

# La planète et nous

---

Pierre Chevalier, Pierre Gosselin

La référence bibliographique de ce document se lit comme suit:

Chevalier P, Gosselin P (2003)

La planète et nous.

In : Environnement et santé publique - Fondements et pratiques, pp. 3-38.

Gérin M, Gosselin P, Cordier S, Viau C, Quénel P, Dewailly É, rédacteurs.

Edisem / Tec & Doc, Acton Vale / Paris

Note : Ce manuel a été publié en 2003. Les connaissances ont pu évoluer de façon importante depuis sa publication.

# La planète et nous

---

Pierre Chevalier, Pierre Gosselin

- 1. Introduction**
- 2. Définitions et présentations des cycles biogéochimiques**
  - 2.1 Définitions
  - 2.2 Cycles biogéochimiques
- 3. Perturbations environnementales susceptibles d'affecter la santé humaine**
  - 3.1 Croissance démographique
  - 3.2 Atmosphère
  - 3.3 Eau
  - 3.4 Sol
  - 3.5 État de la situation dans les diverses régions de la planète
- 4. Conclusion: Vers le développement durable**

## 1. INTRODUCTION

Les problèmes de santé environnementale découlent essentiellement de la dégradation de l'environnement et des écosystèmes qui soutiennent la vie en se manifestant sous diverses formes de pollution de l'air, de l'eau, du sol et des aliments. La nature même de la planète nous fait courir certains risques, mais il demeure qu'un environnement biophysique exempt de polluants d'origine anthropique (comme certaines substances toxiques) engendrerait moins de problèmes de santé publique. Dans un premier temps, ce chapitre décrit brièvement les cycles biogéochimiques. Par la suite sont traités les grands problèmes de dégradation des écosystèmes à l'origine de diverses pollutions ainsi que certains effets sur la santé, mais la plupart d'entre eux font l'objet d'une description plus élaborée ailleurs dans ce manuel. Dans le but de mettre en perspective l'ensemble des problèmes abordés subséquentement, ce chapitre met l'emphase sur le lien essentiel et indissociable qui existe entre la biosphère (les écosystèmes naturels) et l'état de bien-être (ou de dégradation sanitaire) des populations humaines. Il ne constitue bien sûr qu'une revue de ces notions, souvent peu connues des praticiens de la santé publique. Notons les excellentes synthèses sur l'état de l'environnement fournies par le programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP, 2002) et la Commission de coopération environnementale (CCE, 2001).

## 2. DÉFINITIONS ET PRÉSENTATIONS DES CYCLES BIOGÉOCHIMIQUES

Les rapports entre les humains et la nature sont complexes et contradictoires, allant du respect absolu, voire de la déification des forces naturelles, au mépris et au désir de dominer les «forces sauvages et hostiles» de l'environnement\*. La compréhension des problèmes environnementaux planétaires nécessite initialement une définition de quelques termes ainsi qu'une brève présentation des cycles biogéochimiques dont la perturbation est à l'origine de pollutions continentales et planétaires, comme l'effet de serre.

### 2.1 Définitions

On retrouve les meilleures définitions des termes «écologie», «écosystèmes» et «biosphère» dans les «classiques» de l'écologie fondamentale, tant francophones qu'anglo-saxons. On a d'abord cru que le terme «écologie» était apparu pour la première fois en 1858 dans une lettre écrite par Henry David Thoreau à l'un de ses cousins, élève de Charles Darwin. Thoreau fut l'un des conservationnistes états-uniens les plus inspirés du XIX<sup>e</sup> siècle, vivant même en ermite dans les forêts du Massachusetts pendant quelques années\*\*. Toutefois, lors du décryptage des lettres manuscrites de Thoreau, il semble que le mot «géologie» a été confondu avec «écologie». La paternité du terme est plutôt attribuée au biologiste allemand Ernst Haeckel qui, en 1866, l'utilise et en donne une définition précise dans son ouvrage *Generelle Morphologie des Organismen*. Dès lors, l'écologie est considérée comme la science des rapports des organismes vivants avec leur environnement. Cette notion sous-tend aussi celle de l'évolution, qui est le résultat de l'adaptation à l'environnement ou de la lutte pour la survie.

Le mot écologie dérive des racines grecques «*oikos*» («maison») et «*logos*» («science de» ou «étude de»). Littéralement, l'écologie est l'étude des choses domestiques, de cette grande maison qu'est la planète Terre, incluant tous les organismes vivants (portion *biotique* de la biosphère). L'écologie inclut également l'étude des flux d'énergie et des cycles de la matière inerte (portion *abiotique*), les cycles biogéochimiques. Le champ d'action de l'écologie s'est continuellement agrandi pour englober, depuis les années 1960, le déséquilibre apparu entre l'environnement naturel et les actions d'origine anthropique; ce déséquilibre est la pollution de l'environnement (Odum, 1976, 1993).

Un «*écosystème*» est un ensemble d'unités fonctionnelles de nature écologique, stables dans le temps. L'association à un environnement physicochimique spécifique d'une communauté vivante, la *biocénose*, constitue un écosystème (Ramade, 1984). Odum (1993) mentionne que

\* L'évolution des rapports entre l'humain et la nature ne pouvant pas être présentée dans ce document, le lecteur est prié de se référer à l'ouvrage de Deléage (1991).

\*\* Lire à cet effet l'ouvrage de Thoreau, *Walden (Walden ou la vie dans les bois*, en traduction). Dans un autre de ses ouvrages, «Walking», on peut lire la phrase suivante, montrant que l'homme était un tenant de l'écologie profonde avant l'heure: «*Hope and the future for me are not in lawns and cultivated fields, not in town and cities, but in the impervious and quaking swamps*».

les composantes biotiques et abiotiques forment l'écosystème au sein duquel circulent constamment énergie et matière.

2.2 Cycles biogéochimiques

Le mouvement des substances nutritives (nitrates et phosphates) et des éléments fondamentaux (oxygène et soufre) dans les écosystèmes s'inscrit dans les cycles biogéochimiques. Ces substances suivent des cheminements plus ou moins circulaires qui font l'aller-retour entre la biocénose et le milieu abiotique (eau, air et sol, incluant le milieu géologique) (Odum, 1976). Ces cycles ont été mis en évidence dans les années 1920 dans le contexte d'une démarche visant la compréhension systémique de la biosphère, parallèlement à la théorie de la cybernétique qui retenait l'attention des mathématiciens. Notons plus particulièrement les travaux du géochimiste russe Vernadsky, qui publia *La Biosphère* en 1926, un ouvrage majeur introduisant le concept de la vision holistique de la nature (Odum, 1993).

Les principaux cycles géochimiques sont ceux du carbone, de l'oxygène, de l'azote, du phosphore, du soufre et du calcium. Chacun de ces cycles est directement lié au flux d'énergie comme le montre le schéma de la figure 1.1.

Le cycle du *carbone* qui est à la base de toute forme de vie est aussi celui le plus perturbé par les activités anthropiques. L'utilisation des combustibles fossiles et de diverses biomasses, comme le bois, a introduit dans l'atmosphère des dizaines de milliards de tonnes additionnelles de carbone, principalement sous forme de bioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Cet état de fait peut être démontré en comparant la distribution du carbone dans l'atmosphère à l'ère pré-industrielle à celle qui existe actuellement (figure 1.2).

Le cycle de l'*oxygène* joue un rôle déterminant dans les processus d'oxydation de la matière organique. Bien que nécessaire à la respiration des organismes vivants, l'oxygène est également un puissant oxydant qui, en l'absence de certains mécanismes protecteurs (enzymes), engendre des radicaux libres responsables de la dégénérescence des tissus, du vieillissement accéléré et pouvant également être à l'origine de certains cancers (Heinrich et Hergt, 1993; Halliwell, 1994).

Le cycle de l'*azote* est important puisque cet élément est un composant essentiel des acides aminés (constituants des protéines) et l'une des sources majeures de nutriments pour les plantes (sous forme de nitrates, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Le *phosphore*, sous forme d'ions phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), est également un élément important pour les plantes.

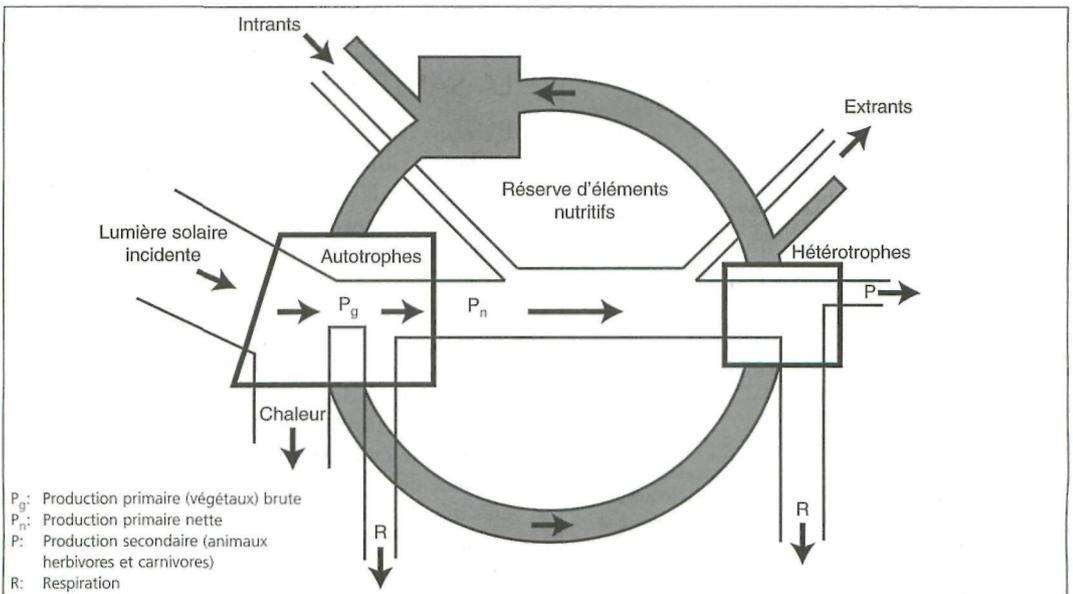
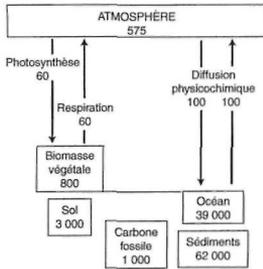


Figure 1.1 Relations entre la circulation des substances nutritives et le flux d'énergie (à sens unique) qui constitue la base des cycles biogéochimiques

Figure 1.2 Cycle et répartition du carbone dans l'atmosphère des ères pré-industrielle et industrielle

**Cycle du carbone à l'ère pré-industrielle (1800)**

À l'ère pré-industrielle, le cycle du carbone, à l'échelle planétaire, était caractérisé par une contribution nulle des émissions de carbone fossile, et par l'équilibre des flux de carbone échangés entre l'atmosphère et la biosphère. Les flux échangés entre l'atmosphère et la biomasse continentale, au travers des processus de fixation de CO<sub>2</sub> par la photosynthèse et d'émission de CO<sub>2</sub> par la respiration de la végétation et du sol, sont de l'ordre de 60 Gt (1 gigatonne = 10<sup>9</sup> tonnes) de carbone par an.



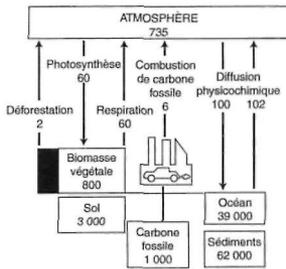
Réservoirs et flux —> en Gigatonne de carbone

**Cycle du carbone à l'ère industrielle (1990)**

De nos jours, le cycle global du carbone est perturbé par l'accroissement des activités humaines

- consommation de carbone fossile sous toutes ses formes (charbon, pétrole, gaz) qui émet annuellement de l'ordre de 6 Gt de carbone dans l'atmosphère;
- déforestation en zones tropicales et changements d'utilisation des sols correspondant à des émissions annuelles estimées à 2 Gt de carbone (11 millions d'hectares par an).

Ces deux sources d'augmentation du gaz carbonique atmosphérique sont partiellement compensées par un renforcement des transferts vers l'océan (4 Gt par an).



Réservoirs et flux —> en gigatonne de carbone

Les flux indiqués, issus de notre connaissance actuelle du cycle du carbone, n'aboutissent pas à un bilan équilibré : il y a plus de carbone rejeté que de carbone stocké. De ce fait, la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère augmente, ce qui risque d'entraîner par effet de serre un réchauffement et des changements climatiques importants.

Source: Chartier et Savanne (1993)

On le considère cependant comme un élément limitant de la croissance végétale dans les écosystèmes puisque de nombreux phosphates sont difficilement solubles et, conséquemment, non disponibles pour les végétaux. Le *soufre* est moins important, parce qu'il est uniquement présent dans deux acides aminés et qu'il est utilisé en petites quantités dans les organismes. Quant au *calcium*, souvent lié aux phosphates, il est un constituant essentiel de la structure des os et des dents. Il est également nécessaire au fonctionnement des cellules nerveuses et musculaires. De plus, de nombreuses espèces animales utilisent le calcaire pour leur protection, notamment le corail et les mollusques (Heinrich et Hergt, 1993).

Cette brève description de l'écologie et des cycles biogéochimiques nous amène à considérer les conséquences résultant de leur perturbation par diverses activités anthropiques. Par exemple, l'industrialisation des pratiques agricoles modifie l'ensemble de ces cycles alors que le réchauffement climatique modifie principalement le cycle du carbone. La section suivante montre comment les activités humaines perturbent l'ensemble des cycles, ce qui conduit à l'apparition de divers types de pollutions.

### 3. PERTURBATIONS ENVIRONNEMENTALES SUSCEPTIBLES D'AFPECTER LA SANTÉ HUMAINE

Certains facteurs et éléments sont à l'origine de la destruction des écosystèmes, ce qui menace directement la santé, voire la survie, de millions d'êtres humains. Les principaux facteurs et les destructions qui en résultent sont abordés dans cette section.

#### 3.1 Croissance démographique

Les préoccupations concernant l'accroissement de la population humaine engendrent à la fois optimisme et pessimisme, notamment eu égard au taux de croissance élevé dans plusieurs pays en développement (PED). Le débat, que plusieurs voudraient purement logique et mathématique, est en fait empreint de questions éthiques et politiques. Rappelons d'abord que la question de la démographie humaine est devenue à nouveau une préoccupation moderne à

la fin des années 1960, notamment lorsque Paul Ehrlich publia son ouvrage controversé *Population bomb\** dans lequel il lançait un plaidoyer en faveur de la limitation des naissances. Le document, écrit dans un style lapidaire, dénonçait vertement plusieurs comportements humains menant à la dégradation de l'environnement (Johnson, 1994).

### Notions de démographie

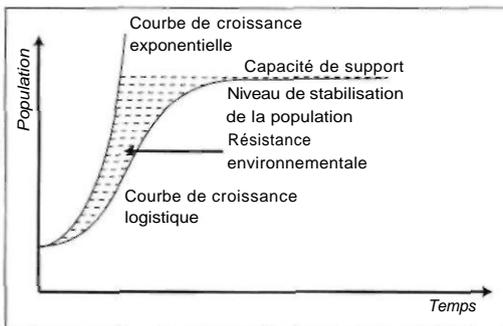
Parmi les caractéristiques importantes d'une population, sa *capacité de s'accroître* est l'une des plus importantes. En théorie, l'accroissement peut être illimité et se définit comme le *potentiel biotique* qui représente la capacité innée d'une population de s'accroître, en l'absence de contraintes imposées par le milieu. Dans toutes les populations animales, végétales et microbiennes, la croissance est d'abord exponentielle, mais elle est limitée par la *capacité de support*, ou capacité limite d'un habitat, qui correspond au nombre maximal d'individus qui peuvent vivre presque indéfiniment en équilibre dans un écosystème; la croissance est alors stoppée et atteint une phase dite de plateau qui donne lieu à une courbe logistique, en opposition à la courbe exponentielle théorique (figure 1.3) (Raven et Johnson, 1986).

Ces aspects sont applicables à toutes les populations animales mais, dans le contexte de la dynamique des populations humaines, il faut insérer les notions de taux de fécondité et de transition démographique. Le *taux de fécondité*, qui sert à déterminer le nombre moyen d'enfants par femme, se définit comme l'aptitude de ces

dernières à procréer. Il repose d'abord sur des processus purement biologiques, mais les aspects sociaux et culturels ont toujours joué un rôle majeur chez les humains; la satisfaction personnelle d'enfanter et l'importance accordée aux enfants dans toutes les sociétés en sont un exemple. De nos jours, ce taux est plus élevé dans les PED (jusqu'à sept enfants par femme en âge de procréer dans certains pays africains) que dans les pays industrialisés (moins de deux enfants par femme en âge de procréer). La *transition démographique* est le passage d'un régime démographique initial où un taux de fécondité élevé est compensé par une forte mortalité infantile et une espérance de vie restreinte (cas des PED) à un régime où la mortalité réduite est en équilibre avec une fécondité beaucoup plus faible (le cas des pays industrialisés). Cette transition s'accompagne cependant d'une phase critique où la baisse de la mortalité précède la baisse de fécondité; il en résulte alors un accroissement très rapide de la population durant plusieurs décennies. Les pays industrialisés ont vécu cette transition durant le XIX<sup>e</sup> siècle et pendant la première moitié du XX<sup>e</sup>. Plusieurs pays africains où le taux de fécondité est actuellement très élevé, et où les populations bénéficient de nouvelles mesures sanitaires réduisant la mortalité, sont actuellement dans cette phase. Ultérieurement, les mesures visant à réduire les naissances deviennent efficaces, permettant ainsi de limiter l'accroissement de la population et de parvenir à une situation de plateau (voir la figure 1.3) (Vallin, 1992; Jacquard, 1993; Vallin et coll., 1993).

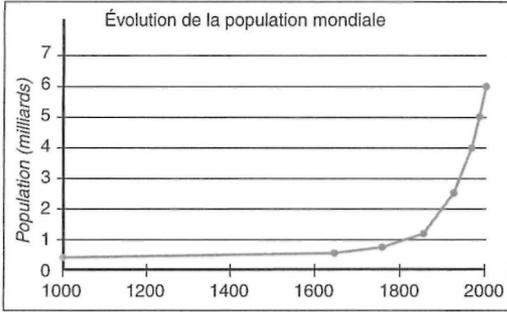
### Accroissement de la population humaine

La croissance démographique humaine a véritablement explosé au cours du XX<sup>e</sup> siècle où elle a pris une allure exponentielle comme le montre la figure 1.4. À la fin du XX<sup>e</sup> siècle, la population humaine s'accroissait d'environ 80 millions de personnes par an. Les plus récentes projections de l'Organisation des Nations Unies (ONU) indiquent que la population mondiale devrait atteindre 8,9 milliards d'individus vers 2050 (UNEP, 1999). Cette hypothèse découle d'une prévision de la baisse du taux de fécondité moyen mondial à 2,1 d'ici 2050 (moyenne mondiale actuelle de 3 naissances/femme) et donnent lieu à une projection démographique



**Figure 1.3** Courbe exponentielle théorique et limitations (résistance environnementale et capacité de support) imposant une courbe de croissance de type logistique

\* Traduction française Ehrlich (1972).



**Figure 1.4** Accroissement de la population humaine depuis l'an 1000

Source: UNEP(1999)

dite «médiane» qui implique une stabilisation de la population à partir de 2050. Cette variante semble en voie de se concrétiser, mettant ainsi de côté l'option dite «haute» qui prévoyait plus de 10 milliards d'humains en 2050 (Marshall et coll., 1994; UNEP, 1999).

Il faut noter qu'entre 2000 et 2050 la plus grande part de l'accroissement démographique se fera dans les PED, notamment sur le continent africain où l'on estime que la population sera de 1,5 milliard en 2025, comparativement à 730 millions en 1995. Il en résultera un bouleversement important entre les PED et les pays industrialisés qui représenteront moins de 20 % de la population mondiale en 2050 (WRI, 1997). Les problèmes découlant de cette situation seront complexes et majeurs. A titre d'exemple, mentionnons qu'il devrait y avoir un afflux supplémentaire de 1,3 milliard de personnes sur le marché du travail entre 1995 et 2020, la presque totalité en Asie, en Afrique et en Amérique latine. Par ailleurs, le pourcentage mondial des personnes âgées de 65 ans et plus passera de 7 à 10 % (18 % dans les pays industrialisés), alors que celui des jeunes de moins de 15 ans passera de 32 à 24 % durant la même période, engendrant des bouleversements importants qui n'ont jamais été observés dans l'histoire de l'humanité, les jeunes ayant toujours été majoritaires, sauf durant des périodes de famine ou de guerre (Marshall et coll., 1994).

Ces changements démographiques permettent de mettre en évidence un lien direct entre l'accroissement de la population, la croissance urbaine, la demande croissante en eau potable,

en terres arables, en aliments et, finalement, avec une augmentation de toutes les pollutions; il existe également une relation étroite entre le taux d'accroissement démographique et la pauvreté qui augmentent simultanément. Par ailleurs, une plus grande proportion de personnes âgées entraînera une augmentation de la demande de services médicaux suite à une perte d'autonomie et à plusieurs maladies débilitantes: cancers, dégénérescences neurologiques, diabète, maladies cardiovasculaires, infections liées au grand âge, etc. (OMS, 1997a). Il faut également souligner l'accès à l'eau potable qui se détériorera, puisqu'un nombre croissant de pays (peu importe leur stade de développement) ont atteint ou sont sur le point d'atteindre les limites d'une utilisation durable de cette ressource (Marshall et coll., 1994).

Il y a également lieu de mentionner que l'ampleur des conséquences sur l'environnement mondial est largement déterminé par l'utilisation des biens de consommation; dans ce contexte, le niveau de consommation des habitants du continent nord-américain est insoutenable. À titre d'exemple, mentionnons que, si la population mondiale consommait les ressources au rythme moyen des Canadiens, il faudrait 27 milliards d'hectares de terres cultivables pour soutenir cette consommation alors que la planète entière n'en compte que 9 milliards. Il existe donc une forte corrélation entre le revenu d'une personne et les impacts qu'elle produit sur l'environnement. Un résident d'un pays industrialisé impose ainsi une pression bien plus importante sur l'environnement qu'une autre vivant dans un pays non industrialisé; toutefois, dans ce dernier cas, c'est la loi du nombre qui accroît la pression environnementale (CCME, 1993).

### Croissance urbaine

Le phénomène d'urbanisation a pris une ampleur considérable depuis 1950, alors que seulement deux mégapoles\* existaient (New York et Londres); en 1995, on en comptait 21 et la prévision pour 2015 est de 33, dont 27 dans des PED. Quant aux villes ayant une population supérieure à un million de personnes, elles étaient 270 en 1990 et la prévision pour 2015 est de 516. Les prévisions quant au nombre de

\* Selon l'OMS, une mégapole se définit comme une ville de plus de 10 millions d'habitants (OMS, 1997a).

personnes vivant en milieu urbain en 2015, par région, sont les suivantes (en millions): Afrique, 225; Amérique du Nord, 148; Amérique latine, 225; Asie, 903; Europe, 156 (WRI, 1997). Cette situation, jamais vue dans l'histoire de l'humanité, suscite de nombreuses questions et inquiétudes quant à la santé publique.

L'urbanisation a débuté il y a 6000 ans, période que l'on appelle la «révolution urbaine», pour faire un parallèle avec la révolution agricole, 4000 ans plus tôt qui, elle aussi, a eu des effets déterminants sur l'avenir de l'humanité. La révolution urbaine a notamment concentré le pouvoir politique dans les villes en faisant d'elles le pivot économique des civilisations. Maints analystes ont comparé la ville à un écosystème; toutefois, à la différence des écosystèmes naturels, celui des villes n'apparaît pas être durable dans son état actuel (Weiskel, 1991). En milieu urbain, le partage des ressources s'effectue en fonction de l'organisation sociale plutôt qu'en fonction des lois écologiques (Dansereau, 1987, 1991), et le but des agents de transformation (les forces sociales actives) est plutôt de maximiser les échanges et d'optimiser la productivité en engendrant du gaspillage et des rejets non compatibles avec les cycles biogéochimiques (Duvigneaud, 1980). La production de déchets, la pollution de l'air et de l'eau ainsi que le gaspillage de l'énergie sont des extrants que l'écosystème urbain tend généralement à ne pas considérer, conduisant à ce que l'on appelle une externalité négative\* (Laplante, 1995).

Lewis Mumford, l'un des meilleurs spécialistes du XX<sup>e</sup> siècle en matière d'urbanisation, a mis en évidence les conséquences néfastes de l'urbanisation sur la santé publique en prenant comme exemple l'effet de la révolution industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle en Europe et en Amérique du Nord. Il a qualifié les cités industrielles de cette époque de «villes carbonifères» («Coketowns») à cause de l'intense pollution de l'air qui y régnait et de la poussière de charbon qui était omniprésente. Il a mis en évidence la dégradation de la santé publique, parallèlement à l'urbanisation et à l'industrialisation. Ainsi, le

taux de mortalité infantile à New York est passé de 120-145 pour 1000 naissances en 1810 à 240 pour 1000 naissances en 1870. Cette hausse coïncidait avec la détérioration des conditions de vie et le manque d'hygiène généralisé (Mumford, 1964).

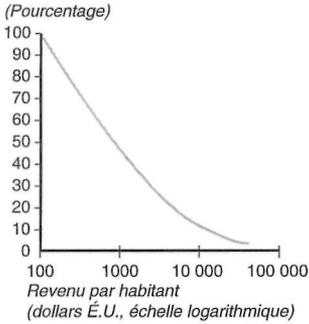
La vision apocalyptique que Mumford traçait de la ville industrielle du XIX<sup>e</sup> siècle n'est plus de mise en ce début de XXI<sup>e</sup> siècle dans les pays industrialisés, ni dans certaines villes de PED où le taux de mortalité infantile est généralement inférieur à celui du milieu rural. On estime toutefois qu'au moins 220 millions d'urbains n'ont pas accès à une eau potable et 420 millions sont sans service sanitaire de base permettant d'évacuer et de gérer adéquatement les fèces. Par ailleurs, plus de 1,1 milliard de personnes doivent vivre dans des villes où la pollution de l'air excède les lignes directrices de l'OMS (WRI, 1997).

La situation de l'urbanisation dans les PED est préoccupante, car 150 000 personnes s'ajoutent à la population urbaine quotidiennement, attirées par la promesse d'une meilleure qualité de vie. C'est dans les régions les plus pauvres de la planète que la croissance est maximale, soit entre 5 et 7 % par an; le phénomène est plus accentué en Amérique latine, car, déjà en 1995, 79 % de la population y était urbanisée. Ce phénomène n'est guère différent de ce que l'on a observé dans les villes industrielles d'Europe et d'Amérique du Nord au XIX<sup>e</sup> siècle. Ce qui diffère, c'est que la population absolue étant aujourd'hui beaucoup plus importante, ce rythme de croissance implique un nombre de personnes 10 à 20 fois plus élevé qu'au XIX<sup>e</sup> siècle (WRI, 1997).

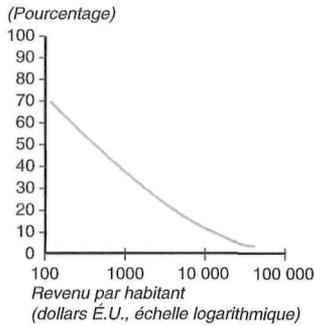
Historiquement, la pauvreté s'est concentrée dans les zones rurales, mais, à mesure que la population mondiale migre vers la ville, la pauvreté devient de plus en plus un phénomène urbain. Cette pauvreté urbaine n'est cependant pas unique aux PED, car elle s'est considérablement accrue dans les pays de l'Europe centrale et orientale engagés dans la transition vers l'économie de marché, ce qui a entraîné un chômage important. Ce dernier phénomène est un

\* Une externalité négative existe lorsque l'activité d'un agent économique A influe négativement sur un agent économique B et que l'agent A ne prend pas en considération cet impact sur B. Dans les faits, une externalité négative existe surtout dans un contexte où les valeurs privées (l'agent A) sont différentes des valeurs sociales (l'agent B) et entraînent des coûts sociaux, des cas d'asthme consécutifs à l'accroissement de la pollution de l'air, par exemple.

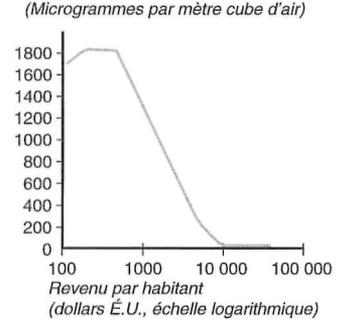
Population privée d'eau sûre



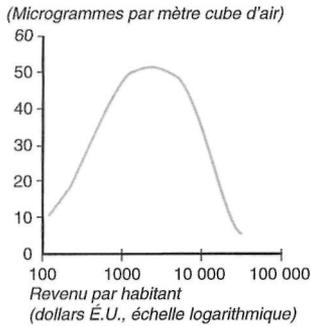
Population urbaine privée de sanitaires adéquats



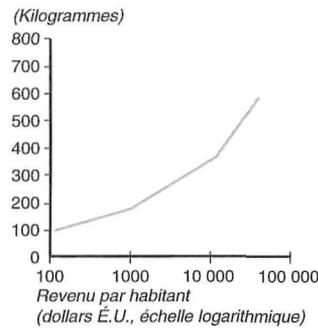
Concentrations urbaines de particules dans l'atmosphère



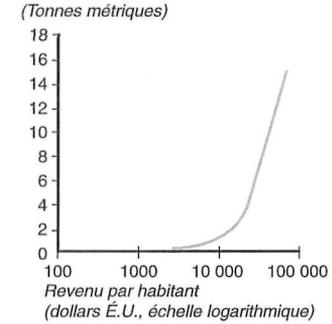
Concentrations urbaines de dioxyde de carbone



Déchets municipaux par habitant



Émissions de dioxyde de carbone par habitant\*



Notes : Les estimations se fondent sur une analyse de régression des données des années 1980 entre les pays.

\* Les émissions proviennent des carburants fossiles.

Source: WRI (1997)

**Figure 1.5** Relations entre le revenu par habitant et certains problèmes environnementaux en milieu urbain

facteur primordial de la pauvreté urbaine qui s'observe également dans les pays industrialisés reconnus pour avoir une solide structure économique (Amérique du Nord et Europe occidentale). La délocalisation des emplois manufacturiers vers les pays ayant une économie de transition (de nombreux PED) est l'une des causes de ce phénomène (WRI, 1997).

L'urbanisation engendre une dynamique particulière quant à la dégradation de l'environnement. Ainsi, il existe un lien direct entre le niveau de pauvreté d'une mégapole et la concentration de particules ou de bioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) atmosphériques, le pourcentage de citoyens privés d'eau potable sûre et de services sanitaires. À l'opposé, plus le revenu moyen des citoyens d'une ville est élevé, plus la production de déchets et de CO<sub>2</sub>, un gaz à effet de serre, est importante. La figure 1.5 illustre bien quelques-uns de ces rapports entre le revenu *per capita* et certains types de problèmes environnementaux.

On note également un effet pervers sur l'agriculture par la spoliation des secteurs ruraux et des terres arables adjacentes, qui réduit ainsi la production vivrière traditionnelle. Par ailleurs, les zones périphériques des grandes mégapoles des PED, qualifiées de bidonvilles, sont généralement celles où le taux de mortalité infantile est le plus élevé, supérieur tant à celui des citadins de plus longue date qu'à celui des ruraux. On constate cependant que l'accroissement de la richesse collective d'une ville, peu importe sa taille, favorise l'accès aux services sanitaires et une amélioration de la qualité de la vie (WRI, 1997).

Un dernier phénomène est notable, soit l'iniquité entre les citoyens urbains les plus pauvres et les plus riches qui, en s'accroissant, engendre divers conflits sociaux. La criminalité de rue, l'extorsion et divers méfaits qui en résultent font de certaines mégapoles des milieux de vie dangereux dans lesquels une bonne qualité

de vie représente encore un idéal lointain. La santé publique est affectée par la hausse de la mortalité et des blessures consécutives à des actes criminels. L'urbanisation durable représente encore un défi politique, social et de santé publique pour les premières décennies du siècle qui débute (OMS, 1997a).

### Ressources alimentaires

Le problème des ressources alimentaires peut sommairement se diviser en deux thématiques: la production alimentaire brute et la sécurité alimentaire, c'est-à-dire un approvisionnement adéquat pour tous les humains. La *production alimentaire* s'est constamment accrue depuis 1970, suivant l'accroissement démographique; à partir d'un indice arbitraire de 100 en 1970, la production alimentaire était d'un peu plus de 170 en 1995, alors que l'indice de l'accroissement démographique était de 163 (OMS, 1997a). Entre 1961 et 1994, les rendements à l'hectare se sont considérablement accrus dans tous les pays pour les principales cultures vivrières (blé, riz et maïs), alors le prix de presque tous les produits agricoles a chuté depuis 1980. Malgré cela, il faut noter que la croissance de la production alimentaire mondiale diminue d'une décennie à l'autre (3 % dans les années 1960, 2,3 % dans les années 1970 et 2 % durant la période 1980-1992), bien qu'elle se maintienne au-dessus du taux d'accroissement démographique mondial qui est de 1,6% (WRI, 1997).

Malgré les progrès impressionnants de la production alimentaire, qui a permis de nourrir toujours plus d'humains, le nombre de personnes affectées par l'insécurité alimentaire (notamment la sous-alimentation) était de 780 millions en 1995, comparativement à 950 millions en 1970 (Pinstруп-Andersen et Pandya-Larch, 1995). Cette insécurité résulte surtout d'une mauvaise répartition et d'une distribution géographique inadéquate des aliments, puisqu'il n'existe pas actuellement de déficit vivrier à l'échelle mondiale (Marshall et coll., 1994). La situation est particulièrement sérieuse en Afrique où le nombre de personnes sous-alimentées est passé de 94 millions en 1970 à 175 millions en 1990 (OMS, 1997a) et où 22 pays sont gravement touchés par les pénuries alimentaires (WRI, 1997). Si la tendance se maintient, ce nombre pourrait être de 300 millions de personnes en 2010 alors que l'Africain n'aurait que 2170 kcalories/jour à con-

sommer, comparativement à 3470 pour les habitants des pays industrialisés. Il faut également mentionner que la situation est critique en Asie du Sud où quelque 195 millions de personnes seront mal nourries vers 2010, avec 2450 kcalories/jour. En Asie de l'Est ainsi qu'en Amérique latine, la situation devrait par contre s'améliorer (Alexandratos, 1995). L'aide alimentaire est donc essentielle pour répondre à court terme aux besoins de l'Afrique et de certaines autres parties du globe. La multiplication des catastrophes naturelles (ouragans, inondations, sécheresses, etc.) qui se sont accrues depuis 1985, et qui résulteraient en partie des changements climatiques (section 3.2), sont en partie responsables de cette situation. Au cours des années 1990, l'aide alimentaire était de l'ordre de 15 millions de tonnes (Mt) par an, alors que les besoins étaient estimés à plus de 25 Mt (WRI, 1997).

La question la plus préoccupante est de savoir si la production alimentaire pourra suivre la progression démographique jusqu'en 2050 et permettre de nourrir près de 10 milliards d'humains, comparativement à 6 milliards en 2000. À cet égard, le plus grave problème est la disparition constante des terres agricoles ou arables. Dans la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle, près de 2 milliards d'hectares (ha) de terres se sont détériorées, dont 300 millions ont subi une dégradation presque irréversible (Pinstруп-Andersen et Pandya-Larch, 1995).

Le minimum vital de surface arable requis pour nourrir une personne, avec une diète essentiellement végétarienne, est de 0,07 ha. En 1990, seulement cinq pays n'offraient pas ce minimum vital à leurs citoyens (Japon, Egypte, Corée du Sud, Suisse et Pays-Bas), mais les projections pour l'année 2025 font augmenter ce nombre à une vingtaine de pays (OMS, 1997a). Malgré ces estimations, les données de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) prévoient que la production alimentaire pourra répondre à la demande réelle et suivre l'augmentation de la population mondiale. Cette estimation implique cependant un important changement d'attitudes et de comportements, car, non seulement requiert-elle l'arrêt de la spoliation des terres arables, mais aussi un accroissement de leur superficie. S'ajoute à cela un besoin accru d'irrigation, d'amélioration des pratiques culturales, de réduction des pertes post-récolte, etc. (WRI,

1997). Une seconde «révolution verte» est donc nécessaire, et on peut croire qu'elle reposera en grande partie sur la technologie: emploi d'inoculants bactériens et de mycorhizes favorisant l'absorption de l'azote par les plantes, micro-propagation de plantes à partir de cultures cellulaires, création de nouveaux cultivars ayant des qualités nutritives supérieures et résistants aux maladies, amélioration génétique, etc. (Sasson, 1995). C'est dans ce contexte que l'on prépare la seconde révolution verte qui serait en fait une transition vers une agriculture biotechnologique. Cette transition devra cependant tenir compte de l'important débat social actuel qui remet en question de telles pratiques (Chesson et James, 2000).

L'examen de la situation amène à penser que de nombreux pays ne parviendront pas à l'auto-suffisance et que l'aide alimentaire d'urgence devra être maintenue. Par ailleurs, certains aspects de la consommation, surtout dans les pays industrialisés, devraient être sérieusement examinés. La suralimentation et la consommation abondante de calories animales (il faut en moyenne sept calories végétales pour produire une calorie animale) pourraient faire l'objet d'un sérieux examen (Malassis, 1994). À l'instar de l'iniquité entre riches et pauvres en milieu urbain, l'inégalité dans l'accessibilité à une alimentation adéquate doit être considérée comme un défi du siècle qui débute.

### 3.2 Atmosphère

Nous abordons ici le réchauffement climatique (effet de serre) et la destruction de la couche d'ozone. Par ailleurs, puisque la pollution de l'air en milieu urbain est abordée au chapitre 11 pour les aspects des effets sanitaires et des normes, nous ne traitons ici que de la distribution des problèmes de pollution de l'air ambiant dans les grandes villes. Ces thèmes ont été choisis à cause de leur dimension planétaire et de la durée prévisible de leurs effets, soit plusieurs décennies, avant un éventuel retour à la normale après des mesures correctrices.

### Changements climatiques

L'effet de serre résulte du piégeage, par l'atmosphère, de la partie du rayonnement solaire normalement retournée dans l'espace sous forme de rayons infrarouges. C'est d'abord un phénomène normal sans lequel la vie serait impossible sur la Terre puisque l'énergie solaire qui atteint la planète ne pourrait y maintenir qu'une température moyenne de  $-18^{\circ}\text{C}$ . La température moyenne étant plutôt de  $+15^{\circ}\text{C}$ , l'effet de serre contribue donc à réchauffer la planète de  $33^{\circ}\text{C}$  (Mabey et coll., 1997). Le problème actuel vient du fait que les activités humaines favorisent un accroissement de cet effet sur une très courte période de temps (un à deux siècles). Un lien clair et sans équivoque entre le réchauffement climatique et les émissions anthropiques de gaz à effet de serre a été mis en évidence par le Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique (GIECC ou IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]) qui prévoit une augmentation globale de la température pouvant varier de  $1,4$  à  $5,8^{\circ}\text{C}$ , la moyenne des scénarios étant de près de  $3,0^{\circ}\text{C}$  au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (IPCC, 2001).

#### *Gaz à effet de serre*

Les principaux gaz à effet de serre sont le  $\text{CO}_2$ , le méthane ( $\text{CH}_4$ ), les composés fluorés (chlorofluorocarbures [CFC], perfluorocarbure et quelques autres) et l'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Le  $\text{CO}_2$  provient de l'utilisation de combustibles fossiles et de diverses biomasses (la destruction des forêts est un phénomène à considérer), le  $\text{CH}_4$  est émis par la décomposition de la matière organique en absence d'oxygène (diverses activités agricoles y contribuent, notamment l'élevage du bétail), les composés fluorés sont essentiellement des gaz à usages industriels qui sont maintenant réglementés dans le cadre du protocole visant à protéger la couche d'ozone\* (*voir plus loin*) et, finalement, le  $\text{N}_2\text{O}$  résulte surtout de la pollution urbaine (Hengeveld, 1991; Cook, 1996). A nombre égal de molécules, le  $\text{CO}_2$  est moins générateur d'effet de serre que les autres gaz; le  $\text{CH}_4$  a un potentiel de réchauffement planétaire (PRP) 21 fois plus élevé, le  $\text{N}_2\text{O}$  est 206 fois plus actif que le  $\text{CO}_2$  alors que les composés fluorés ont un PRP de 6000 à

\* Jusqu'à dans les années 1990, plusieurs CFC étaient utilisés dans les contenants sous pression destinés à émettre leur contenu sous forme d'aérosol.

25 000 fois plus puissant que celui du CO<sub>2</sub>. De plus, la durée de vie atmosphérique des composés fluorés peut être de plusieurs milliers d'années, comparativement à un ou deux siècles pour le CO<sub>2</sub> (Cook, 1996). Toutefois, compte tenu des énormes quantités de CO<sub>2</sub> rejetées dans l'atmosphère par les activités humaines, ce gaz est de loin celui qui contribue le plus à l'effet de serre. En tenant compte du PRP et des émissions respectives, la contribution des principaux gaz au réchauffement planétaire est la suivante: CO<sub>2</sub>, 65 %; CH<sub>4</sub>, 20 %; N<sub>2</sub>O, 5 %; composés fluorés et autres substances, 10 % (IPCC, 1996).

### CO<sub>2</sub>

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont actuellement au cœur des négociations visant à ralentir le réchauffement planétaire. Les émissions découlant de l'utilisation des combustibles fossiles (charbon, gaz naturel et pétrole) pour diverses utilisations (transport, centrales thermiques au gaz ou au charbon et industrie) sont passées de 14,8 milliards de tonnes (gigatonnes [Gt]) en 1971 à 21,2 Gt en 1990 puis à 23 Gt en 1997, soit une hausse de 8,2 % entre ces deux dernières années; cela revêt un caractère important, car durant cette période on aurait dû s'attendre à une stabilisation des émissions après les engagements pris à la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (Sommet de Rio) en 1992. En 1997, les États-Unis émettaient la plus grande quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, soit 5,47 Gt, une hausse de 12,3 % par rapport à 1990. L'ensemble des pays européens (excluant l'ex-Union soviétique) émettait 3,47 Gt (une hausse de 1,4 %) alors que la Russie et les États de l'ancienne URSS émettaient 2,70 Gt (une baisse de 31 %, due à l'effondrement de l'économie durant cette période). Le reste du monde a émis 8,93 Gt de CO<sub>2</sub> en 1997; une hausse notable a été enregistrée dans certaines régions en développement entre 1990 et 1997: Afrique, 19,0 %; Moyen-Orient, 47,5 %; Amérique latine, 29,0 %, Asie (sauf la Chine), 56,0 %; Chine, 32,0 % (AIE-OCDE, 1999). Le résultat net des rejets anthropiques de CO<sub>2</sub> depuis la révolution industrielle a été une augmentation de sa concentration atmosphérique de 280 parties par million (ppm), au début de la période industrielle (1750), à un peu plus de 360 ppm à la fin du XX<sup>e</sup> siècle, soit une augmentation de 31,0 %. Cette dernière con-

centration de CO<sub>2</sub> est la plus élevée depuis au moins les 420 000 dernières années (IPCC, 2001).

### Coûts et répercussions

Les coûts résultant d'un doublement de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub>, soit une concentration de 560 ppm par rapport à la valeur de référence préindustrielle de 280 ppm, représenteraient l'équivalent de 1,5 à 2,0 % du produit intérieur brut (PIB) mondial, soit plus de 300 milliards en dollars de 1995 (Fankhauser, 1996). Le tableau 1.1 résume succinctement les effets possibles d'un réchauffement climatique selon qu'ils ont un impact sur le marché (affectant une valeur économique directement calculable) ou hors-marché. Ce tableau présente les effets prévisibles en fonction de la nature et de l'exactitude des informations de base utilisées. Dans tous les cas, il faut cependant se rappeler que de tels aperçus sont controversés.

Les modèles du GIECC prévoient un ensemble de répercussions globales, comme un accroissement de l'évaporation, une augmentation ou une diminution des précipitations selon les régions, des événements climatiques extrêmes plus fréquents (ouragans, tornades, inondations, sécheresses) et une augmentation du niveau des océans pouvant varier de 15 à 95 cm en 2100 par la fonte des calottes polaires (IPCC, 2001). Un réchauffement de 1 à 3,5 °C pourrait affecter les forêts, surtout celles des latitudes tempérées (entre le 40° et le 50° parallèle). De grandes portions de certains écosystèmes, comme celui de la forêt boréale, pourraient disparaître, car le repoussement des isothermes plus chauds vers les pôles équivaldrait à un déplacement de 150 à 550 km du climat optimal de ces forêts en moins d'un siècle, une période trop courte pour une adaptation naturelle. Une perte de la biodiversité serait alors possible, notamment chez les espèces animales sédentaires. Le changement climatique influera aussi sur le cycle hydrologique, modifiant la configuration régionale des précipitations, l'intensité des pluies et des sécheresses. Il en résulterait toute une série de conséquences sur les écosystèmes, un accroissement du ruissellement et de l'érosion ainsi qu'une modification de la quantité d'eau disponible dans les nappes phréatiques. Par ailleurs, certains écosystèmes aquatiques pourraient être gravement affectés; par

**Tableau 1.1** Aperçu des impacts du changement climatique

	<b>Dommmages</b>					
	<b>Impacts sur le marché</b>			Dommages causés par des phénomènes climatiques destructeurs	<b>Impacts hors-marché</b>	
	Dommages au secteur primaire de l'économie	Dommages aux autres secteurs de l'économie	Pertes matérielles		Dommages à l'écosystème	Impacts sur les humains
<b>Prévisions complètes</b>	Agriculture		Destruction des terres sèches Protection des zones côtières	Destruction des terres humides		
<b>Prévisions complètes basées sur des approximations</b>	Foresterie	Approvisionnement en eau	Dommages causés par les ouragans		Destruction des forêts  Dommages causés par les ouragans	
<b>Prévisions partielles</b>	Pêcheries*	Demande énergétique Activités de loisirs	Infrastructure urbaine	Dommages causés par les sécheresses**	Disparition d'espèces Vie humaine Pollution de l'air ou de l'eau Migration	Dommages causés par les sécheresses**
<b>Pas de prévisions</b>	Assurance Construction Transport Approvisionnement en énergie		Tempêtes non tropicales Inondations Période de canicule ou de froid intense Autres catastrophes		Autres atteintes à l'écosystème Morbidité Confort physique Stabilité politique Misère humaine Tempêtes non tropicales Inondations Période de canicule ou de froid intense Autres catastrophes	

\* Souvent compris dans la destruction des terres humides

\*\* Dommages agricoles principalement

Source: Fankhauser (1996)

exemple, un récif corallien peut disparaître complètement si la température de l'eau de mer s'élève de plus de 1 à 2 °C. Par contre, certaines espèces de poissons marins pourraient être favorisées, une hausse de la température favorisant la croissance et la survie. En ce qui concerne l'agriculture, les modèles et les connaissances actuelles prévoient un maintien de la productivité, voire une augmentation, car il serait possible de faire croître certaines espèces à des latitudes plus élevées dans l'hémisphère nord. Cette prédiction est cependant basée sur l'aptitude des plantes à croître mieux à température plus élevée et sous une plus grande concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique; elle ne tient pas compte des effets négatifs qui découleraient des sécheresses et de la prolifération d'insectes ravageurs dans des régions où ils sont actuellement absents à cause d'une température trop froide (IPCC, 1996; Fankhauser, 1996).

En ce qui concerne les effets sur la santé, le tableau 1.2 résume les principaux effets prévisibles. On sait notamment que plusieurs vecteurs biologiques de maladies infectieuses, tels les insectes, sont sensibles aux changements climatiques. Dans ce contexte, on croit qu'un accroissement de la température augmentera vraisemblablement les limites géographiques de plusieurs maladies comme la malaria et la dengue, déjà présentes sur une superficie planétaire supportant de 40 à 50 % de la population du globe. Il est possible que l'incidence de ces maladies infectieuses et d'autres s'accroisse, de même que la période de l'année durant laquelle elles représentent un risque (augmentation de la «saisonnalité»). De plus, les changements climatiques projetés produiront un accroissement des vagues de chaleur, souvent exacerbées par une forte humidité et la pollution en milieu urbain; le résultat net sera un accroissement de la mor-

**Tableau 1.2** Principaux effets prévisibles sur la santé humaine dus aux changements climatiques

Type d'effets	Conséquences sur la santé
<b>Directs</b>	
Vagues de chaleurs	Malaises cardio-vasculaires et respiratoires
Augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes	Mortalité, blessures, stress, destruction d'infrastructures de santé publique
<b>Indirects</b>	
<b>1) Perturbations des écosystèmes</b>	
Plus grande dispersion de parasites ou de leurs vecteurs (insectes)	Plus grande dispersion géographique de certaines maladies infectieuses
Plus grande présence d'agents infectieux dans l'eau potable et les aliments	Accroissement de l'incidence d'infections intestinales
Perturbation de la production alimentaire a) à cause de sécheresses ou d'inondations, b) résultant d'une plus grande présence d'organismes ravageurs	Malnutrition et sous-alimentation dans certaines régions entraînant notamment des carences difficilement remédiables chez les enfants
<b>2) Autres effets</b>	
Augmentation du niveau des océans	Déplacements de populations, blessures, contamination des sources d'eau potable, problèmes de nature psychologique
Accroissement de la concentration de certains polluants atmosphériques, incluant le pollen et les spores	Augmentation des maladies respiratoires, comme l'asthme et diverses allergies
Perturbations économiques, sociales et démographiques	Diverses conséquences pour la santé publique, comme une hausse des troubles psychologiques, de la malnutrition, des maladies infectieuses ainsi que des blessures ou des mortalités résultant de troubles civils (émeutes, insurrections, etc.)

Traduit et adapté de IPCC (1996)

bidité et de la mortalité dans les villes, surtout chez les personnes débilitées, âgées ou chez celles qui n'ont pas accès à un air climatisé. Par ailleurs, une augmentation des inondations, résultant de la hausse du niveau de la mer ou de la fréquence des précipitations, sera accompagnée par une augmentation du risque de mortalité par noyade de même que d'une fréquence plus importante de maladies infectieuses respiratoires ou entériques, tout en accroissant la malnutrition suite à la destruction des cultures et du bétail. Des événements climatiques extrêmes (tornades, ouragans et précipitations importantes entraînant des glissements de terrain) provoqueront une augmentation de la morbidité (blessures) et de la mortalité en dévastant les régions habitées. Dans l'ensemble, on prévoit que les populations à faible revenu, notamment celles des pays en développement, souffriront plus des conséquences du changement climatique, toutes causes confondues. Dans tous les cas, les enfants devraient compter parmi les victimes les plus fréquemment recensées (IPCC, 2001).

#### *Réduction des gaz à effet de serre*

C'est dans la foulée du sommet de Rio que fut élaborée la «Convention-Cadre des Nations

Unies sur le changement climatique» entrée en vigueur en 1994; 178 pays l'avaient ratifiée en juin 1999. La Convention fixe une obligation internationale pour la protection du climat de la planète, son objectif étant de stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre. Dans un premier temps, on espérait que les pays industrialisés réduisent leurs émissions à un niveau égal ou inférieur à celui de 1990. Constatant l'échec, la Conférence de Berlin sur la Convention-Cadre a eu pour but de fixer un échéancier axé sur la préparation d'un protocole spécifique adopté à Kyoto en 1997. Ce protocole établit une obligation juridique pour près d'une quarantaine de pays (désignés comme les pays visés par l'Annexe I du Protocole), essentiellement les membres de l'OCDE et quelques anciennes républiques de l'Union soviétique. Cette obligation implique une réduction minimale (fixée à 5 % en deçà des émissions de 1990) pour 6 gaz à effet de serre au plus tard en 2012. Aucune obligation n'a été fixée pour les pays en développement, le Protocole requérant seulement un inventaire de leurs émissions (IPCC, 1996; Merkel, 1996; WRI, 1997; AIE-OCDE, 1999). En octobre 2002, la grande majorité des parties prenantes avaient ratifié le

protocole, qui attendait encore cependant l'adhésion des États-Unis.

En conclusion, il appert que, malgré l'évidence d'une accentuation du réchauffement climatique et de ses effets sur l'environnement et la santé, la réduction des émissions des gaz à effet de serre s'avère un processus long et laborieux, les échéances ayant été constamment repoussées depuis 1992. Des litiges entre pays industrialisés et PED de même que la question de la souveraineté territoriale et du droit au développement économique sont les principaux obstacles à une rapide réduction des émissions des gaz à effet de serre. Au sein du groupe des pays industrialisés (notamment ceux de l'Annexe 1), la question d'une taxation «verte» sur les carburants ne semble destinée à être cautionnée que par une minorité de pays d'Europe. Tant que les coûts de l'inaction demeurent inférieurs à 2 % du PIB, plusieurs pays sont prêts à en assumer le prix et à mettre de côté le principe de précaution\* (Hourcade et Théry, 1996).

### **Destruction de la couche d'ozone stratosphérique\*\***

L'ozone ( $O_3$ ) fait partie des constituants minoritaires de l'atmosphère et, ce que l'on appelle la couche d'ozone est en fait dispersée dans la stratosphère à une altitude variant entre 15 et 45 km.

Si cet ozone était rassemblé en une couche compacte, celle-ci n'aurait que 3 mm d'épaisseur puisqu'il y a seulement une molécule d' $O_3$  par 10 millions de molécules d'autres constituants atmosphériques (azote et oxygène surtout). Les molécules d' $O_3$ , bien que très dispersées, ont cependant un rôle capital puisqu'elles bloquent le rayonnement ultraviolet (UV), particulièrement les UV-B (fréquence de 280 à 320 nanomètres [nm] -  $10^{-9}$  m) dangereux pour les organismes vivants. Les UV-C (200 à 280 nm) sont encore plus nocifs, mais ils sont complètement absorbés par la très haute atmosphère (à plus de 40 km de la surface de la Terre); l' $O_3$  ne joue donc aucun rôle pour les bloquer.

### *Diminution de la couche d'ozone*

On mesure la densité de la couche d' $O_3$  en unité Dobson (UD), qui estime la quantité totale d' $O_3$ , contenue dans une colonne d'air d'une surface de  $1 \text{ cm}^2$ , allant de la surface de la Terre jusqu'à la limite supérieure de l'atmosphère (100 km). Bien que l'épaisseur moyenne normale de la couche est de 300 UD (ou 3 mm, car 1 UD équivaut à un centième de millimètre), dans les faits elle varie de 250 UD au-dessus des régions tropicales à 450 UD au-dessus des pôles. La diminution de l'épaisseur de cette couche a été notée pour la première fois dans les années 1950 et, en 1985, un scientifique britannique a détecté une diminution de 40 % au-dessus de l'Antarctique. Ce «trou» récurrent et saisonnier, se manifeste surtout au début du printemps; il peut aussi s'accroître, car au milieu des années 1990, l'épaisseur de la couche a atteint à peine 150 UD au-dessus de l'Antarctique. La réduction se manifeste cependant au-dessus de l'ensemble de la planète, mais à un degré moindre; l'année 1993 fut la pire, avec une diminution de la couche d'ozone de près de 20 % au-dessus de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Cette réduction est par ailleurs géographiquement très variable allant, en moyenne, de 0,4 % au-dessus de l'Équateur à 4,5 % au-dessus du pôle Nord et 8,6 % au-dessus de l'Antarctique.

### *Effets sur l'environnement et la santé humaine*

Les effets sur l'environnement et la santé humaine découlent d'un accroissement du rayonnement UV-B qui possède suffisamment d'énergie pour causer des lésions aux plantes et aux animaux. Certaines plantes terrestres sont sensibles aux UV-B mais, en général, elles tolèrent une réduction de la couche d'ozone de l'ordre de 10 %. Des expériences ont cependant démontré qu'une réduction supérieure à 20 % peut entraîner une diminution de rendement chez certaines plantes cultivées. Le phytoplancton marin, qui est à la base de la chaîne alimentaire des océans, est déjà affecté dans certaines régions, notamment dans la zone péri-antarctique.

\* Le principe de précaution stipule qu'en cas de risques de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesure effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement et à protéger la population. Pour une discussion détaillée des aspects économiques de l'effet de serre, consulter Mabey et coll., 1997.

\*\* Les informations de cette section sont tirées de Bojkov (1995); EEA (1998); Environnement Canada (1999); UNEP(1993).

tique où une baisse de production de 6 à 12 % a déjà été enregistrée. Chez les humains, on note un risque accru de brûlures après une exposition prolongée au soleil, de vieillissement prématuré de la peau, de cancer cutané, de cataractes et d'une atteinte du système immunitaire. À long terme, un amincissement de 10 % pourrait entraîner une augmentation de 26 % des cancers de la peau non mélaniques (non fatals) et un million de nouveaux cas annuels de cataractes pour l'ensemble de la planète.

#### *Substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO)*

Les SACO sont principalement les chlorofluorocarbures (CFC), les halons, le tétrachlorure de carbone ( $\text{CCl}_4$ ), le 1,1,1-trichloroéthane (méthylchloroforme) et le bromure de méthyle. Les propriétés réfrigérantes des CFC ont été découvertes dans les années 1920, alors qu'à partir des années 1950 leur utilisation s'est généralisée comme agents de propulsion dans les bombes aérosols. On les a aussi utilisés comme agents de gonflement pour les mousses et les matériaux isolants ainsi qu'à titre de solvants pour le nettoyage dans l'industrie électronique. Les halons sont principalement utilisés comme agents propulseurs dans les extincteurs portatifs ainsi que dans les systèmes anti-incendie des avions. Le bromure de méthyle a surtout été utilisé comme agent de fumigation des sols agricoles, le  $\text{CCl}_4$  est un ingrédient de base pour la fabrication des CFC alors que le 1,1,1-trichloroéthane est un agent de dégraissage et de nettoyage industriel. La durée de vie atmosphérique de ces substances varie de 2 à 1700 ans, indiquant ainsi que leurs effets sur la couche d'ozone ne cesseront pas rapidement.

#### *Mesures visant à réduire les SACO*

Dans les années 1980, la production mondiale des SACO a atteint près d'un million de tonnes engendrant une activité économique de plusieurs dizaines de milliards de dollars. Malgré l'aspect économique, la découverte du «trou» au-dessus de l'Antarctique en 1985 a provoqué une rencontre internationale (Convention de Vienne), sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), qui a permis de mettre au point et de faire rati-

fier le Protocole de Montréal en 1987 visant à arrêter la production de SACO. Le protocole a été révisé à quatre reprises, jusqu'en 1997, afin de devancer le bannissement des SACO. La production de CFC, des halons et du  $\text{CCl}_4$  a cessé entre 1994 et 1996 dans les pays industrialisés alors que les PED qui ont ratifié le Protocole ont jusqu'en 2010 pour faire la même chose. La production de bromure de méthyle devrait cesser complètement vers 2005 dans les pays industrialisés. Il faut préciser que les CFC ont été remplacés par les hydrofluorocarbures (HCFC) dont le potentiel de destruction de la couche d'ozone représente au plus 10 % de celui des CFC (United Nations, 1996). Une réduction de 90 % de la production des HCFC est prévue pour 2015 et un bannissement total pour 2020 (2015 dans les pays de la CEE). À cette date, ils devraient être remplacés par des produits sans effet destructeur sur la couche d'ozone.

Avec l'application du Protocole de Montréal révisé, la concentration atmosphérique des substances destructrices de la couche d'ozone devrait être maximale entre les années 2000 et 2005, pour revenir à des valeurs compatibles avec une concentration normale d'ozone vers 2050. On croit que la couche d'ozone sera à son minimum entre 2000 et 2010 mais, malgré cela, l'excès de cancers de la peau attribuables à ce phénomène devrait s'accroître jusqu'en 2060 à cause du délai de plusieurs décennies entre l'exposition et l'apparition de la maladie.

#### **Pollution de l'air en milieu urbain\***

Compte tenu de l'accroissement démographique et de l'urbanisation, la pollution de l'air urbain est devenue un problème important, notamment dans les villes des PED ainsi que dans plusieurs mégapoles des pays industrialisés. Les principaux polluants atmosphériques en milieu urbain sont les particules en suspension (PM), le bioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et les oxydants photochimiques, notamment le  $\text{O}_3$  au sol ou troposphérique. À cette liste s'ajoutent le  $\text{CO}_2$  dont les effets sont planétaires ainsi que le plomb dans les villes où l'essence contenant cet additif est encore utilisée. Le chapitre 11 de ce manuel présente l'origine de ces pollutions et leurs effets sur la santé.

\* Sauf indications contraires, les principales sources d'information de cette section sont Elsom (1992); OMS-UNEP (1992); Levallois et Lajoie (1998).

### *Pollution dans les mégapoles*

Une revue de littérature sur la pollution atmosphérique dans plusieurs mégapoles révèle d'abord un lien avec la localisation géographique. C'est le cas de Los Angeles, qui est située dans une vallée, et de Mexico, qui est localisée dans une cuvette montagneuse à haute altitude. De plus, il existe un rapport évident entre le niveau de pollution et le nombre de véhicules automobiles, leur état de fonctionnement et le type de combustible utilisé. Dans une vingtaine de mégapoles évaluées au début des années 1990, il est apparu que les concentrations de SO<sub>2</sub> avaient diminué dans la plupart d'entre elles, à l'exception de Beijing, Mexico et Séoul où les concentrations pouvaient atteindre trois fois les lignes directrices de l'OMS, soit une quantité suffisante pour engendrer un smog acide. Quant aux particules, elles représentaient une importante source de pollution dans 12 mégapoles, la concentration typique étant de 200 à 600 µg/m<sup>3</sup>. L'OMS n'a fixé aucune ligne directrice pour les particules, mais le Canada a proposé comme objectif national une concentration maximale acceptable de 120 µg/m<sup>3</sup> pour une période de 24 heures à titre de concentration acceptable admissible (Environnement Canada, 1999). Toutefois, un standard pancanadien de 30 µg/m<sup>3</sup> (24 heures) pour les PM<sub>2,5</sub>\* entrera en vigueur d'ici 2010 (CCME, 2000). Le CO s'est révélé être problématique à Mexico avec une concentration moyenne (1 heure) de 67 000 µg/m<sup>3</sup>. Selon l'OMS, l'exposition ne devrait pas dépasser 30 000 µg/m<sup>3</sup> pendant 1 heure et 10 000 µg/m<sup>3</sup> pendant 8 heures. De fortes concentrations de bioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) ont été enregistrées à Los Angeles et Mexico, entre 500 et 700 µg/m<sup>3</sup> alors que les niveaux d'O<sub>3</sub> au sol étaient critiques pour ces deux villes ainsi qu'à São Paulo et Tokyo, avec des concentrations pouvant atteindre 900 µg/m<sup>3</sup>. Les lignes directrices de l'OMS mentionnent que l'exposition au NO<sub>2</sub> ne devrait pas être supérieure à 200 µg/m<sup>3</sup> pendant une heure et 40 µg/m<sup>3</sup> sur une base annuelle. Bien que les concentrations étaient moindres ailleurs, la ligne directrice de l'OMS était largement dépassée dans les villes de Beijing, Djakarta et New York.

En ce qui concerne le plomb, la concentration recommandée par l'OMS était largement dépassée dans les villes de Bangkok, Djakarta, Manille et Mexico. Dans le cas de la ville de Mexico, mentionnons qu'un programme parrainé par la Banque Mondiale, prévoit la mise en place de mesures visant une diminution sensible de la pollution atmosphérique dans la région métropolitaine d'ici 2010, notamment par l'utilisation de combustibles fossiles plus propres et d'un système de transport public basé sur une extension du métropolitain et des autobus moins polluants. L'examen global de la situation a mis en évidence que les particules représentaient le principal problème de pollution de l'air, suivi de l'O<sub>3</sub>, du plomb et du CO. L'analyse des tendances de la pollution de l'air dans ces mégapoles révèle que la situation se détériorera encore pendant une ou quelques décennies, puisque le nombre de véhicules automobiles continuera à s'accroître. Les polluants dont la concentration devrait s'accroître le plus sont les particules, les NO<sub>x</sub> et les oxydants photochimiques.

### *Situation en Europe*

On possède des informations plus complètes et détaillées puisque l'Agence européenne de l'environnement (AEE) publie des rapports depuis le milieu des années 1990. Par ailleurs, les données françaises sont publiées par l'Institut de Veille Sanitaire (Réseau National de Santé Publique). Dans l'ensemble, la qualité de l'air s'est améliorée au cours des années 1990, notamment à l'égard du SO<sub>2</sub> et des particules, à l'exception de quelques villes d'Europe centrale et orientale situées dans un groupe de pays désigné comme ECO\*\*. Le smog acide continue cependant d'être préoccupant dans plusieurs villes (supérieur à au moins 150 % de la ligne directrice de l'OMS) où quelque 25 millions de personnes y sont exposées annuellement. On a observé une diminution de la concentration des NO<sub>x</sub> bien que la ligne directrice de l'OMS soit dépassée de plus de 50 % dans des villes comme Lisbonne, Manchester, Helsinki, Sofia, Milan, Londres, Vienne et Turin. La concentration de CO est demeurée élevée dans plusieurs villes de l'ECO ainsi qu'à Lisbonne, Londres et Helsinki. La concentration de plomb

\* Particules ayant un diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres.

\*\* L'ECO comprend tous les anciens pays communistes membres du Pacte de Varsovie (Pologne, Roumanie, Albanie, etc.), la Turquie, Chypre et Malte, et les États baltes (Estonie, Lettonie et Lituanie).

atmosphérique a connu une baisse notable entre 1982 et 1996, sauf dans plusieurs villes de l'ECO où l'essence au plomb était toujours utilisée. L'O<sub>3</sub> et les oxydants photochimiques («smog d'été») demeurent le problème majeur dans l'ensemble des villes européennes où l'on estime que près de 40 millions de personnes sont exposées annuellement (EEA, 1998; IVS, 1999).

L'accroissement du problème de l'exposition à l'O<sub>3</sub> a été confirmé par de nouvelles données recueillies durant les étés 1997 et 1998 où la concentration cible de 120 µg/m<sup>3</sup> a été dépassée dans tous les pays (EEA, 1999a), alors que l'on notait une baisse graduelle des NO<sub>x</sub> et du SO<sub>2</sub>, tant dans les pays de l'Union européenne (Europe occidentale) que dans ceux de l'ECO (EEA, 1999b). Une étude ayant porté spécifiquement sur les pays de l'ECO et sur les nouveaux États indépendants (NEI) anciennement intégrés à l'URSS\* permet de prévoir une réduction de 62 % du SO<sub>2</sub> entre 1990 et 2010, comparativement à 66 % pour les pays de la Communauté européenne, suite à l'abandon progressif de l'utilisation du charbon et de la mise en fonction de centrales thermiques moins polluantes (EEA, 1999c).

#### *Situation en Amérique du Nord*

Les données disponibles sur les polluants atmosphériques en milieu urbain montrent qu'au Canada et aux États-Unis les concentrations étaient généralement moindres qu'en Europe dans les années 1980, vraisemblablement à cause d'une densité de population plus faible. Toutefois, la réduction des polluants a été moins prononcée jusqu'en 1995, faisant en sorte que les concentrations sont maintenant similaires. Au delà de cette constatation, des tendances similaires ont été observées, soit une réduction appréciable du SO<sub>2</sub> et des particules, comparativement à une quasi-stabilité de la concentration en NO<sub>2</sub> et de l'ozone au sol (OCDE, 1997). Au Canada, en 1996, en milieu urbain, la concentration annuelle moyenne des divers polluants était (en µg/m<sup>3</sup>): particules, 36,7 pour les PM<sub>10</sub>\*\* et 20 pour les PM<sub>2,5</sub>; SO<sub>2</sub>, 12,5; CO, 0,57 et NO<sub>2</sub>, 31 (Environnement Canada, 1999). Toutes ces concentrations sont

inférieures aux normes canadiennes (concentration maximale acceptable [CMA]). Quant à l'O<sub>3</sub> troposphérique, la moyenne dans les villes canadiennes était de 42 µg/m<sup>3</sup> en 1996, une hausse par rapport à 1985, ce qui est toutefois généralement inférieur à celle des villes états-unienues et européennes. Les municipalités canadiennes les plus affectées par l'O<sub>3</sub> sont surtout situées dans le sud-ouest de l'Ontario, entre Windsor et Toronto, qui est la zone la plus industrialisée et la plus densément peuplée du Canada. Dans une moindre mesure, les villes du corridor Toronto-Québec étaient elles aussi affectées (Environnement Canada, 1994, 1996; Environnement Québec, 1997; OMEE, 1998)\*\*\*.

### 3.3 Eau

Dans un contexte de pression démographique continue, l'accès à l'eau potable et la pollution des eaux continentales demeurent deux sujets qui s'avèrent préoccupants pour le siècle qui débute.

#### **Accès à l'eau potable**

Plusieurs spécialistes affirment que l'accès à l'eau potable constituera un enjeu majeur du XXI<sup>e</sup> siècle, du moins dans les régions où cet accès est limité. L'utilisation durable de l'eau, la réduction de la consommation dans les pays industrialisés, la désalinisation de l'eau de mer et l'exportation d'eau par les pays qui ont une abondante ressource hydrique sont des sujets à l'ordre du jour international des prochaines décennies.

#### *Quantités globales d'eau*

Il y a sur la Terre près de 1,4 milliard de kilomètres cubes (km<sup>3</sup>) d'eau, 96,5 % de ce volume étant constitué d'eau salée. L'eau douce ne représente donc que 3,5 % du volume planétaire, une partie importante étant emprisonnée dans les glaciers, dans une couverture de neige permanente (en haute montagne ou aux pôles) ou dans les nappes phréatiques à grandes profondeurs (Gleick, 1993; Young et coll., 1994). La quantité totale d'eau douce de surface facile-

\* Arménie, Azerbaïdjan, Biélorussie, Géorgie, Moldavie, Russie, Ukraine.

\*\* Particules dont le diamètre est de 10 micromètres.

\*\*\* Les informations les plus récentes sont disponibles au portail Internet d'Environnement Canada: [www.msc-smc.ec.gc.ca/airg/tnrs/data\\_f.htm](http://www.msc-smc.ec.gc.ca/airg/tnrs/data_f.htm)

ment accessible, de manière constante et à long terme, est estimée à 91 000 km<sup>3</sup>, eau douce qui est constituée essentiellement par les cours d'eau et les lacs, soit une infime proportion du volume total mondial (de Villiers, 2000; OMS, 1997a). Une grande partie de ce volume facilement accessible se perd cependant dans les océans avec l'écoulement naturel des cours d'eau, ou est emprisonnée une partie de l'année sous forme de neige dans les régions à climat tempéré froid. Finalement, le volume total d'eau réellement disponible est estimé à 14 000 km<sup>3</sup>, soit une moyenne de 2 300 mètres cubes (m<sup>3</sup>) par personne, quantité jugée suffisante parce qu'un peu moins de la moitié est utilisée actuellement pour les besoins humains (environ 6 000 km<sup>3</sup>/an). Le problème de la pénurie d'eau découle essentiellement d'une distribution très inégale de la ressource, certains pays en étant presque dépourvus (UNEP, 1991; OMS, 1997a).

#### *Disponibilités et prélèvements de l'eau*

La quantité minimale d'eau requise par jour par personne est de 50 litres, dont 15 litres pour la préparation des aliments et la consommation. Bien que cela représente 18 m<sup>3</sup> par personne par année, la prise en compte des besoins agricoles, commerciaux et industriels fait en sorte qu'une disponibilité de moins de 1000 m<sup>3</sup> par année/personne est suggérée comme étant minimale (OMS, 1997a). Par ailleurs, on note un lien assez direct entre le produit intérieur brut (PIB) *per capita* et le prélèvement en eau (Gleick, 1993); les États-Unis et le Canada ont les plus importants prélèvements d'eau *per capita*, soit respectivement 1900 et 1500 m<sup>3</sup> par personne par année (OCDE, 1999). Cet important volume découle d'une grande consommation pour des activités non essentielles comme le lavage des automobiles, l'arrosage des pelouses et le remplissage des piscines (Environnement Canada, 1996).

En 1995, près d'une vingtaine de pays étaient dans une situation de pénurie d'eau, les cas les plus critiques étant des États du Moyen-Orient: Koweït (moins de 10 m<sup>3</sup> par an, par personne), Qatar (50 m<sup>3</sup>), Arabie Saoudite (160 m<sup>3</sup>) et les Émirats Arabes Unis (190 m<sup>3</sup>). Compte tenu de la raréfaction progressive de l'eau douce dans certaines régions, le nombre de pays ayant moins de 1000 m<sup>3</sup> par an *per capita* pourrait être d'une quarantaine en 2025, la majorité étant située en Afrique, en Asie et au

Moyen-Orient (Gleick, 1993). En Europe, en 1997, 5 pays ne pouvaient offrir 1000 m<sup>3</sup> d'eau douce à leurs habitants: Allemagne, Belgique, Bulgarie, Chypre, Pologne et République Tchèque (EEA, 1998).

La situation africaine est particulièrement préoccupante, car en 2000 environ 300 millions de personnes vivaient dans des régions où la pénurie d'eau était réelle ou appréhendée à court terme; vers 2025, on estime que ce nombre pourrait être de 600 millions. C'est en Afrique que l'accès à l'eau est le plus problématique, car, dans les années 1990, 65 % de la population rurale et 25 % des urbains n'avaient pas accès à une source fiable d'eau. Par ailleurs, l'eau est très inégalement répartie, les grands fleuves et leurs bassins versants (Nil, Zambèze, Niger, Congo et Volta) ne couvrant qu'une portion limitée du continent alors qu'une partie importante de leur cours est contrôlée par quelques pays. Cette situation est susceptible d'engendrer des conflits entre les pays qui contrôlent le cours de certains fleuves, ou qui effectuent un important prélèvement d'eau pour leurs besoins, et d'autres qui n'ont à peu près aucun contrôle sur leur approvisionnement en eau potable. Le cas le plus patent est celui de l'Égypte dont 97 % de l'approvisionnement provient de l'extérieur du pays, notamment par le Nil (Sharma et coll., 1996). Cette situation n'est cependant pas unique à l'Afrique, car en Europe l'approvisionnement en eau d'États comme la Croatie, la Hollande, la Hongrie et la République Slovaque provient à plus de 75 % de l'extérieur de leurs frontières (EEA, 1998).

Tous les pays européens et les membres de l'OCDE hors Europe (Amérique du Nord, Japon, Corée, Turquie, Australie et Nouvelle-Zélande) prélèvent moins de 50 % des ressources en eau dont ils disposent. Cette situation cache cependant des situations de rareté locales ou saisonnières, notamment dans les grandes zones urbaines et dans les secteurs à forte activité agricole ou industrielle. Il est donc possible que la demande de quelques régions urbaines dépasse la disponibilité et que, dans un proche avenir, des pénuries d'eau puissent survenir dans quelques pays industrialisés (OCDE, 1999; EEA, 1998).

#### *Sources de prélèvement de l'eau douce*

Les principales sources de prélèvement sont l'agriculture, le secteur industriel, les réseaux

publics (utilisations domestiques) et les centrales thermiques pour la production d'électricité dans lesquelles l'eau est utilisée pour le refroidissement. À l'échelle mondiale, l'agriculture constitue l'activité consommant le plus l'eau douce, soit environ 69 % du prélèvement total; l'irrigation des terres arides et semi-arides représente la plus grande part de cette utilisation, suivi de l'abreuvement du bétail et du traitement des aliments par l'industrie agroalimentaire (lavage, mise en conserve). Le secteur industriel prélève environ 23 % de la ressource pour diverses utilisations (lavage, transport des matières premières, agent nettoyant et intrant pour une multitude de produits), alors que les réseaux publics prélèvent moins de 10 % de l'eau pour les utilisations domestiques: citoyens, commerces et petite industrie (OCDE, 1999). Dans les pays de l'OCDE, c'est la production d'électricité qui est responsable du plus grand volume de prélèvement (44 %), suivie de l'agriculture (30 %), des besoins industriels (21 %) et des utilisations domestiques (moins de 5 %). Cette hiérarchie est cependant très variable, car dans plusieurs pays à climat chaud et sec (Australie, Italie, Espagne, Portugal) ainsi qu'en Corée et en Nouvelle-Zélande le prélèvement à des fins d'irrigation est dominant (OCDE, 1997, 1999).

Selon les données actuelles, il est donc possible d'affirmer qu'à l'échelle mondiale il n'y aura pas de pénurie d'eau potable, mais d'ici 2025 une quarantaine de pays devront faire face à un déficit plus ou moins grave, surtout en Afrique, au Moyen-Orient et dans certaines régions asiatiques. Une stratégie globale de l'eau pourrait être basée sur la réduction des volumes utilisés par l'industrie en visant ultimement un fonctionnement sans eau ou avec une quantité minimale, un type de fonctionnement implanté dans plusieurs catégories d'industries. Une utilisation optimale de l'eau d'irrigation serait également un objectif souhaitable, notamment dans les pays industrialisés où les systèmes automatiques d'arrosage peuvent être à l'origine d'un gaspillage de la ressource. Deux autres moyens de réduire les volumes d'eau utilisée dans les pays industrialisés seraient, d'une part, l'amélioration des systèmes de distribution désuets, qui favorisent la fuite d'une importante quantité d'eau potable dans le sol et, d'autre part, la sensibilisation du public au

gaspillage de l'eau, à laquelle pourrait s'ajouter l'installation de compteurs d'eau dans les régions où cela n'est pas encore fait. Dans les PED, la priorité doit d'abord être orientée vers l'approvisionnement de tous les citoyens (WRI, 1997).

### **Pollution de l'eau**

La pollution de l'eau par les activités humaines représente une importante source de coûts sociaux et économiques. Depuis les années 1940, les pays industrialisés ont éprouvé de nombreux problèmes à cause de déversements inconsiderés d'eaux usées agricoles, urbaines et industrielles; une partie de la pollution de l'eau de surface est maintenant sous un contrôle relatif, mais les problèmes de pollution des nappes phréatiques, qui sont apparus au milieu des années 1970, s'avèrent quasi impossibles à gérer. Par ailleurs, les PED commencent à éprouver les mêmes problèmes de pollution que les pays industrialisés, avec quelques décennies de décalage (UNEP, 1991).

### *Rejets d'eaux usées*

Un volume annuel de 450 km<sup>3</sup> d'eaux usées contamine quelque 6 000 km<sup>3</sup> d'eau douce (lacs et cours d'eau) dans lesquels il se déverse (OMS, 1997a). Dans les PED, 90 % des eaux usées sont déversées sans aucun traitement dans les rivières, les lacs et les zones côtières marines. Dans les pays de l'OCDE, le tiers de la population n'est pas raccordé à un système de collecte et de traitement des eaux usées. Dans les années 1990, plus de 50 % de la population de la Hongrie et de la Pologne déversait ses eaux usées dans l'environnement sans aucun traitement (OCDE, 1999).

### *Principaux groupes de polluants*

La qualité de l'eau peut être détériorée par plusieurs milliers de substances polluantes, mais moins d'une centaine font l'objet d'un suivi régulier sur la base de normes ou de lignes directrices nationales (ou émises par l'ONU). Les principaux polluants peuvent être sommairement classifiés dans les groupes suivants: microorganismes pathogènes, matière organique, substances nutritives, substances inorganiques, matières en suspension, micropolluants organiques et pesticides. Ces groupes sont succinctement décrits dans les paragraphes qui suivent (OMS, 1993, 1996; Santé Canada, 1996)\*.

\* Des informations complémentaires sont tirées des portails Internet suivants: OMS; [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/index.html). Santé Canada: [www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/dpc/eau\\_qualite.htm](http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/dpc/eau_qualite.htm).

Les *microorganismes pathogènes* englobent des virus, des bactéries (notamment celles du groupe des entérobactéries) et des parasites (surtout des protozoaires comme *Cryptosporidium spp.* et *Giardia spp.*) susceptibles de causer principalement des gastro-entérites; d'autres infections, comme l'hépatite A, peuvent également être acquises par l'ingestion d'eau contaminée. Les manifestations diarrhéiques, toutes causes confondues, sont la pathologie la plus fréquente sur la planète, quelque quatre milliards de personnes en étant affectées annuellement (OMS, 1997b). On détecte la présence de pathogènes à l'aide de microorganismes indicateurs facilement identifiables en laboratoire; ce sont les coliformes totaux et fécaux. Les lignes directrices de l'OMS prévoient un maximum de 10 coliformes/100 mL d'eau et une absence totale de coliformes fécaux dans l'eau potable. On regroupe sous le vocable de *matière organique* toute substance habituellement non toxique susceptible de subir une dégradation microbienne qui entraîne la consommation de l'oxygène dissous dans l'eau. C'est la demande biochimique en oxygène (DBO) qui entraîne une diminution de la saturation de l'oxygène dissous dans l'eau, ce qui peut provoquer la mort des poissons. Il n'y a pas de lignes directrices quant à l'eau potable, les normes ou recommandations existantes visent plutôt à assurer la survie des organismes aquatiques.

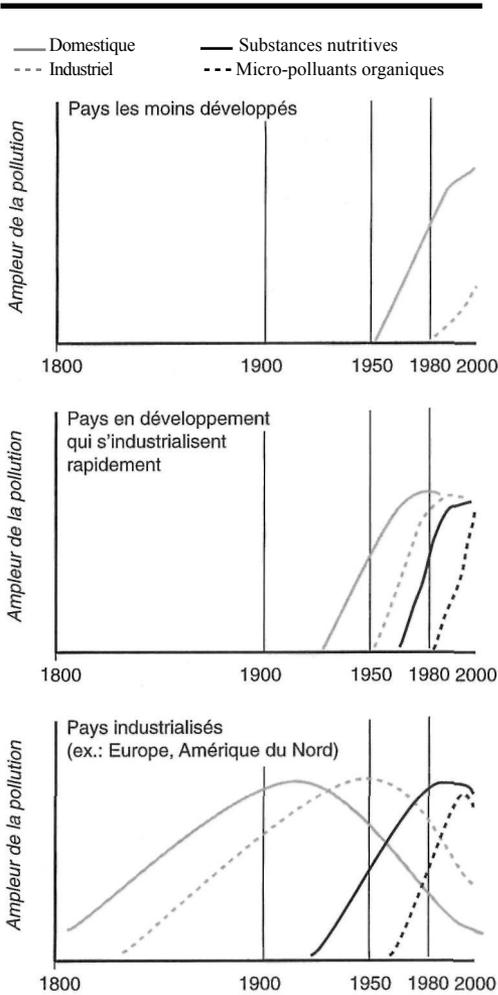
Les *substances nutritives* sont essentiellement des ions azotés (les nitrates,  $\text{NO}_3^-$  et les nitrites,  $\text{NO}_2^-$ ) et phosphorés (principalement les phosphates [ $\text{PO}_4^{3-}$ ]) qui proviennent surtout des fertilisants agricoles (synthétiques ou naturels) et des eaux usées municipales. Ils engendrent l'eutrophisation qui découle d'une prolifération excessive d'algues ou de plantes aquatiques pouvant atteindre une densité suffisante pour nuire aux poissons et rendre l'eau impropre à toute forme d'utilisation humaine. Certaines algues microscopiques sécrétant des substances hautement toxiques (neurotoxines et hépatotoxines), la consommation de l'eau peut représenter un risque grave pour la santé. Afin de prévenir un développement excessif de la végétation aquatique, la concentration maximale de nitrates devrait être de 10 mg/L alors que celle du phosphore ne devrait pas dépasser 0,03 mg/L, car cet élément est considéré comme le facteur critique

en eau douce (Painchaud, 1997). À l'égard de la santé publique, un maximum de 50 mg/L de nitrates et de 3 mg/L de nitrites est recommandé afin de prévenir la méthéoglobinémie infantile et la possibilité de cancer de l'estomac.

Les *substances inorganiques* nuisibles à la santé sont surtout des *métaux et métalloïdes* (aluminium, arsenic, cadmium, chrome, mercure, plomb et quelques autres) ainsi que les composés cyanurés. Certains d'entre eux sont très toxiques, entraînant habituellement des problèmes neurologiques et rénaux, alors que l'arsenic a un potentiel cancérigène. La possibilité d'une association directe entre la maladie d'Alzheimer et l'aluminium est à l'étude depuis quelques années, mais n'a pas été démontrée jusqu'à maintenant (chapitre 27). En règle générale, la concentration des substances inorganiques ne devrait pas dépasser 0,05 mg/L dans l'eau destinée à la consommation humaine. Les *matières en suspension* (MES), ou particules dissoutes totales, proviennent de l'érosion du sol et de diverses activités humaines. Les MES peuvent rendre une eau non potable à cause de la turbidité et du goût désagréable qu'elles peuvent engendrer; la concentration ne devrait pas dépasser 1000 mg/L.

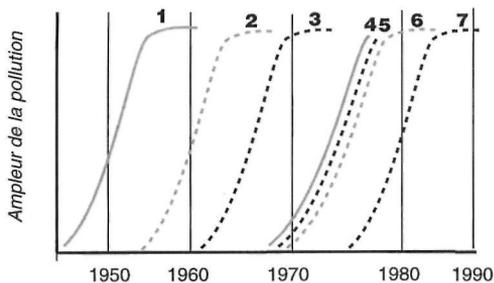
Les *mikropolluants organiques* regroupent des milliers de substances provenant surtout du secteur industriel, et quelques dizaines de ces mikropolluants font l'objet d'un suivi régulier, sur la base de normes ou de lignes directrices. Ce sont habituellement des dérivés du benzène, de l'éthane, de l'éthylène, du méthane, des phénols, du toluène et des xylènes. Les dérivés halogénés, notamment ceux contenant du chlore, sont les plus préoccupants, car ils persistent longtemps dans l'environnement. De plus, quelques-uns sont des cancérigènes établis ou potentiels chez l'humain (benzène, dichloroéthane, chloroforme, trihalométhanes, trichloroéthylène, tétrachlorure de carbone et tétrachloroéthylène). Les normes et lignes directrices fixent les concentrations acceptables dans l'eau potable entre 1 et 100 µg/L, mais leurs concentrations sont habituellement inférieures à 10 nanogrammes (ng/L) dans les cours d'eau. Les *pesticides* regroupent les insecticides, les herbicides, les fongicides et quelques autres groupes dont une présentation plus détaillée est faite plus loin (p. 29-31).

**Figure 1.6** Évolution temporelle des principales sources de pollution



**Apparition des plus importants problèmes de pollution de l'eau en Europe**

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1. Problèmes d'oxygénation | 5. Micropolluants organiques            |
| 2. Eutrophisation          | 6. Nitrates                             |
| 3. Métaux lourds           | 7. Contamination des nappes phréatiques |
| 4. Acidification           |   |



*Qualité globale de l'eau*

Les divers types de pollution sont habituellement apparus séquentiellement, un nouveau problème apparaissant en moyenne à chaque décennie. Dans les années 1950, on a surtout noté une réduction de l'oxygène dissous et une augmentation de la DBO, alors que dans les années 1960 l'eutrophisation et la présence de pesticides sont devenues un problème majeur. Au cours des années 1970, les métaux lourds sont apparus comme une sérieuse menace pour la santé publique, alors que pendant les années 1980 les micropolluants organiques ont atteint des concentrations parfois dangereuses pour la santé humaine. Finalement, les années 1990 ont vu apparaître les risques associés aux perturbateurs endocriniens, des substances qui, en très faible concentration, peuvent entraver le fonctionnement du système reproducteur (UNEP, 1991; OMS, 1997a; chapitre 24). La figure 1.6 schématise l'évolution temporelle des grands problèmes de pollution dans les PED et les pays industrialisés depuis plus d'un siècle.

À l'échelle internationale, l'état des grands lacs, des principaux cours d'eau et de leurs bassins hydrographiques est partiellement connu dans le cadre du «Global Environment Monitoring System» (GEMS) qui regroupe environ 350 stations d'analyse localisées dans 60 pays (UNEP, 1991, 1994, 1995). Par ailleurs, l'OCDE et l'Agence européenne de l'environnement fournissent des données sur la qualité de l'eau dans les pays membres de ces organisations (OCDE, 1997; EEA, 1998).

Les *microorganismes* potentiellement pathogènes seraient largement présents dans l'ensemble des cours d'eau, considérant le fait que les deux tiers des stations du GEMS ont enregistré la présence de pollution d'origine fécale, plusieurs rapportant des concentrations supérieures à 100 000 coliformes/100 mL. Quant à la présence de *matière organique*, la moyenne planétaire est de 2 mg/L de DBO, ce qui indique une pollution modérée; les régions où on note les plus fortes valeurs moyennes sont l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Afrique. Quant à la saturation en oxygène dissous, la valeur moyenne varie entre 80 et 100 %. Sur la base de ces renseignements, l'oxygénation des cours d'eau et des lacs évalués est suffisante pour permettre la vie des poissons. Quant aux *substances nutritives*, la concentration de nitrate

(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) atteint des valeurs extrêmes en Europe; la moyenne est de 2 mg/L, mais on enregistre des pointes dépassant 2000 mg/L, ce qui est largement supérieur à la quantité permise dans l'eau potable (50 mg/L). Le problème européen est aggravé par la présence de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les nappes d'eau souterraines qui devraient normalement être presque exemptes de ce polluant; l'utilisation abusive des fertilisants agricoles est responsable de ce problème.

En ce qui concerne les *métaux lourds*, il n'y a pas de données provenant des stations du GEMS, mais une évaluation du flux d'éléments comme l'arsenic, le cadmium, le plomb, le mercure et le nickel montre que les mers «européennes» (mer du Nord, mer Noire et Méditerranée) reçoivent des quantités de métaux de 10 à 100 fois supérieures à celles des autres océans (Environnement Canada, 1996). Les MES sont surtout présentes dans les secteurs où existe une forte érosion due aux activités humaines. Le bassin de l'Amazonie ainsi que l'ensemble de l'Asie du Sud et de l'Est, incluant l'Indonésie, sont des régions où ce phénomène atteint des proportions importantes (plus de 1000 tonnes de MES par km<sup>2</sup> et par an se retrouvent dans les cours d'eau), surtout à cause du déboisement intensif des forêts tropicales. La concentration des *micropolluants organiques* est généralement inférieure à 10 ng/L, mais les données sont fragmentaires et incomplètes. Compte tenu du risque pour la santé qu'ils représentent, leur seule présence peut constituer un danger, notamment dans le contexte d'une bioaccumulation potentielle dans la chaîne alimentaire et des effets endocriniens de certains de ces contaminants. Le chapitre 13 traite en détail de l'eau potable.

### 3.4 Sol

La première partie de cette section traite des types et des causes de destruction du sol. Viennent ensuite la question des déchets domestiques et l'utilisation des pesticides. Par ailleurs, la contamination des sols est traitée en détail au chapitre 15.

#### Perte et dégradation des sols

La perte de sols et leur dégradation par les activités humaines sont des phénomènes dont l'ampleur s'est accélérée au cours du XX<sup>e</sup> siècle; les

principales conséquences sont une perte de terres arables pour l'agriculture, une diminution des sols capables de supporter la croissance forestière, de même que la contamination par des toxiques qui interdit toute forme d'utilisation, incluant les usages urbains. Les principaux types de dégradation des sols sont l'érosion éolienne et hydrique, la pollution chimique ainsi que la dégradation physique. Ces formes de dégradation, leurs conséquences et leurs principales causes sont succinctement décrites dans les paragraphes qui suivent (Oldeman et coll., 1991; Chevalier, 1993; Alexandratos, 1995; EEA, 1998). Nous concluons cette section par une brève analyse de la déstructuration des sols agricoles résultant de l'urbanisation.

#### *Formes de dégradation des sols, leurs conséquences et leurs causes*

*L'érosion éolienne* se produit surtout sous l'action de vents forts en période sèche et lorsque les sols ont peu ou pas de couverture végétale. Les principales causes sont les pratiques de l'agriculture intensive (utilisation excessive de la mécanisation, cultures dites à grand interligne comme celle du maïs), le surpâturage, le drainage excessif et la déforestation. Il en résulte une perte de sols arables, des dommages à certaines cultures, une propagation des maladies des plantes et des insectes ravageurs; globalement, on assiste donc à une baisse du rendement agricole. Dans les régions arides et semi-arides, une conséquence majeure de l'érosion éolienne est la *désertification* qui engendre, à terme, une stérilisation du sol. *L'érosion hydrique* est d'abord un processus naturel qui évolue à une échelle géologique, mais la déforestation et l'agriculture (notamment par la culture sur des terrains à forte pente, la dénudation des sols durant une partie de l'année, les cultures à grand interligne) sont des facteurs qui tendent à l'accélérer. Il en résulte un lessivage des éléments nutritifs et de pesticides vers les cours d'eau ainsi qu'une perte de la couche de sol arable, une baisse générale de la qualité et de la quantité des récoltes. Il est possible de contrecarrer ces deux types d'érosion en mettant de l'avant des mesures basées sur diverses pratiques culturales (protection des sols par des cultures dites de couverture, voies d'eau engazonnées, cultures en terrasse, utilisation de brise-vent, etc.), mais le phénomène est d'une ampleur telle qu'il sera impossible de l'inverser à court terme.

La *pollution chimique* comprend principalement l'acidification, la salinisation et, de manière générale, la pollution par des substances toxiques. L'*acidification* des sols est un processus par lequel des éléments solubles, tels le calcium et le magnésium, sont lessivés par les précipitations acides et remplacés par des ions hydrogènes, entraînant ainsi une diminution du pH. La nature de la roche mère est déterminante quant à la sensibilité du sol à l'acidification, certaines régions du monde y étant plus sensibles comme l'est de l'Amérique du Nord, l'Europe centrale et une portion de l'Asie centrale. Bien que le phénomène puisse avoir une origine naturelle, les émissions anthropiques atmosphériques de SO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub> et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) sont largement responsables de la formation des précipitations acides (sous forme de neige ou de pluie) qui acidifient tant les sols que les lacs des régions sensibles. Les sols acides provoquent le dépérissement de plusieurs forêts de conifères, notamment dans le nord-est de l'Amérique du Nord ainsi qu'en Europe centrale. Certaines cultures sont sensibles à l'acidification, ce qui nécessite un rehaussement du pH des sols par chaulage. La *salinisation* résulte principalement de l'emploi d'eau salée pour l'irrigation des terres cultivées. Un sol comprenant trop de sels devient impropre à la culture à cause de l'inhibition de l'absorption racinaire. Dans les zones non cultivées, la végétation naturelle est graduellement remplacée par une végétation halophile qui a généralement peu d'intérêt économique à titre de fourrage. La *pollution* résulte essentiellement de l'accumulation de substances toxiques, comme les métaux lourds, qui rendent le sol impropre à toute utilisation à cause du risque pour la santé publique. Les régions industrielles, les sites miniers ainsi que les secteurs avoisinant les bases militaires et les lieux d'enfouissement de déchets dangereux (section suivante) sont les principaux sites sur lesquels une pollution chimique peut être observée.

La *dégradation physique* comprend notamment la déstructuration et la compaction du sol ainsi que la perte de matière organique. La *déstructuration* est la principale cause de dégradation physique dans les pays industrialisés et résulte principalement des effets mécaniques de cisaillement et de compression imposés par les instruments aratoires lourds. Le bris de la struc-

ture provoque un tassement qui, sous l'action de la pluie et de l'irrigation, forme une croûte qui retient l'eau en surface; il en résulte alors de la *compaction* qui se traduit par l'augmentation de la densité du sol. Les principales conséquences sont la réduction de l'aération, une germination plus tardive des plantes, une augmentation du ruissellement de surface (érosion hydrique) et une baisse de rendement des cultures. Dans les pays industrialisés, 90 % de la dégradation physique des sols est de type déstructuration-compaction. La *perte de matière organique*, non décomposée ou sous forme d'humus, est typique des pays où on pratique une agriculture de type industrielle ou intensive et résulte d'une sur-utilisation des terres arables. Cette perte entraîne une augmentation de la sensibilité au compactage, une diminution de la réserve d'eau utile aux plantes et, comme la plupart des phénomènes décrits ci-haut, une baisse générale des rendements des cultures.

#### *Superficies des sols touchés par les diverses dégradations*

Le tableau 1.3 fait état des superficies des sols classés comme modérément à gravement touchés par les types de dégradation décrits ci-haut. Il est à noter que l'Asie et l'Afrique sont les deux régions les plus touchées, bien que l'agriculture y soit moins industrialisée; en Asie, le déboisement des forêts tropicales et sub-tropicales est la principale cause de dégradation des sols (plus de 40 % du problème) alors que, en Afrique, le surpâturage est responsable de la moitié des problèmes de dégradation (OMS, 1997a).

La dégradation des sols a d'abord des conséquences environnementales et exerce peu d'effets directs sur la santé publique, hormis le ruissellement d'éléments nutritifs (azote, phosphore) ou de composés toxiques (comme les pesticides) dans l'environnement aquatique, ce qui porte atteinte aux sources d'eau potable. En prenant toutefois en compte les effets indirects résultant d'une réduction des surfaces cultivables et d'une diminution du rendement des cultures, c'est la sécurité alimentaire qui est menacée. Dans ce contexte, l'Afrique et l'Asie seront particulièrement touchées au cours des prochaines décennies car, souffrant déjà de problèmes de pénurie alimentaire ou de malnutrition, ces deux régions seront les plus affectées par la dégradation des sols arables.

**Tableau 1.3** Types de dégradation du sol à l'échelle planétaire (modifié d'après Alexandratos, 1995)

Régions	Érosion par l'eau	Érosion éolienne	Dégradation chimique	Dégradation physique	Total
Afrique	170	98	36	17	321
Asie	315	90	41	6	452
Amérique du Sud	77	16	44	1	138
Amérique du Nord et centrale	90	37	7	5	139
Europe	93	39	18	8	158
Australasie	3		1		6
<b>TOTAL</b>	<b>748</b>	<b>280</b>	<b>147</b>	<b>39</b>	<b>1214</b>

#### *Perte des sols agricoles à des fins d'urbanisation*

La confrontation entre le développement urbain et l'utilisation des sols à des fins agricoles s'effectue surtout dans ce que l'on appelle la frange urbaine, où la possibilité de remplacer un usage agricole par une utilisation urbaine confère une «plus-value» aux terrains soumis à la spéculation. Les effets de la conversion des zones agricoles se manifestent de trois manières successives: l'empiétement de l'urbanisation, la hausse du prix du sol et la déstructuration du milieu agricole. L'*empiétement de l'urbanisation* est la première étape qui se manifeste par une expansion du développement résidentiel s'accompagnant d'infrastructures diverses (routes, autoroutes, centres commerciaux). La *hausse du prix du sol* est une conséquence immédiate de l'empiétement de l'urbanisation. Ainsi, la valeur monétaire d'un mètre carré de terrain peut s'accroître de 100 % de même que la valeur foncière des fermes qui demeurent opérationnelles dans un milieu semi-urbanisé et qui deviennent inaccessibles aux jeunes agriculteurs incapables de les acheter. La *déstructuration* est la dernière étape et le problème le plus grave. Elle se manifeste par l'abandon de terres qui deviennent impossibles à cultiver à cause d'une présence trop importante d'infrastructures urbaines. Le quadrillage du territoire par les voies rapides morcelle les terres, limite leur accessibilité ou diminue leur qualité tout en créant une spéculation latente qui empêche la relève de s'établir. Ces terres sont souvent laissées à l'abandon ou font l'objet d'utilisations marginales qui leur font perdre tout potentiel agricole (Bhadra et Brandão, 1993; Chevalier, 1993).

La perte de terres agricoles par l'urbanisation

n'est pas un phénomène marginal, que ce soit dans les pays industrialisés ou en développement. Ainsi, au Canada, entre 1966 et 1996, la croissance des villes de plus de 25 000 habitants a été à l'origine de la conversion de 300 000 hectares de terres agricoles, 58 % d'entre elles étant considérées comme des terres de classe supérieure. Les données montrent également que 75 % de l'urbanisation s'est effectuée sur de telles terres, ce qui s'explique par le fait que le milieu habité et le milieu agricole cohabitent, depuis le début de la colonisation, dans une étroite bande de quelques centaines de kilomètres au sud du pays. Au Canada, un ajout de 1000 personnes en milieu urbain se traduit par une perte moyenne de 70 hectares de sol agricole; les petites localités de 25 000 à 50 000 personnes sont celles qui s'avèrent les plus destructrices, utilisant 196 hectares pour l'ajout de 1000 personnes. Le rythme annuel de conversion des terres agricoles en sols urbains au Canada, de l'ordre de 4,4 %, ne peut être freiné que par l'adoption de lois conservacionistes; quelques provinces, dont le Québec et la Colombie-Britannique, ont adopté de telles législations qui régissent l'utilisation des terres agricoles à d'autres fins (Environnement Canada, 1996; Dearden et Mitchel, 1998).

La situation est similaire sur l'ensemble de la planète où les secteurs à forte densité démographique ont été historiquement liés à la présence de terres fertiles pouvant nourrir les populations. Il n'existe malheureusement pas de données crédibles à l'échelle planétaire concernant la disparition des terres agricoles au profit de l'urbanisation. On peut cependant avoir une indication de l'ampleur du phénomène en cons-

tatant ce qui se fait dans les pays industrialisés. Ainsi, aux États-Unis, un peu plus de 1,5 million d'hectares de terres agricoles cultivées ont été urbanisés en une seule décennie, de 1982 à 1992, alors que près d'un million d'hectares de pâturages subissaient le même sort. Globalement, les estimés les plus réalistes font état de 476 000 hectares par an la superficie de sols arables convertie à des utilisations urbaines incompatibles avec l'agriculture dans les pays développés seulement (WRI, 1997). En ce qui concerne la situation dans certains pays en développement, une étude de la Banque Mondiale effectuée au début des années 1990 a montré qu'en Indonésie quelque 60 000 hectares de terres arables étaient converties annuellement à d'autres fins (Bhadra et Brandão, 1993). L'urbanisation de mégapoles comme le Caire et Mexico provoque la perte annuelle d'environ 1000 hectares de terres agricoles (Brennan, 1993). À l'échelle planétaire, l'irréversibilité de cette conversion n'a pas encore eu d'effets pervers majeurs, compte tenu de l'accroissement de la productivité agricole (voir «*Ressources alimentaires*», page 11) qui permet encore de nourrir globalement l'ensemble de l'humanité. Il est toutefois actuellement impossible de prévoir si un point de rupture sera atteint au cas où la technologie ne serait plus en mesure de compenser la perte des sols agricoles.

## Déchets

Cette section aborde trois aspects: la production des déchets municipaux et leur gestion, les principaux risques pour la santé qu'ils engendrent et, finalement, une courte présentation de la problématique des déchets dangereux (voir également le chapitre 15).

### Catégories de déchets

Quatre catégories de déchets sont habituellement répertoriées. Par ordre décroissant de quantités générées, ce sont les déchets agricoles, à l'exclusion des fumiers (surtout des résidus végétaux et des carcasses animales non destinées à l'alimentation), les rejets miniers (résidus stériles n'ayant habituellement aucune valeur économique), les déchets industriels et, finalement, les ordures domestiques. Bien que la masse de ces dernières soit la moins importante, ces déchets sont omniprésents dans l'habitat humain, et une mauvaise gestion peut avoir des

impacts majeurs sur la santé publique. De plus, c'est le seul groupe de déchets dont la quantité annuelle augmente constamment.

Les déchets domestiques solides comprennent essentiellement des rejets non dangereux comme le papier, le plastique, le verre, le métal, les emballages, les résidus de table et de jardinage. Ces déchets comprennent cependant un certain nombre de produits pouvant être classifiés comme dangereux: peintures, solvants, piles. Les statistiques de l'OCDE font état des «déchets municipaux» définis comme «les déchets collectés et traités par les municipalités qui comprennent les déchets des ménages et les déchets encombrants, les déchets similaires des commerces, des bureaux, des institutions et des petites entreprises, les résidus de jardins, les déchets de nettoyage des rues, le contenu des poubelles publiques et les déchets de marché. La définition exclut les déchets issus de l'assainissement municipal des eaux usées et les déchets de construction et de démolition municipaux» (OCDE, 1997).

### Quantités de déchets municipaux

S'il est difficile, voire impossible, d'obtenir des données sur la quantité et la nature des déchets municipaux produits en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud, l'OCDE et l'AEE publient un portrait relativement complet pour leurs pays membres, une cinquantaine au total (EEA, 1998; OCDE, 1997)\*. Les États-Unis sont les plus grands producteurs de déchets municipaux, les 189 millions de tonnes (Mt) qu'ils engendrent annuellement représentant 39 % des 484 Mt produites par l'ensemble des pays de l'OCDE. Les autres plus importants producteurs de déchets sont le Japon (50 Mt), le Mexique (30 Mt), la France (28 Mt), l'Italie (27 Mt) et l'Allemagne (26 Mt). En ce qui concerne la production de déchets municipaux par personne, la moyenne de l'OCDE est de 510 kg/an/habitant. Les États-Unis viennent en tête (730 kg), suivis du Canada (630 kg) et de la Norvège (620 kg). Sauf quelques exceptions, il existe un lien direct entre le PIB par habitant et la quantité de déchets engendrés *per capita*; les exceptions notables à cet égard sont la Finlande, l'ancienne Allemagne de l'Ouest et la Suisse où la production *per capita* est comparable à celles de pays ayant un PIB par habitant plus faible

\* Toutes les données sont celles de 1995, dernière année de compilation des informations à ce jour.

comme ceux de l'ECO et les nouveaux États indépendants.

Les déchets des pays de l'OCDE sont principalement composés de résidus putrescibles provenant des rejets de table et de jardinage (36 %), suivis des papiers et cartons (22,6 %), des matières plastiques (8 %), du verre (6 %) et des métaux (4 %); les déchets de textile et les rejets divers composent les 23,4 % qui restent. Dans les pays industrialisés, presque 100 % de la population a accès à un service de collecte ou d'enfouissement des ordures, mais la récupération et le recyclage ne sont pas encore des valeurs inscrites dans les habitudes de vie des citoyens. Ainsi, les deux tiers des déchets des pays européens et de ceux de l'OCDE hors Europe sont enfouis dans des décharges (lieux d'enfouissement sanitaire), alors que 20 % sont dirigés vers des incinérateurs, principalement aux États-Unis, en France et au Royaume-Uni. En ce qui concerne la valorisation, 10% des déchets font l'objet d'une collecte sélective et sont recyclés. Quelques pays se distinguent particulièrement en cette matière: Suisse (43 %), Allemagne et Finlande (33 %). Aux États-Unis et au Canada, la moyenne est de 20 % alors qu'elle n'atteint pas 1 % au Mexique.

#### *Principaux polluants associés à l'enfouissement*

Si l'enfouissement ne fait pas l'objet d'une gestion adéquate, des risques pour la santé publique peuvent exister. Nous n'insisterons pas ici sur les risques évidents découlant du fait que, dans certains PED, des humains ont élu domicile de manière quasi permanente dans des décharges publiques, consommant même les restes de nourriture qu'ils y trouvent. Certains bénéfices économiques compensent assurément pour les risques associés à la vie dans une décharge. Au delà de cette question, les lieux d'enfouissement sanitaire (LES) et les dépotoirs peuvent représenter un certain danger pour la population environnante, que ce soit par la contamination de l'air, de l'eau ou par la présence de vermine.

Avec l'action des microorganismes, les déchets se décomposent et produisent les *biogaz*, qui contiennent principalement du  $\text{CH}_4$ , et qui peuvent être récupérés à des fins énergétiques au moyen de canalisations appropriées. Le  $\text{CH}_4$  peut cependant s'infiltrer dans le sol et atteindre des lieux habités entraînant un risque potentiel d'explosion. On note par ailleurs la présence de

plusieurs dizaines de composés volatils toxiques ou cancérogènes qui appartiennent notamment aux groupes des hydrocarbures aromatiques (dont le benzène, le toluène et les xylènes) et des hydrocarbures halogénés (tels le chlorure de vinyle et le chloroforme). On a également décelé des composés sulfurés (sulfure d'hydrogène [ $\text{H}_2\text{S}$ ], mercaptans), des alcools, de l'acétone et des gaz explosifs comme le propane. Par ailleurs, la masse de déchets engendre un liquide très polluant, le *lixiviat*, qui contient des substances toxiques, des métaux lourds (notamment arsenic, cadmium, mercure et plomb) et des composés organiques divers comme le benzène, le chlorure de vinyle, le dichlorométhane, le  $\text{CCl}_4$ , le trichloroéthane et des xylènes. Le lixiviat contient également de nombreuses bactéries, notamment des entérobactéries pouvant être pathogènes (*Enterobacter spp.*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* et *Yersinia spp.*).

#### *Excréments humains*

Dans les pays en développement, il existe un problème maintenant oublié dans les pays industrialisés et qui concerne la gestion des excréments humains. À l'échelle planétaire, plus d'un million de tonnes de fèces sont engendrées quotidiennement et, dans certaines régions comme l'Asie et l'Afrique, entre 65 et 70 % de la population, tant urbaine que rurale, ne possède pas d'installations sanitaires adéquates. Conséquemment, près de trois milliards d'humains n'ont pas accès à un système de collecte adéquat, ce qui les expose à plusieurs infections provenant notamment de la contamination de l'eau de surface ou de la nappe phréatique. Par ailleurs, on estime que 20 % de la population de ces pays n'ont accès qu'à des installations rudimentaires, telles des latrines, qui ne réduisent pas suffisamment le risque infectieux (OMS, 1997a).

#### *Déchets dangereux*

Les déchets dangereux (DD) comprennent des milliers de substances qui proviennent surtout du milieu industriel. Ils peuvent être sommairement classifiés selon leurs propriétés chimiques: *inflammables* (qui peuvent prendre feu ou brûler avec violence), *corrosifs* (altération des métaux - acides fort [sulfurique, chlorhydrique, phosphorique] et bases fortes comme l'hydroxyde de sodium), *radioactifs* (émission de radiations ionisantes mortelles ou pouvant déclencher des

cancers), *réactifs* (réaction violente ou explosive en présence, notamment, d'humidité ou d'eau) et *toxiques* (dont l'inhalation, l'ingestion ou le contact cutané peuvent entraîner diverses réactions physiologiques aiguës, chroniques, cancérogènes ou mortelles). Ces déchets appartiennent à des groupes très hétérogènes comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les solvants organiques, chlorés ou non, des résidus miniers contenant de l'arsenic ou des cyanures (Chevalier, 1995).

Dans les années 1990, la production mondiale annuelle de DD était estimée à quelques 400 Mt, dont 300 millions dans les pays de l'OCDE (UNEP, 1999); les États-Unis étaient responsables de plus de 70 % de la production de l'OCDE avec 215 Mt (OCDE, 1997). Ces déchets dangereux devraient être détruits par des méthodes appropriées (incinération, neutralisation) ou enfouis dans des sols imperméables avec des précautions exceptionnelles comme l'utilisation de géomembranes imperméables ou l'emprisonnement dans une matrice de ciment. Il existe malheureusement des milliers de sites d'entreposage de DD (32 000 aux États-Unis seulement) dont plusieurs ne sont pas sécuritaires et représentent des risques considérables pour la santé publique; l'affaire Love Canal qui fut mise au jour en 1978 aux États-Unis\* fut à l'origine d'un mouvement visant une meilleure gestion des DD.

Un autre problème est le mouvement transfrontalier des DD. Dans les années 1970 et 1980, de nombreux PED, surtout africains, ont accepté de recevoir sur leur territoire des déchets provenant de pays industrialisés, en retour de dédommagements monétaires; ces déchets étaient la plupart du temps simplement déposés sur des terrains vagues, sans surveillance ni mesures de sécurité. Afin de prévenir cette pratique inacceptable pour la santé publique, la Convention mondiale sur les mouvements transfrontaliers des DD (Convention de Bâle) fut signée en 1989 sous l'égide des Nations Unies. En 1991, les pays africains signaient leur propre convention, dite de Bamako, prévoyant notamment le renvoi, dans leur pays d'origine, des DD illégalement importés en Afrique

(Kummer, 1994). Toutefois, en 1999, moins de 50 % des pays africains avaient signé la Convention de Bâle, comparativement à une moyenne variant entre 55 et 100 % dans les autres régions du monde. En 1999, une nouvelle convention, préparée par le PNUE et l'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) fut signée à Rotterdam par 78 pays dont les 15 membres de l'Union européenne. La convention de Rotterdam vise à mettre sur pied un système permettant d'avoir de meilleures informations sur les risques liés à certaines substances toxiques qui font l'objet de mouvements transfrontaliers légaux, en permettant notamment la protection de la santé publique (UNEP, 1999).

### Pesticides

A l'instar d'autres composés d'origine anthropique, les pesticides contaminent tous les écosystèmes, incluant les pôles où ils se rendent par voie atmosphérique. Cependant, contrairement aux polluants d'origine industrielle, les pesticides sont volontairement épanchés dans l'environnement, entraînant ainsi une contamination considérable des écosystèmes.

#### *Principaux pesticides*

Les trois principaux groupes de pesticides sont les insecticides, les herbicides et les fongicides. Les premiers sont habituellement plus préoccupants à l'égard de la santé, compte tenu que leurs mécanismes d'action envers les insectes peuvent également perturber le métabolisme humain et provoquer des séquelles neurologiques ou la mort. Les insecticides de la première génération, les organochlorés (aldrine, chlordane, DDT, heptachlore, méthoxychlore, mirex), représentent un risque important puisque leur persistance environnementale est longue (plusieurs décennies). Ils s'accumulent dans les tissus adipeux pour ne plus s'en déloger; leurs effets environnementaux, notamment chez les poissons et les oiseaux carnivores, ont été largement étudiés depuis les années 1960, ce qui a permis de mettre en évidence des effets mutagènes, tératogènes, fœtotoxiques ou cancérogènes. Les insecticides organophosphorés (diazinon, fénitrothion, malathion, parathion) ont une toxicité aiguë plus importante, mais

\* Un quartier résidentiel et une école avaient été construits au-dessus d'un ancien dépotoire de DD. Au fil du temps, les substances toxiques se sont infiltrées dans les maisons et dans le sol; on soupçonne qu'elles aient causé des cas de cancer chez les enfants de ce quartier.

sont moins persistants et habituellement non cancérogènes. Les carbamates (aldicarbe, bénomyl et carbaryl) ont une toxicité similaire à celle des organophosphorés, bien que certains, tel l'aldicarbe, soient de plus en plus bannis. Les herbicides sont beaucoup moins toxiques envers les mammifères, car leurs mécanismes d'action sont conçus pour perturber le métabolisme des végétaux. Quant aux fongicides, ils appartiennent à des familles chimiques très diverses; ils peuvent être de nature inorganique (à base de chrome, de cuivre, de soufre ou de zinc) ou organique (bénomyl, captane, manèbe, zinèbe). Leur toxicité envers les mammifères est variable, se situant habituellement entre celle des insecticides et des herbicides (Environnement Canada, 1987; Doucet, 1992; Chevalier, 1995).

#### *Quantités relarguées dans l'environnement*

Dans les pays industrialisés, les méthodes culturales reposant sur l'emploi des pesticides se sont généralisées depuis les années 1950, les quantités utilisées ayant été maximales vers la fin des années 1980. Dans les pays de l'OCDE, une diminution du volume des pesticides a été enregistrée entre 1985 et 1995, sauf quelques exceptions (Canada, Corée, Grèce, Irlande et Portugal); les réductions sont cependant très variables, allant de 6 % aux Etats-Unis à 66 % en Suède. Au cours des années 1990, les Etats-Unis étaient les plus importants utilisateurs de pesticides (368 000 tonnes sur le million de tonnes utilisées par l'ensemble des pays de l'OCDE), suivis de l'Italie (158 000 t), de la France (84 000 t) et du Japon (64 500 t). Les herbicides sont les pesticides les plus utilisés (362 000 t), suivis des fongicides (262 000 t) et des insecticides (165 000 t), le reste étant constitué de pesticides divers: avicides, acaricides, bactéricides, nématocides et rodenticides (OCDE, 1997).

#### *Concentrations acceptables dans l'eau potable*

Bien qu'il existe près de 1000 substances actives\* homologuées, une centaine sont couramment utilisées et moins d'une cinquantaine font l'objet de lignes directrices, recommandations ou normes de la part de l'OMS ou de divers gouvernements. En règle générale, les concentrations maximales à ne pas dépasser dans l'eau potable, quel que soit le pesticide,

sont de l'ordre de 50 µg/L; les substances les plus toxiques, comme les organochlorés, ont des seuils d'acceptabilité plus bas, généralement inférieurs à 2 µg/L (Santé Canada, 1996; OMS, 1996). En Europe, les pesticides le plus souvent retrouvés dans l'eau sont deux herbicides, l'atrazine et la simazine, dont l'emploi est intimement lié aux grandes cultures intensives de céréales. Dans plusieurs pays européens, une concentration d'atrazine supérieure à 0,1 mg/L a été détectée dans 25 % des échantillons d'eau souterraine, démontrant ainsi une contamination à l'échelle continentale (EEA, 1998).

#### *Préoccupations particulières à l'égard de la santé publique*

Parallèlement à la diminution de l'utilisation des pesticides dans les pays industrialisés, les PED en emploient de plus en plus, notamment des insecticides (Alexandratos, 1995). Plusieurs PED utilisent et produisent encore des insecticides très toxiques et persistants (comme le DDT dans le cas de la lutte anti-malaria) ou cancérogènes, comme l'hexachlorobenzène (fongicide) et le toxaphène (insecticide), bannis depuis les années 1970 dans les pays industrialisés. À titre d'exemple, au cours des années 1990-1994, 2000 tonnes de DDT et 240 tonnes de toxaphène ont été produites et exportées. Les populations des PED exposées à ces substances encourent des risques certains, car, la plupart du temps, elles ne sont pas informées des dangers. Par ailleurs, certains végétaux aspergés de ces pesticides sont exportés dans les pays industrialisés, exposant ainsi les consommateurs (UNEP, 1999). À l'instar des grandes thématiques présentées dans ce chapitre, le même constat s'impose avec les pesticides: réduction graduelle du problème dans les pays industrialisés, stabilisation ou accroissement des risques dans les PED. Mentionnons que, en ce qui concerne l'utilisation du DDT pour le contrôle des insectes vecteurs de la maladie, une initiative de l'OMS vise à réduire l'utilisation de cet insecticide pour le remplacer par d'autres produits moins nocifs ou des méthodes ne faisant pas appel à la lutte chimique; il s'agit, entre autres, de la protection nocturne au moyen de filets ou de la lutte biologique contre les insectes vecteurs. Il faut mentionner le cas

\* Une substance active est le composé de base du pesticide (DDT, par exemple) lequel peut être formulé en diverses concentrations et vendu sous plusieurs noms commerciaux différents.

particulier du DDT, encore largement utilisé à l'intérieur des bâtiments pour lutter contre la malaria en Afrique et dans certains pays d'Amérique latine. Le projet «Faire reculer le paludisme» («Roll Back Malaria»), parrainé par l'OMS, vise à réduire considérablement l'emploi du DDT dans les bâtiments, mais aucune solution, comme l'utilisation de moustiquaires imprégnées d'insecticides, ne permettra d'éliminer cette substance à très court terme\*.

### 3.5 État de la situation dans les diverses régions de la planète

Cette dernière section trace un portrait succinct des principales observations et tendances quant à l'état de l'environnement. Les données sont tirées du bilan mondial préparé par le PNUE (UNEP, 1999)\*\*. L'information est présentée sous forme de capsules-éclair pour chacune des régions, telles que définies par le PNUE. L'accent est mis sur l'information pertinente aux questions de santé publique; d'autres sujets, comme l'état de la biodiversité et la déforestation, sont par ailleurs présentés dans le document du PNUE.

#### Afrique

- La population africaine doublera entre 1997 et 2025, passant de 778 millions à 1,5 milliard, car le taux de fertilité moyen est encore très élevé (5,3 enfants/femme en 2000, atteignant 6,6 en Afrique noire);
- Avec une progression annuelle de 4 %, l'urbanisation est la plus élevée de la planète;
- D'une situation d'exportateur net de produits agricoles en 1960, l'Afrique est devenue un importateur d'aliments qui sont mal répartis, ce qui engendre malnutrition et sous-alimentation. En 2025, le continent pourrait ne répondre qu'à 40 % de ses besoins alimentaires;
- Ce continent n'est responsable que de 3,5 % des émissions atmosphériques de CO<sub>2</sub> mais, par ailleurs, l'utilisation de combustibles polluants (charbon, bois, huiles lourdes) entraîne d'importants problèmes de pollu-

tion intérieure qui présentent un danger pour la santé (problèmes respiratoires);

- L'Afrique possède de bonnes réserves en eau, mais la mauvaise répartition géographique entraîne des problèmes importants; vers 2025, quelque 25 pays seront en état de pénurie;
- Depuis 1990, le volume des pêches côtières (marines) diminue constamment;
- La dégradation des sols est le problème environnemental le plus important, 500 millions d'hectares ayant été détruits depuis 1950 à cause des sécheresses et de pratiques agricoles inadéquates (surpâturage, salinisation);
- On note des problèmes de gestion des déchets solides; dans certaines villes, seulement 10 % des ordures sont collectées. Cela entraîne des problèmes majeurs de santé publique: 62 000 cas de choléra et 171 000 cas de dysenterie ayant été attribués aux déchets urbains en 1994.

#### Amérique du Nord (Canada, Etats-Unis)\*\*\*

- Ces deux pays (300 millions d'habitants) sont dans une situation de prospérité économique malgré la persistance de poches de pauvreté dans les grandes villes et parmi certaines populations autochtones;
- La croissance démographique est faible (accroissement annuel de 0,8 %) et 75 % des personnes vivent déjà en milieu urbain;
- Les Nord-Américains consomment en moyenne 3600 kilocalories/jour, soit 35 % de plus que la moyenne mondiale;
- Certains polluants atmosphériques sont en réduction (SO<sub>2</sub> et composés organiques volatils), mais la qualité de l'air urbain est affectée par des épisodes plus fréquents de pollution par l'ozone au sol;
- La quantité de CO<sub>2</sub> (gaz à effet de serre) émise par personne par année (20 T) est 5 fois plus élevée que la moyenne mondiale;
- La quantité d'eau potable est suffisante, mais certaines régions désertiques des Etats-Unis pourraient devoir importer de l'eau pour

\* Pour plus d'information, [www.mosquito.who.int/](http://www.mosquito.who.int/)

\*\* Le rapport GEO-3 (Global Environment Outlook-3) du PNUE apporte une mise à jour des données (PNUE, 2002).

\*\*\* Voir aussi CCE (2001)

maintenir les activités urbaines et agricoles. De plus, les Nord-Américains consomment trop d'eau potable pour des activités non essentielles;

- Les cours d'eau et les nappes phréatiques ont été gravement pollués par les activités industrielle et agricole; les Grands Lacs ont une eau de piètre qualité, contenant des centaines de pesticides et de composés organochlorés différents dont plusieurs agissent à titre de perturbateurs endocriniens ou sont cancérogènes;
- La pollution déversée par le Mississippi dans le golfe du Mexique a créé une «zone morte» où les poissons ne peuvent plus vivre;
- La pêche commerciale maritime s'est effondrée, que ce soit dans le golfe du Mexique ou dans l'Atlantique-Nord, à cause de la réduction des stocks de poissons;
- La production de déchets municipaux et dangereux *per capita* est la plus élevée au monde.

### Amérique latine et Caraïbes

- En termes économiques, c'est une région de profondes disparités, la richesse étant concentrée dans les mains de quelques milliers de personnes alors que plus de 100 millions d'autres vivent dans des conditions malsaines;
- Comme en Amérique du Nord, 75 % des habitants de cette région vivent en milieu urbain, proportion qui devrait atteindre 85 % en 2025. Le développement anarchique des grandes villes donne naissance à des bidonvilles dans lesquels la santé publique est constamment en danger;
- La pollution de l'air atteint des niveaux extrêmes dans plusieurs mégapoles, créant ainsi des conditions propices à toutes les atteintes pulmonaires; le plomb atmosphérique constitue une menace sérieuse à la santé des enfants;
- L'Amérique latine possède une bonne réserve d'eau douce bien que les deux tiers de la région soient classés comme arides ou semi-arides. Toutefois, puisque seulement 2 % des eaux usées sont traitées, la pollution des sources d'eau potable est importante;

- Quelque 250 millions d'hectares de sol en Amérique du Sud sont dégradés et 63 millions d'autres en Amérique centrale; la déforestation et le surpâturage en sont les causes premières;
- La gestion des déchets municipaux présente un problème majeur puisque 40 % des 270 000 tonnes engendrées annuellement s'accumulent dans des dépotoirs sans aucun contrôle.

### Asie et pays du Pacifique

- Cette région inclut l'Australasie, l'Indonésie, les Philippines et l'ensemble de l'Asie continentale à l'exception de la Russie et de quelques anciennes républiques de l'URSS regroupées avec l'Europe (*voir ci-bas*);
- C'est une région très hétérogène, certains pays (Australie et Nouvelle-Zélande) ayant un niveau de vie élevé (PIB de 15 000 \$ É.U./personne) alors que d'autres (Afghanistan, Bangladesh, Inde, Népal) sont dans une situation économique précaire (PIB de 500 \$ É.U./personne);
- La superficie des terres cultivées s'est accrue depuis 1980, mais au détriment de 42 millions d'hectares de forêts naturelles; malgré cela, la superficie de terres arables *per capita* diminue à cause de la croissance démographique;
- Nonobstant l'accroissement de la productivité agricole dans certains pays (la Chine a quadruplé ses rendements depuis 1950), l'Asie continentale devra de plus en plus compter sur l'importation de ressources alimentaires, car 550 millions d'hectares de terres arables sont dégradés et 350 millions d'hectares sont déjà désertifiés;
- Les émissions de polluants atmosphériques (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ou NO<sub>x</sub>) augmentent rapidement, à cause de l'accroissement du nombre des véhicules automobiles utilisant une essence de mauvaise qualité;
- L'Asie compte une dizaine de mégapoles où l'air est de piètre qualité; en Chine, 400 000 personnes par an développent une bronchite chronique, alors que 50 000 autres meurent à cause de la pollution de l'air dans les 11 plus grandes cités du pays;

- La demande en eau s'accroît constamment, notamment à des fins agricoles où elle représente 90 % du prélèvement dans certains pays à climat aride. Le tiers des habitants de cette région n'ont déjà plus accès à une source fiable d'eau potable et, vers 2025, plusieurs pays, tels l'Inde et la Chine, seront dans une situation de pénurie d'eau potable;
- Le plus important problème de pollution de l'eau est lié à la présence de MES dont la concentration peut atteindre 20 fois le niveau recommandé dans les pays de l'OCDE. Par ailleurs, la présence de microorganismes pathogènes serait responsable de la mort de 500 000 enfants par an;
- Cette région produit 2,6 milliards de tonnes de déchets par an, dont 700 millions sont d'origine domestique. La gestion de ces rejets, de même que celle des déchets dangereux, est inadéquate et des millions de personnes sont exposées à leurs effets nocifs.

### Europe et Asie centrale

- Cette région comprend l'Europe de l'Ouest (telle qu'elle existait à l'époque du «rideau de fer»), l'Europe centrale (les pays de l'ECO et les nouveaux États indépendants), la Turquie, ainsi que des pays de l'Asie centrale anciennement intégrés à l'URSS (Kazakhstan, Turkménistan, Ouzbékistan et quelques autres);
- En termes socio-économiques, cette région est très hétérogène, le PIB *per capita* étant de 20 000 \$ en Europe de l'Ouest et de moins de 1000 \$ en Asie centrale;
- En Europe de l'Ouest et centrale, l'urbanisation semble stabilisée depuis les années 1970, malgré un afflux de plus en plus important d'immigrants absorbés par les villes;
- On a observé une réduction notable de la pollution de l'air urbain dans l'ensemble de cette région, notamment à l'égard du SO<sub>2</sub> et des NO<sub>x</sub>; l'augmentation du parc automobile est cependant responsable de la pollution de l'air par l'ozone, qui continue à s'accroître en milieu urbain et péri-urbain et engendre le smog d'été;
- La persistance d'une certaine concentration de SO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> contribue à l'acidification des sols par le biais des précipitations acides;

le quart des forêts d'Europe centrale aurait été affecté par ces précipitations;

- L'Europe est responsable du tiers des émissions de CO<sub>2</sub> mondiales malgré une diminution au cours de la décennie 1990;
- La ressource en eau douce et potable a été largement affectée par les activités humaines au cours du XX<sup>e</sup> siècle. L'utilisation de l'eau à des fins industrielles et agricoles est importante, alors que des substances comme les nitrates, les pesticides, les métaux lourds et les hydrocarbures ont considérablement dégradé la qualité de cette eau;
- Le problème de la contamination des nappes phréatiques par les nitrates d'origine agricole est majeur, les concentrations admissibles étant largement dépassées en maints endroits;
- La qualité de l'eau des mers intérieures (Noire, Caspienne et d'Aral) ainsi que celle de la Méditerranée, de la mer du Nord et de la Baltique est considérablement dégradée; une réduction notable des captures de poissons a été notée;
- La quantité de déchets municipaux est en croissance, et la gestion se limite surtout à la méthode la plus simple, l'enfouissement;
- Le bruit urbain est omniprésent: 10 millions de personnes seraient exposées à un niveau sonore pouvant entraîner une perte auditive.

## 4. CONCLUSION: VERS LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

On peut affirmer que l'environnement humain et biophysique de la planète est largement dégradé, malgré quelques progrès accomplis à l'égard de certains types de pollution, notamment en Amérique du Nord et en Europe. La réduction progressive de la croissance démographique permet de prévoir une stabilisation de la population au plus tard en 2050 et, dans ce contexte, les ressources en eau seraient suffisantes sur une base globale, mais il faudra veiller à en préserver la qualité et l'accès équitable. Par ailleurs, la réduction de la pollution de l'air et le recyclage des déchets sont les leitmotivs qui devront orienter les décisions politiques des prochaines années. Un pas majeur

et décisif sera franchi lorsque les moteurs à combustibles fossiles seront majoritairement remplacés par des moteurs électriques ou des systèmes à pollution zéro. Dans un contexte de gestion axée sur le développement durable et la préservation des ressources, la planète sera encore viable en 2050 (voir l'encadré 1.1). Toutefois, si les tendances actuelles sont maintenues sans aucun correctif, il est possible que la

qualité de vie et la santé publique soient gravement menacées au cours des prochaines décennies à cause de conflits et de migration pour l'accès aux ressources, de l'accroissement des catastrophes naturelles, de la présence de plus en plus importante de substances toxiques dans l'air, l'eau et le sol ainsi que par la prolifération de maladies infectieuses nouvelles ou hors de leur répartition géographique habituelle.

#### **Encadré 1.1** Johannesburg 2002: vers le développement durable?

Par Michel Mercier, fondateur et directeur (1981-1999) du Programme international sur la sécurité chimique (OMS, PNUE, BIT)

C'est à partir des années 1950 que se sont progressivement manifestées des préoccupations quant à l'état de dégradation de l'environnement et de ses conséquences néfastes pour la santé de l'homme, pour la survie des écosystèmes et pour le développement. Cette prise de conscience a amené, en 1968, la 23<sup>e</sup> assemblée générale des Nations Unies à convoquer une conférence sur l'environnement humain, avec pour mandat de dresser un bilan global de l'état de notre environnement et de proposer des solutions propres à mettre fin à cette dégradation.

La conférence, tenue à Stockholm en 1972, a reconnu que les activités menées jusque-là au nom du progrès économique s'étaient accompagnées d'effets néfastes qui avaient miné notre environnement et les systèmes à la base de la vie sur la planète. Une déclaration y fut adoptée qui visait à définir les principes aptes à guider et inspirer les citoyens dans leurs efforts en vue de la sauvegarde de la qualité de notre environnement commun. La déclaration de Stockholm attirera également l'attention sur le fait qu'un nombre considérable de problèmes environnementaux ont une dimension régionale ou globale: une coopération très étroite entre les divers secteurs de la société de tous les pays et la mise en œuvre, par les organisations internationales, d'actions soigneusement concertées étaient indispensables pour espérer pouvoir y apporter une réponse cohérente, efficace et durable.

Le rapport de la conférence fut à la base de quatre résolutions adoptées par l'assemblée générale des Nations Unies en décembre 1972. L'une d'elles amena la création du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) comme organe central et permanent des Nations Unies pour la protection et l'amélioration de l'environnement. La conférence a suscité de nombreuses et importantes initiatives nationales, régionales et internationales dans divers domaines tels que la pollution des eaux et de l'air, les problèmes liés à la contamination des aliments, à la sécurité chimique et la mise en place de systèmes de surveillance des pollutions.

Le maintien et l'amélioration de la santé auraient logiquement dû être au centre des préoccupations. Pourtant, la santé a été absente des discussions à Stockholm; elle occupait en outre rarement une place importante dans les programmes d'action des groupes écologiques et ne bénéficiait pas d'un rang élevé de priorité dans les politiques de l'environnement des pouvoirs publics. En 1987, la Commission mondiale pour l'environnement et le développement publie un rapport. *Notre avenir à tous*. Ce rapport analyse les méthodes qui permettraient d'assurer le progrès de l'humanité tout en respectant l'environnement de façon à ce que nous puissions le léguer en bon état aux générations futures, lançant le concept désormais incontournable de développement durable. Bien que les relations avec la santé n'aient pas été étudiées de façon détaillée dans ce rapport, le souci de la santé y est presque partout sous-jacent. En 1990, l'OMS établit la Commission santé et environnement, qui publie, en 1992, un rapport, *Notre planète, notre santé*, qui apprécie les conséquences possibles, pour la santé, des changements environnementaux et souligne l'importance de la santé dans le cadre d'un développement durable et écologiquement rationnel.

La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (le Sommet de la terre) s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992, avec pour objectifs de dresser un bilan de la situation, 20 ans après

Stockholm, de définir les mesures propres à arrêter et à inverser les effets de la dégradation de l'environnement et de promouvoir, grâce à un large effort en partenariat entre tous les secteurs de la société, un développement durable et écologiquement rationnel dans tous les pays. Le premier principe de la déclaration adoptée précise : «Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature ». L'agenda 21, qui définit les problèmes et actions prioritaires pour préserver le futur, contient quelque 40 chapitres, dont un dédié à la protection et à la promotion de la santé.

Cependant, le «Sommet mondial pour le développement durable» qui s'est tenu à Johannesburg du 26 août au 4 septembre 2002, soit 10 ans après Rio, a tiré un bilan mitigé des progrès accomplis depuis 1992. Il a recommandé une série de mesures pour réduire la pauvreté tout en protégeant l'environnement. L'eau et l'assainissement, l'énergie, la productivité agricole, la diversité biologique et la santé ont été jugés comme étant cinq domaines prioritaires où des résultats concrets sont aussi essentiels que réalisables. Dans le domaine de la santé, le Sommet a demandé le lancement d'initiatives internationales visant à renforcer les capacités en vue de cerner les liens entre santé et environnement, et d'exploiter les connaissances acquises pour trouver des solutions politiques nationales et régionales plus efficaces pour faire face aux risques.

Il est indéniable que nous avons assisté, depuis Stockholm, à d'importants progrès sur les questions environnementales, y compris sous forme de conventions internationales censées nous placer sur le chemin du développement durable. Nous devons néanmoins regretter que, dans de nombreux domaines, les progrès ont été beaucoup plus lents que prévu. Certaines conventions essentielles pour la sauvegarde de notre planète n'ont toujours pas été ratifiées, en raison principalement de la persistance des conflits entre les principes de protection de la santé et de l'environnement et ceux du développement industriel et du commerce international.

## Bibliographie

- AIE-OCDE. *Emissions de CO<sub>2</sub> dues à la combustion d'énergie, 1971-1997*, Agence internationale de l'énergie et Organisation de Coopération et de développement économiques (OCDE), Paris, pagination multiple, 1999.
- Alexandratos, N. *World agriculture: towards 2010*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)/John Wiley and Sons, Chichester, 1995, 442 p.
- Bhadra, D. et A. S. P. Brandão. *Urbanization, agricultural development, and land allocation*. World Bank Discussion paper No. 201, World Bank, Washington, 1993, 66 p.
- Brennan, E. M. «Urban land and housing issues facing the Third World», dans J. D. Kasarda, et A. M. Parnell (rédacteurs) *Third World cities; problems policies and prospects*, Sage Publications, Newbury Park (Cal.), 1993.
- Bojkov, R. D. *The changing ozone layer*, World Meteorological Organization, United Nation Environment Programme (UNEP), Genève, 1995, 24 p.
- CCE. «La mosaïque nord-américaine, un rapport sur l'état de l'environnement», Commission de coopération environnementale, Montréal, 2001. [www.cce.org](http://www.cce.org)
- CCME. *Regard sur l'environnement 1993*, Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg, 1993, 116 p. + annexes.
- CCME. *Standards pancanadiens relatifs aux particules (PM) et à l'ozone*. Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg, 2000, 12 p. [www.ccme.ca/](http://www.ccme.ca/)
- Chartier, P. et D. Savanne. «Énergie et environnement: quelles opportunités pour la biomasse?», *Biofutur*, 113, 1993, p.16-25.
- Chesson, A. et P. James. «Les aliments avec OGM sont-ils sans danger?», *La Recherche*, 327, 2000, p. 27-35.
- Chevalier, P. *Gestion des ressources renouvelables: secteurs agricole et forestier*, Télé-université et Presses de l'Université du Québec, Québec, 1993, 558 p.
- Chevalier, P. *Gestion des ressources en milieu urbain et industriel*, Télé-université et Presses de l'Université du Québec, Québec, 1995, 578 p.
- Cook, E. «La réduction des gaz à effet de serre de longue durée», *Écodécision*, 19, 1996, p. 18-19.
- Dansereau, P. «Les dimensions écologiques de l'espace urbain», *Cahiers de géographie du Québec*, 31, 1987, p. 333-395.
- Dansereau, P. «Les préalables écologiques du design urbain», *Écodécision*, 3, 1991, p. 10-15-
- Dearden, P. et B. Mitchell. *Environmental change and challenge, a Canadian perspective*, Oxford University Press, Don Mills, 1998, 566 p.
- Deléage, J. P. *Histoire de l'écologie, une science de l'homme et de la nature*, Éditions La Découverte, Paris, 1991, 330 p.
- De Villiers, M. «Water Works», *Can Geogr*, 120, 4, 2000, p. 50-58.
- Doucet, R. *La science agricole*, Éditions Berger-Flammarion, Québec, 1992, 700 p.
- Duvigneaud, P. *La synthèse écologique: populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère*, 2<sup>e</sup> édition revue et corrigée, Éditions Doin, Paris, 1980, 380 p.
- EEA. *Europe's environment: the second assessment*, European Environment Agency, Elsevier Science Ltd, Copenhagen, 1998, 294 p.
- EEA. *Air quality annual topic update 1998*, European Environment Agency, topic report No. 7/1999, Copenhagen, 1999a, 30 p.
- EEA. *Air emissions annual update 1998*, European Environment Agency, topic report No 12/1999, Copenhagen, 1999b, 28 p.
- EEA. *Prospects and scenarios No 1; environment and european enlargement: air emissions*, Environmental issues series No. 8, European Environment Agency, Copenhagen, 1999c, 98 p.
- Ehrlich, P. *La bombe P*, Éditions Fayard, Paris, 1972, 230 p.
- Elson, D. M. *Atmospheric pollution; a global problem*, Blackwell Publishers, Oxford, 1992, 422 p.
- Environnement Canada. *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*, section 6: données de base sur des paramètres spécifiques, Gouvernement du Canada, Ottawa, 1987, 240 p.
- Environnement Canada. *Qualité de l'air en milieu urbain*. Gouvernement du Canada, Bulletin EDE 94-2, Ottawa, février 1994, 2 p.

- Environnement Canada. *L'état de l'environnement au Canada*, Gouvernement du Canada, Ottawa, 1996.
- Environnement Canada. «Série nationale d'indicateurs environnementaux. Qualité de l'air urbain», Gouvernement du Canada, Bulletin EDE, Supplément technique EDE 99-1, Ottawa, 1999. [www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/Indicators/Issues/Urb\\_Air/default.cfm](http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/Indicators/Issues/Urb_Air/default.cfm)
- Environnement Québec. *La qualité de l'air au Québec de 1975 à 1994*, Gouvernement du Québec, Québec, 1997, 52 p.
- Fankhauser, S. «Le changement climatique: le coût de l'inaction», *Écodécision*, 19, 1996, p. 40-44.
- Gleick, P. H. (rédacteur). *Water in crisis*, préparé pour Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security et Stockholm Environment Institute, Oxford University Press, Oxford, 1993, 474 p.
- Halliwell, B. «Free radicals and antioxidants: a personal view», *NutrRev*, 52, 1994, p. 253-265.
- Heinrich, D. et M. Hergt. *Atlas de l'écologie*. Editions Librairie générale française - Le livre de poche, Paris, 1993, 286 p.
- Hengeveld, H. *Rapport sur l'état de l'environnement. Comprendre l'atmosphère en évolution; revue de la science de base et des implications d'un changement du climat et d'un appauvrissement de la couche d'ozone*, rapport EDE 91-2, Environnement Canada, Ottawa, 1991, 70 p.
- Hourcade, J.-C. et D. Théry. «Le coût de réduction des gaz à effet de serre: un dossier controversé», *Écodécision*, 19, 1996, p. 45-47.
- IPCC. *Climate change 1995; contribution of Working group II to the Second assessment report of the IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996, 878 p.
- IPCC. *Summary for policymakers, climate change 2001*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Genève, 2001. Plusieurs documents accessibles à [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- IVS. «Surveillance épidémiologique Air & Santé», Institut de Veille Sanitaire, rapport réalisé par le Réseau National de Santé Publique (RNSP), St-Maurice, 1999, 148 p.
- Jacquard, A. *L'explosion démographique*. Éditions Flammarion, Paris, 1993, 126 p.
- Johnson, S. P. *World Population - Turning the Tide*, Kluwer Academic Publisher Group, Dordrecht, 1994, 388 p.
- Kummer, K. *Transboundary movements of hazardous wastes at the interface of environment and trade*, United Nations Environment Programme, UNEP Environment and Trade Monograph 7, Genève, 1994, 96p.
- Laplante, B. «La théorie économique des externalités», dans R. Brulotte, *Environnement, économie et entreprise*, Télé-université et Presses de l'Université du Québec, Québec, 1995, p. 43-75.
- Levallois, P. et P. Lajoie. *Pollution atmosphérique et champs électromagnétiques*, Les Presses de l'Université Laval, Québec, 1998, 266 p.
- Mabey, N., S. Hall, C. Smith et S. Gupta. *Argument in the greenhouse*, Routledge, NY, 1997, 442 p.
- Malassis, L. *Nourrir les hommes*. Éditions Flammarion, Paris, 1994, 126 p.
- Marshall, A., A. O. Tsui, N. Dole, T. Gorbach et C. Viadro. *État de la population mondiale*, Fonds des Nations Unies pour la population, New York, 1994, 76 p. + feuilles volantes.
- Merkel, A. «Berlin: résultats et attentes», *Écodécision*, 19, 1996, p. 33.
- Mumford, L. *La Cité à travers l'histoire*. Éditions du Seuil, Paris, 1964, 782 p.
- OCDE. *Données OCDE sur l'environnement, compendium 1997*, Organisation de coopération et de développement économique, Paris, 1997, 288 p.
- OCDE. *Le prix de l'eau; les tendances dans les pays de l'OCDE*, Organisation de coopération et de développement économique, Paris, 1999, 194 p.
- Odum, E. P. *Écologie*, Les éditions HRW, Montréal, 1976, 254 p.
- Odum, E. P. *Ecology and our endangered life support systems*, Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Maryland, 1993, 302 p.
- Oldeman, L. R., R. T. A. Hakkeling et W. G. Sombroek. «World map of the status of human-induced soil degradation», International Soil Reference and Information Centre, United Nations Environment Programme (UNEP), Genève, 1991, 34 p.
- OMEE. «Air quality in Ontario - 1996», Ontario Ministry of Environment and Energy, Toronto, 1998.

- OMS. *Guidelines for drinking water quality. Recommendations*, vol. 1, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1993.
- OMS. *Guidelines for drinking water quality. Health criteria and other supporting information*, Addendum au vol. 2, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1996.
- OMS. *Health and environment in sustainable development*, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1997a, 242 p.
- OMS. *The world health report 1997*, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1997b, 162 p.
- OMS-UNEP. *Urban air pollution in megacities of the world*. Organisation mondiale de la santé et Programme des Nations Unies pour l'environnement, Genève, 1992, 230 p.
- Painchaud, J. «La qualité de l'eau des rivières tribulaires sur Saint-Laurent», dans L. Lauzon, H. Dion et C. E. Delisle (rédacteurs), *Le Saint-Laurent pour la vie; Actes du 21<sup>e</sup> Congrès de l'Association des Biologistes du Québec*, Collection «Environnement» de l'Université de Montréal, 23, 1997, p. 187-221.
- Pinstrup-Andersen, P. et R. Pandya-Larch. «Sécurité alimentaire et protection de l'environnement», *Écodécision*, 18, 1995, p. 18-22.
- Ramade. *Éléments d'écologie*, McGraw-Hill, Paris, 1984, 398 p.
- Raven, P. et G. Johnson. *Biology*, Times Mirror/Mosby, Elsevier Science, NY, 1986, 1198 p.
- Santé Canada. *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, 6<sup>e</sup> édition, Gouvernement du Canada, Ottawa, 1996, 102 p.
- Sasson, A. «Le défi technologique», *Écodécision*, 18, 1995, p. 23-27.
- Sharma, N. P., T. Damhaug, E. Gilgan-Hunt, D. Grey, V. Okaru et D. Rothberg. *African Water Resources*, The World Bank, Technical paper no. 331, Washington, 1996, 116 p.
- UNEP *Freshwater pollution*, UNEP/GEMS Environment library no. 6, United Nations Environment Programme, Genève, 1991, 36 p.
- UNEP *Action on ozone*, United Nations Environment Programme, Genève, 1993, 24 p.
- UNEP *The pollution of lakes and reservoirs*, Environment library no. 12, United Nations Environment Programme, Genève, 1994.
- UNEP *Water quality of world river basins*, Environment library no. 12, United Nations Environment Programme, Genève, 1995, 40 p.
- UNEP *Global environment outlook 2000*, United Nations Environment Programme, Nairobi, 1999, 398 p. [www.unep.org/geo](http://www.unep.org/geo)
- UNEP *Global environment outlook-3*, United Nations Environment Programme, Nairobi, 2002, 426 p. [www.unep.org/geo](http://www.unep.org/geo)
- United Nations. *National communications; communications from Parties included in Annex I to the Convention: guidelines, schedule and process for consideration; possible revisions to the guidelines for preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention; addendum; methodological issues*, Framework Convention on Climate Change (FCCC), Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, United Nations, New York, 1996. Rapport disponible: [unfccc.int/resource/docs/1996/sbsta/09a01.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/1996/sbsta/09a01.pdf). Tableau sur le potentiel de réchauffement des divers gaz : [www.globalchange.org/sciall/96jullid.htm](http://www.globalchange.org/sciall/96jullid.htm)
- Vallin, J. *La démographie*, Editions La Découverte, Paris, 1992, 124 p.
- Vallin, J., M. Vernières et J. Deléage. *Les enjeux démographiques du XX<sup>e</sup> siècle*, Les Cahiers du Centre Galilée, Paris, 1993.
- Weiskel, T. C. «Urbanization: a doomed experiment?», *Écodécision*, 3, 1991, p. 16-21.
- WRI. *Ressources mondiales 1996-1997; l'environnement urbain*, Rapport collectif du World Resources Institute, du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et de la Banque Mondiale; publié conjointement par le Centre de recherches pour le développement international (CRDI), Ottawa, et le Comité 21 (Comité français pour l'environnement et le développement durable), 1997, 398 p. [www.wri.org/wri/wr-96-97](http://www.wri.org/wri/wr-96-97)
- Young, G. J., J. C. I. Dooge et J. C. Rodda. *Global water resource issues*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994, 194 p.