

8.0 Conclusions

8.1. La problématique

L'azote (N) et le phosphore (P) sont des ressources naturelles qui font l'objet d'une forte concurrence dans les écosystèmes terrestres et aquatiques peu touchés par l'activité humaine. Jusqu'à récemment, l'apport d'azote et de phosphore à la plupart des végétaux et, en bout de ligne, aux animaux, était limité. L'azote gazeux, qui représente la plus importante source de cet élément, pouvait être utilisé par les plantes seulement lorsqu'il était fixé par certaines bactéries ou certaines algues dans des composés à base d'ammonium ou de nitrates. De même, les minéraux phosphorés, qui constituent la principale source de phosphore, ne devenaient disponibles qu'à la suite d'une transformation par les agents atmosphériques. Dès lors, l'azote et le phosphore étaient des éléments nutritifs qui limitaient la croissance des cellules dans la plupart des écosystèmes avant le peuplement par l'homme et l'avènement de l'agriculture. Qui plus est, comme ces deux éléments étaient très en demande, ils étaient stockés et recyclés tout près des lieux où ils étaient prélevés. Le phénomène touchait autant les végétaux que les animaux, y compris l'homme, car, avant l'urbanisation, les déjections du bétail et des êtres humains retournaient dans le sol, de sorte que les éléments nutritifs étaient recyclés et que la fertilité du sol était maintenue.

Or, au cours des dernières décennies, la quantité d'azote et de phosphore pouvant être assimilée par les plantes a augmenté considérablement. Les causes du phénomène sont l'accroissement majeur du recours aux engrais, l'utilisation de combustibles fossiles, l'aménagement de grands centres urbains et l'expansion des activités de défrichage et de déboisement. Ainsi, depuis les années 1940, la quantité d'azote disponible a plus que doublé, et les activités humaines représentent 210 millions de tonnes par année dans l'apport d'azote à l'échelle planétaire alors que les processus naturels contribuent pour seulement 140 millions de tonnes par année (Vitousek et al. 1997). Dans le même ordre d'idées, la transformation naturelle des roches phosphorées par les agents météorologiques a cédé le pas à l'activité minière en tant que source de phosphore: chaque année, environ 140 millions de tonnes de ces roches font l'objet d'une exploitation minière.

Cet afflux d'éléments nutritifs a perturbé les cycles naturels de l'azote et du phosphore. Désormais, un système sans recyclage domine, alors qu'autrefois, on épandait les déjections animales et humaines sur les terres agricoles, ce qui avait pour effet de recycler les éléments nutritifs. Ainsi, les phosphates extraits des roches soumises à l'exploitation minière et l'azote inorganique fixé à partir de l'azote gazeux utilisé dans des procédés industriels sont appliqués sur des terres agricoles ou intégrés aux aliments du bétail. Les éléments nutritifs contenus dans ces aliments passent de la ferme à la ville, où la majeure partie finissent soit à des sites d'enfouissement (boues d'épuration et cendres d'incinération), soit dans les eaux de surface ou souterraines. L'azote et le phosphore réactifs dégagés dans l'atmosphère à la suite des activités agricoles et industrielles — et, dans le cas de l'azote, comme sous-produits du chauffage domiciliaire et de la combustion de carburant par les véhicules à moteur — se déposent à des centaines ou des milliers de kilomètres de distance.

Ce processus d'utilisation des éléments nutritifs d'où le recyclage est absent n'est pas viable économiquement. Ainsi, dans le cas du phosphore, les réserves connues de roches phosphatées exploitables représentent environ 3,6 à 8 milliards de tonnes de P_2O_5 , et de 11 à 22 milliards de tonnes supplémentaires de P_2O_5 pourraient être extraites si l'on consentait les investissements nécessaires (Steen 1998). Au taux de consommation courant (31 millions de tonnes de P_2O_5 en 1995-1996) et en tenant compte de l'intensification de l'agriculture dans les pays en développement, les réserves actuelles présentant un intérêt économique pourraient être épuisées d'ici cent ans (Steen 1998). Il convient de noter également que les réserves de phosphates à teneur élevée sont déjà épuisées à certains endroits et que la qualité des roches phosphatées utilisées est en baisse à l'échelle mondiale (c.-à-d. que ces roches sont plus pauvres en phosphore et plus riches en contaminants, en particulier les métaux lourds, le fer et l'aluminium) (Steen 1998).

Outre les conséquences économiques de la rupture du recyclage des éléments nutritifs, les apports d'azote et de phosphore biodisponibles aux écosystèmes de la Terre pourraient avoir de graves répercussions environnementales. À l'échelle planétaire, un des problèmes causés par les charges excessives d'azote sur lequel il existe le plus d'information est l'eutrophisation des estuaires et des mers littorales (Nixon 1996). L'eutrophisation des eaux côtières a accru l'anoxie et l'hypoxie, réduit les quantités d'herbes marines, altéré des réseaux trophiques, affecté la biodiversité et fait augmenter l'incidence de proliférations d'algues nuisibles (Howarth 1993). Dans un rapport publié récemment, la National Academy of Sciences des États-Unis conclut que l'enrichissement en éléments nutritifs serait le problème le plus aigu observé dans de nombreux écosystèmes estuariens et marins (Boland et al. 1993). Par ailleurs, les apports de phosphore d'origine anthropique ont intensifié l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques dans la majeure partie du monde (Caraco 1993).

8.2. Les effets des éléments nutritifs sur l'environnement au Canada

De toute évidence, les éléments nutritifs causent des problèmes dans certains écosystèmes au Canada. Ces problèmes ne sont pas encore aussi graves et n'ont pas encore une aussi grande portée géographique ici que dans les pays dont les peuplements humains et la production agricole datent de plus longtemps, notamment beaucoup de pays d'Europe. Notre évaluation des effets des éléments nutritifs d'origine anthropique sur les écosystèmes au Canada a révélé que nos écosystèmes aquatiques (lacs, cours d'eau, eaux douces, milieux humides côtiers, eaux littorales) comptent parmi ceux qui reçoivent les plus grandes quantités d'éléments nutritifs et qui sont le plus affectés par celles-ci. En général, l'apport d'éléments nutritifs dans les eaux intérieures suscite une réaction en deux phases. Ainsi, un apport modéré à des eaux relativement pauvres en éléments nutritifs stimule la productivité des plantes et des animaux aquatiques et accroît la biodiversité (tableau 4.6). Toutefois, à longue échéance, les éléments nutritifs entraînent une croissance excessive des plantes aquatiques, la perte d'espèces végétales (en particulier d'espèces rares), la raréfaction de l'oxygène ainsi que des modifications néfastes des effectifs et de la diversité des espèces d'invertébrés aquatiques, de poissons, voire d'oiseaux et de mammifères qui dépendent des habitats aquatiques. De plus, dans toutes les régions du Canada, les eaux souterraines présentent une teneur élevée en azote qui pose des risques pour la santé des personnes qui en consomment et peut contribuer à l'eutrophisation des eaux de surface (tableau 4.6). Bien que les concentrations d'azote soient également élevées dans l'atmosphère, les incidences environnementales du dépôt atmosphérique de cet élément ne sont pas aussi profondes que celles des charges imposées aux eaux de surface. Ainsi, le dépôt atmosphérique d'azote inorganique est plus important dans l'est que dans l'ouest du pays (à l'est de la frontière entre

le Manitoba et l'Ontario), et l'on a observé que la productivité a augmenté dans certaines forêts où les apports d'azote sont limités et que certains bassins hydrographiques forestiers du centre de l'Ontario et du sud du Québec seront bientôt saturés en azote (tableau 4.6).

Notre évaluation des données scientifiques disponibles nous permet d'affirmer hors de tout doute que les charges d'azote et de phosphore résultant d'activités humaines ont:

- accéléré l'eutrophisation de certains cours d'eau, lacs et milieux humides au Canada et ainsi entraîné des pertes d'habitat, dans certains cas réduit le potentiel récréatif et modifié la biodiversité (figure 4.10, tableau 4.6);
- fait augmenter partout au pays la fréquence et la portée géographique des cas de dépassement, dans les eaux souterraines, des limites fixées pour les nitrates dans les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada et imposé un fardeau économique aux citoyens qui doivent transporter l'eau de consommation domestique à partir de sources éloignées (tableau 5.10);
- causé, et causent encore, la mort de poissons par intoxication à l'ammoniac dans le sud-ouest de l'Ontario (tableaux 5.7 et 5.8 et encadré intitulé « Exploitation agricole, pollution de l'eau et mortalité massive de poissons dans le sud-ouest de l'Ontario » section 5.2);
- contribué à la chute des populations d'amphibiens dans le sud de l'Ontario à cause de l'exposition sur de longues périodes à de fortes concentrations de nitrates (encadré intitulé « Les fortes concentrations de nitrate menacent-elles le développement des amphibiens? », section 5.2);
- accru les risques pour la santé humaine en raison de l'accroissement de la fréquence et de l'étendue spatiale des proliférations d'algues toxiques dans les lacs et les secteurs côtiers (encadré intitulé « La contamination des moules – Une tragédie pour l'Île-du-Prince-Édouard », section 5.2);
- contribué à l'acidification des sols et des lacs dans le sud de l'Ontario et du Québec et entraîné la saturation en azote de certains bassins hydrographiques forestiers (section 4.1);
- haussé la production de carbone dans les forêts à cause des dépôts d'azote (section 4.1) (toutefois, on ne sait pas encore avec certitude si les gains de productivité attribuables à l'augmentation des dépôts d'azote, concomitante avec le réchauffement du climat et les fortes concentrations de CO₂ dans l'atmosphère, ont contrebalancé les pertes en carbone dues à la récolte de bois, aux feux de forêt et à la mortalité causée par les insectes);
- fait croître les concentrations d'oxyde nitreux (N₂O), un puissant gaz à effet de serre, ce qui a favorisé la formation de smog photochimique dans certaines villes du Canada (section 2.1);
- contribué à susciter des inquiétudes relatives à la qualité de vie des Canadiens en nuisant à certaines utilisations des ressources en eau (croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques; tableau 4.6), aux aspects esthétiques de l'eau (goût et odeur) sous l'effet notamment des géosmines et de 2-méthylisobornéol (section 4.2) et à la contamination de l'eau (par exemple par des nitrates et des trihalométhanes produits par la désinfection d'eau contenant des matières organiques) (section 5.3);
- accru le fardeau économique imposé aux Canadiens parce qu'il faut traiter, surveiller et assainir l'eau contaminée (section 6.1).

8.3. Sources des charges d'éléments nutritifs des eaux de surface et souterraines au Canada

Eaux usées municipales

Les eaux usées municipales constituent la plus importante source ponctuelle de l'azote et du phosphore introduits dans l'environnement au Canada (tableau 3.19). En 1996, quelque 6 000 tonnes de phosphore total et 80 000 tonnes d'azote total ont été rejetées dans des lacs, des cours d'eau et des eaux côtières par les eaux vannes d'origine domestique. Cela s'est produit malgré le fait que 73% des Canadiens étaient desservis par des réseaux d'égout municipaux et que 94% des eaux usées recueillies dans ces réseaux ont fait l'objet d'un traitement primaire ou d'un traitement plus poussé.

Ces dernières années, les rejets de phosphore à partir des installations municipales de traitement des eaux usées (IMTEU) ont diminué tandis que les rejets d'azote à partir des mêmes sources ont augmenté. En 1996, les rejets de phosphore étaient inférieurs de 37% à ceux de 1983 et de 20% à ceux de 1991. Cette tendance est attribuable à l'installation de systèmes évolués de retrait du phosphore dans de nombreuses IMTEU dont les effluents s'écoulent dans des eaux intérieures. Par contre, dans la plupart des cas, les eaux usées municipales rejetées dans des eaux côtières ne sont pas traitées ou font seulement l'objet d'un traitement primaire. En conséquence, les charges de phosphore imposées aux eaux côtières de l'Atlantique et du Pacifique sont demeurées constantes ou ont augmenté dans les régions caractérisées par une croissance démographique. Il est rare qu'on pratique le retrait de l'azote dans les IMTEU au Canada, car la technologie nécessaire nécessite l'engagement d'importants coûts d'infrastructure et la croissance des cellules est limitée par le phosphore dans la majeure partie des eaux douces. Dès lors, l'apport d'azote dans les eaux de surface a augmenté à la suite des expansions démographiques: en 1996, il était de 17% plus élevé qu'en 1983 et de 7% plus élevé qu'en 1991.

Il peut arriver, à l'occasion, que les IMTEU rejettent des eaux d'égout non traitées. Dans la plupart des provinces, cela est interdit, sauf en cas d'urgence, notamment pour empêcher l'inondation d'habitations, prévenir le bris de matériel d'IMTEU et éviter que des matières solides soient emportées par les eaux. Selon des données recueillies en Ontario pour 1991, 37% des IMTEU de cette province ont rejeté des eaux d'égout non traitées, et le volume de ces eaux représentait 0,6% du volume total des eaux traitées. Or ces eaux non traitées, quel qu'en soit le volume, revêtent un grand intérêt, car leur teneur en phosphore est environ dix fois plus élevée que celle des eaux usées traitées.

La plupart des Canadiens sont desservis par des IMTEU, mais environ 25% de la population utilise des fosses septiques. Ces dernières installations étaient conçues à l'origine pour des habitations situées à grande distance les unes des autres. Cependant, de nos jours, il existe en beaucoup d'endroits au pays, notamment dans la vallée inférieure du Fraser, un nombre de fosses septiques dépassant la capacité d'accueil. En outre, les vieux systèmes ne sont pas toujours entretenus convenablement et certains n'ont pas été installés à un endroit approprié. En général, les fosses septiques retiennent environ 20 à 55% de l'azote et 25 à 40% du phosphore qui y entrent, et une quantité supplémentaire de phosphore est retenue dans le champ d'épandage (Ryding et Rast 1989). Sur la base de la population de 1996, environ 1 900 tonnes de phosphore et 15 000 tonnes d'azote se sont échappées des systèmes septiques. L'azote et le phosphore ainsi libérés peuvent gagner les eaux souterraines et, de là, les eaux de surface.

La majeure partie des quantités d'azote et de phosphore contenues dans les eaux usées d'origine domestique provient des eaux vannes. Dans le cas de l'azote, plus de 90% de la charge d'origine domestique provient des matières fécales et des urines. Pour leur part, les sources de phosphore sont plus variées. L'analyse des données de 1996 a révélé que les eaux vannes représentaient la majeure partie des charges de phosphore des eaux usées municipales au Canada, devant les eaux usées des établissements commerciaux et industriels.

Rejets à partir des égouts municipaux

Dans les zones urbaines, les eaux de fonte des neiges ou les eaux pluviales s'introduisent dans les réseaux d'égout. Les réseaux construits avant le début des années 1940, appelés réseaux unitaires, recueillent les eaux d'égout brutes et les eaux pluviales. Lorsque les volumes d'eau de fonte ou d'eau pluviale dépassent la capacité du réseau d'égout ou de l'IMTEU (trop-plein d'égouts unitaires), ceux-ci sont rejetés dans des cours d'eau, des lacs ou des eaux côtières. Quant aux centres urbains qui ont vu le jour depuis les années 1950, ils sont généralement dotés de deux réseaux d'égout, un qui recueille les eaux d'égout brutes (c.-à-d. le réseau d'égout sanitaire) et l'autre, les eaux pluviales (c.-à-d. le réseau d'égout pluvial). La quantité et la qualité des trop-pleins d'égouts unitaires et des eaux pluviales varient dans le temps et d'une région à l'autre et elles ne font pas l'objet de mesures régulières. En règle générale, les trop-pleins d'égouts unitaires représentent environ 5% du volume annuel des effluents des IMTEU à l'échelle nationale. Ils sont généralement plus dilués que les eaux d'égout brutes, mais leur teneur en éléments nutritifs est habituellement supérieure à celle des eaux pluviales ou des eaux usées traitées. Bien que leur volume soit comparable aux 4 300 millions de mètres cubes d'eaux usées sortant chaque année des IMTEU, les eaux pluviales sont rejetées seulement lorsqu'il y a des précipitations. La majeure partie de l'azote et du phosphore qu'on trouve dans les trop-pleins d'égouts unitaires et les eaux pluviales se présente sous forme de particules, de sorte qu'elle ne contribue pas directement à l'eutrophisation; ses effets les plus immédiats sont l'érosion des rives et l'accroissement de la turbidité et de la numération bactérienne des plans d'eau récepteurs.

Eaux usées industrielles

La plupart des établissements du secteur de l'industrie légère rejettent leurs eaux usées dans des réseaux municipaux, qui les acheminent vers les IMTEU. Ces établissements ne sont donc pas nécessairement tenus de faire rapport sur la qualité de leurs eaux usées. Toutefois, il existe dans certaines municipalités des règlements relatifs aux caractéristiques des effluents industriels rejetés dans les réseaux d'égout. Les IMTEU sont conçues pour réduire la contamination bactérienne et la demande biochimique en oxygène, supprimer la majeure partie du phosphore et, dans certains cas, convertir l'ammoniac en nitrate. Dans le cas de nombreux déchets industriels, elles ne peuvent faire guère mieux que les volatiliser ou les diluer.

Les établissements industriels qui ne sont pas desservis par un réseau d'égout municipal doivent obtenir un permis d'évacuation délivré par les autorités de la province ou du territoire où ils se trouvent (dans les territoires, il s'agit d'un domaine de compétence fédérale à moins que la responsabilité ait été dévolue au gouvernement territorial). Ce permis peut être assorti de conditions afférentes au volume et/ou à la qualité des eaux usées pouvant être rejetées.

Il est impossible de comparer les charges d'azote et de phosphore provenant des différentes régions et des différents secteurs d'activité parce que certaines provinces n'ont pas fourni de données sur les eaux usées industrielles et que certains établissements industriels ne sont pas tenus de mesurer la teneur en éléments nutritifs de leurs eaux usées. Au Canada, les établissements industriels détenteurs d'un permis rejettent au moins 2 048 tonnes de phosphore total, 7 588 tonnes d'azote sous forme de nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) et 4 231 tonnes d'azote sous forme d'ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) par année dans les eaux de surface (figure 3.6).

Eaux de ruissellement et de lixiviation d'origine agricole

Selon des bilans des éléments nutritifs, en 1996 au Canada, respectivement 89 et 87% des apports d'azote et de phosphore sur les terres agricoles par le biais du fumier, des engrais et, dans le cas de l'azote, du dépôt atmosphérique et de la fixation par les légumineuses, ont été retirées lors des récoltes. Les quantités qui sont demeurées sur les champs (c.-à-d. la différence entre les intrants et les extrants) représentent un surplus. Exprimé en fonction de la superficie, le surplus d'azote enregistré au Canada en 1996 totalisait 4,3 kg/ha pour l'ensemble des terres agricoles (68 millions d'hectares) ou 8,4 kg/ha pour les terres cultivées (35 millions d'hectares). En ce qui a trait au phosphore, le surplus correspondant enregistré au Canada cette même année était respectivement de 0,8 et de 1,6 kg/ha. Il convient de noter cependant qu'il s'agit de moyennes et qu'il peut se produire des surplus ou des déficits d'azote à l'échelle locale ou régionale. Ainsi, une analyse récente a révélé la présence de ≥ 41 kg/ha d'azote résiduel sur les terres agricoles dans les régions suivantes: vallée inférieure du Fraser, en Colombie-Britannique; corridor de terres agricoles allant de Lethbridge à travers Red Deer à Edmonton, en Alberta; région de Melfort, dans le nord-est de la Saskatchewan; vallée de la rivière Rouge, au Manitoba; région bordant le lac Simcoe et la vallée inférieure de l'Outaouais, dans le sud-ouest de l'Ontario; basses terres du Saint-Laurent, au Québec; région située au sud de Québec; vallée de l'Annapolis, en Nouvelle-Écosse; vallée de la rivière Saint-Jean, au Nouveau-Brunswick (MacDonald 2000a).

Seulement une partie des surplus d'azote ou de phosphore mesurés dans un champ s'introduit dans le sol ou les eaux de surface voisines. Bien qu'il n'existe pas d'estimations à l'échelle nationale des apports d'éléments nutritifs dans les eaux de surface et souterraines à partir des terres agricoles, une évaluation récente des pertes d'azote à partir des terres agricoles dont les sols présentent un surplus d'eau laisse prévoir que 17% des terres de l'Ontario, 6% de celles du Québec et 3% de celles des provinces atlantiques produiront des eaux de ruissellement ou d'infiltration contenant plus de 14 mg/L d'azote (Macdonald 2000b). En Colombie-Britannique, 5% des terres agricoles présentent un surplus d'eau, et il est prévu que 69% de leur superficie totale produiront des eaux de ruissellement ou d'infiltration ayant une teneur en azote dépassant 14 mg/L. L'information sur les pertes de phosphore à partir des terres agricoles au Canada n'est pas encore disponible.

On a décelé d'autres sources agricoles d'éléments nutritifs introduits dans les eaux de surface : rejets de laiteries qui gagnent des cours d'eau par des tuyaux de drainage; accès illimité de bestiaux aux cours d'eau; érosion de rives de cours d'eau par le piétinement du bétail ou le travail du sol; déchets de serre. Les apports d'aliments et les résidus dans les parcs d'engraissement du bétail, en particulier, présentent une concentration sans précédent d'éléments nutritifs sur de petites surfaces. Il existe peu de données d'échelle régionale et pas de données d'échelle nationale sur ces types de pertes d'éléments nutritifs.

Rejets liés à l'aquaculture et aux activités de mise en valeur des pêches

Les rejets d'éléments nutritifs à partir des installations aquacoles résultent de l'excrétion de résidus dissous ou solides d'aliments non consommés. Outre le nombre de poissons produits, la quantité et la qualité des aliments sont les principaux facteurs qui influent sur le rejet d'éléments nutritifs par le biais des résidus d'alimentation et des excréments (Persson 1991; Cho et Bureau 1997). Les émissions à partir des effluents d'aquaculture en réservoir ou en bassin et le traitement de ces effluents sont assujettis aux lois provinciales; la pisciculture en cage, pratiquée directement dans des plans d'eau, est plus inquiétante. Contrairement aux déchets des parcs d'engraissement et des activités agricoles, dont les responsables subissent depuis des décennies des pressions visant à réduire la pollution de l'eau par les éléments nutritifs, les résidus de l'aquaculture en cage sont rejetés directement dans les écosystèmes aquatiques où se trouvent les installations.

En 1996, les installations aquacoles ont produit au total 52 900 tonnes de poissons dans l'ensemble du Canada, (58% en milieu marin et 42% en eaux douces), en majeure partie en Colombie-Britannique et au Nouveau-Brunswick. Pour tout le pays, la pisciculture a entraîné chaque année des apports de 204 tonnes de phosphore et de 956 tonnes d'azote dans les eaux intérieures ainsi que de 282 tonnes de phosphore et de 1 320 tonnes d'azote dans les eaux côtières. En comparaison, les effluents d'installations de traitement secondaire des eaux usées desservant une population de 100 000 personnes rejettent 25 tonnes de phosphore et 365 tonnes d'azote par année.

En plus de l'aquaculture commerciale, on a eu recours à la fertilisation directe pour hausser la production de poisson de sport, surtout du saumon sockeye anadrome, dans des lacs et des cours d'eau oligotrophes de la Colombie-Britannique. Les tentatives visant à améliorer l'alimentation des alevins de saumon produisent des apports d'éléments nutritifs. Ainsi, dans le lac Kootenay, en Colombie-Britannique, des apports de 47 tonnes de phosphore et de 206 tonnes d'azote par année pendant cinq ans ont accru la densité du zooplancton et, partant, la taille et la fécondité des saumons kokani géniteurs (Ashley et al. 1997).

Ruissellement à partir des sites d'enfouissement

Il n'existe pas d'estimations des pertes d'éléments nutritifs à partir des sites d'enfouissement à l'échelle nationale, mais ces pertes pourraient être importantes à certains endroits. Par exemple, en 1995, environ 145 tonnes d'azote ammoniacal ont été rejetées dans des eaux de surface à partir des sites d'enfouissement municipaux du bassin du Fraser, en Colombie-Britannique, et 6 autres tonnes ont été rejetées à partir des sites d'enfouissement des usines de pâtes et papiers (Gartner Lee Ltd. 1997).

Pratiques de gestion forestière

Les lacs et les cours d'eau forestiers non perturbés des hautes terres du Bouclier canadien présentent généralement une faible teneur en NO_3^- , NH_4 et PO_4 (Nicolson 1988; D'Arcy et Carigan 1997). La superficie relative des tourbières et des étangs de castor joue un rôle important dans la quantité de phosphore total, de NH_4 et d'azote oxydé total exportée des bassins hydrographiques forestiers (Dillon et al. 1991). La perturbation d'écosystèmes forestiers a produit des effets variables sur le mouvement des éléments nutritifs dissous dans le sol et, ultérieurement, sur l'introduction de tels éléments dans des cours d'eau et des lacs (Krause 1982; Feller et Kimmins 1984; Nicolson 1988; Titus et al. 1997). Les pratiques de gestion forestière qui perturbent le transfert, habituellement efficace, des éléments nutritifs entre le sol et les arbres peuvent faire augmenter les concentrations d'azote dissous et, dans

une moindre mesure, de phosphore dissous dans les cours d'eau. Ainsi, des études menées dans des paires de bassins hydrographiques ont montré que la coupe à blanc de forêts de conifères côtières (Feller et Kimmins 1984) ou de forêts de feuillus tempérées (Krause 1982) peut hausser à court terme les concentrations de NO_3 dans des cours d'eau. Des comparaisons effectuées dans des lacs de référence et des lacs dont le bassin a été soumis à l'exploitation forestière dans le Bouclier boréal ont révélé la présence de fortes concentrations de phosphore total et d'azote organique total et d'une plus grande quantité de phytoplancton dans les lacs perturbés immédiatement après les coupes de bois (Carignan et al. 2000; Planas et al. 2000).

En général, dans la plupart des régions du pays, il n'existe pas de programme d'application régulière d'azote ou de phosphore dans les forêts. En Colombie-Britannique, on applique de l'azote à l'occasion dans les forêts côtières. Lors d'études expérimentales effectuées dans une sapinière en milieu côtier (Preston et al. 1990) et dans des forêts d'épinettes boréales (voir, par exemple, Morrison et Foster 1977), la majeure partie des apports artificiels d'azote était conservée par les arbres et le sol, bien que de faibles taux de récupération d'azote aient été enregistrés (Preston et al. 1990). Par ailleurs, de brèves augmentations des concentrations de NO_3^- ont été observées dans le lixiviat de sols (Pang et McCullough 1982) et des cours d'eau (Heatherington 1985). Néanmoins, les effets des engrais à base d'azote sur les cours d'eau et les lacs devraient être de courte durée et peu importants si on évite d'utiliser des engrais à base de nitrate et d'appliquer les engrais directement sur des eaux de surface.

Ce n'est qu'en relativement peu d'endroits qu'on a mesuré les pertes d'éléments nutritifs dans des cours d'eau attribuables aux pratiques de gestion des forêts au Canada. Il est difficile de formuler des généralisations concernant l'effet de ces pratiques sur la quantité et la qualité des eaux, à l'échelle tant régionale que nationale, en raison de la grande diversité du climat, du relief, des sols et de la végétation au pays, diversité qu'il faut prendre en compte pour évaluer les impacts de la gestion des forêts.

8.4. Sources des charges d'éléments nutritifs des sols au Canada

L'application d'engrais et de fumier sur les terres agricoles est essentielle au maintien du rendement des cultures et de la santé des sols. Seule une petite partie des éléments nutritifs ainsi appliqués est retournée sous la forme de produits de l'agriculture (bétail et cultures). En 1996, l'application d'engrais sur les terres cultivées au Canada a produit des apports de 1 576 000 tonnes d'azote et de 297 000 tonnes de phosphore (tableau 3.22). De plus, l'application d'engrais a produit des apports de 384 000 tonnes d'azote et de 139 000 tonnes de phosphore. Il peut aussi arriver qu'on applique des biosolides (la partie des boues d'épuration qu'on a stabilisée afin de pouvoir l'appliquer sur des terres en conformité avec la réglementation) sur des terres agricoles. Des quelque 500 000 tonnes de biosolides produites chaque année au Canada (données du début des années 1980; OCDE 1995), environ 42% sont appliqués sur des terres agricoles et produisent des apports de 8 000 tonnes d'azote et de 5 000 tonnes de phosphore.

Outre les apports souhaitables (engrais commerciaux, fumier, biosolides, etc.), l'évacuation des déchets est une source d'éléments nutritifs pour les sols. Les déchets solides comprennent les ordures ménagères et les déchets industriels qui doivent être incinérés ou évacués à des sites d'enfouissement. On estime à 10,5 millions de tonnes les ordures ménagères recueillies par les municipalités dans l'ensemble du Canada en 1992 (Environnement Canada 1996c). La majeure partie

de ces ordures sont acheminées vers des sites d'enfouissement et le reste est incinéré, recyclé ou, dans le cas de certains déchets organiques, composté. Quant aux déchets solides industriels, on en a produit environ 10 millions de tonnes au pays en 1995, dont 78% ont été enfouis, 20% recyclés et le reste, incinéré (Statistique Canada 1998b). On ne connaît pas les quantités d'azote et de phosphore libérées par la décomposition des déchets solides.

Il s'introduit également de l'azote et du phosphore dans les écosystèmes terrestres et aquatiques par le dépôt atmosphérique. Le dépôt de nitrates et d'ammoniac est beaucoup plus important dans l'est que dans l'ouest du Canada en raison des activités industrielles menées dans le centre du pays et le nord-est des États-Unis. Le taux moyen de dépôt d'azote (sous forme de nitrates et d'ammonium) est respectivement de 3,4 et de 0,8 kg/ha/an à l'est et à l'ouest de la frontière entre le Manitoba et l'Ontario (tableau 3.18). Il existe moins de données sur les dépôts secs d'azote; en général, ce type de dépôt est responsable d'une bien moindre partie des charges atmosphériques d'azote que les dépôts humides. Contrairement aux dépôts d'azote, les dépôts de phosphore ne font pas l'objet de mesures régulières. Les quelques études effectuées indiquent qu'ensemble, les apports de phosphore attribuables aux deux types de dépôt vont de 0,01 à 0,74 kg/ha/an. En ce qui concerne l'azote, les dépôts sont d'environ 43 000 tonnes sur les terres cultivées, 117 000 tonnes sur les terres agricoles non cultivées, 182 000 tonnes dans les eaux intérieures et 1 378 000 tonnes sur les terres non agricoles au Canada à la suite du dépôt atmosphérique de nitrates et d'ammonium.

8.5. Sources des charges d'éléments nutritifs dans l'atmosphère au Canada

Il se libère de l'azote dans l'atmosphère surtout sous forme d'oxyde nitreux (N_2O), d'autres oxydes d'azote (NO_x) et d'ammoniac (NH_3).

L'oxyde nitreux (N_2O) résulte en grande partie de la combustion de charbon, de produits pétroliers et de gaz naturel et de l'utilisation de fumier ou d'engrais azoté. En 1995, on a mesuré l'émission dans l'atmosphère de 60 000 tonnes d'azote sous forme d'oxyde nitreux (N_2O-N) à partir de sources non agricoles au Canada. La majeure partie de cet azote, soit 31 000 tonnes, résultait de la combustion de carburant par des véhicules à moteur (voitures, camions, avions et bateaux) (tableau 3.21), et les émissions de N_2O-N dues à la combustion dans des procédés industriels ne totalisaient que 3 000 tonnes. Vingt-quatre tonnes supplémentaires de N_2O-N ont été émises dans l'atmosphère par des établissements de fabrication d'acide nitrique et d'acide adipique. De l'oxyde nitreux peut également se libérer dans l'atmosphère à partir de sols agricoles à la suite de l'épandage de fumier ou d'engrais azoté inorganique. En 1996, les activités agricoles ont entraîné l'émission atmosphérique de 38 000 tonnes de N_2O-N (émissions directes à partir de sols agricoles et d'animaux qui broutaient et par la gestion de déchets animaux et indirectes par volatilisation, lessivage et ruissellement) (Desjardins et Keng 1999).

Du monoxyde d'azote et du dioxyde d'azote (NO_x) sont également dégagés par le brûlage de combustibles fossiles. On a enregistré l'émission de 750 000 tonnes d'oxydes d'azote au Canada en 1995; cela n'inclut pas les émissions d'origine agricole, sur lesquelles on ne dispose d'aucune donnée (Environnement Canada 1999a; tableau 3.21). De ce total, le brûlage de combustibles attribuable aux transports (voitures, camions, avions et bateaux) a contribué pour 393 000 tonnes. Celles liées à des procédés industriels, 189 000 tonnes de NO_x-N . L'ampleur des émissions d'origine agricole serait comparable à celle des émissions industrielles (Janzen et al. 1998).

Le dégagement d'ammoniac d'origine anthropique sous forme d'azote ammoniacal est surtout le fruit du stockage et de la manutention de fumier et d'engrais; il s'est élevé à 570 000 tonnes en 1995 (Vézina 1997; tableau 3.21). Les émissions industrielles, quant à elles, ont totalisé 27 000 tonnes, également sous forme d'azote ammoniacal; elles provenaient en majeure partie de la fabrication d'engrais azotés.

Il n'existe pas de données récentes sur les émissions atmosphériques de phosphore. Une évaluation effectuée en 1978 a révélé l'émission de 3 402 tonnes (Environnement Canada 1983). De ce total, environ 1 980 tonnes étaient dues à des procédés industriels, la plupart servant à la production d'engrais. L'application d'engrais a dégagé 783 tonnes de phosphore dans l'atmosphère. Enfin, la contribution de l'incinération de déchets solides (domestiques et industriels) aux émissions atmosphériques de cet élément s'élevait à 123 tonnes.

8.6. Résumé

Notre étude a montré que les éléments nutritifs produisent des effets sur les écosystèmes aquatiques et terrestres dans tout le Canada. Par rapport aux objectifs de l'évaluation, à savoir déterminer si les éléments nutritifs en général ont des incidences négatives sur l'environnement, si seulement certains éléments, et non tous, posent des problèmes et si les effets se limitent à l'eau ou s'ils touchent l'ensemble de l'écosystème, y compris les espèces sauvages (Gouvernement du Canada 1995), nous tirons les conclusions suivantes:

- **Les éléments nutritifs libérés dans l'environnement dans le cadre d'activités humaines produisent des effets nuisibles sur certains écosystèmes, suscitent des inquiétudes relatives à la qualité de vie des Canadiens et, à l'occasion, présentent une menace pour la santé humaine.** De toute évidence, le dégagement d'azote et de phosphore résultant de l'activité humaine a produit de nombreux effets négatifs : il a contribué à l'eutrophisation de certains cours d'eau, lacs et milieux humides au Canada, il a causé la mort de poissons et d'amphibiens; il a fait augmenter partout au pays la fréquence et la portée géographique des cas de dépassement, dans les eaux souterraines, des limites fixées pour les nitrates dans les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada; il a accru les risques pour la santé humaine en raison de l'accroissement de la fréquence et de l'étendue spatiale des proliférations d'algues toxiques dans les lacs et les secteurs côtiers; il a contribué à l'acidification des sols et des lacs dans le sud de l'Ontario et du Québec et entraîné la saturation en azote de certains bassins hydrographiques forestiers; il a fait croître les concentrations d'oxyde nitreux (N_2O), un puissant gaz à effet de serre, et d'oxydes d'azote, ce qui a favorisé la formation de smog photochimique dans certaines villes du Canada; il a contribué à susciter des inquiétudes relatives à la qualité de vie des Canadiens en nuisant à certaines utilisations des ressources en eau et en affectant les aspects esthétiques de l'eau; il a accru le fardeau économique imposé aux Canadiens parce qu'il faut traiter, surveiller et assainir l'eau contaminée.
- **Les éléments nutritifs ont tendance à produire ces effets lorsqu'ils se présentent sous certaines formes.** Au Canada, les concentrations de phosphore sont limitées par nature dans la plupart des lacs et de nombreux cours d'eau. Dès lors, les apports de phosphore biodisponible (sous la forme de phosphate, PO_4^{3-}) ont accéléré l'eutrophisation de certains lacs, cours d'eau et milieux humides. Par contre, dans les milieux côtiers, essentiellement complexes, les taux élevés

de renouvellement d'eau et les apports d'eau riche en azote du fond de l'océan ont généralement réduit les effets généralisés des éléments nutritifs d'origine anthropique sur ces milieux, quoique la situation soit problématique par endroits. La contamination par l'azote suscite des inquiétudes en ce qui touche les réserves d'eau souterraine d'où l'on puise de l'eau potable. De même, les préoccupations relatives à l'émission d'éléments nutritifs dans l'atmosphère se rapportent principalement à l'azote, en raison du rôle que jouent ces éléments dans la formation du smog urbain et le réchauffement par les gaz à effet de serre. Le dépôt atmosphérique de nitrates et d'ammonium a fait augmenter la production de carbone dans les forêts du Canada. Et le dépôt atmosphérique de nitrates a également contribué à l'acidification des sols et des lacs dans le sud de l'Ontario et du Québec.

- ***Jusqu'à présent, les répercussions les plus importantes et les plus évidentes des apports d'éléments nutritifs se sont manifestées dans les écosystèmes aquatiques et ont entraîné l'altération d'utilisations des eaux. Néanmoins, on a observé les premiers symptômes des effets négatifs de ces apports sur les écosystèmes forestiers.*** Par exemple, le dépôt atmosphérique de nitrates a contribué à l'acidification des sols et des lacs dans le sud de l'Ontario et du Québec et entraîné la saturation en azote de certains bassins hydrographiques forestiers. En outre, le dépôt d'ammoniac et de nitrates a haussé la production de carbone dans les forêts; toutefois, on n'a pas encore signalé au Canada les modifications résultantes de la biodiversité des espèces végétales et animales sauvages observées dans les pays où les charges atmosphériques d'azote sont élevées.

8.7. Manque d'information

Notre évaluation a permis de déterminer les sources des éléments nutritifs d'origine anthropique et leurs effets sur les écosystèmes au Canada. Nous avons documenté des modifications négatives de ces écosystèmes attribuables aux charges d'éléments nutritifs ainsi que les incidences de ces modifications sur la qualité de vie des Canadiens (voir la section 8.2). Toutefois, le manque de données a limité notre capacité d'évaluer les changements que produisent les apports d'éléments nutritifs sur les écosystèmes. Ce manque peut être divisé en deux grandes classes: le manque de données de surveillance des émissions et rejets et des conditions ambiantes, la connaissance insuffisante des effets des apports d'éléments nutritifs sur les écosystèmes et la santé humaine.

Manque de données de surveillance. Bien que nous ayons tout mis en œuvre pour déterminer l'état des écosystèmes au Canada par rapport aux éléments nutritifs, la masse de données sur les sources et les effets de ces éléments diminuait progressivement selon le milieu récepteur dans l'ordre suivant : lacs, cours d'eau, milieux humides, eaux souterraines, eaux côtières et forêts. Les aspects suivants retiennent particulièrement l'attention quant au manque de données.

- Introduction dans les eaux de surface d'éléments nutritifs d'origine industrielle. À l'heure actuelle, la disponibilité des données sur les charges d'azote et de phosphore provenant d'établissements industriels non desservis par des installations municipales de traitement des eaux usées (IMTEU) est irrégulière. Les exigences en matière de surveillance et de rapports varient d'une province, d'un territoire et d'un secteur industriel à l'autre. Ainsi, 2 130 établissements industriels au Canada détiennent des permis de rejet d'eaux usées, mais nous avons pu obtenir des données sur les charges d'éléments nutritifs de seulement 91 établissements quant aux nitrates, 142 établissements quant à l'ammonium et 191 établissements quant au phosphore total (tableau 3.6). Qui plus est, ces données ne sont pas stockées dans une base unique.

- Charges d'éléments nutritifs des eaux de surface provenant des IMTEU. Il existe des données sur les charges d'azote et de phosphore provenant d'un certain nombre d'IMTEU au Canada, mais celles-ci ne sont pas uniformes du point de vue des paramètres mesurés ou de la fréquence des échantillonnages. Et, ici encore, les données ne sont pas stockées dans une base unique. Notre analyse des charges d'éléments nutritifs provenant des IMTEU repose sur l'emploi de coefficients établis en fonction du nombre d'habitants bénéficiant des divers niveaux de traitement des eaux usées.
- Introduction dans les eaux de surface et souterraines d'éléments nutritifs d'origine agricole. Nous avons mené des études dans des parcelles, des champs ou de petits bassins hydrographiques, mais nous n'avons pu produire des estimations à l'échelle régionale ou nationale des charges d'éléments nutritifs des eaux de surface et souterraines.
- Dépôt atmosphérique de phosphore et d'azote total. Même s'il existe un réseau de postes provinciaux et fédéraux de surveillance recueillant des données qui permettent d'élaborer des estimations du dépôt atmosphérique d'azote inorganique, on ne dispose pas de données correspondantes pour le dépôt de phosphore ou d'azote total ni d'estimations des charges provenant des différents secteurs d'activité.
- Qualité des eaux souterraines. Il n'existe des programmes de relevé aux puits artésiens que çà et là au Canada. L'eau a déjà une teneur en nitrates et en bactéries proche des limites fixées dans les recommandations pour la qualité de l'eau potable ou supérieure à celles-ci. Et il existe peu d'information sur les concentrations d'ammoniac et de phosphore dans les eaux souterraines.
- Mortalité des poissons attribuable aux rejets accidentels de composés à base d'éléments nutritifs. Actuellement, il n'est pas obligatoire de fournir des renseignements à ce sujet.

Connaissance insuffisante des effets des apports d'éléments nutritifs sur les écosystèmes et la santé humaine. Contrairement à d'autres problèmes, comme les effets des substances chimiques toxiques, qu'on peut éliminer par la reformulation ou en interdisant l'utilisation, la gestion des éléments nutritifs est un problème environnemental persistant. Il importe de poursuivre les recherches, en particulier sur les aspects suivants, afin de connaître les effets des apports d'éléments nutritifs sur les écosystèmes au Canada.

- Le devenir et le transport des éléments nutritifs dans les différents écosystèmes (milieux humides, eaux côtières, forêts, cours d'eau et lacs) et leurs incidences sur le biote.
- La contribution des éléments nutritifs à la prolifération d'algues bleu-vert et à la production de toxines.
- Leur contribution aux problèmes liés au goût et à l'odeur de l'eau potable.
- Les interactions entre les éléments nutritifs et les contaminants organiques ainsi que les effets de ceux-ci sur les réseaux trophiques en milieu aquatique.
- Les effets des eaux usées et des panaches d'eaux usées d'origine industrielle sur les organismes aquatiques pendant les périodes d'englacement (où le mélange des panaches est limité et la température de l'eau est basse).
- Les effets des charges d'éléments nutritifs imposées aux écosystèmes aquatiques et terrestres sur de longues périodes (des décennies), dont les effets sur la qualité de l'eau et des sédiments/des sols et sur les réseaux trophiques.
- Les répercussions des pratiques de gestion des forêts sur la libération d'éléments nutritifs dans les écosystèmes aquatiques.
- Les effets cumulés sur les milieux aquatiques de la combinaison de plusieurs sources d'éléments nutritifs dans une région donnée.

- Le rapport entre les concentrations d'éléments nutritifs et la biomasse végétale des milieux aquatiques, en particulier des cours d'eau et des eaux côtières, et le niveau auquel les éléments nutritifs commencent à altérer les utilisations bénéfiques des cours d'eau du point de vue de la préservation du caractère esthétique et des avantages pour les loisirs et de la protection des organismes aquatiques.

8.6. Les défis de l'avenir

Au cours des cent dernières années, la demande d'eau a augmenté constamment au Canada, en partie à cause de l'accroissement de la population et de la consommation d'eau dans les municipalités. Le développement des industries énergivores, l'expansion de l'agriculture irriguée et la hausse du niveau de vie entrent également en jeu à cet égard.

La Commission Brundtland (Commission mondiale sur l'environnement et le développement) préconisait le développement durable, c'est-à-dire un développement répondant aux besoins des générations présentes sans nuire à la capacité des générations futures de satisfaire leurs propres besoins. Le maintien de la qualité de l'air, de l'eau et du sol eu égard aux éléments nutritifs est une importante composante du développement durable. Or des études ont déjà montré que, dans certaines régions du monde, l'excès d'azote (sous forme notamment d'ammoniac et d'oxydes d'azote) impose un écrasant fardeau aux écosystèmes, dont les forêts et les eaux côtières. Cet azote, libéré en grande partie par les engrais synthétiques azotés et les oxydes rejetés par les véhicules à moteur et les établissements industriels, ne pouvant plus être absorbé par les écosystèmes terrestres, s'introduit dans les cours d'eau, les lacs, les estuaires et les océans. Ce surplus d'azote produit, dans les zones côtières, des proliférations d'algues qui peuvent être toxiques et réduire l'apport d'oxygène lorsqu'elles gagnent le fond et dégénèrent. L'excès d'azote nuit également aux écosystèmes terrestres, car il déplace des ions à partir des sols des forêts et entraîne ainsi des déficits en minéraux qui finissent par être fatals pour les arbres. En 1997, l'Ecological Society of America et le Comité scientifique sur les problèmes de l'environnement du Conseil international des unions scientifiques ont affirmé que la pollution par l'azote est un problème majeur auquel les populations ne sont pas suffisamment sensibilisées.

Ce rapport montre clairement les symptômes de la détérioration de l'environnement due aux charges d'éléments nutritifs d'origine anthropique au Canada. Les problèmes environnementaux attribuables aux quantités excessives d'éléments nutritifs sont moins graves et ont tendance à être plus localisés au Canada que dans les pays où les peuplements humains et la production agricole datent de longtemps. Cela s'explique par le fait que notre population est relativement faible par rapport à l'étendue du territoire et par les mesures de protection prises par les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux au cours des trente dernières années. Pourtant, malgré les succès remportés, on peut observer des effets évidents des charges d'éléments nutritifs sur l'environnement et la santé humaine dans toutes les régions du pays. Contrairement à d'autres pays dont les peuplements humains et la production agricole datent de plus longtemps, et qui subissent donc une pollution plus importante, nous pouvons encore nous attaquer au problème causé par les apports d'éléments nutritifs avant qu'il devienne insurmontable. Il existe des solutions basées sur la recherche scientifique qui peuvent aider à réduire les pertes d'éléments nutritifs et, partant, à améliorer l'environnement. De nouvelles technologies se font jour qui peuvent être mises à contribution à cet égard. De plus, il existe des moyens de réduire les charges d'éléments nutritifs, en particulier dans les

pays qui sont confrontés à ce problème depuis longtemps. Il est primordial de mener des activités de recherche et de surveillance pour faire en sorte que les décisions prises en ce qui touche les éléments nutritifs reposent sur une assise scientifique solide. Et il est essentiel de ne pas annuler les progrès réalisés grâce au traitement des eaux usées et à d'autres mesures de contrôle en relâchant les normes ou en se laissant dépasser par la croissance démographique. Il faut également continuer d'intégrer les moyens scientifiques les meilleurs et les plus évolués aux solutions pratiques mises en œuvre.