 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

MacDonald, K.B. et H. Spaling. 1995. *Indicateur des risques de contamination de l'eau : Développement d'une méthode*. Rapport n° 6 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural de l'Alberta. 1998. *Agricultural Impacts on Water Quality in Alberta: An Initial Assessment*. Rapport produit dans le cadre de l'Entente Canada-Alberta pour un environnement durable. Lethbridge (Alb.).

Ministère des Pêches et de l'Environnement de l'Île-du-Prince-Édouard et Environnement Canada. 1996. *Water on Prince Edward Island: Understanding the Resource, Knowing the Issues*. Charlottetown (Î.-P.-É.).

Nener, J. 1997. *Watershed Stewardship: A Guide for Agriculture*. Ministère de l'Environnement, des Terres et des Parcs de la Colombie-Britannique et Pêches et Océans Canada. Victoria (C.-B.).

Painchaud, J. 1997. *La qualité de l'eau des rivières du Québec : État et tendances*. Ministère de l'Environnement et de la Faune. Québec (Qué.).

Reynolds, W.D., C.A. Campbell, C. Chang, C.M. Cho, J.H. Ewanek, R.G. Kachanoski, J.A. McLeod, P.H. Milburn, R.R. Simard, G.R.B. Webster et B.J. Zebarth. 1995. « Contamination agrochimique des eaux souterraines ». Pages 97–109 dans D.F. Acton et L.J. Gregorich (dir. de publ.). *La santé de nos sols — Vers une agriculture durable au Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 13. Risque de contamination de l'eau par le phosphore

Bolinder, M.A., R.R. Simard, A. Beauchemin et K.B. MacDonald. 1998. *Indicateur des risques de contamination de l'eau : méthodologie pour la composante phosphore*. Rapport n° 24 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Comité directeur de la stratégie de gestion de l'environnement pour le secteur porcin. 1997. *Stratégie de gestion de l'environnement pour le secteur porcin : analyse de situation*. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.). et Conseil canadien du porc. Ottawa (Ont.).

Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 1998. *Bassin versant de la rivière Boyer - La pollution agricole...il faut y voir sérieusement*. Saint-Laurent Vision 2000, préparé en collaboration avec le Groupe d'intervention pour la restauration de la Boyer (GIRB). Québec (Qué.).

Painchaud, J. 1997. « Substantial Progress Has Been Made in Quebec's Water Quality ». *Environmental Science and Engineering* 10 : 34–37.

Simard, R.R., G. Barnett, I. Royer et M.J. Garand. 1998. « Manure Phosphorus Fate in Soil and Water ». Pages 99-119 dans R. Blair, R. Rajamahendran, M. Mohan, L.S. Stephens et M.Y. Yang (dir. de publ.). 1998. *New Directions in Animal Production Systems*. Actes de l'assemblée annuelle de la Société canadienne de la science du sol, 5–8 juillet 1998. Vancouver (C.-B.).

Sims, J.T., R.R. Simard et B.C. Joern. 1998. « Phosphorus Loss in Agricultural Drainage: Historical Perspective and Current Research ». *Journal of Environmental Quality* 27 : 277–293.

U.S. Department of Agriculture–National Resource Service. 1994. *A Phosphorus Assessment Tool*. Technical Note 1901. Fort Worth, Texas.

Chapitre 14. Bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole

Desjardins, R.L. et S.P. Mathur. 1997. *Agroecosystem Greenhouse Gas Balance Indicator: Methane Emissions from Agroecosystems in Canada for the Years 1986 and 1991*. Rapport n° 21 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Janzen, H.H., R.L. Desjardins, J.M.R. Asselin et B. Grace. 1999. *La santé de l'air que nous respirons : vers une agriculture durable au Canada*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Publication 1981/F. Ottawa (Ont.).

Monteverde, C.A., R.L. Desjardins et E. Pattey. 1997. *Agroecosystem Greenhouse Gas Balance Indicator: Estimates of Nitrous Oxide Emissions From Agroecosystems in Canada for 1986 and 1991 Using the Revised 1996 IPCC/OECD Methodology*. Rapport n° 20 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Smith, W.N., P. Rochette, C. Monreal, R.L. Desjardins, E. Pattey et A. Jacques. 1995. *Agroecosystem Greenhouse Gas Balance Indicator: Carbon Dioxide Component*. Rapport n° 13 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Smith W., R.L. Desjardins et E. Pattey. 2000. « The Net Flux of Carbon from Agricultural Soils in Canada, 1970 to 2010 ». *Global Change Biology* (à l'impression).

Symbiotics Environmental Research and Consulting. 1996. *Inventory of Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Agriculture*. Rapport produit pour Agriculture et Agroalimentaire Canada et Environnement Canada. Ottawa (Ont.).

Chapitre 15. Disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles

Équipe d'évaluation scientifique de la biodiversité. 1994. *La biodiversité au Canada : évaluation scientifique pour Environnement Canada*. Environnement Canada. Ottawa (Ont.).

Lokemoen, J.T. et J.A. Beiser. 1997. « Bird Use and Nesting in Conventional, Minimum Tillage and Organic Cropland ». *Journal of Wildlife Management* 61(3) : 644–655.

Neave, P. et E. Neave. 1998. *Habitat and Habitat Availability Indicator*. Rapport technique produit dans le cadre du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux, Bureau de l'environnement, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Neave, P. et E. Neave. 1998. *Habitat Suitability Matrices*. Rapport technique produit dans le cadre du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux, Bureau de l'environnement, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Neave Resource Management. 1998. *Agroecosystem Biodiversity Indicator, Habitat Component: Review and Assessment of Concepts and Indicators of Wildlife and Habitat Availability in the Agricultural Landscape. Concept Paper*. Rapport n° 26 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Paul, E.H. et G.D. Robertson. 1989. « Ecology and the Agricultural Sciences : A False Dichotomy? » *Ecology* 70 : 1594–1597.

Chapitre 16. Azote résiduel

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 1998. « Gestion des éléments nutritifs ». *Les pratiques de gestion optimales*. Toronto (Ont.).

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 1994. « Gestion des éléments nutritifs ». *Les pratiques de gestion optimales*. Toronto (Ont.).

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario et Fertilizer Institute of Ontario. 1998. *Manuel sur la fertilité du sol*. Publication n° 611. Toronto (Ont.).

Secrétariat de l'Organisation de coopération et de développement économiques. 1999. *Indicateurs environnementaux pour l'agriculture : Méthodes et résultats* (titre non officiel). Volume 3. 2000. Paris, France.

Chapitre 17. Utilisation de l'énergie

Coxworth, E. 1997. *Energy Use Trends in Canadian Agriculture: 1990–96*. Centre canadien de données et d'analyse sur la consommation d'énergie dans le secteur de l'agriculture, Saskatoon (Sask.).

Narayanan, S. 1995. *Indicateur de l'efficacité de l'utilisation des intrants : engrais, pesticides et énergie*. Rapport n° 11 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Weseen, S., R. Lindenbach et A. Lefebvre. 1999. *Indicator of Energy Use Efficiency in Canadian Agriculture*. Rapport n° 28 du Projet sur les indicateurs agroenvironnementaux. Bureau de l'environnement, Direction générale des politiques, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Ottawa (Ont.).

Auteurs collaborateurs

S. (Suzanne) Beauchemin
AAC, Direction générale de la recherche
Sainte-Foy (Québec)
Courriel : beauchemins@em.agr.ca

M.A. (Martin) Bolinder
AAC, Direction générale de la recherche
Sainte-Foy (Québec)
Courriel : bolinderm@em.agr.ca

J.A. (Tony) Brierley
AAC, Direction générale de la recherche
Edmonton (Alberta)
Courriel : Tony.Brierley@agric.gov.ab.ca

J.-M. (Jean-Marc) Cossette
AAC, Direction générale de la recherche
Sainte-Foy (Québec)
Courriel : cossettejm@em.agr.ca

D. (Dave) Culver
AAC, Direction générale des politiques
Ottawa (Ontario)
Courriel : culverd@em.agr.ca

R. (Ray) Desjardins
AAC, Direction générale de la recherche
Ottawa (Ontario)
Courriel : desjardins@em.agr.ca

R.G. (Bob) Eilers
AAC, Direction générale de la recherche
Winnipeg (Manitoba)
Courriel : eilersr@em.agr.ca

W.D. (Warren) Eilers
AAC, Direction générale de la recherche
Saskatoon (Saskatchewan)
Courriel : eilersw@em.agr.ca

B.A. (Brenda) Grant (décédée)
Consultante
Guelph (Ontario)

L. J. (Joan) Gregorich
Consultante
Ottawa (Ontario)
Courriel : kaikoura@cyberus.ca

E. (Ted) Huffman
AAC, Direction générale de la recherche
Ottawa (Ontario)
Courriel : huffmant@em.agr.ca

P.J. (Pam) Joosse
Department of Land Resource Science
University of Guelph
Guelph (Ontario)
Courriel : pjoosse@uoguelph.ca

R. (Robert) Koroluk
AAC, Direction générale des politiques
Ottawa (Ontario)
Courriel : korolur@em.agr.ca

D.J. (Don) King
Consultant
Guelph (Ontario)
Courriel : donking@agtest.com

A. (Alexandre) Lefebvre
AAC, Direction générale des politiques
Ottawa (Ontario)
Courriel : lefebvre@em.agr.ca

D.A. (David) Lobb
Department of Soil Science
University of Manitoba
Winnipeg (Manitoba)
Courriel : lobbda@ms.umanitoba.ca

R.N. (Rhonda) Lindenbach
Centre canadien de données et d'analyse
sur la consommation d'énergie dans le secteur
de l'agriculture
Saskatoon (Saskatchewan)
Courriel : rnl117@mail.usask.ca

K.B. (Bruce) MacDonald
Consultant
Teeswater (Ontario)
Courriel : kbmacd@wcl.on.ca

R.J. (Bob) MacGregor
AAC, Direction générale des politiques
Ottawa (Ontario)
Courriel : macgrbo@em.agr.ca

R.A. (Ray) McBride
Department of Land Resource Science
University of Guelph
Guelph (Ontario)
Courriel : rmcbride@lrs.uoguelph.ca

T. (Terry) McRae
AAC, Direction générale des politiques
Ottawa (Ontario)
Courriel : mcraeta@em.agr.ca

P. (Peter) Neave
Consultant
Brockville (Ontario)
Courriel : neavee@igs.net

E. (Erin) Neave
Consultant
Brockville (Ontario)
Courriel : neavee@igs.net

G. (Glenn) Padbury
AAC, Direction générale de la recherche
Saskatoon (Saskatchewan)
Courriel : padburyg@em.agr.ca

H.W. (Herb) Rees
AAC, Direction générale de la recherche
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
Courriel : reesh@em.agr.ca

R. (Richard) Riznek
AAC, Direction générale de la recherche
Ottawa (Ontario)
Courriel : riznekr@em.agr.ca

T. (Troy) Riche
AAC, Administration du rétablissement
agricole des Prairies
Regina (Saskatchewan)
Courriel : richet@em.agr.ca

I.J. (Irene) Shelton
Consultante
Guelph (Ontario)
Courriel : Ishelton@uoguelph.ca

R.R. (Régis) Simard
AAC, Direction générale de la recherche
Sainte-Foy (Québec)
Courriel : simardr@em.agr.ca

C.A.S. (Scott) Smith
AAC, Direction générale de la recherche
Summerland (Colombie-Britannique)
Courriel : smithcas@em.agr.ca

W.N. (Ward) Smith
Consultant
Ottawa (Ontario)
Courriel : smithw@comnet.ca

C. (Colette) Stushnoff
Saskatchewan Centre for Soil Research
Saskatoon (Saskatchewan)
Courriel : fort.trail@sk.sympatica.ca

J. H. (Joe) Tajek
Consultant
Edmonton (Alberta)
Courriel : Tajekjh@icrossroads.com

L.J.P. (Laurens) van Vliet
AAC, Direction générale de la recherche
Agassiz (Colombie-Britannique)
Courriel : vanvlietl@em.agr.ca

G.J. (Greg) Wall
Consultant
Guelph (Ontario)
Courriel : gwall@uoguelph.ca

T. (Ted) Weins
AAC, Administration du rétablissement
agricole des Prairies
Regina (Saskatchewan)
Courriel : weinst@em.agr.ca

S. (Simon) Weseen
Centre canadien de données et d'analyse
sur la consommation d'énergie dans le secteur
de l'agriculture
Saskatoon (Saskatchewan)
Courriel : asw126@mail.usask.ca

Remerciements

Pour produire un document d'une telle envergure et d'une telle complexité, il faut nécessairement compter sur les idées et le soutien d'un grand nombre de personnes et d'organismes. Les auteurs des divers chapitres du présent rapport et les responsables de la publication désirent remercier les personnes et les groupes suivants de leur contribution.

Les membres du Comité de gestion d'Agriculture et Agroalimentaire Canada ont assuré le soutien constant en matière de gestion nécessaire à l'exécution du projet des indicateurs agroenvironnementaux. De même, des gestionnaires hiérarchiques de la Direction générale de la recherche et d'autres services du Ministère, dont le personnel a participé directement à l'exécution du projet, ont également apporté un soutien financier et autre. Il convient de souligner de façon particulière l'appui que nous ont assuré certains de ces collaborateurs et le rôle de premier plan qu'ils ont joué : Richard Asselin, John Culley, Christian De Kimpe et Gordon Neish, de la Direction générale de la Recherche; Brian Davey, Christine Nymark et Michael Presley, de la Direction générale des politiques; Bill Harron et Tim Wright, de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies.

Nous remercions toutes les personnes qui ont participé aux ateliers nationaux sur les indicateurs agroenvironnementaux tenus en décembre 1993 et en février 1995. Les délibérations des participants ont contribué à orienter le choix d'un cadre conceptuel et d'indicateurs environnementaux convenant au contexte agricole canadien.

Le Comité consultatif sur les indicateurs agroenvironnementaux, formé en 1995, a fourni de très précieux conseils concernant la mise au point, la diffusion, l'interprétation et l'examen des indicateurs et il a participé activement à toutes les étapes de la rédaction du présent rapport. Au stade de l'examen du rapport, le Comité s'est appuyé sur le savoir-faire d'agriculteurs, d'universitaires, de spécialistes de l'environnement et d'organismes gouvernementaux pour contribuer à produire un document au contenu objectif et équilibré. Nous remercions les anciens membres et les membres actuels du Comité :

Ron Bertrand, ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique
Marie Boehm, *University of Saskatchewan*
Karen Cannon, ministère de l'Agriculture de l'Alberta
Denis Chartrand, Statistique Canada
Doug Chekay, Canards Illimités Canada
Jim Farrell, Institut canadien des engrais
Jamie Fortune, Habitat faunique Canada
Gordon Hamblin, Comité national de l'environnement agricole
Anne Kerr, Environnement Canada
Mike Langman, ministère de l'Agriculture de la Nouvelle-Écosse
David Lobb, *University of Manitoba*
Alfred Marquis, Université Laval
Judy Shaw, Institut canadien pour la protection des cultures
Garth Sundeen, Fédération canadienne de l'agriculture
Gordon Surgeoner, *University of Guelph*
Sylvio Tessier, ministère de l'Agriculture du Manitoba
Steve Thompson, Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie
Rhonda Wehrhan, ministère de l'Agriculture de l'Alberta
Jeff Wilson, Comité national de l'environnement agricole

Plusieurs autres personnes ont apporté une précieuse contribution en cours de route. Kevin Parris a permis d'établir des liens avec les travaux connexes menés au sein de l'Organisation de coopération et de développement économiques et dans ses pays membres. Pour sa part, Norah Hillary, de la Division de l'agriculture de Statistique Canada, a participé aux premiers stades des travaux. Pierre Beaudet, Céline Boutin, Ken Brock, Allan Cessna, Rob Cross, Jane Elliot, Gordon Fairchild, John Henning, Don MacIver, Dennis O'Farrell, Lazlo Pinter, Garth van der Kamp et Roger Street ont formulé des commentaires sur les versions préliminaires de plusieurs chapitres.

Des services de traitement de données et de cartographie ont été assurés par des membres du personnel du Système d'information sur le sol du Canada, d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, soit Stan Alward, Bryan Monette, Debbie Pagurek et André Villeneuve. Ted Huffman, Peter Schut et Rosemary Villani ont assuré le traitement des données propres aux secteurs de dénombrement du *Recensement de l'agriculture* en vue de leur utilisation pour produire l'information nécessaire. Josephine Archbold a compilé les données entrant dans des graphiques de plusieurs chapitres. Gerry Rakabowchuk et Hilary Girt ont fourni un soutien aux plans de la production et des communications aux derniers stades de la réalisation du rapport. Michel Boyer a assuré les services de conception graphique du document.

Bien que tout ait été mis en oeuvre pour assurer une présentation exacte de l'information fournie par les participants aux travaux, il pourrait arriver que des erreurs, des omissions ou des inexactitudes soient décelées. Le cas échéant, les rédacteurs principaux, Terence McRae et Scott Smith, en assument la responsabilité.

Enfin, les auteurs des différents chapitres remercient les personnes suivantes pour leur assistance.

Chapitre 2. Étude et évaluation de l'agriculture écologiquement durable

Tous les auteurs ont fourni de l'information sur les limites de leur indicateur respectif et sur les problèmes d'interprétation. L'apport de K.B. MacDonald, de P. Schut et d'E. Huffman et les échanges avec ceux-ci ont été particulièrement utiles à cet égard. P. Schut a fourni les données du tableau 2-2 et des résumés présentés dans l'encadré intitulé « Les écozones terrestres du Canada ».

Chapitre 3. Facteurs influant sur l'agriculture écologiquement durable

D. Trant et T. Pidgeon ont fourni de la documentation qui a servi à la rédaction de ce chapitre tandis que G. Surgeoner, A. Kerr et G. Hamblin ont formulé de précieux commentaires sur les versions préliminaires.

Chapitre 4. Degré de couverture des sols par les cultures et les résidus de culture

J. Mukezangango a structuré et analysé les données sur les jours sans couverture du sol, les cultures et le travail du sol. D.R. Coote a contribué à l'informatisation des données destinées à la production des tableaux des jours sans couverture du sol, et ses collègues ont participé à la compilation et à la validation des données sur la couverture du sol qui ont également servi à produire ces tableaux.

Chapitre 5. Gestion des intrants agricoles - Éléments nutritifs et pesticides

N. Hillary, de Statistique Canada, et M. Spearin, d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, ont aidé à la conception de l'Enquête sur la gestion des intrants agricoles et ont fourni des commentaires sur les versions préliminaires du chapitre. C. Boutin, d'Environnement Canada, et G. Fairchild, du Centre de conservation des sols et des eaux de l'Est, ont assuré la révision de la version définitive.

Chapitre 6. Risque d'érosion hydrique

F. Wang et P. Clarke ont apporté une assistance technique pour la production de ce chapitre.

Chapitre 7. Risque d'érosion éolienne

P. Krug, de l'University of Saskatchewan, a prêté assistance aux responsables de la recherche tandis que M. Black et D. Haak, de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies, ont révisé la version définitive et ont formulé des commentaires critiques et des suggestions touchant la présentation.

Chapitre 8. Risque d'érosion attribuable au travail du sol

F. Wang et P. Clarke ont apporté une assistance technique pour la production de ce chapitre.

Chapitre 10. Risque de tassement du sol

G. Watson et R. Gray ont participé à l'analyse des données SIG et aidé à rassembler les rapports techniques sur lesquels repose ce chapitre. I. Shelton a fourni les données du *Recensement de l'agriculture* liées aux polygones des *Pédo-paysages du Canada*.

Chapitre 11. Risque de salinisation du sol

G. Lelyk a fourni la documentation cartographique ainsi qu'un soutien relatif au SIG et à l'analyse des données. M.M. Fitzgerald, D. Acton et D. Wentz ont révisé le manuscrit et aidé à l'interprétation des résultats. V. Klassen et H. Stepphun ont révisé le manuscrit.

Chapitre 12. Risque de contamination de l'eau par l'azote

La méthodologie élaborée pour l'établissement de cet indicateur est le fruit de la collaboration des membres de l'équipe technique : P. Milburn, R. Simard, B. Bowman, C. Chang et B. Zebarth. T. Wright a formulé d'utiles suggestions. H. Spaling, F. Wang, B. Gleig, P. Schut et A. Couturier ont assuré un soutien technique. J. Harapiak, T. Bruulsma et J. Farrell ont révisé le manuscrit et apporté de précieuses suggestions. La décision d'utiliser 1996 comme année de référence pour le calcul des changements est due à S. Smith.

Chapitre 13. Risque de contamination de l'eau par le phosphore

P. Milburn, B. Bowman, C. Chang et B. Zebarth ont contribué à la rédaction de ce chapitre. F. Wang et B. Gleig ont apporté leur assistance pour l'analyse des données SIG et la préparation des cartes. R. Michaud, du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, a assuré l'accès aux données de l'étude provinciale des sols. L. Lamontagne et M. Nolin ont fourni de l'information sur l'ensemble de données de cette étude et ont adapté celles-ci pour faciliter le jumelage avec la base de données SIG. J. Painchaud, du ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, et P. Beaudet, du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, ont formulé des commentaires sur une version préliminaire de ce chapitre.

Chapitre 14. Bilan des gaz à effet de serre d'origine agricole

De nombreux collaborateurs de toutes les régions du Canada ont participé à l'estimation des émissions de gaz à effet de serre. Nous avons également bénéficié de l'assistance de E. Coxworth, N. Erikson, B. Grant, H. Janzen, S. Kaharabata, J. Liu, L. MacPherson, C. Merrill, E. Pattey, P. Rochette et W. Smith, ainsi que de l'aide financière du Groupe interministériel de recherche et d'exploration énergétiques.

Chapitre 15. Disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles

Un grand nombre de personnes ont contribué à l'élaboration de l'indicateur de la disponibilité de l'habitat faunique sur les terres agricoles, en particulier : K. Belcher, du *Centre for Studies in Agriculture, Law and the Environment (University of Saskatchewan)*; C. Boutin, du Centre national de la recherche faunique; B. Bristol et H. Cook, de l'Administration du rétablissement agricole des Prairies; J. Fisher, de la station de recherche sur la sauvagine et les milieux humides du Delta; A. Gerry et M. Killaby, du *Saskatchewan Conservation Data Centre*; K. Mazur, du programme Partenaires d'envol-Canada au Manitoba; G. McMaster, de la *Saskatchewan Wetland Conservation Corporation*.

Chapitre 16. Azote résiduel

La méthodologie mise au point pour cet indicateur est le fruit du travail d'une équipe technique composée des personnes suivantes : P. Milburn, R. Simard, B. Bowman, C. Chang et B. Zebarth. Nous avons bénéficié de précieuses suggestions de T. Wright et de l'appui technique de H. Spaling, F. Wang, B. Gleig, P. Schut et A. Couturier. J. Harapiak, T. Bruulsma et J. Farrell ont également fourni d'utiles suggestions à l'occasion de la révision du manuscrit. La décision d'utiliser 1996 comme année de référence pour le calcul des changements est due à S. Smith.

Chapitre 17. Utilisation de l'énergie

L'analyse présentée dans ce chapitre repose sur des données réunies et soumises à une analyse préliminaire par S. Weseen, R. Lindenbach, A. Lefebvre et S. Narayanan dans le cadre du projet des indicateurs agroenvironnementaux. La recherche entreprise par S. Weseen et d'autres collaborateurs a été menée au *Canadian Agricultural Energy End-Use Data and Analysis Centre (Centre for Studies in Agriculture, Law and the Environment, University of Saskatchewan)*. La majeure partie des données nécessaires à ces analyses est conservée à cet endroit. L'analyse réalisée par S. Narayanan était basée en grande partie sur la recherche sur la productivité effectuée actuellement par la Direction générale des politiques d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Chapitre 18. Analyse régionale de l'agriculture écologiquement durable

J. Archbold a rassemblé l'information par région. P. Milburn, R. Simard, M. Bolinder, E. Huffman, G. Padbury, B. Zebarth et L. van Vliet ont révisé le manuscrit et formulé des commentaires utiles.

Chapitre 19. Conclusion

Les membres du Comité consultatif sur les indicateurs agroenvironnementaux ont assuré la révision des versions préliminaires de ce chapitre et ont fait d'utiles commentaires. De même, M. Presley et H. Migie ont formulé des suggestions utiles.