

Les métaux lourds qui polluent l'eau proviennent en général de cinq sources: l'altération géologique, qui représente la pollution de fond; la transformation industrielle de minerais et de métaux; l'utilisation de métaux et de composés métalliques, comme les sels de chrome dans les tanneries, des composés du cuivre en agriculture et le tétraéthylplomb employé comme agent antidétonant dans l'essence; les métaux lourds qui fuient des ordures ménagères et des décharges de déchets solides; et les métaux lourds contenus dans les excréments humains et animaux, notamment le zinc. Les métaux rejetés dans l'air par les automobiles, la combustion de carburants et les activités industrielles peuvent se déposer sur les sols et finir par ruisseler jusqu'à atteindre les eaux superficielles.

Les nutriments

L'eutrophisation est le phénomène de l'enrichissement des eaux par des nutriments végétaux, surtout du phosphore et de l'azote, qui accélère la croissance des plantes (des algues comme des macrophytes) et qui provoque en conséquence l'apparition de fleurs d'eau visibles à l'œil nu, de tapis d'algues ou de macrophytes en surface, une accumulation d'algues benthiques et des concentrations macrophytiques submergées. Lorsqu'ils pourrissent, ces végétaux entraînent un épuisement des réserves d'oxygène contenues dans l'eau qui donne lieu à toutes sortes d'autres problèmes secondaires, tels que la mort de poissons et le relargage de gaz corrosifs et autres substances indésirables, comme du gaz carbonique, du méthane, du sulfure d'hydrogène, des substances organoleptiques (qui donnent un goût et une odeur aux choses), des toxines, etc.

Les composés du phosphore et de l'azote proviennent principalement des eaux ménagères non traitées, mais d'autres sources, comme le drainage de terres agricoles fertilisées artificiellement, les ruissellements de surface engendrés par un élevage intensif et certaines eaux industrielles usées peuvent aussi accroître sensiblement la quantité de matières nutritives dans les lacs et réservoirs, notamment dans les pays tropicaux en développement.

Les principaux problèmes liés à l'eutrophisation des lacs, réservoirs et retenues sont les suivants: épuisement de l'oxygène dans la couche aquatique du fond; diminution de la qualité de l'eau, qui entraîne des difficultés de traitement, notamment lorsqu'on veut retirer les substances responsables du goût et de l'odeur; limitation des usages récréatifs, augmentation des risques pour la santé des baigneurs et enlaidissement des sites; baisse des activités de pêche due à la mortalité du poisson et à la prolifération d'espèces indésirables et de mauvaise qualité; vieillissement des lacs et réservoirs et diminution de leur volume utile du fait de l'ensablement; aggravation de la corrosion des tuyaux et autres structures.

Les micropolluants organiques

Les micropolluants organiques peuvent être rangés en groupes de produits chimiques en fonction de leur usage et, par conséquent, de leur mode de dispersion dans l'environnement:

- Les *pesticides* sont des substances généralement synthétiques que l'on utilise délibérément dans la nature pour protéger les cultures ou éliminer les vecteurs de maladies. Ils se répartissent en plusieurs familles, comme les insecticides organochlorés, les insecticides organophosphatés, les herbicides du type des hormones végétales, les triazines, les urées substituées et autres.
- Les *substances à usage domestique et industriel courant* comprennent les substances organiques volatiles comme les solvants d'extraction, les solvants servant au dégraissage des métaux et au nettoyage à sec des vêtements et les gaz propulseurs utilisés dans les bombes aérosols auxquels viennent s'ajouter les dérivés halogénés du méthane, de l'éthane et de l'éthylène. Comme on en fait grand usage, leurs coefficients de dispersion dans la nature, comparativement aux quantités produites, sont généralement

La pollution des eaux dans quelques villes

Karachi (Pakistan)

La rivière Lyari, qui traverse Karachi, principale ville industrielle du Pakistan, est un égout à ciel ouvert sur le plan chimique et microbiologique, qui transporte un mélange d'eaux-vannes et d'effluents industriels non traités. La plupart de ces derniers proviennent d'un complexe industriel comprenant quelque 300 grandes usines et presque trois fois plus de petits établissements. Les trois cinquièmes des établissements sont des fabriques de textile. Les autres industries établies à Karachi déversent aussi pour la plupart des effluents non traités dans le cours d'eau le plus proche.

Alexandrie (Egypte)

Les usines d'Alexandrie comptent pour environ 40% de la production industrielle de l'Égypte, et la plupart déversent des déchets liquides non traités dans la mer ou dans le lac Maryut. En dix ans, le volume de poissons pris dans ce lac a diminué de quelque 80% à cause du déversement direct d'effluents industriels et domestiques. Conséquence de sa dégradation, le lac a également cessé d'être un important site récréatif. On connaît une situation semblable le long de la mer, résultat des eaux usées non traitées qui proviennent d'exutoires mal situés.

Shanghai (Chine)

Quelque 3,4 millions de m³ de déchets industriels et ménagers se déversent essentiellement dans le ruisseau Suzhou et le fleuve Huangpu, qui traversent le cœur de la ville, dont ils sont devenus les principaux égouts (à ciel ouvert). La plupart des déchets sont d'origine industrielle, car peu de foyers sont équipés de toilettes à chasse d'eau. Le Huangpu est un fleuve quasiment mort depuis 1980. Au total, moins de 5% des eaux usées de la ville sont traitées. La nappe phréatique est habituellement à faible profondeur, ce qui signifie que divers produits toxiques issus d'usines et de rivières avoisinantes s'infiltrent dans les eaux souterraines et contaminent les puits, qui approvisionnent aussi la ville en eau.

São Paulo (Brésil)

Pendant sa traversée de l'agglomération de São Paulo, l'une des plus grandes du monde, le fleuve Tiete reçoit chaque jour 300 tonnes d'effluents provenant de 1 200 usines implantées dans la région. Le plomb, le cadmium et d'autres métaux lourds figurent parmi les principaux polluants. Le fleuve reçoit aussi quotidiennement 900 tonnes d'eaux usées, dont seulement 12,5% sont traitées par les 5 stations d'épuration de la région.

Source: d'après Hardoy et Satterthwaite, 1989.

élevés. Font aussi partie de ce groupe les hydrocarbures aromatiques polycycliques, dont la présence dans l'environnement s'explique par l'extraction, le transport et le raffinage des produits pétroliers et par la dispersion des matières résultant de leur combustion (essence et mazout).

- Les *substances employées essentiellement dans l'industrie* comprennent les agents de synthèse chimique directe ou indirecte, comme le tétrachlorure de carbone utilisé pour la synthèse des fréons, le chlorure de vinyle pour la polymérisation du PVC, et les dérivés chlorés du benzène, du naphthalène, du phénol et de l'aniline pour la fabrication de teintures. Ce groupe comporte aussi des produits finis utilisés en circuit fermé, comme les fluides servant aux échanges de chaleur et les appareils diélectriques.

Tableau 53.6 • Taux globaux de morbidité et de mortalité attribuables aux principales maladies transmises par l'eau

Maladie	Nombre/année ou période étudiée	
	Cas	Décès
Choléra — 1993	297 000	4 971
Typhoïde	500 000	25 000
Giardiase	500 000	Nombre faible
Amibiase	48 000 000	110 000
Diarrhée (moins de 5 ans)	1 600 000 000	3 200 000
Dracunculose (vers de Guinée)	2 600 000	—
Schistosomiase	200 000 000	200 000

Source: Galal-Gorchev, 1994.

Les micropolluants organiques proviennent de sources fixes ou diffuses, urbaines ou rurales et, pour la plupart, d'activités industrielles majeures, comme le raffinage du pétrole, l'extraction du charbon, la synthèse organique et la fabrication de produits synthétiques, les industries du fer et de l'acier, le textile et le secteur des pâtes et papiers. Les effluents de fabriques de pesticides peuvent renfermer d'énormes quantités de ces produits de synthèse. Une forte proportion de polluants organiques aboutit dans le milieu aquatique à cause des ruissellements urbains; dans les campagnes, les pesticides répandus sur les cultures peuvent atteindre les eaux superficielles, entraînés par le ruissellement de l'eau de pluie et par le drainage artificiel ou naturel. Il arrive enfin que des déversements accidentels causent de graves dommages écologiques et obligent à fermer temporairement des sources d'approvisionnement en eau.

La pollution urbaine

Vu l'expansion continue, l'intensité et la très grande diversité de la pollution, le maintien de la qualité des ressources hydriques est devenu un grave problème, en particulier dans les zones les plus urbanisées du monde en développement. Il y a à cela deux raisons: l'impossibilité d'appliquer les mesures antipollution aux sources principales, notamment les industries, et les insuffisances des systèmes d'assainissement, ainsi que des méthodes de collecte et d'élimination des déchets (OMS, 1992c). On trouvera en encadré quelques cas de pollution des eaux observés dans différentes villes de pays en développement.

Les incidences de la pollution microbienne sur la santé

Les maladies provoquées par l'ingestion d'agents pathogènes dans de l'eau contaminée sont celles qui ont la plus forte incidence dans le monde. On estime que 80% des maladies, et plus du tiers des décès survenant dans les pays en développement sont causés par la consommation d'eau contaminée et que, en moyenne, chaque personne perd un dixième de son temps de production à cause de maladies liées à l'eau (CNUED, 1992b). Les maladies provoquées par l'eau représentent la plus importante catégorie de maladies transmissibles dont meurent les nouveau-nés dans les pays en développement et elles viennent au second rang après la tuberculose pour ce qui est de la mortalité des adultes, avec un million de décès par an.

Le nombre annuel de cas de choléra déclarés à l'Organisation mondiale de la santé (OMS) par ses Etats membres a atteint un record pendant la septième pandémie, avec une pointe

de 595 000 cas en 1991 (OMS, 1993). Le tableau 53.6 donne les taux globaux de morbidité et de mortalité en rapport avec les principales maladies transmises par l'eau. Souvent, ces chiffres sont nettement sous-évalués du fait que les déclarations de cas sont loin d'être effectuées de manière systématique dans beaucoup de pays.

Les effets de la pollution chimique sur la santé

Les problèmes de santé associés à la présence de substances chimiques dissoutes dans l'eau tiennent principalement au fait que les effets se manifestent après une longue période d'exposition; sont particulièrement à craindre les contaminants ayant des effets toxiques cumulatifs, tels que les métaux lourds et certains micropolluants, les substances cancérigènes et celles qui peuvent perturber la reproduction et le développement. D'autres substances dissoutes dans l'eau sont un élément essentiel du régime alimentaire, tandis que d'autres encore sont neutres eu égard aux besoins d'un être humain. Compte tenu de leur incidence sur la santé, on peut classer les produits chimiques présents dans l'eau, notamment dans l'eau de consommation, en trois grandes catégories (Galal-Gorchev, 1986):

- *Les substances qui, une fois consommées, présentent une toxicité aiguë ou chronique.* La gravité de leurs effets augmente avec leur concentration dans l'eau de consommation. En revanche, au-dessous d'un certain taux de concentration, on n'observe aucun effet sur la santé, ce qui signifie que le métabolisme humain peut absorber ces substances sans qu'il y ait d'effets mesurables à long terme. Divers métaux, nitrates, cyanures et autres entrent dans cette catégorie.
- *Les substances génotoxiques,* qui peuvent être cancérigènes, mutagènes ou provoquer des malformations à la naissance. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, il n'est pas possible de fixer un seuil qui pourrait être considéré comme sûr, car n'importe quelle quantité de substances ingérée entraîne une augmentation des risques de cancer et autres. Pour déterminer ces risques, on utilise des modèles complexes d'extrapolation mathématique puisqu'on possède très peu de preuves épidémiologiques. Les substances organiques synthétiques, beaucoup de microsubstances organiques chlorées, certains pesticides et l'arsenic entrent dans cette catégorie.
- Certains éléments contenus dans l'eau de consommation, comme le fluor, l'iode et le sélénium sont essentiels, et leur carence éventuelle peut avoir sur la santé des effets plus ou moins graves. Toutefois, une concentration élevée de ces mêmes substances entraîne des effets tout aussi graves, mais d'une nature différente.

L'impact sur l'environnement

Les effets de la pollution de l'environnement sur la qualité des eaux douces sont multiples et existent depuis longtemps. L'essor industriel, le développement de l'agriculture intensive, l'augmentation exponentielle de la population, ainsi que la production et l'utilisation de dizaines de milliers de produits chimiques synthétiques, figurent parmi les principales causes de détérioration de la qualité de l'eau à l'échelle locale, nationale et mondiale. Le principal problème que pose cette détérioration est le risque qu'elle ne compromette l'usage que l'on fait de l'eau aujourd'hui et celui que l'on voudrait en faire à l'avenir.

L'une des causes les plus graves et les plus répandues de la dégradation de l'environnement est le déversement de déchets organiques dans les cours d'eau (voir ci-dessus «Les composés organiques biodégradables»). Cette pollution est surtout inquiétante dans le milieu aquatique où de nombreux organismes, entre autres les poissons, ont besoin de concentrations élevées d'oxygène. L'anoxie de l'eau a pour effet secondaire sérieux celui de libérer des substances toxiques à partir de particules et de sédi-

ments de fond que l'on trouve dans les rivières et les lacs. Le rejet d'eaux ménagères dans les cours d'eau et les nappes aquifères entraîne aussi une accumulation de nitrates dans les rivières et les eaux souterraines, et l'eutrophisation de lacs et réservoirs (voir ci-dessus «Les nitrates» et «Les sels»). Dans les deux cas, la pollution est le résultat d'une synergie entre les effluents d'eaux usées et le ruissellement ou l'infiltration d'eaux issues de l'agriculture.

Les incidences économiques

Les conséquences économiques de la pollution des eaux peuvent être assez importantes étant donné ses effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement. Une mauvaise santé entraîne souvent une baisse de la productivité humaine, et une dégradation de l'environnement diminue la productivité des ressources en eau directement utilisées par la population.

Le poids économique des maladies peut s'exprimer non seulement en frais de traitement, mais aussi en manque à gagner pour les entreprises. Il suffit de penser aux maladies extrêmement invalidantes comme la diarrhée ou le vers de Guinée. En Inde, par exemple, on estime à 73 millions le nombre de journées de travail perdues chaque année à cause de maladies transmises par l'eau (Arceivala, 1989).

Les carences de l'hygiène publique et les épidémies qui en résultent peuvent aussi pénaliser lourdement l'économie. C'est ce qui est apparu très clairement lors d'une épidémie de choléra survenue en Amérique latine. Ainsi, au Pérou, la diminution des exportations agricoles et du tourisme s'est traduite par des pertes estimées à 1 milliard de dollars E.-U. C'est plus de trois fois les sommes investies par le pays dans les services d'approvisionnement en eau et d'assainissement durant les années quatre-vingt (Banque mondiale, 1992).

Une fois polluée, l'eau devient impropre à l'approvisionnement des villes. En conséquence, celles-ci doivent se doter d'installations de traitement coûteuses ou acheminer de l'eau propre par des canalisations sur de longues distances, ce qui revient beaucoup plus cher.

Dans les pays en développement de l'Asie et du Pacifique, le coût des dommages écologiques a été estimé en 1985 par la Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique (CESAP) à environ 3% du PNB, soit 250 milliards de dollars E.-U., tandis que pour réparer ces dommages il en coûterait approximativement 1%.

● L'ÉNERGIE ET LA SANTÉ

L.D. Hamilton

À la Commission de la santé et de l'environnement de l'OMS (1992a), le Groupe d'experts sur l'énergie a recensé quatre grands problèmes liés à l'énergie qui menacent ou vont menacer l'état de l'environnement:

1. L'exposition à des agents nocifs lors de l'utilisation de biomasse et de charbon à des fins domestiques.
2. L'exposition à des polluants atmosphériques dans de nombreuses métropoles du monde.
3. Les effets possibles du changement climatique sur la santé.
4. Les accidents graves ayant des répercussions sur la santé du public en général.

L'évaluation quantitative des risques pathologiques engendrés par différents systèmes énergétiques nécessite une estimation globale à toutes les étapes d'un cycle du combustible, depuis l'extraction des ressources d'énergie brutes jusqu'à leur consommation finale. Pour que l'on puisse faire des comparaisons valables entre

Tableau 53.7 • Principaux effets sur la santé des techniques de production d'électricité – Groupe des combustibles

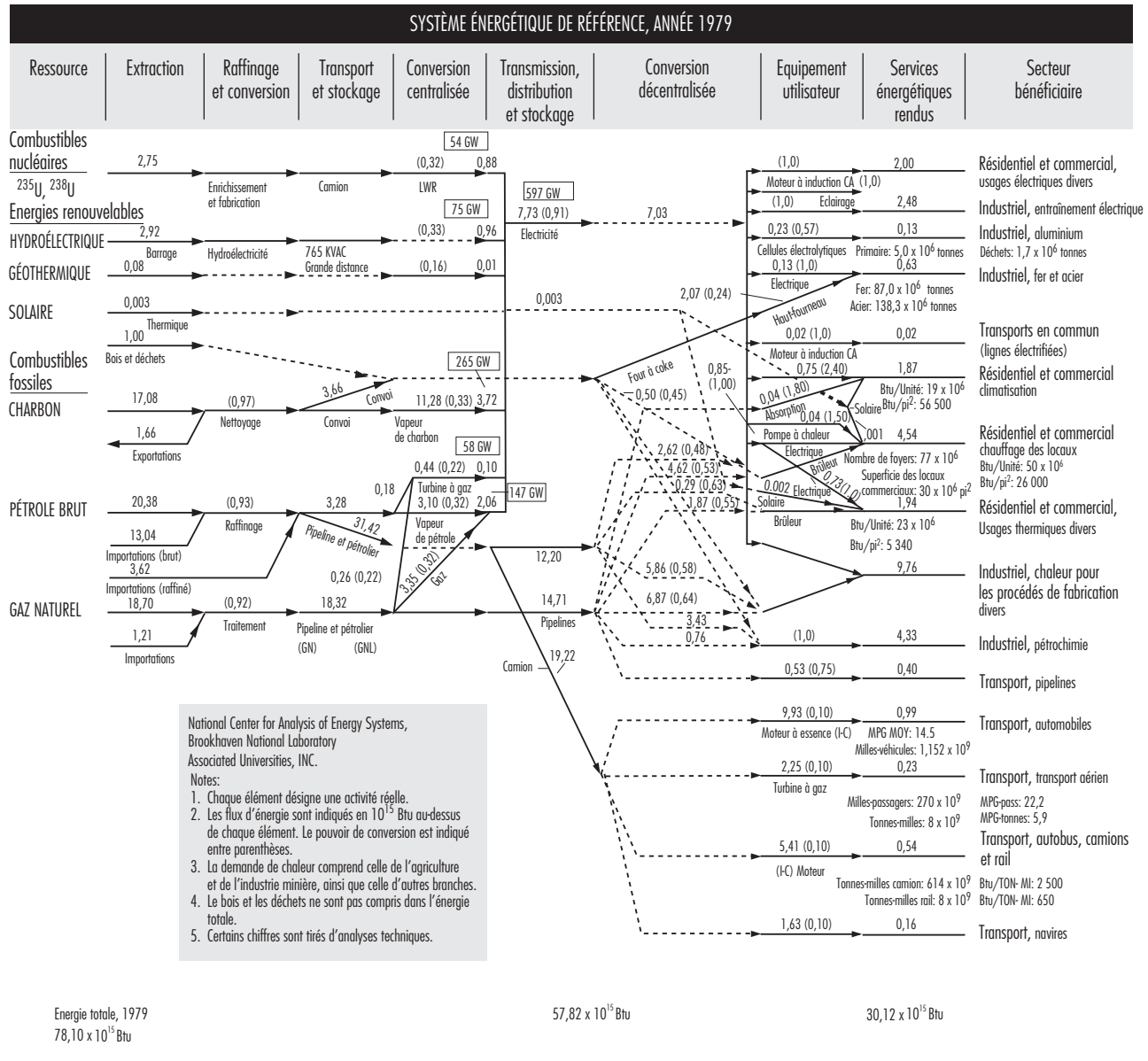
Technique	Risques professionnels	Effets sur la santé publique
Charbon	Pneumoconiose des houilleurs Traumatismes dus aux accidents pendant l'extraction Traumatismes dus aux accidents pendant le transport	Effets de la pollution atmosphérique Traumatismes dus aux accidents pendant le transport
Pétrole	Traumatismes dus aux accidents pendant l'extraction Cancers provoqués par une exposition à des produits de raffinage	Effets de la pollution atmosphérique Traumatismes dus aux explosions et aux incendies
Schistes bitumineux	Schistose Cancers provoqués par une exposition aux émissions lors de la distillation Traumatismes dus aux accidents pendant l'extraction	Cancers provoqués par une exposition aux émissions lors de la distillation Effets de la pollution atmosphérique
Gaz naturel	Traumatismes dus aux accidents pendant l'extraction Cancers provoqués par une exposition aux émissions lors du raffinage	Effets de la pollution atmosphérique Traumatismes dus aux explosions et aux incendies
Sables bitumineux	Traumatismes dus aux accidents pendant l'extraction	Effets de la pollution atmosphérique Traumatismes dus aux explosions et aux incendies
Biomasse*	Traumatismes dus à des accidents pendant la récolte et le traitement Exposition à des produits chimiques et à des agents biologiques dangereux découlant du traitement et de la transformation	Effets de la pollution atmosphérique Maladies engendrées par une exposition à des pathogènes Traumatismes dus aux incendies de maisons

* Utilisée comme source d'énergie, que l'on considère habituellement comme étant renouvelable.

les technologies, il importe que les méthodes, les données et l'usage ultime du combustible soient semblables et établis avec précision. Lorsqu'on cherche à quantifier les effets de la demande des usagers, il convient de calculer les écarts concernant le rendement énergétique de différents appareils fonctionnant au moyen d'un type d'énergie ou de combustible donné.

Pour cet examen comparatif, on s'appuie sur le principe du système énergétique de référence (Reference Energy System (RES)), qui décrit le cycle suivi par un combustible étape après étape, de l'extraction à l'élimination des déchets en passant par la transformation et la combustion. Grâce à un cadre de travail commun et simple, le RES permet de définir les flux d'énergie et les données connexes utilisées pour l'évaluation des risques. Le RES (voir figure 53.9) représente sous forme d'un graphe les principales composantes d'un système énergétique pour une année donnée, en apportant des précisions sur la consommation de la source d'énergie, le transport du combustible, les procédés de transformation et les utilisations finales. Il donne ainsi un condensé des grandes caractéristiques du système énergétique mais aussi

Figure 53.9 • Système énergétique de référence, année 1979



les moyens d'évaluer les principaux effets des nouvelles technologies et nouvelles politiques sur les ressources, l'environnement, la santé et l'économie.

En fonction des risques qu'elles posent pour la santé, les technologies du secteur de l'énergie peuvent être classées en trois groupes:

1. Le *groupe des combustibles*, caractérisé par l'utilisation de grandes quantités de combustibles fossiles ou de biomasse — charbon, pétrole, gaz naturel, bois etc. — dont l'extraction, la transformation et le transport sont à l'origine d'un nombre élevé d'accidents, les plaçant en tête des risques professionnels et dont la combustion produit d'importants volumes de polluants atmosphériques et de déchets solides, en en faisant le principal risque pour la population.
2. Le *groupe des ressources renouvelables*, caractérisé par l'utilisation de ressources renouvelables diffuses et à faible valeur éner-

gique — soleil, vent et eau — que l'on peut se procurer en énormes quantités pour un coût nul, mais dont le captage requiert d'immenses superficies et la construction d'installations coûteuses capables de les «concentrer» en des formes exploitables. Les risques professionnels, élevés, tiennent essentiellement à la construction des installations. Les risques pour le public sont peu élevés et se limitent à des accidents dont la probabilité est faible, comme les ruptures de barrage, les pannes d'équipement et les incendies.

3. Le *groupe des combustibles nucléaires*, qui comprend les technologies de la fission nucléaire, se distingue par l'immense valeur énergétique que présentent les combustibles traités, et en parallèle par la faible quantité de combustibles et de déchets à traiter, mais aussi par les faibles concentrations auxquelles on trouve ces combustibles dans la croûte terrestre, ce qui nécessite un important travail d'extraction ou d'accumulation. Les risques professionnels sont donc relativement élevés et sont

Tableau 53.8 • Principaux effets sur la santé des techniques de production d'électricité — Groupe des sources d'énergie renouvelables

Technique	Risques professionnels	Effets sur la santé publique
Energie géothermique	Exposition à des gaz toxiques — courante et accidentelle Stress dû au bruit Traumatismes dus aux accidents pendant l'extraction	Maladies provoquées par une exposition à des saumures toxiques et à du sulfure d'hydrogène Cancers provoqués par une exposition au radon
Energie hydro-électrique, classique et de basse chute	Traumatismes dus aux accidents pendant la construction	Traumatismes dus à une rupture de barrage Maladies provoquées par une exposition à des pathogènes
Energie photovoltaïque	Exposition à des matériaux toxiques pendant la fabrication — courante et accidentelle	Exposition à des matériaux toxiques pendant la fabrication — courante et accidentelle
Energie éolienne	Traumatismes dus aux accidents pendant la construction et l'exploitation	
Energie solaire thermique	Traumatismes dus aux accidents pendant la fabrication Exposition à des produits chimiques toxiques pendant l'exploitation	

dominés par les accidents qui surviennent pendant l'extraction et la transformation. Les risques pour le public, limités, tiennent plutôt à l'exploitation courante des réacteurs. Il convient d'apporter une attention particulière aux craintes du public à l'égard des risques d'une exposition au rayonnement nucléaire — craintes relativement importantes par rapport aux risques pour la santé.

La production d'électricité a, sur la santé, des effets importants, qui sont récapitulés aux tableaux 53.7, 53.8 et 53.9.

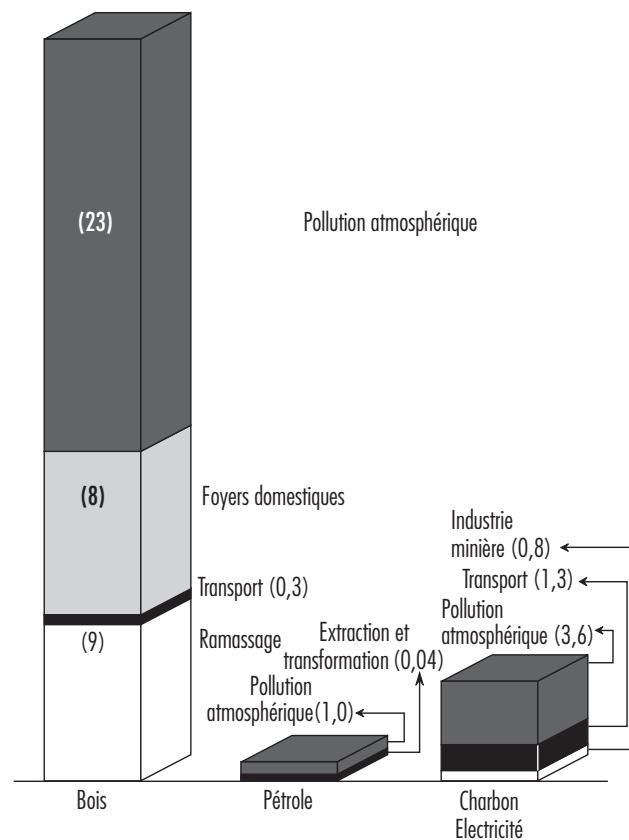
Tableau 53.9 • Principaux effets sur la santé des techniques de production d'électricité — Groupe des combustibles nucléaires

Technique	Risques professionnels	Effets sur la santé publique
Fission	Cancers provoqués par une exposition aux rayonnements pendant l'extraction de l'uranium, le traitement du minerai ou du combustible, l'exploitation de la centrale et la gestion des déchets Traumatismes pendant l'extraction et le traitement, la construction et l'exploitation de la centrale et la gestion des déchets	Cancers provoqués par une exposition aux rayonnements à tous les stades du cycle du combustible — courante et accidentelle Traumatismes dus à des accidents pendant le transport industriel

Comme dans le cas d'autres sources d'énergie, pour étudier les effets de la combustion de bois sur la santé, on a considéré, aux Etats-Unis, les effets obtenus en fournissant une unité d'énergie, c'est-à-dire la quantité nécessaire pour chauffer un million d'années-habitations. Elle est égale à 6×10^7 GJ, soit une quantité d'énergie primaire de $8,8 \times 10^7$ GJ avec un rendement de 69%. Les effets sur la santé ont été évalués au stade de l'extraction (ou de l'exploitation dans le cas du bois), du transport et de la combustion. Pour le pétrole et le charbon, on s'est fondé sur des travaux antérieurs (voir figure 53.10). On a retenu un facteur de ~ 2 , pour les risques courus à l'extraction, un facteur de ~ 3 , pour les risques d'incendie au domicile et un facteur excédant ± 10 pour les risques de pollution atmosphérique. Si l'on avait estimé les risques électriques nucléaires selon la même échelle, ils auraient été égaux à environ la moitié de ceux engendrés par l'extraction de charbon.

Pour avoir une meilleure idée des risques, une bonne façon est de les comparer à ceux que court une seule personne qui approvisionnerait une famille en bois de feu pendant 40 ans (voir figure 53.11). On obtient ainsi un risque total de décès égal à $\sim 1,6 \times 10^{-3}$ (c'est-à-dire, $\sim 0,2\%$). On peut le comparer au risque de décès dans un accident d'automobile aux Etats-Unis pendant le même laps de temps, $\sim 9,3 \times 10^{-3}$ (c'est-à-dire $\sim 1\%$), qui est cinq fois plus élevé. L'utilisation du bois présente des risques qui sont du même ordre que ceux des techniques de chauffage plus classiques. Les uns et les autres sont beaucoup moins importants que le risque global attribuable à d'autres activités courantes et ils se prêtent aisément, sous de nombreux aspects, à des mesures préventives.

Figure 53.10 • Effets sur la santé par unité d'énergie



Les divers risques pour la santé peuvent se comparer comme suit:

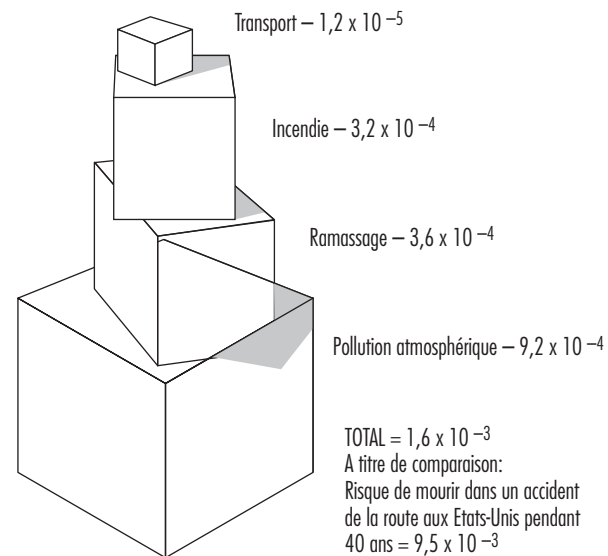
- *Risques professionnels immédiats.* Pour ce qui est du cycle du charbon susmentionné, les risques professionnels sont nettement plus élevés que dans le cas du pétrole et du gaz; ils sont à peu près égaux aux risques liés aux énergies renouvelables quand on prend en compte la construction des installations, et huit à dix fois plus importants que les risques encourus avec le nucléaire. Les progrès techniques que l'on va réaliser dans le domaine des sources d'énergie solaire et éolienne, sources renouvelables, permettront probablement de réduire sensiblement les risques professionnels immédiats associés à ces systèmes. En comparaison, la production d'hydroélectricité recèle beaucoup de risques professionnels immédiats.
- *Risques professionnels différés.* Aujourd'hui, des décès surviennent sur le long terme principalement dans le secteur de l'extraction du charbon et de l'uranium, et ils ont approximativement la même ampleur. On constate toutefois qu'il est plus dangereux de travailler dans une mine de charbon souterraine que dans une mine d'uranium souterraine (quand on fait le calcul sur la base d'une unité normalisée d'électricité produite). En revanche, l'utilisation de charbon extrait d'une mine à ciel ouvert provoque globalement moins de décès différés que l'utilisation de l'énergie nucléaire.
- *Risques immédiats pour le public.* Ces risques, surtout imputables aux accidents de transport, dépendent fortement de la distance parcourue et du mode d'acheminement. Ils apparaissent entre dix et cent fois moins élevés avec le nucléaire qu'avec toutes les autres formes d'énergie, principalement parce que la quantité de matériau transportée est relativement faible. Si l'on suit le même raisonnement, on voit que c'est le charbon qui présente le plus de risques immédiats pour le public à cause des grandes quantités de matériau transportées.
- *Risques différés pour le public.* Une grande incertitude demeure quant aux risques différés que toutes les sources d'énergie présentent pour le public. Ceux attribuables à l'énergie nucléaire et au gaz naturel s'équivalent et sont au moins dix fois inférieurs aux risques associés au charbon et au pétrole. Pour ce qui a trait aux sources d'énergie renouvelables, on devrait obtenir une forte diminution des risques différés pour le public grâce aux progrès escomptés.

Il est clair que les effets sur la santé dépendent de la quantité et du genre d'énergie que l'on utilise et qu'ils diffèrent grandement d'une région à l'autre. Le bois de feu se classe au quatrième rang dans le monde, après le pétrole, le charbon et le gaz naturel. Près de la moitié des habitants de la planète, notamment ceux qui vivent dans les zones rurales et urbaines des pays en développement, en dépendent pour cuire leurs aliments et se chauffer (ils utilisent le bois ou son dérivé, le charbon de bois, ou bien, en leur absence, des résidus agricoles ou de la bouse). Le bois de feu représente plus de la moitié du bois consommé dans le monde; on atteint une proportion de 86% dans les pays en développement et de 91% en Afrique.

Quand on réfléchit aux sources d'énergie nouvelles et renouvelables, comme l'énergie solaire ou éolienne et les combustibles à base d'alcool, il faut prendre en compte l'ensemble du «cycle du combustible» dans des secteurs comme l'énergie photovoltaïque, qui utilisent des installations dont le fonctionnement ne présente théoriquement aucun danger, mais dont la fabrication peut créer des risques importants, souvent sous-estimés.

Pour faire face à cette difficulté, certains étendent le cycle du combustible à toutes les étapes de l'élaboration d'un système énergétique, en y incluant, par exemple, le béton que l'on trouve dans l'usine qui fabrique le verre des capteurs solaires. Quand on s'est demandé quoi inclure dans le cycle, on a remarqué que

Figure 53.11 • Risque de décès pour une personne qui approvisionnerait une famille en bois de feu pendant 40 ans



l'analyse des étapes de fabrication de l'aval vers l'amont conduit à un ensemble d'équations simultanées dont la solution — si elle est linéaire — s'exprime par une matrice de valeurs. Une telle façon de procéder est bien connue des économistes, qui parlent d'analyses entrées-sorties; on a déjà fait les calculs voulus pour savoir dans quelle mesure chaque activité économique profite des autres, encore que, pour les catégories globales qui ne correspondent pas forcément avec exactitude aux étapes de fabrication, on ait intérêt à approfondir l'examen pour mesurer les dommages sur la santé.

Il n'existe pas une méthode qui satisfasse à elle seule à une analyse comparative des risques dans le secteur de l'énergie. Chaque méthode a ses avantages et ses limites; chacune apporte des renseignements différents. Etant donné l'incertitude inhérente aux analyses des risques pour la santé, il faut examiner les résultats fournis par toutes les méthodes pour obtenir l'image la plus précise possible et pour mieux saisir l'ampleur des incertitudes qui subsistent.

L'URBANISATION

Edmundo Werna

L'urbanisation est l'une des grandes caractéristiques du monde contemporain. Au début du XIX^e siècle, environ 50 millions de personnes vivaient dans des zones urbaines. En 1975, elles étaient 1,6 milliard et, en l'an 2000, on en comptait 3,1 milliards (Harpham, Lusty et Vaugham, 1988). Ces chiffres dépassent de loin ceux de la croissance de la population rurale.

Toutefois, l'urbanisation a souvent eu des effets dommageables sur la santé des individus qui travaillent et vivent dans les villes. Dans une plus ou moins grande mesure, la construction de logements convenables et d'infrastructures urbaines ainsi que la maîtrise de la circulation n'ont pas progressé au même rythme que la croissance urbaine. Il en est résulté une multitude de problèmes de santé.

Le logement

Partout dans le monde, les conditions de logement sont loin d'être satisfaisantes. Au milieu des années quatre-vingt, par exemple, entre 40 et 50% des habitants de nombreuses villes de pays en développement vivaient dans des logements non conformes aux normes établies (OMS, 1992c). La situation s'est aggravée depuis. Bien qu'ils soient moins inquiétants dans les pays industriels, les problèmes de logement y sont fréquents: dégradation, surpeuplement et même présence de personnes sans domicile fixe.

Les principaux éléments de l'environnement domestique qui influencent la santé et les risques qui leur sont associés sont présentés au tableau 53.10. La santé d'un travailleur peut se ressentir de l'absence de l'un ou de plusieurs de ces éléments à son lieu de domicile. Dans les pays en développement, par exemple, quelque 600 millions de citoyens habitent dans des maisons et des quartiers qui présentent une menace pour leur santé ou pour leur vie (Hardoy, Cairncross et Satterthwaite, 1990; OMS, 1992c).

Les problèmes de logement peuvent aussi avoir une incidence directe sur la santé au travail, lorsque la personne exerce son activité au domicile. C'est le cas du personnel domestique et d'un nombre croissant de petits producteurs qui possèdent une exploitation familiale. Ces derniers peuvent être d'autant plus touchés que leurs procédés de production créent telle ou telle forme de pollution. Quelques études réalisées dans des entreprises de ce type ont révélé la présence de déchets dangereux qui provoquent, entre autres, des maladies cardio-vasculaires, des cancers de la peau, des troubles neurologiques, des cancers des bronches, de la photophobie et de la méthémoglobinémie infantile (Hamza, 1991).

La prévention des problèmes domestiques comprend l'adoption de mesures aux différents stades de la mise à disposition de logements:

1. Emplacement (lieux sûrs et exempts de vecteurs de maladie).

Tableau 53.10 • Logement et santé

Problèmes de logement	Risques pour la santé
Mauvaise maîtrise de la température	Contrainte thermique, hypothermie
Ventilation inadéquate (fumée dégagée par le foyer)	Affections respiratoires aiguës et chroniques
Poussière excessive	Asthme
Surpeuplement	Accidents à domicile, transmission facilitée des maladies contagieuses (tuberculose, grippe, méningite)
Feux ouverts mal contrôlés, protection insuffisante contre le kérosène ou le gaz en bouteille	Brûlures
Mauvaise finition des murs, sols ou plafonds (qui laissent entrer des vecteurs)	Maladie de Chagas, peste, typhus, shigellose, hépatite, poliomyélite, maladie des légionnaires, fièvre récurrente, allergie à la poussière de maison
Emplacement de la maison (près d'un foyer de vecteurs)	Paludisme, bilharziose, filariose, trypanosomiase
Emplacement de la maison (dans un secteur sujet à des catastrophes telles que glissements de terrain ou inondations)	Accidents
Défauts de construction	Accidents

Source: Hardoy, Cairncross et Satterthwaite 1990; Harpham, Lusty et Vaughan, 1988; Commission de la santé et de l'environnement de l'OMS, 1992b.

2. Conception du logement (espaces dotés de dimensions et d'une protection climatique suffisantes, utilisation de matériaux de construction non périssables, protection convenable des équipements).
3. Construction (prévention des défauts de construction).
4. Entretien (inspections et contrôles satisfaisants de l'équipement, etc.).

L'implantation d'activités industrielles dans le milieu résidentiel peut exiger des mesures de protection spéciales, en fonction de procédés de production particuliers.

Les types de solutions adoptées pour le logement peuvent varier grandement d'un endroit à l'autre, selon la situation sociale, économique, technique et culturelle. De nombreuses villes, grandes et petites, se sont dotées de lois sur l'urbanisme et la construction, qui prévoient des mesures pour prévenir les risques sanitaires. Mais, bien souvent, ces lois ne sont pas appliquées, par ignorance, ou encore parce qu'il n'existe pas d'appareil judiciaire ni les ressources financières nécessaires pour bâtir des logements convenables. Il est donc important non seulement d'édicter des règlements appropriés (et de les mettre à jour), mais aussi de créer des conditions propres à leur application.

L'infrastructure urbaine: la fourniture de services de salubrité de l'environnement

Le logement peut aussi avoir des conséquences dommageables sur la santé lorsqu'il n'existe pas de services de salubrité de l'environnement suffisants, comme les services de ramassage des ordures, d'approvisionnement en eau, d'assainissement et d'évacuation des eaux. Les effets d'une insuffisance de ces services dépassent toutefois le cadre strict du logement et peuvent engendrer des risques pour une ville dans son ensemble. Dans beaucoup d'endroits, la qualité de ces services en est encore médiocre. Par exemple, entre 30 et 50% des déchets solides produits par les centres urbains ne sont pas ramassés. En 1985, on comptait 100 millions de personnes de plus qu'en 1975 qui n'étaient pas alimentées en eau. Plus de 2 milliards d'individus ne possèdent pas d'installation sanitaire pour l'élimination des excréments (Hardoy, Cairncross et Satterthwaite, 1990; OMS, 1992c). Les médias citent fréquemment le cas d'inondations ou d'autres accidents attribuables à une mauvaise évacuation des eaux de ruissellement.

Les risques qui découlent d'une déficience des services de salubrité de l'environnement sont présentés au tableau 53.11. Il est aussi fréquent que des risques se répercutent d'un type de service à l'autre: contamination de l'eau courante à cause d'un manque d'installations d'assainissement, dissémination des déchets par les eaux non drainées, etc. Pour donner un exemple de l'ampleur des problèmes d'infrastructure, parmi beaucoup d'autres, rappelons qu'il meurt dans le monde un enfant toutes les vingt secondes pour cause de diarrhée — fléau dû à l'insuffisance des services de salubrité de l'environnement.

Les travailleurs dont le cadre de travail immédiat ou élargi n'est pas correctement pourvu de ce genre de services sont exposés à de nombreux risques professionnels. Ceux qui travaillent à la fourniture de services ou à l'entretien des infrastructures urbaines, comme les éboueurs et les balayeurs, sont d'autant plus exposés.

Certes, il existe des solutions techniques pour améliorer les services de salubrité de l'environnement. On pensera, parmi beaucoup d'autres, au recyclage des ordures (y compris aux moyens employés pour faciliter le travail des éboueurs), à l'utilisation de différents véhicules de ramassage des ordures pour diverses viabilités (y compris dans les secteurs d'habitat spontané), aux dispositifs qui permettent d'économiser l'eau, au renforcement du dépistage des fuites d'eau et à des installations sanitaires peu coûteuses comme les latrines ventilées, les fosses septiques ou les conduites d'égout de petit calibre.

Tableau 53.11 • Infrastructure urbaine et santé

Problèmes liés à la fourniture de services sanitaires	Risques pour la santé
Ordures non collectées	Présence de pathogènes dans les déchets, vecteurs de maladies (principalement mouches et rats) qui se reproduisent ou se nourrissent dans les ordures, risques d'incendie, pollution des cours d'eau
Insuffisance de la quantité ou de la qualité de l'eau	Diarrhée, trachome, dermatoses infectieuses, infections portées par les poux, autres infections engendrées par la consommation d'aliments non lavés
Absence d'équipements sanitaires	Infections des voies digestives et orales (diarrhée, choléra, fièvre typhoïde), parasites intestinaux, filariose
Absence d'égouts	Accidents (inondations, glissements de terrain, effondrements de maisons), infections des voies digestives et orales, schistosomiase, maladies transmises par les moustiques (paludisme, dengue, fièvre jaune), filariose à <i>Wuchereria bancrofti</i>

Source: Hardoy, Cairncross et Satterthwaite, 1990; Commission de la santé et de l'environnement de l'OMS, 1992b.

Mais le succès de chaque solution dépend de son adaptation à la situation locale, ainsi que des ressources et des compétences que l'on possède sur place pour la mettre en œuvre. La volonté politique est fondamentale, mais pas suffisante. Les pouvoirs publics ont souvent de la difficulté à fournir des services urbains convenables par eux-mêmes. Pour réussir, il faut souvent faire collaborer les secteurs public, privé et bénévole. Le soutien et la participation pleine et entière des collectivités locales sont importants. Cela exige souvent que l'on reconnaisse officiellement les nombreux quartiers illicites et semi-licites (notamment dans les pays en développement, mais pas uniquement) qui contribuent pour une grande part aux problèmes de santé en rapport avec l'environnement. Les travailleurs préposés au ramassage des ordures ou à l'entretien des installations de recyclage et des égouts, par exemple, doivent porter un équipement de protection spécial, comme des gants, une combinaison et un masque.

La circulation

Les villes dépendent énormément des transports de surface pour le déplacement des personnes et des marchandises. C'est pourquoi l'essor de l'urbanisation partout dans le monde s'est accompagné d'une forte augmentation de la circulation. Or, celle-ci entraîne une multiplication des accidents. Environ 500 000 individus sont tués chaque année dans des accidents de la circulation, dont les deux tiers surviennent en milieu urbain ou périurbain. Par ailleurs, d'après de nombreuses études réalisées dans différents pays, on compte entre 10 et 20 blessés pour chaque décès. Parmi eux, beaucoup ont ensuite une incapacité de travail permanente ou prolongée (Urban Edge, 1990a; OMS, 1992b). Dans bien des cas, il s'agit de personnes qui se rendent à leur travail ou en reviennent; depuis peu, cette catégorie d'accident de la circulation est assimilée à un risque professionnel.

Selon des études de la Banque mondiale, les principales causes d'accident de la circulation urbaine sont le mauvais état des véhicules, la dégradation du réseau routier, la présence de différents types d'usagers (des piétons aux camions en passant par les

animaux) dans une même rue ou une même voie, l'absence de chemins pour les piétons et l'imprudence (des conducteurs comme des piétons) (Urban Edge, 1990a, 1990b).

L'expansion de la circulation urbaine a aussi pour conséquence d'aggraver la pollution atmosphérique et sonore. Entre autres problèmes de santé, mentionnons les maladies respiratoires aiguës et chroniques, les affections malignes et les déficits auditifs (la pollution fait aussi l'objet d'autres chapitres de l'*Encyclopédie*).

On ne manque pas de solutions techniques pour améliorer la sécurité des routes et des voitures (de même que pour réduire la pollution). Le plus difficile semble être de changer la mentalité des conducteurs, des piétons et des autorités. On recommande souvent de faire un travail d'éducation en matière de sécurité routière — de l'école primaire aux campagnes des médias — pour toucher les conducteurs et les piétons (lorsqu'ils sont appliqués, les programmes de ce type remportent souvent un certain succès). Les autorités ont pour responsabilité d'édicter et de faire respecter des règlements de la circulation, d'inspecter les véhicules, de concevoir et de mettre en application des mesures de prévention technique. Malheureusement, d'après les études susmentionnées, il est rare que ces autorités accordent une grande importance aux accidents de la circulation (ou à la pollution) ou qu'elles aient les moyens de faire de la prévention dans ce domaine (Urban Edge, 1990a, 1990b). Il importe donc que les services publics dépendant de ces autorités soient aussi la cible des campagnes d'éducation et qu'on les soutienne dans leur travail.

Le tissu urbain

Outre les problèmes déjà cités (logement, services, circulation), le développement global du tissu urbain a aussi une incidence sur la santé. Premièrement, les zones urbaines sont généralement densément peuplées, ce qui facilite la transmission des maladies contagieuses. Deuxièmement, ces zones attirent un nombre important d'industries, avec la pollution qu'elles engendrent. Troisièmement, de par l'urbanisation, les foyers naturels des vecteurs de maladies peuvent se trouver inclus dans les nouvelles zones urbaines et les vecteurs de maladies peuvent avoir ainsi de nouvelles niches. Des vecteurs peuvent s'adapter aux nouveaux habitats (urbains), par exemple ceux du paludisme urbain, de la dengue et de la fièvre jaune. Quatrièmement, l'urbanisation a souvent des conséquences psychosociales telles que le stress, l'aliénation, l'instabilité et l'insécurité, lesquelles engendrent à leur tour des problèmes comme la dépression, l'alcoolisme et la toxicomanie (Harpham, Lusty et Vaughan, 1988; OMS, 1992b).

Certaines expériences passées ont montré qu'il est possible (et nécessaire) de remédier aux problèmes de santé en améliorant la situation en milieu urbain. Par exemple «... la remarquable diminution des taux de mortalité et l'amélioration de la situation sanitaire en Europe et en Amérique du Nord à la fin du XIX^e siècle s'expliquent plus par une amélioration de l'alimentation, de l'approvisionnement en eau, des installations sanitaires et des conditions de logement et de vie sous d'autres aspects que par l'essor de la médecine» (Hardoy, Cairncross et Satterthwaite, 1990).

Pour résoudre les problèmes croissants de l'urbanisation, il faut une bonne intégration entre l'urbanisme et la gestion urbaine (qui sont souvent séparés) et la participation des différents acteurs publics, privés et bénévoles qui opèrent dans le milieu urbain. L'urbanisation touche un large éventail de travailleurs. Contrairement à d'autres sources ou d'autres types de problèmes de santé (qui peuvent toucher des catégories précises de travailleurs), les risques professionnels issus de l'urbanisation ne peuvent être traités par une simple action ou pression des syndicats. Ils requièrent une action intersectorielle ou, mieux, une action de la part de la collectivité urbaine en général.

● LE CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'ÉCHELLE PLANÉTAIRE ET L'APPAUVRISSMENT EN OZONE

Jonathan A. Patz

Le changement climatique

Les principaux gaz à effet de serre (GES) comprennent le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux, la vapeur d'eau et les chlorofluorocarbures (CFC). Ces gaz permettent à la lumière du soleil de pénétrer jusqu'à la surface de la terre, mais empêchent la chaleur radiante infrarouge de s'échapper. D'après les conclusions du Groupe intergouvernemental d'experts des Nations Unies sur l'évolution du climat (IPCC), les émanations gazeuses, notamment celles provenant de l'industrie, et la destruction des «puits» des gaz à effet de serre (en raison d'une mauvaise utilisation des terres et, principalement, du déboisement) font que les concentrations de GES ont augmenté fortement au-delà de celles résultant des processus naturels. Sans un changement radical de politique, on prévoit que les taux de dioxyde de carbone préindustriel vont grimper, ce qui fera augmenter la température moyenne de la planète de 1 à 3,5 °C d'ici à 2100.

Les deux principales composantes du changement climatique sont: 1) une élévation de la température qui s'accompagne de conditions atmosphériques instables et extrêmes; 2) une élévation du niveau de la mer due à la thermoexpansion. Ce changement peut entraîner une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur et des épisodes de pollution atmosphérique dangereux, une diminution de l'humidité du sol, une incidence accrue des accidents climatiques et des inondations côtières (IPCC, 1992). Sur le plan sanitaire, le changement climatique peut aboutir à une aggravation des phénomènes suivants: 1) mortalité et morbidité en rapport avec la chaleur; 2) maladies infectieuses, notamment celles qui sont transmises par des insectes; 3) malnutrition due à la pénurie d'aliments; 4) sursollicitation des infrastructures sanitaires publiques découlant de catastrophes climatiques et de l'élévation du niveau de la mer, aggravée par des migrations humaines attribuables au climat (voir figure 53.12).

L'être humain possède une très bonne capacité d'adaptation aux conditions climatiques et environnementales. Mais l'ampleur

des changements climatiques et écologiques prévus préoccupe le corps médical et les spécialistes des sciences de la terre. Beaucoup de problèmes de santé découleront de conséquences écologiques de la modification du climat. La propagation de maladies transmises par un vecteur, par exemple, dépendra de la façon dont évolueront la végétation, la présence de réservoirs d'hôtes ou d'hôtes intermédiaires, conjointement avec des effets directs des variations de température et d'humidité sur les parasites et leurs vecteurs (Patz et coll., 1996). Pour bien comprendre les conséquences du changement climatique, il faudra donc une évaluation complète des risques écologiques, ce qui exigera des moyens nouveaux et complexes comparativement à la méthode classique qui consiste à analyser pour un seul agent les rapports de cause à effet à partir de données empiriques (McMichael, 1993).

L'appauvrissement de l'ozone stratosphérique

L'appauvrissement de l'ozone stratosphérique résulte principalement de réactions avec des radicaux libres halogénés de chlorofluorocarbures (CFC), ainsi qu'avec d'autres hydrocarbures halogénés et du bromure de méthyle (Molina et Rowland, 1974). Plus précisément, l'ozone empêche la pénétration des rayonnements ultraviolets B (UV-B), qui couvrent les longueurs d'onde biologiquement les plus destructrices (290-320 nanomètres). On s'attend à ce que la quantité d'UV-B augmente d'une façon disproportionnée dans les zones tempérées et arctiques, car il est maintenant clair que plus la latitude est élevée, plus la couche d'ozone diminue (Stolarski et coll., 1992).

On a calculé que pendant la période 1979-1991, la couche d'ozone a diminué en moyenne de 2,7% tous les dix ans, compte tenu des cycles solaires et d'autres facteurs (Gleason et coll., 1993). En 1993, des chercheurs de Toronto (Canada) ont découvert, grâce à un nouveau spectroradiomètre très sensible, que l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique avait provoqué localement une augmentation du rayonnement d'UV-B ambiant de 35% en hiver et de 7% en été par rapport à 1989 (Kerr et McElroy, 1993). D'après des calculs antérieurs du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), une diminution de 1% de l'ozone stratosphérique devrait entraîner une augmentation de 1,4% des UV-B (PNUE, 1991a).

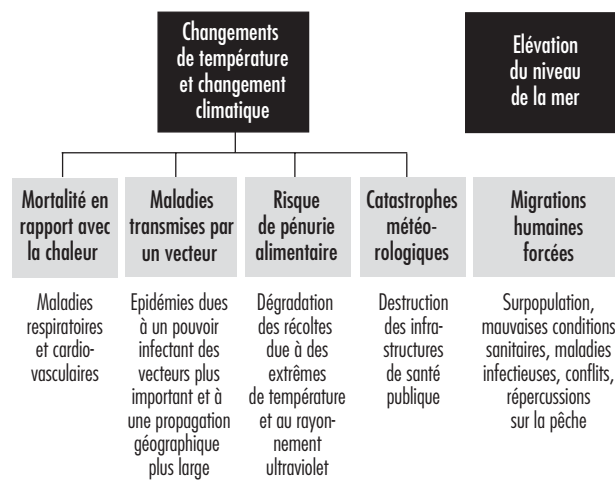
La réduction de l'ozone stratosphérique, qui provoque une augmentation du rayonnement UV-B ambiant, a des retombées directes sur la santé: cancers de la peau, troubles oculaires et immunosuppression auxquels peuvent s'ajouter des effets indirects dus à une détérioration des cultures par les rayons ultraviolets.

Les effets de la modification des températures et des précipitations sur la santé

L'influence du réchauffement sur les taux de morbidité et de mortalité

Physiologiquement parlant, les êtres humains possèdent une grande capacité de thermorégulation, cela jusqu'à un certain seuil. Lorsque la chaleur ambiante dépasse ce seuil et persiste pendant plusieurs jours consécutifs, la mortalité augmente. Facteur aggravant, les mauvaises conditions de logement s'ajoutent, dans certaines villes, à la concentration de chaleur en milieu urbain. A Shanghai, par exemple, les écarts peuvent atteindre 6,5 °C les soirées d'hiver sans vent (IPCC, 1990). La plupart des décès qui résultent de la chaleur se produisent dans le groupe des personnes âgées et sont attribués à des troubles cardio-vasculaires et respiratoires (Kilbourne, 1989). Certaines variables météorologiques clés contribuent à faire augmenter la mortalité explicable par la chaleur, la principale étant la température élevée observée pendant la nuit. On pense que l'effet de serre va faire sensiblement grimper ces températures minimales (Kalkstein et Smoyer, 1993).

Figure 53.12 • Effets des principales composantes du changement climatique au niveau mondial sur la santé de la population



On s'attend à ce que les régions tempérées et polaires se réchauffent comparativement davantage que les zones tropicales et subtropicales (IPCC, 1990). Si l'on en croit les prévisions de l'Administration nationale de l'aérospatiale américaine (National Aeronautics and Space Administration (NASA)), un doublement du taux de CO₂ ambiant entraînera, par exemple, une augmentation de 3,1 et 3,9 °C, respectivement, de la température moyenne en été à New York et à Saint Louis. Même si l'on tient compte de l'acclimatation physiologique, le taux de mortalité enregistré chaque année en été dans des villes tempérées de ce type pourrait plus que quadrupler (Kalkstein et Smoyer, 1993).

Les réactions chimiques qui se produisent dans l'atmosphère contribuent fortement à la formation du smog photochimique urbain, phénomène dans lequel la photodécomposition de NO₂ en présence de composés organiques volatils produit de l'ozone troposphérique (au voisinage du sol). L'augmentation du rayonnement UV ambiant et l'augmentation de la température accélèrent toutes deux ces réactions. Les effets nocifs de la pollution atmosphérique sur la santé sont bien connus, et l'utilisation continue de combustibles fossiles ne fera qu'ajouter aux maladies aiguës et chroniques (voir l'article intitulé «La pollution atmosphérique» dans le présent chapitre).

Les maladies infectieuses et les modifications du climat et des écosystèmes

Des modèles qui reproduisent à la fois la circulation générale de l'atmosphère et des océans nous font prévoir que c'est aux latitudes élevées de l'hémisphère Nord que la température à la surface de la terre se réchauffera le plus, d'après les hypothèses de l'IPCC (IPCC, 1992). Selon toute vraisemblance, les températures minimales en hiver changeront d'une manière disproportionnée, en conséquence de quoi certains virus et parasites atteindront des régions dans lesquelles ils ne pouvaient vivre auparavant. Outre les effets directs du climat sur les vecteurs, la transformation des écosystèmes pourrait avoir une forte incidence sur des maladies pour lesquelles l'extension géographique du vecteur, ou du réservoir de l'hôte, est définie par ces écosystèmes.

Les maladies transmises par un vecteur pourront s'étendre aux régions tempérées des deux hémisphères et s'intensifier dans les zones où elles ont un caractère endémique. La température détermine l'infectiosité des vecteurs en influant sur la réplication des pathogènes, leur maturation et leur période d'infectiosité (Longstreth et Wiseman, 1989). Une élévation de la température et de l'humidité peut aussi accroître l'agressivité de certaines espèces de moustiques. Une chaleur extrême, en revanche, peut raccourcir la durée de vie d'un insecte.

Les maladies infectieuses qui font intervenir dans leur cycle de vie une espèce à sang froid (invertébrée) sont les plus sensibles aux variations climatiques légères (Sharp, 1994). Parmi les maladies dont l'agent infectieux, le vecteur ou l'hôte sont influencés par le changement climatique, on compte le paludisme, la schistosomiase, la filariose, la leishmaniose, l'onchocercose (cécité des rivières), la trypanosomiase (maladie de Chagas et maladie du sommeil), la dengue, la fièvre jaune et l'encéphalite à arbovirus. Le nombre de personnes exposées à ces maladies est donné au tableau 53.12 (OMS, 1990c).

Parmi les maladies transmises par un vecteur, le paludisme est la plus répandue dans le monde, provoquant entre 1 et 2 millions de morts par an. Selon Martens et coll. (1995), il pourrait s'y ajouter 1 million de pertes humaines attribuables au changement climatique d'ici au milieu du siècle prochain. Le territoire de l'anophèle, moustique vecteur du paludisme, s'étend jusqu'à l'isotherme hivernal de 16 °C, ce parasite ne pouvant se développer au-dessous de cette température (Gilles et Warrell, 1993). La survenue d'une épidémie à des altitudes plus élevées coïncide en général avec des températures supérieures à la moyenne (Loevinsohn, 1994). Le déboisement favorise aussi le paludisme, étant donné que de nombreuses masses d'eau douce où la larve d'anophèle peut prospérer se forment dans les zones défrichées (voir l'article intitulé «L'extinction d'espèces, la diminution de la biodiversité et la santé humaine» dans ce chapitre).

Les efforts déployés depuis deux décennies pour lutter contre le paludisme n'ont donné que des résultats médiocres. Le traitement ne s'est pas amélioré, la résistance aux médicaments étant deve-

Tableau 53.12 • Situation dans le monde des principales maladies transmises par un vecteur

N ^o	Maladie	Population menacée (millions) ^b	Prévalence de l'infection (millions)	Répartition actuelle	Evolution possible de la répartition à cause des changements climatiques
1.	Paludisme	2 100	270	Zones tropicales/subtropicales	++
2.	Filariose lymphatique	900	90,2	Zones tropicales/subtropicales	+
3.	Onchocercose	90	17,8	Afrique/Amérique du Sud	+
4.	Schistosomiase	600	200	Zones tropicales/subtropicales	++
5.	Maladie du sommeil	50	(25 000 nouveaux cas/an)	Afrique tropicale	+
6.	Leishmaniose	350	12 millions infectés + 400 000 nouveaux cas/an	Asie/Europe du Sud/ Afrique/Amérique du Sud	?
7.	Dracunculose	63	1	Zones tropicales (Afrique/Asie)	0
<i>Maladies à arbovirus</i>					
8.	Dengue	1 500		Zones tropicales/subtropicales	++
9.	Fièvre jaune	+++		Afrique/Amérique latine	+
10.	Encéphalite japonaise	+++		Asie de l'Est et du Sud-Est.	+
11.	Autres maladies à arbovirus	+++			+

^a Les chiffres renvoient aux explications données dans le texte. ^b Sur la base d'une population mondiale estimée à 4,8 milliards (1989).
0 = peu probable; + = probable; ++ = très probable; +++ = absence d'estimation; ? = inconnu.

nue le principal problème posé par la souche la plus virulente, *Plasmodium falciparum*, et les vaccins antipaludiques ne s'avèrent que d'une efficacité limitée (Institute of Medicine, 1991). La grande capacité de variation antigénique des protozoaires a, jusqu'à présent, empêché la mise au point de vaccins efficaces contre le paludisme et la maladie du sommeil, ce qui laisse craindre que l'on ne puisse disposer avant longtemps de nouveaux produits pharmaceutiques contre ces maladies. Les maladies transmises par un hôte intermédiaire (comme le cerf et les rongeurs dans le cas de la maladie de Lyme) rendent quasiment impossible une immunisation des populations humaines avec des vaccins, obstacle supplémentaire à une prévention médicale.

A mesure que le changement climatique modifiera l'habitat, risquant ainsi de porter atteinte à la biodiversité, les insectes vecteurs devront trouver de nouveaux hôtes (voir l'article intitulé «L'extinction d'espèces, la diminution de la biodiversité et la santé humaine», dans le présent chapitre). Au Honduras, par exemple, des insectes hématophages comme le scarabée tueur, porteur de l'incurable maladie de Chagas (ou la trypanosomiase américaine), se replient sur l'être humain à cause d'une diminution de la biodiversité provoquée par le déboisement. Sur les 10 601 Honduriens que l'on a étudiés dans des régions touchées par l'endémie, 23,5% sont aujourd'hui séropositifs à la maladie de Chagas (Sharp, 1994). Des zoonoses sont souvent à l'origine d'infections chez l'humain, qu'elles atteignent en général après une modification de l'environnement ou de l'activité humaine (Institute of Medicine, 1992). Beaucoup de maladies émergentes chez l'humain ont en fait depuis longtemps des animaux pour hôtes. L'hantavirus, par exemple, dont on a appris dernièrement qu'il est la cause de décès humains dans le sud-ouest des Etats-Unis, est connu depuis longtemps pour s'attaquer aux rongeurs, et on pense que l'écllosion récente de cette infection a un lien avec les conditions climatiques et écologiques (Wenzel, 1994).

Les effets sur la vie marine

Le changement climatique peut aussi influencer la santé de la population de par ses effets sur la prolifération des variétés nocives de phytoplancton marin (ou d'algues). Globalement, le développement du phytoplancton résulte d'une mauvaise maîtrise de l'érosion, de l'usage immodéré d'engrais en agriculture et du déversement d'eaux usées le long des côtes, autant de phénomènes qui produisent des effluents riches en nutriments propices à une prolifération des algues. Celle-ci pourrait être favorisée encore davantage par une élévation de la température en surface des océans, conséquence prévisible du réchauffement planétaire. La pêche et la récolte de coquillages (consommateurs d'algues) pratiquées de manière excessive, ajoutées à une utilisation généralisée de pesticides toxiques pour les poissons, contribuent également à la prolifération du plancton (Epstein, 1995).

Les diarrhées et maladies paralysantes provoquées par les marées rouges, ainsi que les amnésies dues à une intoxication par les coquillages, sont de bons exemples de maladies résultant de la prolifération des algues. On sait que le phytoplancton marin peut être l'hôte du *Vibrio cholerae*; les algues pourraient donc constituer un véritable réservoir pour les épidémies de choléra (Huq et coll., 1990).

L'approvisionnement en nourriture et l'alimentation humaine

La malnutrition est une cause importante de mortalité infantile et de maladie chez l'enfant à cause de l'immunosuppression (voir «L'alimentation et l'agriculture»). Le changement climatique risque d'avoir sur l'agriculture des effets négatifs à la fois durables, comme la réduction de l'humidité du sol du fait de l'évapotranspiration, et des effets plus immédiats, sous la forme de phénomènes atmosphériques extrêmes tels que sécheresse, inondations (et érosion) et tempêtes tropicales. Au début, certains végétaux pourront

profiter de la «fertilisation au CO₂», qui facilite la photosynthèse (IPCC, 1990). Cependant, même dans ce cas, l'agriculture des pays en développement sera la plus touchée et on calcule, que, dans ces régions, entre 40 et 300 millions d'individus supplémentaires seront menacés par la famine à cause de l'évolution du climat (Sharp, 1994).

Il faudra aussi prendre en compte les changements écologiques indirects qui influent sur les cultures, car la distribution des populations de parasites dans l'agriculture pourrait se modifier (IPCC, 1992) (voir «L'alimentation et l'agriculture»). Vu la dynamique complexe des écosystèmes, il ne faudra pas se contenter, pour faire une évaluation complète, d'examiner les conséquences directes des changements de l'atmosphère et de l'état du sol.

Les effets des catastrophes climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur la santé

Sous l'influence de leur expansion thermique, les océans pourront voir leur niveau s'élever à un rythme relativement rapide de 2 à 4 cm tous les dix ans, et on prévoit que le cycle hydrologique atteindra des extrêmes qui engendreront un grand nombre de désastres climatiques et de tempêtes. Des phénomènes de ce type endommageront directement les logements et les infrastructures de santé publique, entre autres les réseaux d'assainissement et les égouts d'eaux pluviales (IPCC, 1992). Les populations habitant dans les terres basses le long des côtes et sur de petites îles, les plus exposées, devront migrer vers des régions plus sûres. Un surpeuplement et de mauvaises conditions sanitaires parmi ces «réfugiés climatiques» pourront amplifier la propagation de maladies infectieuses comme le choléra, et les maladies transmises par un vecteur se répandront à un rythme accéléré vu la promiscuité et, éventuellement, l'arrivée massive d'individus infectés (OMS, 1990c). La situation pourra être aggravée par le débordement d'égouts, et il faudra aussi tenir compte des conséquences psychologiques du syndrome de stress post-traumatique qui suivra les grandes tempêtes.

Les réserves d'eau douce vont diminuer à cause de la pénétration du sel dans les nappes aquifères côtières et de la salinisation ou de l'inondation pure et simple de terres agricoles côtières, qui seront ainsi perdues. Une élévation de 1 m du niveau de la mer, par exemple, fera reculer l'agriculture de 15 et 20% en Egypte et au Bangladesh, respectivement (IPCC, 1990). Comme dans le cas des sécheresses, les méthodes d'irrigation adaptées pourraient avoir des répercussions sur les sites de reproduction des arthropodes et des invertébrés vecteurs (à l'instar de la schistosomiase en Egypte), mais il sera difficile d'évaluer les avantages de ces méthodes par rapport à leur coût.

Les effets de l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique sur la santé

Les effets directs des rayonnements ultraviolets B sur la santé

L'ozone empêche la pénétration des rayonnements ultraviolets B (UV-B), dont la longueur d'onde de 290 à 320 nanomètres est la plus nocive pour la santé. Les UV-B entraînent la formation de dimères de pyrimidine dans les molécules d'ADN, qui peuvent évoluer en cancer si cette formation n'est pas réversible (CIRC, 1992). Les cancers de la peau non mélaniques (épithéliome malpighien ou basocellulaire) et les mélanomes malins à extension superficielle sont corrélés à l'exposition au soleil. Dans les pays occidentaux, l'incidence du mélanome a progressé de 20 à 50% tous les cinq ans au cours des deux dernières décennies (Coleman et coll., 1993). S'il n'existe pas de lien direct entre des expositions cumulatives aux ultraviolets (UV) et l'apparition d'un mélanome, une exposition excessive aux UV pendant l'enfance, en revanche, explique une telle incidence. Si la couche d'ozone stratosphérique

diminuait durablement de 10%, le nombre de cancers de la peau non mélaniques pourrait augmenter de 26% par an, soit de 300 000 cas dans le monde, et le nombre de mélanomes malins de 20%, soit de 4 500 cas par an toujours (PNUE, 1991a).

La cataracte explique la moitié des cas de cécité dans le monde (17 millions de victimes par an) et est liée aux rayonnements UV-B selon une relation dose-réponse (Taylor, 1990). Les acides aminés et les systèmes de transport membranaire dans le cristallin sont particulièrement sujets à une photo-oxydation par des radicaux oxygène provenant de rayonnements UV-B (CIRC, 1992). Un doublement de l'exposition aux UV-B pourrait entraîner une augmentation de 60% du nombre de cataractes corticales par rapport aux chiffres actuels (Taylor et coll., 1988). Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) calcule qu'une perte durable de 10% de la couche d'ozone stratosphérique pourrait faire apparaître presque 1,75 million de cataractes supplémentaires par an (PNUE, 1991a). Une exposition aux UV-B peut avoir aussi d'autres effets oculaires: photokératites, photokérato-conjonctivites, pinguécula et ptérygion (ou croissance exagérée de l'épithélium conjonctival), kératite bulleuse (CIRC, 1992).

L'aptitude du système immunitaire à bien fonctionner dépend du traitement de l'antigène «local» et de sa présentation aux lymphocytes, ainsi que de l'augmentation du pouvoir de réaction «systémique» par la production de lymphokine (messager biochimique) et des ratios résultants entre lymphocytes amplificateurs et lymphocytes suppresseurs. Les UV-B provoquent une immunosuppression à deux niveaux. Chez l'animal, les UV-B peuvent influencer le cours de maladies cutanées infectieuses, comme l'onchocercose, la leishmaniose et la dermatophytose, et entraver l'immunosurveillance des cellules épidermiques transformées, pré-cancéreuses. Les études préliminaires mettent aussi en évidence une influence sur l'efficacité des vaccins (Kripke et Morison, 1986; CIRC, 1992).

Les effets indirects des UV-B sur la santé publique

Les végétaux ne sont apparus sur terre qu'après la formation du bouclier d'ozone, étant donné que les UV-B empêchent la photosynthèse (PNUE, 1991a). La fragilisation des cultures alimentaires sensibles aux UV-B pourrait aggraver les effets que le changement climatique et l'élévation du niveau de la mer auront sur l'agriculture.

Le phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire marine, sert aussi d'important «puits» pour le dioxyde de carbone. C'est pourquoi les dommages créés par les UV à ces algues dans les régions polaires altèrent la chaîne trophique marine et exacerbent l'effet de serre. Selon le PNUE, une diminution de 10% du phytoplancton marin ferait baisser de 5 gigatonnes la quantité de CO₂ absorbée chaque année par les océans, ce qui équivaut aux émanations annuelles produites par la consommation de combustibles fossiles (PNUE, 1991a).

Les risques professionnels et les méthodes de réduction

Les risques professionnels

Pour réduire les GES produits par les combustibles fossiles, il faudra développer les sources d'énergie renouvelables. Les dangers créés par l'énergie nucléaire dans la population et sur le lieu de travail sont bien connus et il sera nécessaire de sauvegarder les installations, le personnel et le combustible irradié. Le méthanol peut remplacer une bonne partie de l'essence; mais le formaldéhyde qu'il émet présentera un nouveau risque environnemental. Les matériaux supraconducteurs qui permettent de transporter efficacement l'électricité sont surtout des céramiques composées de calcium, de strontium, de baryum, de bismuth, de thallium et d'yttrium.

Etude de cas: virus transmis par les moustiques

L'encéphalite transmise par le moustique et la dengue sont de bons exemples de maladies dues à un vecteur dont l'extension est limitée par le climat. Les épidémies d'encéphalite de Saint Louis (ESL), l'encéphalite arbovirale la plus commune aux Etats-Unis, surviennent généralement au sud de l'isotherme de 22 °C de juin, mais des flambées peuvent se produire plus au nord pendant des années anormalement chaudes. Chez l'être humain, elles se manifestent très souvent après plusieurs jours où la température dépasse 27 °C (Shope, 1990).

Des études sur le terrain révèlent qu'une élévation de 1 °C de la température raccourcit nettement le temps écoulé entre le moment où un moustique pompe sa dose de sang et celui où le virus s'est suffisamment reproduit pour devenir infectieux à l'intérieur du vecteur (période d'incubation extrinsèque). Une fois les corrections faites pour tenir compte d'une résistance réduite des moustiques aux températures élevées, on prévoit une extension nette des épidémies d'ESL vers le nord (Reeves et coll., 1994), consécutive à une augmentation de la température de 3 à 5 °C.

Le territoire d'*Aedes aegypti*, vecteur primaire de la dengue (et de la fièvre jaune), s'étend jusqu'à une latitude de 35° parce que le gel tue les larves comme les adultes. La dengue est très répandue aux Antilles, en Amérique tropicale, en Océanie, en Asie, en Afrique et en Australie. Depuis 15 ans, les épidémies de dengue deviennent plus nombreuses et plus graves, notamment dans les centres urbains des régions tropicales. La fièvre hémorragique de la dengue se classe aujourd'hui parmi les principales causes d'hospitalisation et de mortalité chez les enfants en Asie du Sud-Est (Institute of Medicine, 1992). La progression observée en Asie il y a 20 ans est en train de se répéter dans les Amériques.

Il se pourrait que le changement climatique agisse sur la transmission de la dengue. En 1986, on a constaté au Mexique que le plus important indicateur de la dengue était la température médiane pendant la saison des pluies, avec un risque corrigé quadruple entre 17 °C et 30 °C (Koopman et coll., 1991). Les vérifications effectuées en laboratoire vont dans le même sens. In vitro, la période d'incubation extrinsèque pour le virus de type 2 de la dengue était de 12 jours à 30 °C et de seulement 7 jours entre 32 et 35 °C (Watts et coll., 1987). Ce raccourcissement de 5 jours attribuable à la température pourrait équivaut à un triplement des risques de transmission de la maladie (Koopman et coll., 1991). Enfin, l'élévation des températures donne des insectes à l'âge adulte plus petits, qui doivent piquer plus souvent pour pouvoir produire un couvain. En résumé, une élévation des températures peut créer une population de moustiques plus infectieux et plus voraces (Focks et coll., 1995).

On sait moins comment est assurée la sécurité des gens travaillant dans les usines qui fabriquent des unités de captage de l'énergie solaire. Pour produire des cellules photovoltaïques, on se sert essentiellement de silicium, de gallium, d'indium, de thallium, d'arsenic et d'antimoine. Le silicium et l'arsenic sont nocifs pour les poumons; le gallium se concentre dans les reins, le foie et les os; et sous ses formes ionisées, l'indium est néphrotoxique.

Les effets destructeurs des CFC sur la couche d'ozone stratosphérique ont été reconnus dans les années soixante-dix, et c'est en 1978 que l'Agence de protection de l'environnement (Environmental Protection Agency (EPA)), aux Etats-Unis, a interdit l'utilisation de ces gaz inertes dans les aérosols. En 1985, la prise de conscience du problème s'est amplifiée lorsqu'une équipe britannique basée dans l'Antarctique découvrit le «trou» dans la couche d'ozone (Farman, Gardiner et Shanklin, 1985). La signature du

Protocole de Montréal en 1987, modifié en 1990 et 1992, a déjà rendu obligatoire une forte réduction de la production de CFC.

Les produits chimiques de remplacement des CFC sont les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et les hydrofluorocarbures (HFC). La présence de l'atome d'hydrogène peut faciliter la dégradation de ces composés par des radicaux hydroxyles (OH⁻) dans la troposphère, réduisant d'autant les risques d'appauvrissement de l'ozone stratosphérique. Sur le plan biologique, cependant, ces produits de remplacement des CFC réagissent davantage que les CFC. L'existence d'un lien C-H rend ces produits chimiques sujets à une oxydation par le cytochrome P-450.

L'atténuation et l'adaptation

Pour relever les défis de santé publique posés par les mutations du climat planétaire, il faudra: 1) adopter une démarche écologique intégrée; 2) réduire les gaz à effet de serre en limitant les émissions industrielles, réglementer l'utilisation des sols pour maximiser l'étendue des «puits» de CO₂ et établir des politiques démographiques qui permettent d'atteindre ces deux objectifs; 3) surveiller l'évolution d'indicateurs biologiques à l'échelle régionale et mondiale; 4) adapter les politiques de santé publique pour limiter les incidences du changement climatique inévitables; 5) assurer une coopération entre pays développés et en développement. En bref, il faudra veiller à une intégration accrue des politiques d'environnement et de santé publique.

Le changement climatique et l'appauvrissement de l'ozone s'accompagnent d'un nombre considérable de risques pour la santé à différents niveaux et mettent en lumière le rapport important qui existe entre la dynamique des écosystèmes et le maintien en bonne santé des êtres humains. Les mesures préventives doivent donc être fondées sur une vision systémique et anticiper les importantes réactions écologiques au changement climatique, ainsi que les risques physiques directs prévus. Au moment d'évaluer les risques écologiques, il faudra examiner certains éléments clés, dont les variations spatiales et temporelles, les mécanismes de rétroaction et l'utilisation d'organismes inférieurs comme bio-indicateurs primaires.

Le fait de réduire les gaz à effet de serre en passant des combustibles fossiles à des sources d'énergie renouvelables représente le principal moyen de prévenir le changement climatique (prévention primaire). De la même façon, une planification stratégique de l'utilisation des sols et une stabilisation de la charge sur l'environnement due à la population humaine permettront de préserver d'importants «puits» naturels de gaz à effet de serre.

Comme on ne pourra peut-être pas éviter certains changements climatiques, il faudra un travail de coordination sans précédent pour faire de la prévention secondaire sous la forme d'une détection précoce grâce au contrôle de paramètres sanitaires. Pour la première fois de l'histoire, des tentatives sont effectuées pour surveiller le système terrestre dans son intégralité. Le Système mondial d'observation du climat comprend la Veille météorologique mondiale et la Veille de l'atmosphère du globe de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), ainsi que des éléments du Système mondial de surveillance continue de l'environnement du PNUE. Le Système mondial d'observation des océans est le fruit d'une entreprise commune entre la Commission océanographique intergouvernementale de l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), l'OMM et le Conseil international des unions scientifiques (International Council of Scientific Unions (ICSU)). On utilisera à la fois le satellite et des dispositifs sous-marins pour mesurer les changements survenant dans le milieu marin. Le Système mondial d'observation de la terre est un nouveau système parrainé par le PNUE, l'UNESCO, l'OMM, l'ICSU et l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), qui apportera l'élément terrestre au Système mondial d'observation du climat (OMM, 1992).

Les moyens d'adaptation qui permettent de limiter les problèmes de santé inévitables comprennent les programmes de préparation aux catastrophes, des mesures d'urbanisme pour limiter l'effet des «îlots» de chaleur et améliorer le logement, des plans d'occupation des sols pour réduire l'érosion, les crues subites et le déboisement inutile (on arrêtera, par exemple, la création de grands pâturages pour la production de viande d'exportation), les changements de comportement personnel (comme la renonciation aux bains de soleil), la lutte contre les vecteurs et une multiplication des campagnes de vaccination. Il faudra réfléchir aux coûts imprévus des mesures d'adaptation prises pour mettre fin, par exemple, à un usage accru des pesticides. Une trop grande dépendance à l'égard des pesticides non seulement aboutit à une résistance des insectes, mais élimine aussi des prédateurs naturels utiles. Les effets dommageables des pesticides sur la santé publique et l'environnement ont un coût que l'on situe aujourd'hui entre 100 et 200 milliards de dollars E.-U. par an (Institute of Medicine, 1991).

Les pays en développement souffriront nettement plus des conséquences du changement climatique que les pays industriels, qui sont pourtant les principaux responsables des rejets de GES dans l'atmosphère. À l'avenir, les pays pauvres influenceront beaucoup plus sur le cours du réchauffement planétaire, à la fois de par les technologies qu'ils emploieront à mesure qu'ils se développeront, et de par leur politique d'occupation des sols. Les pays développés vont devoir adopter des politiques énergétiques plus respectueuses de l'environnement et transférer rapidement aux pays en développement des technologies nouvelles (à un prix abordable).

L'EXTINCTION D'ESPÈCES, LA DIMINUTION DE LA BIODIVERSITÉ ET LA SANTÉ HUMAINE¹

Eric Chivian

L'activité humaine entraîne l'extinction d'espèces animales, végétales et microbiennes mille fois plus vite qu'au rythme naturel (Wilson, 1992), extinction qui est probablement l'une des plus importantes de l'histoire de la géologie. Lorsque l'*Homo sapiens* est apparu, il y a quelque 100 000 ans, le nombre d'espèces qu'abritait la Terre était le plus important de tous les temps (Wilson, 1989). Au rythme où les espèces disparaissent aujourd'hui, on est en train de retomber au niveau le plus bas depuis l'époque des dinosaures, il y a 65 millions d'années, puisqu'on estime qu'un quart des espèces seront éteintes dans 50 ans (Ehrlich et Wilson, 1991).

En plus de poser des dilemmes éthiques — nous n'avons pas le droit de tuer d'innombrables autres organismes, dont beaucoup étaient sur la planète des dizaines de millions d'années avant nous —, ce comportement ne peut qu'aboutir à une autodestruction, en rompant le fragile équilibre écologique sur lequel repose toute forme de vie, y compris la nôtre, en détruisant la diversité biologique qui rend les sols fertiles, qui produit l'air que nous respirons et qui nous fournit les aliments et d'autres produits naturels vitaux, dont le plus grand nombre reste à découvrir.

¹ Cet article a été adapté avec l'aimable autorisation de Chivian, E., 1993: «Species extinction and biodiversity loss: The implications for human health», dans E. Chivian, M. McCally, H. Hu et A. Haines (directeurs de publication): *Critical Condition: Human Health and the Environment* (Cambridge, Massachusetts et Londres, MIT Press). Remerciements à E.O. Wilson, Richard Schultes, Stephen Morse, Andrew Spielman, Paul Epstein, David Potter, Nan Vance, Rodney Fujita, Michael Balick, Suzan Strobel et Edson Albuquerque.

L'accroissement exponentiel de la population humaine et, parallèlement, l'augmentation encore plus forte de la consommation de ressources naturelles et de la production de déchets sont les principaux facteurs qui menacent la survie des autres espèces. Le réchauffement de la planète, les pluies acides, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique et le rejet de produits chimiques toxiques dans l'air, le sol et les écosystèmes d'eau douce et salée conduisent tous à une diminution de la biodiversité. Mais c'est la destruction d'habitats par les activités humaines, notamment le déboisement, qui constitue le principal fléau.

C'est surtout vrai des forêts tropicales humides. La superficie qu'elles occupaient du temps de la préhistoire a été réduite de plus de la moitié, mais on continue de les couper et de les brûler au rythme d'environ 142 000 km² par an, ce qui équivaut à la superficie de la Suisse et des Pays-Bas réunis; il disparaît ainsi chaque seconde une forêt de la grandeur d'un terrain de football (Wilson, 1992). Cette œuvre de destruction est la cause première de l'extinction massive d'espèces dans le monde.

On estime que la Terre abrite entre 10 et 100 millions d'espèces. Si l'on se base sur un chiffre prudent de 20 millions d'espèces, ce sont donc 10 millions d'espèces qui vivent dans les forêts humides tropicales; or, à la vitesse à laquelle on déboise les régions tropicales, cela veut dire que 27 000 espèces seraient éliminées des forêts tropicales chaque année, soit plus de 74 par jour ou 3 par heure (Wilson, 1992).

Cet article examine les incidences de cette réduction généralisée de la diversité biologique sur la santé humaine. D'après l'auteur, si l'on saisisait bien les effets qu'entraîneront ces extinctions massives — qui compromettront la compréhension et le traitement de nombreuses maladies incurables et, au bout du compte, menaceront peut-être la survie des êtres humains —, on verrait alors que les atteintes actuellement portées à la biodiversité ne constituent ni plus ni moins qu'une urgence médicale à évolution lente et exigerait que les mesures prises pour préserver les espèces et les écosystèmes soient reconnues hautement prioritaires.

La perte de modèles médicaux

Trois groupes d'animaux menacés, très éloignés les uns des autres — les grenouilles vénéneuses, les ours et les requins —, montrent de manière éclatante comment des modèles importants pour la science biomédicale risquent d'être détruits par les êtres humains.

Les grenouilles vénéneuses

Toute la famille des grenouilles vénéneuses, les dendrobatidés, que l'on trouve dans les régions tropicales des Amériques, est menacée par la destruction de ses habitats, c'est-à-dire des forêts humides situées dans les basses terres de l'Amérique centrale et du Sud (Brody, 1990). Ces animaux aux couleurs vives, qui se répartissent en plus de 100 espèces, sont particulièrement sensibles au déboisement, car ils ne vivent souvent que dans certains secteurs précis de la forêt et ne peuvent évidemment pas vivre ailleurs. Les scientifiques ont fini par comprendre que les toxines qu'ils libèrent, que les Indiens d'Amérique centrale et du Sud utilisent depuis des siècles pour fabriquer des flèches empoisonnées, sont parmi les substances naturelles les plus mortelles que l'on connaisse. Ils sont également très utiles en médecine. Les éléments actifs de ces toxines sont des alcaloïdes, composés cycliques azotés tels que morphine, caféine, nicotine et cocaïne, par exemple, que l'on trouve presque exclusivement dans des végétaux. Les alcaloïdes se lient de préférence à des canaux et pompes ioniques particulières dans les membranes nerveuses et musculaires. Sans eux, on connaîtrait de façon très incomplète les éléments de base de la fonction des membranes que l'on retrouve dans tout le règne animal.

En plus de l'intérêt qu'elles présentent pour la recherche fondamentale en neurophysiologie, les grenouilles vénéneuses offrent

aussi des éléments d'information biochimique précieux pour la production de nouveaux analgésiques puissants qui agissent autrement que la morphine, de nouveaux médicaments pour les arythmies cardiaques et de nouveaux traitements pour soulager certaines affections neurologiques comme la maladie d'Alzheimer, la myasthénie grave et la sclérose latérale amyotrophique (Brody, 1990). Si la destruction des forêts humides se poursuit au même rythme en Amérique centrale et du Sud, ces grenouilles d'une grande valeur vont disparaître.

Les ours

Dans de nombreuses régions du monde, des populations d'ours sont menacées d'extinction parce que certaines parties de cet animal sont de plus en plus recherchées sur le marché noir en Asie — la vésicule biliaire pour ses qualités médicinales réputées (elle vaut dix-huit fois son pesant d'or), et les pattes pour des repas fins (Montgomery, 1992), — et parce que la chasse à l'ours et la destruction de son habitat se poursuivent. Or, tous nous aurons à perdre de l'extinction d'espèces d'ours, non seulement parce que ce sont des créatures superbes et fascinantes qui occupent une place importante dans la nature, mais aussi parce que certaines espèces présentent plusieurs caractéristiques physiologiques particulières qui peuvent nous apporter des indications utiles pour le traitement de diverses maladies humaines. Pendant qu'ils «hibernent» (ou, plus exactement, lorsqu'ils sont dans leur tanière), les ours noirs, par exemple, demeurent immobiles jusqu'à 5 mois en hiver, sans pour autant perdre de leur masse osseuse (Rosenthal, 1993) (les vrais animaux hibernants, comme la marmotte, la marmotte d'Amérique et le spermophile, voient leur température corporelle baisser fortement pendant l'hibernation et sont profondément assoupis. L'ours noir, en revanche, conserve une température corporelle presque normale et réagit instantanément lorsqu'il doit se défendre). Contrairement à l'être humain, qui perdrait presque un quart de sa masse osseuse pendant une immobilisation de cette durée (faute de porter son propre poids), l'ours continue de produire de l'os, en puisant dans le calcium qui circule dans son sang (Floyd, Nelson et Wynne, 1990). Une fois que l'on aura compris comment il réussit ce tour de force, on trouvera peut-être des moyens efficaces de prévenir et de traiter l'ostéoporose chez les personnes âgées (problème très important qui entraîne fractures, souffrances et invalidités), chez les individus longtemps confinés au lit et chez les astronautes placés d'une façon prolongée dans un état d'apesanteur.

D'autre part, les ours qui «hibernent» se passent d'uriner pendant des mois. Les êtres humains qui ne peuvent éliminer pendant plusieurs jours les déchets contenus dans leurs urines accumulées de l'urée dans leur sang et meurent d'intoxication. D'une certaine manière, l'ours recycle l'urée pour en faire de nouvelles protéines, y compris celles des muscles (Nelson, 1973). Si l'on pouvait trouver le mécanisme qui régit cette transformation, on parviendrait peut-être à mettre au point des traitements efficaces et durables pour les personnes atteintes d'une insuffisance rénale, qui doivent être régulièrement sous dialyse pour éliminer leurs toxines ou qui doivent subir une transplantation.

Les requins

Comme les ours, de nombreuses espèces de requins sont en voie de disparition à cause de la demande dont leur chair fait l'objet, notamment en Asie, où les ailerons que l'on sert dans les potages se vendent jusqu'à 100 dollars E.-U. la livre (Stevens, 1992). Étant donné que les requins ont peu de petits, qu'ils grossissent lentement et qu'ils atteignent leur maturité après plusieurs années, ils risquent tout particulièrement d'être décimés par une pêche excessive.

Les requins, qui existent depuis presque 400 millions d'années, ont acquis des organes extrêmement spécialisés et des fonctions

physiologiques qui les protègent contre presque toutes les menaces, à l'exception des massacres perpétrés par les humains. L'élimination de populations et l'extinction de certaines des 350 espèces connues pourraient se solder par une immense catastrophe pour le genre humain.

Il semble que le système immunitaire des requins (et des poissons qui leur sont apparentés, les raies) ait évolué à tel point que ces animaux sont aujourd'hui presque à l'abri des cancers et des infections. Des tumeurs peuvent apparaître chez d'autres poissons et mollusques (Tucker, 1985), mais rarement chez les requins. Cela est confirmé par les premières recherches effectuées. Il s'avère impossible, par exemple, de produire une tumeur chez un requin dormeur en faisant des injections répétées de substances cancérigènes réputées puissantes (Stevens, 1992). Des chercheurs de l'Institut de technologie du Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology (MIT)) ont isolé dans le cartilage du requin-pèlerin (Lee et Langer, 1983) une substance, présente en grande quantité, qui inhibe le développement de nouveaux vaisseaux sanguins alimentant les tumeurs et, donc, la croissance de ces tumeurs.

Les requins peuvent aussi servir de modèles extrêmement précieux pour la mise au point de nouveaux médicaments qui permettent de traiter des infections, ce qui est aujourd'hui d'autant plus important que les agents infectieux acquièrent une résistance accrue aux antibiotiques actuellement sur le marché.

Autres modèles

Les exemples ne manquent pas de végétaux, d'animaux et de micro-organismes détenant les secrets de milliards d'expériences vécues au cours de l'évolution, qui sont de plus en plus menacés par l'activité humaine et que le corps médical risque de voir disparaître à jamais.

La perte de nouveaux médicaments

Diverses espèces végétales, animales et microbiennes sont en soi à l'origine de certains des médicaments actuellement les plus importants et comptent pour une part non négligeable de toute la pharmacopée. Farnsworth (1990), par exemple, a découvert que 25% des médicaments vendus sur ordonnance par les pharmacies de quartier aux États-Unis entre 1959 et 1980 renfermaient des ingrédients actifs extraits de plantes évoluées. La proportion est beaucoup plus forte dans les pays en développement. En effet, 80% de leurs habitants, soit approximativement les deux tiers de la population mondiale, recourent presque exclusivement à des médicaments traditionnels composés de substances naturelles, dont la plupart proviennent de plantes.

Les connaissances détenues par les guérisseurs, souvent transmises oralement au travers des siècles, ont permis de découvrir beaucoup de médicaments aujourd'hui largement employés — la quinine, la physostigmine, la d-tubocurarine, la pilocarpine et l'éphédrine, pour n'en citer que quelques-uns (Farnsworth et coll., 1986). Mais ces connaissances se perdent rapidement, surtout en Amazonie, car, à leur mort, les guérisseurs autochtones sont remplacés par des gens qui pratiquent une médecine plus moderne. Botanistes et pharmacologues se livrent à une course de vitesse pour apprendre ces méthodes anciennes, qui, comme les plantes forestières qu'ils utilisent, sont aussi menacées de disparition (Farnsworth, 1990; Schultes, 1991; Balick, 1990).

Les scientifiques ont analysé la composition chimique de moins de 1% des plantes connues des forêts humides répertoriées qui pourraient renfermer des substances biologiquement actives (Gottlieb et Mors, 1980), ainsi qu'une proportion comparable de plantes des régions tempérées (Schultes, 1992) et une quantité encore inférieure d'animaux, de champignons et de microbes connus. Or, il existe peut-être des dizaines de millions d'espèces à découvrir dans les forêts, les sols, les lacs et les océans. En

procédant à l'élimination massive d'espèces comme on le fait aujourd'hui, on est peut-être en train de détruire des remèdes inconnus de cancers actuellement incurables, du sida, de la cardiopathie artérioscléreuse et d'autres maladies à l'origine d'immenses souffrances humaines.

La perturbation de l'équilibre des écosystèmes

Enfin, la disparition d'espèces et la destruction d'habitats peuvent perturber le fragile équilibre d'écosystèmes dont dépendent toutes les formes de vie, y compris la nôtre.

Les réserves alimentaires

Les réserves alimentaires, pour leur part, sont peut-être gravement menacées. Le déboisement, par exemple, peut entraîner une forte réduction des précipitations dans les régions agricoles avoisnantes et même dans des contrées plus éloignées (Wilson, 1988; Shulka, Nobre et Sellers, 1990), diminuant ainsi le rendement des cultures. La perte de sol arable végétal sous l'influence de l'érosion, autre conséquence du déboisement, peut avoir des effets irréversibles sur les cultures dans les régions boisées, en particulier sur les terrains accidentés, comme dans certains secteurs du Népal, de Madagascar et des Philippines.

Chauves-souris et oiseaux, principaux prédateurs des insectes qui infestent ou détruisent les cultures, disparaissent par populations entières (Brody, 1991; Terborgh, 1980), ce qui a des conséquences incalculables pour l'agriculture.

Les maladies infectieuses

Depuis peu au Brésil, le paludisme atteint les proportions d'une épidémie à cause de peuplements massifs et d'une dégradation de l'environnement dans le bassin de l'Amazonie. Cette maladie, presque entièrement éliminée du Brésil dans les années soixante, a connu une flambée 20 ans plus tard, 560 000 cas ayant été répertoriés en 1988, dont 500 000 dans la seule Amazonie (Kingman, 1989). Cette épidémie s'est expliquée en grande partie par l'arrivée d'un très grand nombre de personnes qui n'étaient pas immunisées — ou très peu — contre le paludisme, qui vivaient dans des abris de fortune et qui portaient peu de vêtements pour se protéger. Mais elle a également été due au fait que ces populations sont venues bouleverser le milieu naturel des forêts tropicales humides, créant partout sur leur passage des mares d'eau stagnante (construction de routes, terre entraînée par le défrichement, ouverture de mines à ciel ouvert), mares où *Anopheles darlingi*, principal vecteur du paludisme dans la région, a pu se multiplier à son aise (Kingman, 1989).

L'historique des maladies virales «émérgentes» peut nous apporter des renseignements précieux concernant les effets de la destruction de l'habitat sur les êtres humains. La fièvre hémorragique de l'Argentine, par exemple, affection virale douloureuse dont de 3 à 15% des victimes ne réchappent pas (Sanford, 1991), a l'ampleur d'une épidémie depuis 1958 parce qu'on a défriché la pampa à grande échelle au centre de l'Argentine pour y planter du maïs (Kingman, 1989).

Parmi les maladies virales nouvelles, celle qui cause le plus de tort à l'être humain, et qui annonce peut-être l'écllosion d'autres infections virales, est le sida, provoqué par le virus de l'immunodéficience humaine des types 1 (VIH-1) et 2 (VIH-2). On s'entend en général pour dire que l'épidémie actuelle de sida a son origine chez des primates non humains d'Afrique, qui ont joué le rôle de réservoirs naturels et d'hôtes asymptomatiques, pour une famille de virus qui provoque une immunodéficience (Allan, 1992). La preuve génétique existe manifestement d'un lien entre le VIH-1 et un virus simien de l'immunodéficience présent chez des chimpanzés africains (Huet et Cheynier, 1990), ainsi qu'entre le VIH-2 et un autre virus simien découvert chez des mangabeys cendrés (Hirsch et Olmsted, 1989; Gao et Yue, 1992). Ces transmissions

de virus de primates à notre espèce doivent-elles être attribuées à l'installation d'êtres humains dans des zones forestières dégradées? Si tel est le cas, nous assistons peut-être avec le sida au début d'une série d'épidémies virales nées dans des forêts humides tropicales qui peuvent abriter des milliers de virus susceptibles d'infecter l'humain, dont certains sont peut-être mortels comme le sida (à presque 100%), mais se propagent plus facilement, par exemple dans des gouttelettes transportées par l'air. Ces maladies virales éventuelles pourraient devenir la menace la plus grave qui pèse sur la santé publique à cause d'une détérioration du milieu naturel des forêts tropicales humides.

Autres effets

Il se pourrait bien que la rupture d'autres interactions au sein des organismes, des écosystèmes et de l'environnement planétaire, dont on ne connaît presque rien, s'avère la plus grande catastrophe pour le genre humain. Qu'en sera-t-il du climat planétaire et de la concentration des gaz dans l'atmosphère, par exemple, quand un certain seuil critique de déboisement aura été atteint? Les forêts jouent un rôle primordial dans le maintien des régimes planétaires de précipitations et dans la stabilité des gaz atmosphériques.

Qu'advient-il de la vie marine si une augmentation du rayonnement ultraviolet entraîne la destruction massive du phytoplancton, notamment dans les eaux riches situées sous le «trou» de la couche d'ozone dans l'Antarctique? Ces organismes, qui sont à la base de toute la chaîne trophique marine, qui produisent une partie importante de l'oxygène mondial et qui absorbent une grande quantité du dioxyde de carbone de la planète, sont très vulnérables aux ultraviolets (Schneider, 1991; Roberts, 1989; Bridigare, 1989).

Qu'en sera-t-il de la croissance des végétaux si les pluies acides et les substances chimiques toxiques empoisonnent des champignons et des bactéries essentiels à la fertilité des sols? L'Europe occidentale a déjà perdu de 40 à 50% de ses espèces de champignons au cours des 60 dernières années, dont beaucoup de champignons mycorrhiziens symbiotiques (Wilson, 1992), indispensables à l'absorption de nutriments par les plantes. Personne ne sait quel effet aura leur disparition.

Les scientifiques ignorent les réponses à ces interrogations et à d'autres questions d'extrême importance. Mais certains signaux biologiques inquiétants indiquent que les écosystèmes planétaires ont déjà subi de graves dommages. La diminution rapide et simultanée de la population de nombreuses espèces de grenouilles, partout dans le monde, y compris dans des endroits isolés, vierges d'habitants, laisse penser que ces animaux meurent à cause de changements survenus dans l'environnement planétaire (Blaustein, 1990). Des études récentes (Blaustein, 1994) révèlent que, dans certains cas, la faute en est peut-être à l'augmentation des rayonnements ultraviolets B consécutive à l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Plus près de nous, des mammifères marins tels que les dauphins rayés en Méditerranée, les phoques vivant près des côtes de la Scandinavie et de l'Irlande du Nord, et les bélugas du Saint-Laurent meurent aussi dans des proportions jamais vues. Pour ce qui est des dauphins et des phoques, la mort semble parfois attribuable à des virus morbilleux (famille comprenant les virus de la rougeole et de la maladie de Carré) qui provoquent des pneumonies et des encéphalites (Domingo et Ferrer, 1990; Kennedy et Smyth, 1988), conséquence possible d'un système immunitaire affaibli. Dans le cas des bélugas, des polluants chimiques comme le DDT, l'insecticide Mirex, les BPC, le plomb et le mercure semblent être en cause, rendant ces animaux infertiles et entraînant au bout du compte leur mort à la suite de tumeurs et de pneumonies (Dold, 1992). On trouve de telles quantités de ces polluants dans les carcasses de bélugas que l'on pourrait ranger ces dernières parmi les déchets dangereux.

Est-ce que les «espèces indicatrices», comme les canaris qui meurent asphyxiés par les gaz nocifs dans les mines de charbon, nous avertissent que nous sommes en train de bouleverser l'équilibre fragile d'écosystèmes qui préside à toutes les formes de vie, y compris la nôtre? La réduction de moitié, entre 1938 et 1990, du nombre de spermatozoïdes chez les hommes en bonne santé partout dans le monde (Carlsen et coll., 1992), l'augmentation prononcée de la proportion de malformations congénitales au niveau des organes génitaux externes chez les hommes en Angleterre et au pays de Galles entre 1964 et 1983 (Matlai et Beral, 1985), la forte poussée de l'incidence de certains cancers chez les enfants de race blanche de 1973 à 1988 (Angier, 1991) et chez les adultes de race blanche de 1973 à 1987 (Davis, Dinse et Hoel, 1994) aux Etats-Unis, ainsi que la progression régulière, depuis trois ou quatre décennies, des taux de mortalité attribuables à plusieurs cancers dans le monde entier (Kurihara, Aoki et Tomimaga, 1984; Davis et Hoel, 1990a, 1990b; Hoel, 1992) laissent à penser que la dégradation de l'environnement commence peut-être à menacer non seulement la survie des grenouilles, des mammifères marins et autres espèces animales, végétales et microbiennes, mais aussi celle de l'espèce humaine.

Résumé

L'activité humaine provoque l'extinction d'animaux, de végétaux et d'organismes microbiens à un rythme qui risque fort d'éliminer dans les 50 prochaines années un quart des espèces vivant sur terre. Cette destruction a des conséquences incalculables sur la santé humaine:

- perte de modèles médicaux permettant de comprendre la physiologie et les maladies propres au genre humain;
- perte de nouveaux médicaments qui pourraient servir à traiter avec succès des cancers incurables, le sida, l'artériosclérose et d'autres maladies à l'origine de grandes souffrances humaines.

Références bibliographiques

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), 1991: *International Chernobyl Project Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures* (Vienne).
- Allan, J.S., 1992: «Viral evolution and AIDS», *Journal of the National Institute of Health Research*, vol. 4, pp. 51-54.
- Angier, N., 1991: «Study finds mysterious rise in childhood cancer rate», *The New York Times*, 26 juin, p. D22.
- Arceivala, S.J., 1989: «Water quality and pollution control: Planning and management», dans *Criteria for and Approaches for Water Quality Management in Developing Countries* (New York, ONU).
- Archer, D.L. et Kvenberg, J.E., 1985: «Incidence and cost of foodborne diarrhoea disease in the United States», *Journal of Food Production*, vol. 48, n° 10, pp. 887-894.
- Balick, M.J., 1990: «Ethnobotany and the identification of therapeutic agents from the rainforest», *CIBA Foundation Symposia*, vol. 154, pp. 22-39.
- Banque mondiale, 1992: *Development and the Environment* (Oxford, Oxford University Press).
- Bascom, R., Bromberg, P.A., Costa D.A., Devlin, R., Dockery, D.W., Frampton, M.W., Lambert, W., Samet, J.M., Speizer, F.E. et Utell, M., 1996: «Health effects of outdoor air pollution», *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 153, pp. 3-50.
- Blakeslee, S., 1990: «Scientists confront an alarming mystery: The vanishing frog», *The New York Times*, 20 février, p. B7.
- Blaustein, A.R., 1994: «UL repair and resistance to solar UV-B in amphibian eggs: A link to population declines», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 91, pp. 1791-1795.
- Borja-Arburto, V.H., Loomis, D.P., Shy, C. et Bangdiwala, S., 1995: «Air pollution and daily mortality in Mexico City», *Epidemiology*, vol. S64, p. 231.
- Bridigare, R.R., 1989: «Potential effects of UVB on marine organisms of the Southern Ocean: Distribution of phytoplankton and krill during Austral Spring», *Photochemistry and Photobiology*, vol. 50, pp. 469-478.
- Brody, J.E., 1990: «Using the toxin from tiny frogs, researchers seek clues to disease», *The New York Times*, 23 janvier.
- , 1991: «Far from fearsome, bats lose ground to ignorance and greed», *ibid.*, 29 octobre, pp. C1, C10.
- Carlsen, E., Giwercman, A., Keiding, N. et Skakkebaek, N.E., 1992: «Evidence for decreasing quality of semen during the past 50 years», *British Medical Journal*, vol. 305, n° 6854, pp. 609-613.
- Castillejos, M., Gold, D.R., Damokosh, A.I., Serrano, P., Allen, G., McDonnell, W.F., Dockery, D.W., Ruiz-Velasco, S., Hernández-Avila, M. et Hayes, C., 1995: «Acute effects of ozone on the pulmonary function of exercising schoolchildren from Mexico City», *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 152, pp. 1501-1507.
- Castillejos, M., Gold, D.R., Dockery, D.W., Tosteson, T., Baum, T. et Speizer, F.E., 1992: «Effects of ambient ozone on respiratory functions and symptoms in school children in Mexico City», *American Review of Respiratory Disease*, vol. 145, pp. 276-282.
- Centers for Disease Control (CDC), 1991: *Preventing Lead Poisoning in Young Children* (Washington, DC, US Department of Health and Human Services).
- Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), 1992: «Solar and ultraviolet radiation», *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans and their Supplements: A Complete List* (Lyon), vol. 55.
- Cohen, M.L., 1987: *Prepared Statement in «Hearing before the Committee of Agriculture, Nutrition and Forestry»*, US Senate, 100th Congress, First Session (Washington, DC, US Government Printing Office).
- Coleman, M.P., Esteve, J., Damiacki, P., Arslan, A. et Renard, H., 1993: «Trends in cancer incidence and mortality», *IARC Scientific Publications*, n° 121 (Lyon, CIRC).
- Commission de la santé et de l'environnement de l'Organisation mondiale de la santé, 1992a: *Report of the Panel on Energy* (Genève, OMS).
- , 1992b: *Report of the Panel on Urbanization* (Genève, OMS).
- Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED), 1992a: *Agenda 21* (Rio de Janeiro).
- , 1992b: «Protection for the quality and supply of freshwater resources», chap. 18, dans *Application of Integrated Approaches to the Development, Management and Use of Water Resources* (Rio de Janeiro).
- Davis, D.L., Dinse, G.E. et Hoel, D.G., 1994: «Decreasing cardiovascular disease and increasing cancer among whites in the United States from 1973-1987», *Journal of the American Medical Association*, vol. 271, n° 6, pp. 431-437.
- Davis, D.L. et Hoel, D.G., 1990a: «International trends in cancer mortality in France, West Germany, Italy, Japan, England and Wales and the USA», *The Lancet*, vol. 336, 25 août, pp. 474-481.
- , 1990b: «Trends in cancer mortality in industrial countries», *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 609, pp. ix-xi.
- Dockery, D.W. et Pope, C.A., 1994: «Acute respiratory effects of particulate air pollution», *Annual Review of Public Health*, vol. 15, pp. 107-132.
- Dold, C., 1992: «Toxic agents found to be killing off whales», *The New York Times*, 16 juin, p. C4.
- Domingo, M. et Ferrer, L., 1990: «Morbillivirus in dolphins», *Nature*, vol. 343, p. 21.
- Ehrlich, P.R. et Wilson, E.O., 1991: «Biodiversity studies: Science and policy», *Science*, vol. 253, n° 5021, pp. 758-762.
- Epstein, P.R., 1995: «Emerging diseases and ecosystem instability», *American Journal of Public Health*, vol. 85, pp. 168-172.
- Farman, J.C., Gardiner, H. et Shanklin, J.D., 1985: «Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction», *Nature*, vol. 315, pp. 207-211.
- Farnsworth, N.R., 1990: «The role of ethnopharmacology in drug development», *CIBA Foundation Symposia*, vol. 154, pp. 2-21.
- Farnsworth, N.R., Akerele, O., Bingel, A.S., Soejarto, D.D., et Guo, Z., 1986: «Place des plantes médicinales dans la thérapeutique», *Bulletin de l'Organisation mondiale de la santé*, vol. 64, n° 2, pp. 159-175.
- Floyd, T., Nelson, R.A. et Wynne, G.F., 1990: «Calcium and bone metabolic homeostasis in active and denning black bears», *Clinical Orthopaedics and Related Research*, vol. 255, juin, pp. 301-309.
- Focks, D.A., Daniels, E., Haile, D.G. et Keesling, J.E., 1995: «A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: Literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results», *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 53, pp. 489-506.
- Galal-Gorchev, H., 1986: *Drinking-Water Quality and Health* (Genève, OMS), non publié.
- , 1994: *WHO Guidelines for Drinking Water Quality* (Genève, OMS), non publié.
- Gao, F. et Yue, L., 1992: «Human infection by genetic-ally diverse SIVsm-related HIV-2 in West Africa», *Nature*, vol. 358, p. 495.
- Gilles, H.M. et Warrell, D.A., 1993: *Bruce-Chiatti's Essential Malariaology* (Londres, Edward Arnold Press).
- Gleason, J.F., Bhartiya, P.K., Herman, J.R., McPeters, R. et coll., 1993: «Record low global ozone in 1992», *Science*, vol. 260, pp. 523-526.
- Gottlieb, O.R. et Mors, W.B., 1980: «Potential utilization of Brazilian wood extractives», *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 28, n° 2, pp. 196-215.
- Grossklau, D., 1990: «Gesundheitliche Fragen im EG-Binnenmarkt», *Archiv für Lebensmittelhygiene*, vol. 41, n° 5, pp. 99-102.
- Hamza, A., 1991: *Impacts of Industrial and Small-scale Manufacturing Wastes on Urban Environment in Developing Countries* (Nairobi, Centre des Nations Unies pour les établissements humains).
- Hardoy, J.E., Cairncross, S. et Satterthwaite, D., 1990 (directeurs de publication): *The Poor Die Young. Housing and Health in Third World Countries* (Londres, Earthscan Publications).
- Hardoy, J.E. et Satterthwaite, D., 1989: *Squatter Citizen. Life in the Urban Third World* (Londres, Earthscan Publications).
- Harpham, T., Lusty, T. et Vaughan, P., 1988: *In the Shadow of the City — Community Health and the Urban Poor* (Oxford, Oxford University Press).
- Hirsch, V.M. et Olmsted, M., 1989: «An African primate lentivirus (SIVsm) closely related to HIV-1», *Nature*, vol. 339, p. 389.
- Hoel, D.G., 1992: «Trends in cancer mortality in 15 industrialized countries, 1969-1986», *Journal of the National Cancer Institute*, vol. 84, n° 5, pp. 313-320.
- Hoogenboom-Vergedaal, A.M.M. et coll., 1990: *Epidemiologisch en Microbiologisch Onderzoek met Betrekking tot Gastro-Enteritis bij de Mens in de Regio's Amsterdam en Helmond in 1987 en 1988* (Bilthoven, National Institute for Public Health and Environmental Protection (RIVM)).
- Huet, T. et Cheyner, A., 1990: «Genetic organization of a chimpanzee lentivirus related to HIV-1», *Nature*, vol. 345, p. 356.
- Huq, A., Colwell, R.R., Rahman, R., Ali, A., Chowdhury, M.A., Parveen, S., Sack, D.A. et Russek-Cohen, E., 1990: «Detection of Vibrio cholerae 01 in the aquatic environment by fluorescent-monoclonal antibody and culture methods», *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 56, pp. 2370-2373.
- Institute of Medicine, 1991: *Malaria: Obstacles and Opportunities* (Washington, DC, National Academy Press).
- , 1992: *Emerging Infections: Microbial Threats to Health in the United States* (Washington, DC, National Academy Press).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1990: *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment* (Canberra, Australian Government Publishing Service).
- , 1992: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assessment* (Canberra, Australian Government Publishing Service).
- Kalkstein, L.S. et Smoyer, K.E., 1993: «The impact of climate change on human health: Some international implications», *Experiencia*, vol. 49, pp. 469-479.
- Kennedy, S. et Smyth, J.A., 1988: «Confirmation of cause of recent seal deaths», *Nature*, vol. 335, p. 404.
- Kerr, J.B. et McElroy, C.T., 1993: «Evidence for large upward trends of ultraviolet-B radiation linked to ozone depletion», *Science*, vol. 262, pp. 1032-1034.
- Kilbourne E.M., 1989: «Heat waves», dans M.B. Gregg (directeur de publication): *The Public Health Consequences of Disasters. 1989* (Atlanta, CDC).
- Kingman, S., 1989: «Malaria runs riot on Brazil's wild frontiers», *New Scientist*, vol. 123, pp. 24-25.

- Kjellström, T., 1986: «Itai-itai disease», dans L. Friberg et coll. (directeurs de publication): *Cadmium and Health* (Boca Raton, Floride, CRC Press).
- Koopman, J.S., Prevots, D.R., Vaca-Marín, M.A., Gómez-Dantes, H., Zárate-Aguino, M.L., Longini, I.M., Jr. et Sepúlveda-Amor, J., 1991: «Determinants and predictors of dengue infection in Mexico», *American Journal of Epidemiology*, vol. 133, n° 11, pp. 1168-1178.
- Kripke, M.L. et Morison, W.L., 1986: «Studies on the mechanism of systemic suppression of contact hypersensitivity by UV-B radiation. II: Differences in the suppression of delayed and contact hypersensitivity in mice», *Journal of Investigative Dermatology*, vol. 86, pp. 543-549.
- Kurihara, M., Aoki, K. et Tominaga, S., 1984: *Cancer Mortality Statistics in the World* (Nagoya, Japon, The University of Nagoya Press).
- Lee, A. et Langer, R., 1983: «Shark cartilage contains inhibitors of tumor angiogenesis», *Science*, vol. 221, pp. 1185-1187.
- Loevinsohn, M.E., 1994: «Climatic warming and increased malaria incidence in Rwanda», *The Lancet*, vol. 343, n° 8899, pp. 714-718.
- Longstreth, J. et Wiseman, J., 1989: «The potential impact of climate change on patterns of infectious disease in the United States», dans J.B. Smith et D.A. Tirpak (directeurs de publication): *The Potential Effects of Global Climate Change in the United States* (Washington, DC, EPA).
- Martens, W.M., Niessen, L.W., Rotmans, J., Jetten, T.H. et McMichael, A.J., 1995: «Potential impact of global climate change on malaria risk», *Environmental Health Perspectives*, vol. 103, n° 5, pp. 458-464.
- Matlai, P. et Beral, V., 1985: «Trends in congenital malformations of external genitalia», *The Lancet*, vol. 1, 12 janvier, p. 108.
- McMichael, A.J., 1993: *Planetary Overload: Global Environmental Change and the Health of the Human Species* (Londres, Cambridge University Press).
- Meybeck, M. et Helmer, R., 1989: «The quality of rivers: From pristine stage to global pollution», *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, vol. 75, pp. 283-309.
- Michaels, D., Barrera, C. et Gacharna, M.G., 1985: «Economic development and occupational health in Latin America: New directions for public health in less developed countries», *American Journal of Public Health*, vol. 75, n° 5, pp. 536-542.
- Molina, M.J. et Rowland, F.S., 1974: «Stratospheric sink for chloro-fluoro-methanes: Chlorine atom-catalyzed destruction of ozone», *Nature*, vol. 249, pp. 810-814.
- Montgomery, S., 1992: «Grisly trade imperils world's bears», *The Boston Globe*, 2 mars, pp. 23-24.
- Nelson, R.A., 1973: «Winter sleep in the black bear», *Mayo Clinic Proceedings*, vol. 48, pp. 733-737.
- Nogueira, D.P., 1987: «Prevention of accidents and injuries in Brazil», *Ergonomics*, vol. 30, n° 2, pp. 387-393.
- Notermans, S., 1984: «Beurteilung des bakteriologischen Status frischen Geflügels in Läden und auf Märkten», *Die Fleischwirtschaft*, vol. 61, n° 1, pp. 131-134.
- Noweir, M.H., 1986: «Occupational health in developing countries with special reference to Egypt», *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 9, n° 2, pp. 125-141.
- Office fédéral de la santé publique (OFSP), 1990: *Bulletin de l'Office fédéral de la santé publique*, 29 octobre (Berne).
- Organisation météorologique mondiale (OMM), 1992: *Global Climate Observing System (GCOS): Responding to the Need for Climate Observations* (Genève).
- Organisation mondiale de la santé (OMS), 1984: *Toxic Oil Syndrome: Mass Food Poisoning in Spain* (Copenhague, Bureau régional de l'Europe).
- , 1987: *Air Quality Guidelines for Europe*, European Series No. 23 (Copenhague, Bureau régional de l'Europe).
- , 1990a: *Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques*, rapport d'un groupe d'étude de l'OMS réuni à Genève du 6 au 13 mars 1989 (Genève).
- , 1990b: *Global Estimates for Health Situation, Assessment and Projections*, document WHO/HST/90.2, non publié (Genève).
- , 1990c: *Potential Health Effects of Climatic Change*, document WHO/PEP/90.10, non publié (Genève).
- , 1991: *L'utilisation des pesticides en agriculture et ses conséquences pour la santé publique* (Genève).
- , 1992a: *Acute Effects on Health of Smog Episodes*, European Series No. 43 (Copenhague, Bureau régional de l'Europe).
- , 1992b: *Indoor Air Pollution from Biomass Fuel* (Genève).
- , 1992c: *Notre planète, notre santé* (Genève).
- , 1993: *Relevé épidémiologique hebdomadaire/Weekly Epidemiological Record* (Genève).
- , 1994: *Ultraviolet Radiation. An Authoritative Scientific Review of Environmental and Health Effects of UV, with Reference to Global Ozone Layer Depletion* (Genève).
- , 1995: *Update and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe* (Copenhague, Bureau régional de l'Europe).
- Organisation mondiale de la santé (OMS) et ECOTOX, 1992: *Motor Vehicle Air Pollution. Public Health Impact and Control Measures* (Genève).
- Organisation mondiale de la santé (OMS) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 1984: *La sécurité des produits alimentaires et son rôle dans la santé et le développement* (Genève, OMS).
- Organisation mondiale de la santé (OMS) et Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 1991: *Report on Water Quality Progress in the Implementation of the Mar Del Plata Action Plan and a Strategy for the 1990s* (Nairobi, PNUE).
- , 1992: *Urban Air Pollution in Megacities of the World* (Londres, Blackwells et OMS).
- Organisation panaméricaine de la santé (OPS) et Organisation mondiale de la santé (OMS), 1989: *Final Report of the Working Group on Epidemiological Surveillance and Foodborne Diseases*, HPV/FOS/89-005, document non publié.
- Patz, J.A., Epstein, P.R., Burke, T.A. et Balbus, J.M., 1996: «Global climate change and emerging infectious diseases», *Journal of the American Medical Association*, vol. 275, n° 3, pp. 217-223.
- Pope, C.A., Bates, D.V. et Raizenne, M.E., 1995: «Health effects of particulate air pollution: Time for reassessment?», *Environmental Health Perspectives*, vol. 103, n° 5, pp. 472-480.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 1988: *Assessment of Chemical Contaminants in Food* (Nairobi, PNUE/FAO/OMS).
- , 1991a: *Environmental Effects of Ozone Depletion: 1991 Update* (Nairobi).
- , 1991b: *Urban Air Pollution*, Environment Library No. 4 (Nairobi).
- Reeves, W.C., Hardy, J.L., Reisen, W.K. et Milky, M.M., 1994: «The potential effect of global warming on mosquito-borne arboviruses», *Journal of Medical Entomology*, vol. 31, n° 3, pp. 323-332.
- Roberts, D., 1990: «Sources of infection: Food», *The Lancet*, vol. 336, n° 8719, pp. 859-861.
- Roberts, L., 1989: «Does the ozone hole threaten antarctic life?», *Science*, vol. 244, pp. 288-289.
- Rodrigue, D.C., Tauxe, R.V. et Rowe, B., 1990: «International increase in *Salmonella enteritidis*. A new pandemic?», *Epidemiology and Infection*, vol. 105, n° 1, pp. 21-27.
- Romicu, I., Lugo, M.C., Ruiz-Velasco, S., Sánchez, S., Meneses, F. et Hernández-Avila, M., 1992: «Air pollution and school absenteeism among children in Mexico City», *American Journal of Epidemiology*, vol. 136, n° 2, pp. 1524-1531.
- Romicu, I., Meneses, F., Sienra, J.J., Huerta, J., Ruiz-Velasco, S., White, M., Etzel, R. et Hernández-Avila, M., 1994: «Effects of ambient air pollution on respiratory health of Mexican children with mild asthma», *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 129, p. A659.
- Romicu, I., Weitzenfeld, H. et Finkelman, J., 1990: «Urban air pollution in Latin America and the Caribbean: Health perspectives», *World Health Statistics Quarterly*, vol. 43, n° 3, pp. 153-167.
- Rosenthal, E., 1993: «Hibernating bears emerge with hints about human ills», *The New York Times*, 21 avril, pp. C1, C9.
- Ryzan, C.A., 1987: «Massive outbreak of antimicrobial-resistant salmonellosis traced to pasteurized milk», *Journal of the American Medical Association*, vol. 258, n° 22, pp. 3269-3274.
- Sanford, J.P., 1991: «Arenavirus infections», chap. 9, dans J.D. Wilson, E. Braunwald, K.J. Isselbacher, R.G. Petersdorf, J.B. Martin, A.S. Fauci et R.K. Root (directeurs de publication): *Harrison's Principles of Internal Medicine* (New York, McGraw-Hill).
- Schneider, K., 1991: «Ozone depletion harming sea life», *The New York Times*, 16 novembre, p. 6.
- Schultes, R.E., 1991: «Dwindling forest medicinal plants of the Amazon», *Harvard Medical Alumni Bulletin*, été, pp. 32-36.
- , 1992: communication personnelle, 24 janvier.
- Sharp, D. (directeur de publication), 1994: *Health and Climate Change* (Londres, The Lancet Ltd.).
- Shope, R.E., 1990: «Infectious diseases and atmospheric change», dans J.C. White (directeur de publication): *Global Atmospheric Change and Public Health: Proceedings of the Center for Environmental Information* (New York, Elsevier).
- Shulka, J., Nobre, C. et Sellers, P., 1990: «Amazon deforestation and climate change», *Science*, vol. 247, p. 1325.
- Statistisches Bundesamt, 1994: *Gesundheitswesen: Meldefähliche Krankheiten* (Wiesbaden).
- Stevens, W.K., 1992: «Error of the deep faces harsher predator», *The New York Times*, 8 décembre, pp. C1, C12.
- Stolarski, R., Bojkov, R., Bishop, L., Zerefos, C. et coll., 1992: «Measured trends in stratospheric ozone», *Science*, vol. 256, pp. 342-349.
- Taylor, H.R., 1990: «Cataracts and ultraviolet light», dans *Global Atmospheric Change and Public Health: Proceedings of the Center for Environmental Information, op. cit.*
- Taylor, H.R., West, S.K., Rosenthal, F.S., Muñoz, B., Newland, H.S., Abbey, H., Emmett, E.A., 1988: «Effect of ultraviolet radiation on cataract formation», *New England Journal of Medicine*, vol. 319, n° 22, pp. 1429-1433.
- Terborgh, J., 1980: *Where Have All the Birds Gone?* (Princeton, New Jersey, Princeton University Press).
- Tucker, J.B., 1985: «Drugs from the sea spark renewed interest», *Bioscience*, vol. 35, n° 9, pp. 541-545.
- Urban Edge*, 1990a: «Reducing accidents: Lessons learned», vol. 14, n° 5, pp. 4-6.
- , 1990b: «Road safety a lethal problem in third world», *ibid.*, pp. 1-3.
- Watts, D.M., Burke, D.S., Harrison, B.A., Whitmore, R.E., Nisalak, A., 1987: «Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus», *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 36, pp. 143-152.
- Wenzel, R.P., 1994: «A new hantavirus infection in North America», *New England Journal of Medicine*, vol. 330, n° 14, pp. 1004-1005.
- Wilson, E.O., 1988: «The current state of biological diversity», dans E.O. Wilson (directeur de publication): *Biodiversity* (Washington, DC, National Academy Press).

- 1989: «Threats to biodiversity», *Scientific American*, vol. 261, pp. 108-116.
- 1992: *The Diversity of Life* (Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press).
- Young, F.E., 1987: «Food safety and FDA's action plan phase II», *Food Technology*, vol. 41, pp. 116-123.

Références complémentaires

Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), 1982: *Proceedings of International Symposium, Health Impacts of Different Sources of Energy* (Vienne).

- 1984: *Proceedings of Symposium, Risks and Benefits of Energy Systems* (Vienne).
- 1991: *Senior Expert Symposium on Electricity and the Environment* (Vienne).

Andrews, J.S.J., Frumkin, H., Johnson, B.L., Mehlman, M.A., Xintaras, C. et Bucsela, H.A., 1994: *Hazardous Waste and Public Health: International Congress on the Health Effects of Hazardous Waste* (Princeton, New Jersey, Princeton Scientific Publishing).

Batstone, R. et coll., 1989: *The Safe Disposal of Hazardous Wastes. The Special Needs and Problems of Developing Countries*, World Bank Technical Paper No. 93, vol. I-III (Washington, DC, Banque mondiale).

Gentner, N.E. et Unrau, P. (directeurs de publication), 1980: *Proceedings of the First International Symposium on Health Effects of Energy Production* (Chalk River, Ontario, Atomic Energy of Canada Limited).

Kjellström, T., 1988: «Health hazards of the environment. Measuring the harm», *World Health*, pp. 2-5.

Meybeck, M., Chapman, D. V. et Helmer, R., 1989: *Global Freshwater Quality: A First Assessment* (Genève, OMS, GEMS, PNUE).

National Research Council (NRC), 1991: «Public health and hazardous wastes», *Environmental Epidemiology*, n° V1 (Washington, DC, National Academy Press).

Nimmannitya, S., 1996: «Dengue and dengue haemorrhagic fever», dans G.C. Cook (directeur de publication): *Manson's Tropical Diseases* (Londres, W.B. Saunders).

Romieu, I., Meneses, F., Ruiz-Velasco, S., Sienra, J.J., Huerta, J., White, M. et Etzel, R., 1996: «Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City», *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 154, n° 2, pp. 300-307.

Romieu, I., Meneses, F., Ruiz-Velasco, S., Sienra, J.J., Huerta, J., White, M., Etzel, R. et Hernández-Avila, M., 1995: «Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City», *American Journal of Epidemiology*, vol. 141, n° 6, pp. 546-553.

Romieu, I., Weitzenfeld, H. et Finkelman, J., 1991: «Urban air pollution in Latin America and the Caribbean», *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 41, pp. 1166-1170.

Société française d'énergie nucléaire, 1980: *Les risques sanitaires des différentes énergies*, Colloque, 24-26 janvier (Paris).

Upton, A.C., Kneip, T. et Toniolo, P., 1989: «Public health aspects of toxic chemical disposal sites», *Annual Review of Public Health*, vol. 10, pp. 1-25.