

Rédacteurs  
*Annalee Yassi et Tord Kjellström*

# 53

### Table des matières

Les risques pour la santé liés à l'environnement . . . . .	<i>Annalee Yassi et Tord Kjellström</i>	53.2
L'alimentation et l'agriculture . . . . .	<i>Friedrich Karl Käferstein</i>	53.5
La pollution industrielle dans les pays en développement . . . . .	<i>Niu Shiru</i>	53.9
Les pays en développement et la pollution . .	<i>Tee L. Guidotti</i>	53.10
La pollution atmosphérique . . . . .	<i>Isabelle Romieu</i>	53.12
La pollution terrestre . . . . .	<i>Tee L. Guidotti et Weiping Chen</i>	53.15
La pollution des eaux . . . . .	<i>Ivanildo Hespanhol et Richard Helmer</i>	53.18
L'énergie et la santé. . . . .	<i>L.D. Hamilton</i>	53.22
L'urbanisation . . . . .	<i>Edmundo Werna</i>	53.25
Le changement climatique à l'échelle planétaire et l'appauvrissement en ozone. . . . .	<i>Jonathan A. Patz</i>	53.28
L'extinction d'espèces, la diminution de la biodiversité et la santé humaine . . . . .	<i>Eric Chivian</i>	53.32

53. LES RISQUES POUR LA SANTÉ  
LIÉS À L'ENVIRONNEMENT

## ● LES RISQUES POUR LA SANTÉ LIÉS À L'ENVIRONNEMENT

*Annalee Yassi et Tord Kjellström*

Le développement, et l'industrialisation en particulier, ont contribué considérablement à la santé, y compris en facilitant l'épanouissement personnel et social, ainsi qu'en améliorant sensiblement les services sanitaires et éducatifs, les transports et les communications. Il ne fait aucun doute qu'à l'échelle mondiale les gens vivent plus longtemps et en meilleure santé que dans les siècles ou même les décennies passés. Cependant, l'industrialisation a aussi des retombées négatives sur la santé, non seulement de la main-d'œuvre, mais aussi de la population en général. Ces effets sont attribuables soit directement à l'existence de problèmes de sécurité et d'agents nocifs, soit indirectement à une dégradation de l'environnement au niveau local et planétaire (voir l'article «La pollution industrielle dans les pays en développement» dans le présent chapitre).

Cet article décrit la nature des risques pour la santé liés à l'environnement et les raisons pour lesquelles on fait le lien entre la santé en relation avec l'environnement (dite santé environnementale) et la santé au travail.

Qu'ils soient attribuables à l'environnement ou au travail, les risques sanitaires peuvent être d'ordre biologique, chimique, phy-

sique, biomécanique ou psychosocial. Dans les risques pour la santé liés à l'environnement, on range les risques classiques créés par de mauvaises conditions d'hygiène et de logement, ainsi que la pollution agricole et industrielle de l'air, de l'eau, des aliments et des sols. Ces risques s'accompagnent de multiples incidences sur la santé, allant de catastrophes qui en découlent directement (comme l'épidémie de choléra en 1991 en Amérique latine et les nombreux cas d'intoxication d'origine chimique à Bhopal, en Inde) à des effets chroniques (comme à Minamata, au Japon), ou bien à des effets subtils, indirects, voire contestés (par exemple, à Love Canal, aux Etats-Unis). Le tableau 53.1 est un résumé de quelques grandes catastrophes notoires survenues pendant la deuxième moitié du siècle dernier et qui ont provoqué une éclipse de «maladies environnementales». Il existe indéniablement une foule d'autres exemples de flambées de maladies, dont certaines ne sont pas faciles à détecter au niveau macrostatistique. Pendant ce temps, plus d'un milliard de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable (OMS, 1992c) et plus de six cents millions d'individus vivent dans des milieux dont la teneur en dioxyde de soufre dépasse largement les niveaux recommandés. En outre, les pressions qui s'exercent sur l'agriculture et sur la production alimentaire en raison de l'augmentation de la population et de la demande par habitant vont probablement mettre davantage l'environnement à rude épreuve (voir l'article «L'alimentation et l'agriculture» dans le présent chapitre). Les conséquences de la qualité de l'environnement sur la santé englobent

Tableau 53.1 • Quelques épisodes majeurs de «maladies environnementales»

Lieu et année	Risque environnemental	Type de maladie	Nombre de victimes
Londres, Royaume-Uni, 1952	Pollution atmosphérique grave par du dioxyde de soufre et des particules en suspension	Multiplication des affections cardiaques et pulmonaires	3 000 morts, de nombreux malades
Toyama, Japon, années cinquante	Cadmium dans du riz	Affections rénales et osseuses (maladie «Itai-itai»)	200 personnes gravement atteintes et beaucoup d'autres plus légèrement
Sud-est de la Turquie, 1955-1961	Hexachlorobenzène dans des semences	Porphyrie; affection neurologique	3 000
Minamata, Japon, 1956	Méthylmercure dans du poisson	Affection neurologique («maladie de Minamata»)	200 personnes gravement atteintes, 2 000 cas suspects
Villes américaines, années soixante-soixante-dix	Plomb dans de la peinture	Anémie, troubles comportementaux et mentaux	Plusieurs milliers
Fukuoka, Japon, 1968	Biphényles polychlorés (BPC) dans de l'huile alimentaire	Dermatoses, faiblesse générale	Plusieurs milliers
Irak, 1972	Méthylmercure dans des semences	Affections neurologiques	500 morts, 6 500 personnes hospitalisées
Madrid, Espagne, 1981	Aniline ou autres toxines dans de l'huile alimentaire	Divers symptômes	340 morts, 20 000 cas
Bhopal, Inde, 1985	Méthylisocyanate	Pneumopathie aiguë	2 000 morts, 200 000 personnes empoisonnées
Californie, Etats-Unis, 1985	Pesticide au carbamate dans des pastèques	Troubles gastro-intestinaux, troubles musculosquelettiques, affections des systèmes nerveux autonome et central (maladie du carbamate)	1 376 cas signalés attribuables à la consommation, 17 personnes gravement atteintes
Tchernobyl, URSS, 1986	Iode 134, césium 134 et césium 137 provenant de l'explosion d'un réacteur	Mal des rayons (augmentation du nombre de cancers et d'affections de la thyroïde chez les enfants)	300 blessés, 28 décédés dans les 3 mois, plus de 600 cas de cancers thyroïdiens
Goiânia, Brésil, 1987	Césium 137 provenant d'une machine de traitement du cancer abandonnée	Maladies radio-induites (suivi continu des expositions in utero)	Quelque 240 personnes ont été contaminées et 2 sont mortes
Pérou, 1991	Epidémie de choléra	Choléra	139 morts, plusieurs milliers de malades

donc les effets indirects d'une dégradation par l'industrie des conditions d'alimentation et de logement, et une détérioration des systèmes mondiaux dont dépend la santé de la planète.

Dans beaucoup de pays, l'agriculture intensive et, parallèlement, l'emploi massif de pesticides toxiques portent gravement atteinte à la santé des travailleurs et de leur famille. La pollution par les engrais ou par les déchets biologiques des industries alimentaire, papetière et autres peut également avoir des effets nocifs sur les cours d'eau, en réduisant les prises de poissons et autres organismes destinés à l'alimentation. Les pêcheurs et les récolteurs d'autres produits de la mer doivent parfois aller beaucoup plus loin pour effectuer leurs prises quotidiennes et courent de la sorte des risques accrus de noyade et autres types d'accidents. La propagation de maladies tropicales du fait des mutations écologiques liées à des activités comme la construction de barrages ou de routes constitue un autre type de risques pour la santé environnementale. Un nouveau barrage peut créer des zones de reproduction pour la schistosomiase, maladie débilitante qui touche les riziculteurs travaillant les pieds dans l'eau. La construction d'une nouvelle route peut accélérer la communication entre une région où le paludisme est endémique et une autre jusque-là épargnée par cette maladie.

Il faut souligner que la principale cause d'un environnement nocif au travail ou en général est la pauvreté. Les menaces classiques qui pèsent sur la santé dans les pays en développement ou dans les secteurs démunis de n'importe quel pays comprennent une mauvaise qualité des installations sanitaires, de l'eau et des aliments, propice à la transmission de maladies, de piètres logements qui sont très exposés à la fumée de cuisson et à des risques d'incendie, ainsi que des risques d'accident importants dans les petites exploitations agricoles, et dans l'industrie à domicile.

La réduction de la pauvreté et l'amélioration des conditions de vie et de travail sont essentielles à une amélioration de la santé au travail et de la santé environnementale pour des milliards de personnes. En dépit des efforts déployés en faveur des économies d'énergie et du développement durable, l'incapacité de s'attaquer à la répartition inéquitable sous-jacente de la richesse menace l'écosystème planétaire. Les forêts, par exemple, qui représentent l'aboutissement du cycle écologique, sont détruites à un rythme alarmant, à cause de l'abattage et du défrichement commerciaux que pratiquent des populations appauvries pour cultiver et se procurer du bois de feu. Le déboisement cause, entre autres, une érosion des sols qui, si elle est extrême, peut conduire à la désertification. La diminution de la biodiversité est une conséquence importante (voir l'article «L'extinction d'espèces, la diminution de la biodiversité et la santé humaine» dans le présent chapitre). On estime qu'un tiers des émanations de dioxyde de carbone proviennent du brûlage de forêts tropicales (le rôle des ces émanations dans le réchauffement de la planète est analysé dans l'article intitulé «Le changement climatique à l'échelle planétaire et l'appauvrissement en ozone» dans ce même chapitre). Lorsqu'on s'intéresse à la santé environnementale à l'échelle de notre planète, il est donc impératif de s'attaquer à la pauvreté autant qu'au bien-être des individus, des populations locales, voire de régions tout entières.

### **Pourquoi associer santé environnementale et santé au travail**

Le principal lien entre le milieu de travail et l'environnement général tient au fait que l'origine du danger est habituellement la même, qu'il s'agisse d'une activité agricole ou d'une activité industrielle. Dans la lutte contre les risques sanitaires, la même démarche devrait permettre d'obtenir de bons résultats dans l'un et l'autre secteurs. Cela est particulièrement vrai du choix de substances chimiques pour la production. S'il est possible d'obte-

nir un résultat ou un produit acceptable à l'aide d'une substance chimique relativement peu toxique, le choix de cette dernière peut conduire à une atténuation ou même à une élimination des risques sanitaires, en utilisant, par exemple, des peintures à base d'eau, plus sûres que les peintures à base de solvants organiques toxiques, ou encore en préférant, chaque fois que possible, les méthodes non chimiques de lutte contre les parasites. En fait, notamment dans les pays en développement, il n'existe fréquemment aucune séparation entre logement et lieu de travail; autrement dit, on a affaire exactement au même milieu.

Il est aujourd'hui bien admis que les connaissances scientifiques et la formation nécessaires pour évaluer et limiter les risques qui pèsent sur la santé environnementale sont, pour la plupart, les mêmes que les compétences et connaissances requises pour faire face aux risques sanitaires qui existent sur le lieu de travail. La toxicologie, l'épidémiologie, l'hygiène du travail, l'ergonomie et les techniques de sécurité — en fait, les disciplines dont il est précisément question dans cette *Encyclopédie* — sont les outils de base de la science de l'environnement. Le processus d'évaluation et de gestion des risques est aussi le même: définition des dangers, classement des risques, évaluation du degré d'exposition et estimation des risques. On procède ensuite à un jugement des méthodes de lutte, à un abaissement de l'exposition, à une information du public sur les risques et à l'instauration d'un programme de surveillance continue de l'exposition et des risques. C'est pourquoi la santé au travail et la santé environnementale sont étroitement liées par des méthodes communes, en particulier pour l'appréciation de l'état de santé et la diminution de l'exposition.

Souvent, c'est à la suite de l'observation de problèmes de santé parmi les travailleurs que l'on prend conscience des risques liés à l'environnement qui menacent la santé et c'est indubitablement au travail que les retombées des expositions de nature industrielle sont les mieux comprises. Les données dont on dispose en matière d'effets sur la santé proviennent en général de l'une des trois sources suivantes: des expériences sur des animaux, ou autres, en laboratoire (avec des cobayes ou avec contrôle sur des humains), des expositions accidentelles d'un niveau élevé ou encore d'études épidémiologiques qui font habituellement suite à de telles expositions. Pour réaliser une étude épidémiologique, il faut savoir définir à la fois la population touchée et la nature de l'exposition et son degré, et vérifier l'existence des retombées sur la santé. En général, il est plus facile de définir un groupe de travailleurs qu'une population, surtout dans le cas d'une population qui n'est pas stable; la nature de l'exposition et son intensité parmi les divers membres de la cohorte sont généralement plus clairement déterminés dans un milieu de travail que dans une communauté; il est presque toujours plus aisé de cerner les conséquences d'une forte exposition que les changements plus subtils attribuables à une faible exposition. Il arrive bien que l'on relève en dehors des usines des taux d'exposition proches des pires résultats enregistrés dans le cadre professionnel (par exemple, exposition au cadmium provoquée par l'exploitation minière en Chine et au Japon, émanations de plomb et de cadmium provenant de fonderies en haute Silésie (Pologne)), mais les niveaux d'exposition sont habituellement beaucoup plus élevés chez les travailleurs que dans la population environnante (OMS, 1992c).

Etant donné que les retombées sur la santé sont plus visibles parmi les travailleurs, l'information concernant les effets de nombreux produits toxiques en milieu de travail (comme ceux de métaux lourds tels que le plomb, le mercure, l'arsenic et le nickel, et des cancérogènes avérés tels que l'amiante) sert à calculer le risque que court la collectivité tout entière. S'agissant du cadmium, par exemple, on a signalé dès 1942 des cas d'ostéomalacie accompagnée de fractures multiples chez des travailleurs d'une fabrique de piles alcalines en France. Dans les années cinquante et soixante, l'intoxication au cadmium passait pour une maladie

strictement professionnelle. Mais les données recueillies dans les entreprises ont aidé à faire reconnaître que l'ostéomalacie et les troubles rénaux observés au Japon à cette époque, la maladie «Itai-itai», étaient bien dus à une contamination du riz par une eau contenant du cadmium d'origine industrielle utilisée en irrigation (Kjellström, 1986). Cette épidémiologie professionnelle a ainsi permis d'enrichir sensiblement les connaissances sur les effets d'une exposition au milieu ambiant et a été une raison supplémentaire de lier les deux domaines.

À l'échelle individuelle, les maladies professionnelles nuisent au bien-être au domicile et dans la collectivité; à l'échelle universelle, un individu qui souffre de mauvaises conditions à domicile et dans la collectivité ne peut être productif au travail.

D'un strict point de vue scientifique, il importe de considérer les expositions dans leur ensemble (environnementales et professionnelles) pour avoir une idée exacte de leurs conséquences pour la santé et pour établir le rapport existant entre le degré d'exposition et la réaction. L'exposition aux pesticides est un exemple classique de cas dans lesquels, à l'exposition professionnelle, peut venir se greffer une très forte exposition environnementale par une contamination des aliments et des sources hydriques et par le contact avec un air vicié à l'extérieur du travail. Parmi les événements recensés par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (OMS, 1991) dans lesquels plus de 100 intoxications étaient dues uniquement à des aliments contaminés, plus de 15 000 cas et plus de 1 500 décès pouvaient être attribués à l'absorption de pesticides. Une étude sur des cultivateurs de coton en Amérique centrale qui utilisaient des pesticides a démontré que non seulement très peu d'entre eux disposaient de vêtements de protection, mais que presque tous vivaient à moins de 100 m des champs de coton et beaucoup dans des logements temporaires sans murs qui les protègent pendant l'épandage aérien de pesticides. En outre, les travailleurs se lavaient souvent dans des canaux d'irrigation contenant des résidus de pesticides et se trouvaient ainsi d'autant plus exposés (Michaels, Barrera et Gacharna, 1985). Pour comprendre ce qui lie l'exposition aux pesticides et les problèmes sanitaires recensés, il convient de prendre en considération toutes les sources d'exposition. En évaluant le degré d'exposition tant au travail que dans le milieu ambiant, on ne peut qu'améliorer l'exactitude des données recueillies de part et d'autre.

Les problèmes de santé liés au travail et à l'environnement sont particulièrement graves dans les pays en développement qui appliquent plus rarement des méthodes bien établies pour limiter les risques parce qu'ils sont peu conscients des dangers, parce que la protection de la santé et de l'environnement n'est pas vraiment une priorité politique, parce que les ressources sont restreintes et parce qu'ils n'ont pas de systèmes efficaces de gestion de la santé au travail et de la santé environnementale. Un obstacle important à la limitation des risques environnementaux dans beaucoup de régions du monde tient au nombre insuffisant de gens formés de manière adéquate. On peut lire que les pays en développement pâtissent d'une sérieuse pénurie d'experts en santé au travail (Noweir, 1986). En 1985, un comité d'experts de l'OMS a aussi conclu qu'ils manquaient cruellement de personnel formé dans le domaine de l'hygiène du milieu; d'ailleurs, le plan Action 21 adopté par la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement (CNUED, 1992a) désigne la formation (renforcement des capacités nationales) comme étant un élément clé du travail de promotion de la santé humaine par le développement durable. Quand on ne dispose que de maigres ressources, il n'est pas possible de former un groupe d'individus à prendre en charge les problèmes de santé sur le lieu du travail et un autre à s'occuper des risques survenant à l'extérieur.

Les pays développés eux-mêmes font beaucoup d'efforts pour mieux utiliser les ressources en formant et en employant des professionnels de la santé au travail et en relation avec l'environnement.

Aujourd'hui, les entreprises doivent trouver les moyens de gérer leurs affaires avec logique et efficacité, compte tenu des obligations qui leur incombent, de la loi et de la politique financière qu'impose le cadre sociétal. Une façon d'y parvenir est de regrouper sous un même toit la santé au travail et la santé environnementale.

Au moment de concevoir un lieu de travail et d'arrêter des stratégies d'hygiène industrielle, il est capital de prendre en compte un large éventail de questions environnementales. Le remplacement d'une substance par une autre moins toxique peut aller dans le sens d'une meilleure hygiène du travail, mais, si cette nouvelle substance n'est pas biodégradable, ou si elle endommage la couche d'ozone, ce n'est pas une solution à retenir, car elle ne fait que déplacer le problème. Les chlorofluorocarbures, actuellement très utilisés comme réfrigérants de préférence à l'ammoniac plus dangereux, sont un exemple classique de solution de remplacement dont on sait aujourd'hui qu'elle n'est pas écologique. En liant la santé au travail à celle du milieu, on réduit ainsi le risque de prendre des décisions inadéquates pour limiter le degré d'exposition.

Ce que l'on sait des effets de diverses substances nocives provient habituellement de l'entreprise, mais l'incidence de ces mêmes agents sur la santé publique en général est souvent un élément moteur des actions curatives menées à la fois dans l'entreprise et dans la collectivité. Ainsi, la découverte par un hygiéniste du travail de taux de plombémie élevés chez des travailleurs d'une fonderie, à Bahia (Brésil), a conduit à effectuer des prélèvements sanguins de contrôle sur des enfants habitant à proximité. Il s'est vérifié que le sang des enfants présentait une teneur élevée en plomb, ce qui a fortement incité l'entreprise à prendre des mesures pour diminuer le degré d'exposition de son personnel, ainsi que les émanations de plomb produites par l'usine (Nogueira, 1987), encore que les niveaux d'exposition dans ses locaux demeurent très supérieurs à ce que tolérerait la population.

En fait, les normes d'hygiène du milieu sont habituellement plus strictes que les normes qui régissent la santé au travail. En témoignent les chiffres recommandés par l'OMS pour certains produits chimiques. Cet écart s'explique en général par le fait que la population se compose de groupes sensibles, dont les personnes très âgées, les malades, les jeunes enfants et les femmes enceintes, alors que les salariés sont, au moins, suffisamment en bonne santé pour travailler. On entend souvent dire que le risque est plus «acceptable» pour les travailleurs qui ont la chance d'occuper un emploi et qui sont donc plus disposés à accepter le risque. La question des normes suscite beaucoup de débats politiques, éthiques et scientifiques. L'établissement d'un lien entre la santé au travail et la santé environnementale peut contribuer à éclaircir cette question. À cet égard, l'instauration d'un rapport plus étroit entre le travail et l'environnement peut aider à fixer des normes d'une manière plus cohérente.

Probablement inspirés, du moins en partie, par le débat animé que suscite le plan d'action adopté par la CNUED sur l'environnement et le développement durable, beaucoup d'organismes de professionnels qui se vouent à la santé au travail ont changé de nom pour devenir des organismes centrés sur «la santé au travail et en relation avec l'environnement» en reconnaissance du fait que leurs membres accordent une attention accrue aux risques d'origine environnementale qui existent à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise. Par ailleurs, ainsi qu'on l'a signalé au chapitre n° 19, «Les questions d'éthique», le Code international d'éthique pour les professionnels de la santé au travail stipule que le devoir de préserver l'environnement fait partie intégrante de leurs obligations éthiques.

En résumé, la santé au travail et en relation avec l'environnement sont fortement liées par:

- le fait même que l'origine du risque pour la santé est habituellement la même;
- des méthodes communes, notamment pour l'évaluation de l'état de santé et le contrôle de l'exposition;
- la contribution que l'épidémiologie professionnelle apporte aux connaissances sur les effets d'une exposition de source environnementale;
- les effets des maladies professionnelles sur le bien-être de l'individu à son domicile et dans la collectivité et, inversement, les effets de troubles liés à l'environnement sur la productivité du travailleur;
- le besoin scientifique de prendre en considération l'ensemble des expositions pour déterminer le lien entre la dose absorbée et la réaction;
- les avantages obtenus en établissant un tel lien sur le plan du développement et de l'utilisation des ressources humaines;
- l'amélioration des décisions prises pour limiter les expositions, grâce à une optique plus large;
- une plus grande cohérence, dans la fixation des normes, facilitée par le lien établi;
- le fait qu'en prenant en compte environnement et santé au travail, on incite davantage à limiter les risques pour les travailleurs et la collectivité.

L'intérêt d'un rapprochement entre la santé au travail et la santé environnementale ne doit cependant pas faire oublier que l'une et l'autre ont un objectif qui leur est propre. La santé au travail doit rester centrée sur la santé des travailleurs, et la santé environnementale sur la santé de la population en général. Cependant, même s'il est souhaitable pour les professionnels d'exercer exclusivement dans l'un de ces domaines, une bonne appréciation de l'autre domaine ajoute à la crédibilité de la démarche globale, aux connaissances qu'elle demande et à son efficacité. C'est dans cet esprit que ce chapitre a été rédigé.

## ● L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE<sup>1</sup>

*Friedrich Karl Käferstein*

### La production nécessaire compte tenu de l'accroissement démographique et d'autres pressions

La population continue de croître rapidement dans certaines régions du monde. En 2010, il faudra nourrir 1,9 milliard de personnes de plus qu'en 1990, soit une augmentation de 36% (7,2 milliards contre 5,3).

La croissance que l'on escompte au cours des vingt prochaines années devrait se produire, pour 90%, dans les pays qui font aujourd'hui partie du monde en développement. La société s'urbanise peu à peu. La population urbaine à l'échelle planétaire va atteindre 3,6 milliards d'individus, en hausse de 62% comparativement aux 2,2 milliards d'urbains recensés en 1990. Par ailleurs, la population urbaine des pays en développement va progresser de 92% (de 1,4 à 2,6 milliards) entre 1990 et 2010, et aura donc

<sup>1</sup> Cet article a été rédigé par le docteur F.K. Käferstein, chef de l'unité Salubrité des aliments de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Il s'inspire largement du rapport d'un comité d'experts de l'OMS chargé de l'alimentation et de l'agriculture qui a aidé la Commission de la santé et de l'environnement de l'OMS à préparer un document pour la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement (CNUED) à Rio de Janeiro, 1992.

quadruplé depuis 1970. Même si la planification des naissances reçoit toute l'attention qui s'impose de façon urgente de la part des pays à forte croissance démographique, cette croissance et l'urbanisation continueront d'occuper une place prépondérante pendant les deux prochaines décennies.

Uniquement pour suivre l'évolution démographique, il faudra augmenter de 36% la production d'aliments, d'autres produits agricoles et d'eau potable au cours des vingt prochaines années; la nécessité pour un demi-milliard de personnes de se nourrir correctement au lieu de rester sous-alimentées, et la demande croissante de populations dont le revenu s'accroît conduiront à une très forte augmentation de la production alimentaire globale. Une demande excessive en nourriture d'origine animale continuera de caractériser les individus appartenant aux tranches de revenus supérieures, ce qui entraînera une hausse de la production d'aliments pour animaux.

Les pressions qui s'exercent sur la production agricole et alimentaire, du fait de la croissance de la population et de la demande par habitant, alourdiront la charge qui pèsera sur l'environnement. De par son origine, cette charge ne sera pas égale partout et aura des effets inégaux. Dans l'ensemble, ceux-ci seront nocifs et exigeront une action concertée.

Cette augmentation de la demande se répercutera sur des ressources hydriques et pédologiques qui sont limitées: les zones les plus productives ont déjà été exploitées et il en coûtera très cher pour transformer des terres médiocres en terres productives et pour utiliser des ressources en eau moins faciles d'accès. La plupart de ces sols médiocres risquent d'avoir une fertilité seulement temporaire, à moins que l'on prenne des mesures pour les conserver; d'autre part, la productivité des pêcheries naturelles est aussi extrêmement limitée. La superficie des terres arables va diminuer pour plusieurs raisons: érosion des sols provoquée par le surpâturage, latérisation des zones défrichées, salinisation des sols et autres formes de dégradation des terres, expansion des zones urbaines, industrielles et assimilées.

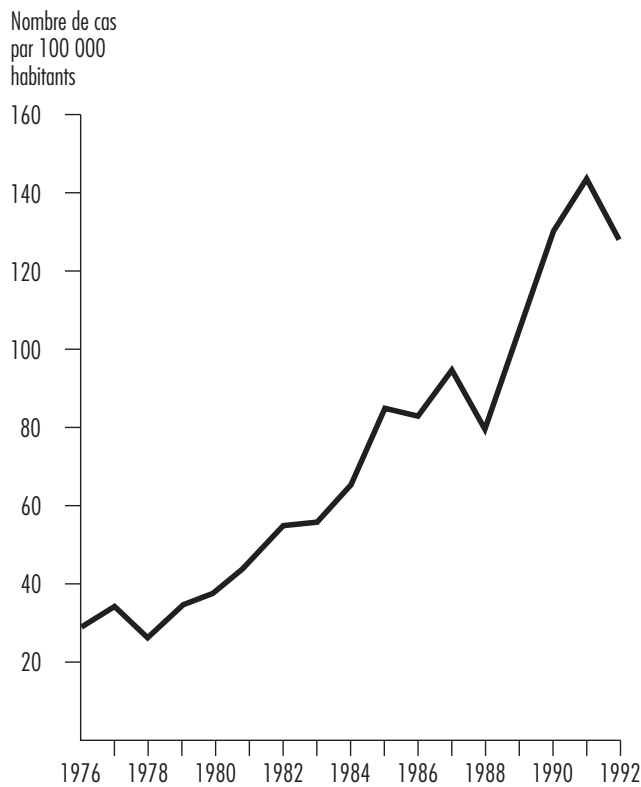
L'approvisionnement en eau et sa qualité, déjà très insuffisants dans la majeure partie du monde, continueront de poser de graves problèmes aux régions rurales des pays en développement, ainsi qu'à beaucoup de populations urbaines, lesquelles devront peut-être faire face, de surcroît, à des taxes de consommation élevées. Les besoins en eau vont augmenter fortement et, dans plusieurs grandes villes, satisfaire cette demande sera de plus en plus coûteux, car il faudra faire venir l'eau de bassins d'approvisionnement très éloignés. La réutilisation de l'eau doit satisfaire des normes de traitement plus rigoureuses. L'augmentation du volume d'eaux usées exigera, outre de gros investissements, des installations de traitement plus grandes.

Le développement de l'industrie, qui va devoir se poursuivre pour produire des biens, des services et de l'emploi, conduira à une intensification de la production alimentaire et, partant, à une industrialisation accrue de celle-ci. En conséquence, et surtout à cause de l'urbanisation, la demande et les ressources employées ayant trait à l'emballage, à la transformation, au stockage et à la distribution des aliments vont augmenter en volume et en importance.

La population devient beaucoup plus consciente de la nécessité de produire, de préserver et de commercialiser les aliments en limitant les atteintes à notre environnement et elle se montre plus exigeante à cet égard. L'apparition d'outils scientifiques révolutionnaires (en biotechnologie, par exemple) ouvre la voie à une augmentation de la production alimentaire, à une diminution des déchets et à une amélioration de la sécurité considérables.

Le principal enjeu consiste à satisfaire une demande croissante en nourriture, en autres produits agricoles et en eau par des moyens qui favorisent une amélioration durable de la santé et qui soient également viables, économiques et compétitifs.

Figure 53.1 • Maladies d'origine alimentaire au Venezuela



Certes, on possède aujourd'hui de quoi nourrir toute la population mondiale, mais d'énormes obstacles devront être levés pour garantir un approvisionnement continu et équitable en aliments sains, nutritifs et à prix abordables afin de répondre aux besoins sanitaires de nombreuses régions de la planète, notamment de celles qui connaissent une forte croissance démographique.

Lorsqu'on se propose d'étudier et de mettre en application les politiques et les programmes concernant l'agriculture et la pêche, on néglige bien souvent d'envisager les conséquences qu'elles sont susceptibles d'avoir sur la santé. Pensons, par exemple, à la production de tabac, qui a des incidences très graves et négatives sur la santé humaine, ainsi que sur la rareté des terres cultivables et des ressources en bois de feu. Par ailleurs, faute d'une approche concertée par rapport au développement de l'agriculture et de la sylviculture, on saisit mal le lien important qui existe entre ces deux secteurs et la préservation des habitats de la faune, de la diversité biologique et des ressources génétiques.

Si l'on ne prend pas des mesures adéquates en temps opportun pour atténuer les impacts de l'agriculture, de la pêche, de la production alimentaire et de la consommation d'eau sur l'environnement, les situations suivantes vont se produire :

- à mesure que la population urbaine va augmenter, il deviendra plus difficile de conserver et d'étendre un système efficace de distribution des produits alimentaires. Il pourra s'ensuivre une aggravation de l'insécurité alimentaire des ménages, de la malnutrition qui lui est liée et des risques d'atteinte à la santé chez des populations urbaines démunies, en nombre croissant;
- les maladies microbiennes, virales et parasitaires engendrées par la contamination de la nourriture et de l'eau continueront de poser de graves problèmes sanitaires. L'apparition de nou-

veaux agents importants pour l'hygiène publique va se poursuivre. Les maladies diarrhéiques liées aux aliments et à l'eau, qui provoquent une mortalité infantile et une morbidité générale élevées, prendront de l'ampleur;

- les maladies transmises par vecteur, résultant de l'irrigation, d'autres aménagements et d'eaux usées non traitées, vont se multiplier. Le paludisme, la schistosomiase, la filariose et les maladies dues aux arbovirus demeureront de graves fléaux;
- les problèmes susmentionnés se traduiront par un maintien ou une accentuation de la malnutrition et de la mortalité des nouveau-nés et des jeunes enfants, ainsi que de la morbidité à tous les âges, mais surtout chez les pauvres, les jeunes, les personnes âgées et les malades;
- les maladies chroniques liées à de mauvaises habitudes de vie, au tabagisme et à l'alimentation (comme l'obésité, le diabète ou la coronaropathie), caractéristiques des pays riches, commencent aussi à se manifester, d'une façon sensible, dans les pays en développement et l'urbanisation croissante ne fera qu'accélérer cette tendance;
- à mesure que la production alimentaire va s'intensifier, les risques de maladies et d'accidents professionnels chez les travailleurs de ce secteur et des secteurs connexes croîtront nettement si l'on ne prend pas de mesures de sécurité et de prévention suffisantes.

### Les répercussions sur la santé de la contamination biologique et de l'usage de produits chimiques dans les aliments

Malgré les progrès scientifiques et technologiques, la contamination des aliments et de l'eau représente encore aujourd'hui un important problème d'hygiène publique. Les maladies d'origine alimentaire sont probablement les problèmes de santé les plus répandus dans le monde et les causes importantes d'une productivité économique réduite (OMS/FAO, 1984). Elles sont provoquées par un large éventail d'agents et elles passent par tous les degrés de gravité, allant de l'indisposition légère à la maladie mortelle. Pourtant, seule une faible proportion de cas attire l'attention des services de santé et les troubles recensés sont encore moins nombreux à faire l'objet d'une enquête. En conséquence, on pense que, dans les pays industriels, seulement 10% environ des cas sont déclarés, tandis que dans les pays en développement, on ne dépasse sans doute pas 1% du total.

En dépit de ces limites, les données recueillies révèlent que les maladies alimentaires gagnent du terrain sur toute la planète, dans les régions en développement comme dans les pays industriels. La situation du Venezuela illustre cette tendance (OPS/OMS, 1989) (voir figure 53.1).

### La contamination biologique

#### Les pays en développement

D'après les données disponibles, les contaminants biologiques (bactéries, virus et parasites) sont clairement la principale cause des maladies transmises par les aliments (voir tableau 53.2).

C'est le cas, dans les pays en développement, pour les pathologies suivantes: choléra, salmonellose, shigellose, typhoïde et paratyphoïde, brucellose, poliomyélite et amibiase. Les maladies diarrhéiques, notamment la diarrhée du nouveau-né, sont le problème prédominant, atteignant des proportions énormes. Chaque année, quelque 1,5 milliard d'enfants de moins de 5 ans souffrent de diarrhée, et ils sont plus de 3 millions à en mourir. On pensait autrefois que l'approvisionnement en eau contaminée était la principale source directe des agents pathogènes qui provoquent la diarrhée, mais il est aujourd'hui prouvé que 70% des cas de diarrhée peuvent être dus à des pathogènes alimentaires (OMS,

Tableau 53.2 • Quelques agents de maladies importantes transmises par les aliments, avec leurs principales caractéristiques épidémiologiques

Agents	Réservoir ou vecteur important	Voie de transmission <sup>a</sup>			Multiplication dans la nourriture	Exemples d'aliments en cause
		Eau	Nourriture	Personne à personne		
<b>Bactéries</b>						
<i>Bacillus cereus</i>	Sol	–	+	–	+	Riz cuit, viandes cuites, légumes, desserts à base d'amidon
Espèces des <i>Brucella</i>	Bovins, chèvres, moutons	–	+	–	+	Lait cru, produits laitiers
<i>Campylobacter jejuni</i>	Poulets, chiens, chats, bovins, porcs, oiseaux sauvages	+	+	+	– <sup>b</sup>	Lait cru, volaille
<i>Clostridium botulinum</i>	Sol, mammifères, oiseaux, poissons	–	+	–	+	Poisson, viande, légumes (conserves domestiques), miel
<i>Clostridium perfringens</i>	Sol, animaux, humains	–	+	–	+	Viandes et volailles cuites, jus de viande, haricots
<i>Escherichia coli</i>						
Entérotoxigènes	Humains	+	+	+	+	Salade, légumes crus
Entéropathogènes	Humains	+	+	+	+	Lait
Entéro-invasifs	Humains	+	+	0	+	Fromage
Entérohémorragiques	Bovins, volaille, moutons	+	+	+	+	Viande mal cuite, lait cru, fromage
<i>Listeria monocytogenes</i>	Environnement	+	+	– <sup>c</sup>	+	Fromage, lait cru, salade de chou cru
<i>Mycobacterium bovis</i>	Bovins	–	+	–	–	Lait cru
<i>Salmonella typhi</i> et <i>paratyphi</i>	Humains	+	+	±	+	Produits laitiers, produits de la viande, fruits de mer, salades de légumes
<i>Salmonella</i> (non-typhi)	Humains, animaux	±	+	±	+	Viande, volaille, œufs, produits laitiers, chocolat
Espèces des <i>Shigella</i>	Humains	+	+	+	+	Salade de pommes de terre et salade aux œufs
<i>Staphylococcus aureus</i> (entérotoxines)		–	+	–	+	Jambon, salade de volaille et salade aux œufs, pâtisseries à la crème, glace, fromage
<i>Vibrio cholerae</i> , O1	Humains, milieu marin	+	+	±	+	Salades, fruits de mer
<i>Vibrio cholerae</i> , non O1	Humains, milieu marin	+	+	±	+	Fruits de mer
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Eau de mer, milieu marin	–	+	–	+	Poisson cru, crabe et autres fruits de mer
<i>Vibrio vulnificus</i>	Eau de mer, milieu marin	+	+	–	+	Fruits de mer
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Eau, animaux sauvages, porcs, chiens, volaille	+	+	–	+	Lait, porc, volaille
<b>Virus</b>						
Virus de l'hépatite A	Humains	+	+	+	–	Fruits de mer, fruits et légumes crus
Agents de Norwalk	Humains	+	+	–	–	Fruits de mer, salades
Rotavirus	Humains	+	+	+	–	0
Protozoaires						
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Humains, animaux	+	+	+	–	Lait cru, saucisses crues (non fermentées)
<i>Entamoeba histolytica</i>	Humains	+	+	+	–	Légumes et fruits
<i>Giardia lamblia</i>	Humains, animaux	+	±	+	–	Légumes et fruits
<i>Toxoplasma gondii</i>	Chats, porcs	0	+	–	–	Viande mal cuite, légumes crus
<b>Helminthes</b>						
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Humains	+	+	–	–	Nourriture contaminée par la terre
<i>Clonorchis sinensis</i>	Poisson d'eau douce	–	+	–	–	Poisson mal cuit ou cru
<i>Fasciola hepatica</i>	Bovins, chèvres	±	+	–	–	Cresson

Tableau 53.2 • Quelques agents de maladies importantes transmises par les aliments, avec leurs principales caractéristiques épidémiologiques (suite)

Agents	Réservoir ou vecteur important	Voie de transmission <sup>a</sup>			Multiplication dans la nourriture	Exemples d'aliments en cause
		Eau	Nourriture	Personne à personne		
<i>Opisthorchis viverrini/felinus</i>	Poissons d'eau douce	-	+	-	-	Poisson mal cuit ou cru
Espèces des <i>Paragonimus</i>	Crabes d'eau douce	-	+	-	-	Crabes mal cuits ou crus
<i>Taenia saginata</i> et <i>T. solium</i>	Bovins, porcs	-	+	-	-	Viande mal cuite
<i>Trichinella spiralis</i>	Porcs, carnivores	-	+	-	-	Viande mal cuite
<i>Trichuris trichiura</i>	Humains	0	+	-	-	Nourriture contaminée par la terre

<sup>a</sup> Presque toutes les infections entériques aiguës se transmettent plus facilement l'été ou pendant les mois humides, sauf les infections à rotavirus et à *Yersinia enterocolitica*, dont la transmission augmente pendant les mois froids. <sup>b</sup> Dans certains cas, on observe une multiplication, dont l'explication épidémiologique n'est pas claire. <sup>c</sup> La transmission directe de la femme enceinte au fœtus arrive fréquemment.

+ = oui; ± = rare; - = non; 0 = absence de données.

D'après OMS/FAO, 1984.

1990b). Toutefois, la contamination de la nourriture provient souvent de l'eau qui est utilisée pour l'irrigation et à des fins semblables.

### Les pays industriels

Si la situation concernant les maladies transmises par les aliments est très grave dans les pays en développement, le problème ne se limite pas à ces pays et, ces dernières années, les pays industriels ont connu une succession de grandes épidémies. Aux Etats-Unis, on estime à 6,5 millions le nombre de cas par an, et à 9 000 celui des décès, mais d'après l'Administration fédérale de contrôle des denrées alimentaires et des produits pharmaceutiques (Food and Drug Administration (FDA)), ces chiffres sont inférieurs à la réalité, laquelle pourrait atteindre 80 millions de cas (Cohen, 1987; Archer et Kvenberg, 1985; Young, 1987). Dans l'ex-Allemagne de l'Ouest, on est arrivé à 1 million de cas en 1989 (Grossklaus, 1990). Il est ressorti d'une étude effectuée aux Pays-Bas que 10% de la population pourraient être atteints de maladies transmises par les aliments ou l'eau (Hoogenboom-Vergedaal et coll., 1990).

Aujourd'hui, grâce à l'amélioration des conditions d'hygiène personnelle, au développement des installations sanitaires de base, au traitement de l'eau de consommation, à la création d'infrastructures convenables et à l'essor d'applications techniques, comme la pasteurisation, beaucoup de maladies d'origine alimentaire ont disparu ou ont très fortement reculé dans certains pays industriels (par exemple, la salmonellose du lait). En revanche, la plupart des pays connaissent aujourd'hui une forte poussée de plusieurs autres maladies du même ordre. Témoin de ce phénomène, l'évolution observée dans l'ex-Allemagne de l'Ouest entre 1946 et 1991 (voir figure 53.2) (Statistisches Bundesamt, 1994).

La salmonellose, notamment, a pris énormément d'ampleur en quelques années sur les deux côtés de l'Atlantique (Rodrigue, Tauxe et Rowe, 1990). Elle est fréquemment due à *Salmonella enteritidis*. La figure 53.3 montre la prolifération en Suisse de ce micro-organisme par rapport à d'autres souches de *Salmonella*. Dans de nombreux pays, la volaille, les œufs et les aliments à base d'œuf passent pour être les sources dominantes de ce pathogène. Dans certains pays, entre 60 et 100% de la viande de volaille sont contaminés par *Salmonella*; en outre la viande de boucherie, les cuisses de grenouille, le chocolat et le lait sont aussi mis en cause

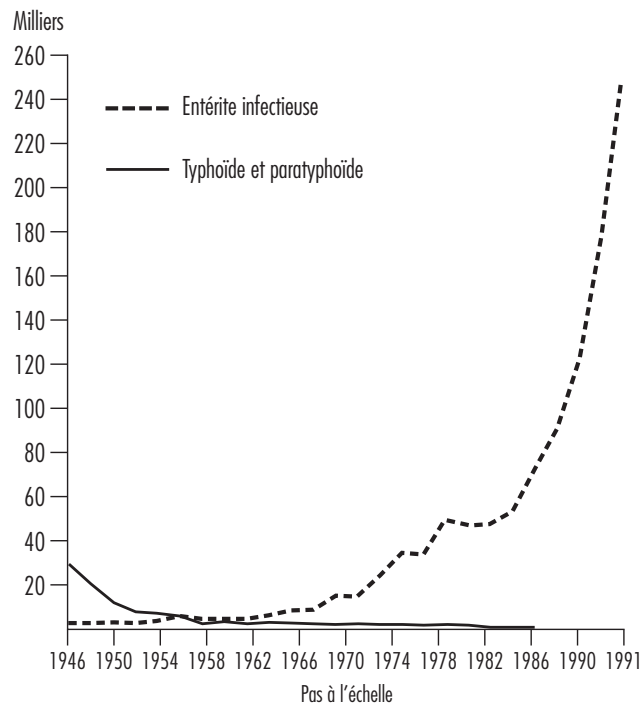
(Notermans, 1984; Roberts, 1990). En 1985, à Chicago, quelque 170 000 à 200 000 personnes ont été victimes d'une épidémie de salmonellose provoquée par du lait pasteurisé contaminé (Ryzan, 1987).

### Utilisation de produits chimiques et toxiques dans la nourriture

On fait énormément d'efforts aux niveaux national et international pour garantir la sécurité chimique des produits alimentaires. Deux comités mixtes de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'OMS évaluent depuis trente ans un grand nombre de produits chimiques à usage alimentaire. Le premier, le Comité mixte d'experts sur les additifs alimentaires (JECFA), s'intéresse aux additifs alimentaires, aux contaminants et aux résidus de médicaments vétérinaires, tandis que le second, la réunion conjointe FAO/OMS sur les résidus de pesticides (JMPR), contrôle les résidus de pesticides. Ils formulent des recommandations quant à la dose journalière admissible (DJA), à la limite maximale de résidu (LMR) et aux niveaux maximaux (NM). Sur la foi de ces recommandations, la Commission du Codex Alimentarius et les gouvernements fixent des normes et la teneur en ces substances à respecter dans la nourriture. Par ailleurs, le Programme de surveillance et d'évaluation de la contamination alimentaire (GEMS/Food), instauré conjointement par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), la FAO et l'OMS, apporte des informations sur les taux de contaminants dans les aliments et sur l'évolution de la contamination, ce qui permet de prendre des mesures de prévention et de contrôle.

Si les données en provenance de la plupart des pays en développement sont rares, des enquêtes effectuées dans les pays industriels laissent penser que, chimiquement parlant, les produits alimentaires sont dans l'ensemble sûrs grâce à l'importante infrastructure en place (lois et règlements, mécanismes d'application, systèmes de surveillance et de contrôle) et à la responsabilité générale assumée par l'industrie alimentaire dans son ensemble. Il arrive cependant que des aliments soient contaminés ou altérés par accident, ce qui peut avoir des conséquences graves pour la santé. C'est ainsi qu'en Espagne, en 1981-82, la consommation d'huile de cuisson frelatée a tué quelque 600 personnes et en a handicapé 20 000 autres, de façon temporaire ou permanente (OMS, 1984). En dépit des re-

Figure 53.2 • Entérite infectieuse, fièvre typhoïde et paratyphoïde (A, B et C), Allemagne



cherches intensives qui ont été menées, l'agent à l'origine de cette intoxication de masse n'a pas encore été mis en évidence.

#### Les substances chimiques présentes dans l'environnement

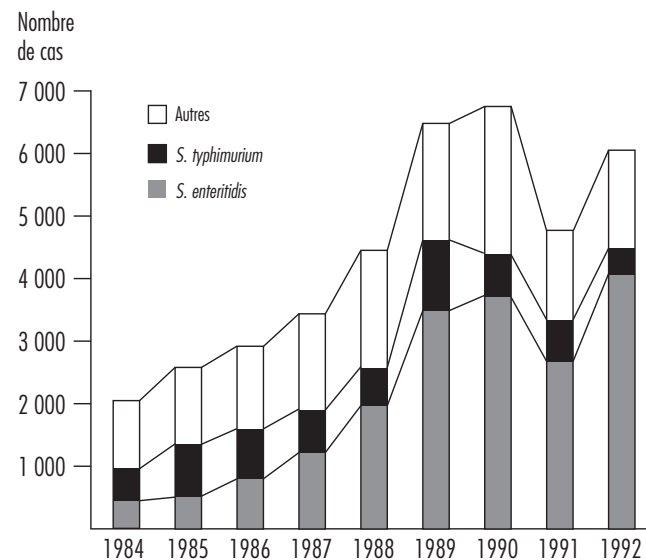
Plusieurs substances chimiques peuvent se retrouver dans la nourriture à cause d'une contamination de l'environnement. Elles peuvent avoir des effets extrêmement nocifs sur la santé et elles suscitent beaucoup d'inquiétude depuis quelques années.

Les conséquences s'avèrent sérieuses lorsque des aliments contaminés par des métaux lourds comme le plomb, le cadmium ou le mercure sont absorbés sur de longues périodes.

Après l'accident de Tchernobyl, on s'est beaucoup inquiété de la santé des personnes exposées aux émissions de radionucléides. Les habitants du voisinage ont été touchés, entre autres par les contaminants radioactifs contenus dans la nourriture et l'eau. Dans d'autres régions d'Europe et d'ailleurs, éloignées pourtant des lieux de l'accident, on s'est surtout préoccupé des risques présentés par les aliments contaminés. Dans la plupart des pays, on estime que la dose moyenne absorbée avec des aliments contaminés ne représente qu'une très faible fraction de la dose qui provient normalement du rayonnement de fond (AIEA, 1991).

D'autres produits chimiques présents dans l'environnement méritent d'être signalés: les biphényles polychlorés (BPC) qui servent à diverses applications industrielles. Les premières informations concernant leurs effets sur la santé humaine ont été recueillies à la suite de deux catastrophes survenues au Japon (1968) et à Taiwan, Chine (1979). On a appris à ces occasions que, en plus de leurs effets immédiats, les BPC peuvent aussi avoir des effets cancérigènes.

Le DDT a été abondamment utilisé entre 1940 et 1960 comme insecticide dans l'agriculture et pour la lutte contre des maladies transmises par un vecteur. Il fait aujourd'hui l'objet d'une interdiction ou d'une autorisation restreinte dans beaucoup de pays à

Figure 53.3 • Sérotypes de *Salmonella* en Suisse

Source: Office fédéral de la santé publique, 1990.

cause des dangers qu'il présente pour l'environnement. Dans de nombreux pays tropicaux, le DDT demeure très employé contre le paludisme. Il n'a encore été signalé aucun effet nocif attribuable à la présence de DDT dans la nourriture (PNUE, 1988).

#### Les mycotoxines

Les mycotoxines, métabolites toxiques de certains champignons microscopiques (moisissures), peuvent avoir des effets extrêmement préjudiciables sur l'être humain, ainsi que sur les animaux. Des études réalisées sur des animaux ont révélé que, en plus de provoquer une intoxication aiguë, les mycotoxines peuvent se transformer en agents cancérigènes, mutagènes et tératogènes.

#### Les biotoxines

L'intoxication par des biotoxines marines (aussi appelée ichtyotoxisme) est un autre sujet d'inquiétude. Citons, par exemple, l'intoxication ciguatérique et diverses formes d'intoxication par consommation de coquillages.

#### Les toxiques végétaux

Les toxiques contenus dans les végétaux comestibles et les végétaux vénéneux qui leur ressemblent (champignons et certaines plantes vertes sauvages) sont une importante cause de problèmes de santé dans de nombreuses régions du monde et compromettent gravement la sécurité alimentaire (OMS, 1990a).

## LA POLLUTION INDUSTRIELLE DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

Niu Shiru

Si l'industrialisation est un facteur essentiel de croissance économique dans les pays en développement, les pratiques industrielles peuvent aussi avoir des conséquences regrettables sur la santé environnementale à cause du rejet de polluants atmosphériques et aquatiques et du traitement des déchets dangereux. C'est sou-

vent le cas dans les pays en développement, qui prêtent moins attention à la protection de l'environnement, où les normes environnementales sont souvent inadéquates ou mal appliquées et où il n'existe pas encore de véritables techniques antipollution. Du fait de leur essor économique, beaucoup de pays en développement, comme la Chine et d'autres pays asiatiques, se heurtent à des problèmes écologiques supplémentaires. L'un d'eux est la pollution engendrée par des industries ou des technologies dangereuses exportées par des pays industriels, qui ne les jugent plus acceptables à cause de leurs retombées sur la santé au travail et en relation avec l'environnement, alors que les pays en développement les tolèrent encore en vertu de lois sur la protection de l'environnement plus laxistes. Un autre problème tient à la prolifération rapide de petites entreprises informelles dans les agglomérations et les régions rurales, qui provoque souvent une forte pollution de l'air et de l'eau à cause d'un manque de connaissances et de moyens financiers.

### La pollution atmosphérique

Dans les pays en développement, l'air est pollué non seulement par les produits que rejettent les cheminées des usines des grandes branches, comme celles des métaux non ferreux et des produits pétroliers, mais aussi par les émanations diffuses de petites entreprises — cimenteries, raffineries de plomb, fabriques d'engrais chimiques et de pesticides, etc. — qui suivent des mesures antipollution inadéquates et qui laissent des polluants s'échapper dans l'atmosphère.

Comme les activités industrielles s'accompagnent toujours d'une production d'énergie, la combustion de matières fossiles est une importante source de pollution atmosphérique dans les pays en développement, où l'on fait abondamment usage du charbon pour la consommation non seulement industrielle, mais aussi de celle des ménages. En Chine, par exemple, plus de 70% de la consommation totale d'énergie repose sur la combustion directe de charbon, qui libère de grandes quantités de polluants (particules en suspension, dioxyde de soufre, etc.) à cause d'une combustion incomplète et d'un contrôle insuffisant des émissions.

Les types de polluants rejetés dans l'atmosphère varient d'une industrie à l'autre et leurs concentrations varient elles aussi selon le procédé appliqué et en fonction de la géographie et du climat. Dans les pays en développement, comme ailleurs, il est difficile d'évaluer le degré d'exposition de la population générale. Si, globalement, le niveau d'exposition en milieu de travail est beaucoup plus élevé que dans l'environnement général où les émissions sont rapidement diluées et dispersées par le vent, en revanche la durée d'exposition est beaucoup plus longue pour la population générale que pour les travailleurs.

Dans l'ensemble, la population est plus exposée dans les pays en développement que dans les pays industriels qui prennent des mesures antipollution plus strictes et où les zones résidentielles sont pour la plupart éloignées des usines. Comme nous l'expliquons ailleurs dans ce chapitre, il ressort de nombreuses études épidémiologiques qu'une exposition prolongée aux polluants atmosphériques courants est étroitement liée à une baisse de la fonction pulmonaire et à une incidence accrue de maladies respiratoires chroniques.

Une étude de cas des effets de la pollution atmosphérique sur la santé de 480 élèves du primaire à Cubatão (Brésil), où des polluants mélangés en grandes quantités étaient émis par 23 usines (aciéries, établissements chimiques, cimenteries, fabriques d'engrais, etc.), a révélé que 55,3% des enfants présentaient une diminution de la fonction pulmonaire. Un autre exemple des effets de la pollution atmosphérique sur la santé nous est venu de la zone industrielle spéciale de Ulsan/Onsan (République de Corée), dans laquelle sont concentrées beaucoup de grandes usines (essentiellement des installations pétrochimiques et des raffineries de

métaux). Les habitants du secteur se plaignaient de divers problèmes de santé, notamment de troubles du système nerveux appelés «maladie de Onsan».

Les rejets accidentels de substances toxiques dans l'atmosphère qui présentent de sérieux risques pour la santé sont, dans l'ensemble, plus fréquents dans les pays en développement. Cela s'explique entre autres choses par des mesures de sécurité inadéquates, un manque de personnel technique qualifié pour entretenir les installations et des difficultés que pose l'approvisionnement en pièces de rechange. L'un des pires accidents de ce type s'est produit à Bhopal (Inde) en 1984, où une fuite de méthylisocyanate a tué 2 000 personnes.

### La pollution de l'eau et du sol

Les méthodes souvent inadéquates et inconsidérées par lesquelles on se débarrasse des déchets industriels — déversement irresponsable dans les cours d'eau, ou décharges non contrôlées, qui polluent souvent l'eau et le sol — sont une grave menace pour la santé environnementale et s'ajoutent à la pollution industrielle de l'air dans les pays en développement, notamment ceux qui comptent beaucoup de petites entreprises locales, comme la Chine. Certaines de ces petites usines (teinture des textiles, pâtes et papiers, tannage du cuir, électroplastie, fabriques de lampes fluorescentes ou d'accumulateurs au plomb, fonderies de métaux) produisent toujours d'importantes quantités de déchets renfermant des matières toxiques ou dangereuses, telles que le chrome, le mercure, le plomb ou le cyanure, qui peuvent polluer les rivières, les ruisseaux et les lacs, ainsi que les sols lorsqu'elles ne sont pas traitées. La pollution des sols, à son tour, peut contaminer les nappes phréatiques.

A Karachi, la rivière Lyan, qui traverse la ville, n'est plus qu'un égout à ciel ouvert dans lequel quelque 300 petites et grandes entreprises déversent leurs effluents industriels sans les avoir traités. La situation est comparable à Shanghai. Environ 3,4 millions de m<sup>3</sup> de déchets industriels et domestiques se retrouvent dans le ruisseau Suzhou et le fleuve Huangpu, qui passent au cœur de la ville. Fortement pollués, ces deux cours d'eau sont à peu près dépourvus de toute vie et, en plus, dégagent souvent des odeurs et sont repoussants à voir, ou même insupportables, pour les riverains.

Dans les pays en développement, la pollution de l'eau et du sol est aggravée par l'apport de déchets toxiques ou dangereux en provenance de pays industriels. Le transport de ces déchets vers des sites d'entreposage primitifs dans ces pays ne coûte qu'une infime partie de ce qu'il en coûterait pour les stocker en toute sécurité ou pour les incinérer dans leur pays d'origine en application des directives gouvernementales de ces pays. C'est ce qu'on observe entre autres en Thaïlande, au Nigéria ou en Guinée-Bissau. Les déchets toxiques contenus dans les cuves peuvent fuir et polluer l'air, l'eau et le sol, menaçant ainsi la santé des populations environnantes.

Les problèmes de santé environnementale étudiés dans ce chapitre ont donc tendance à toucher les pays en développement avec encore plus d'acuité.

## LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT ET LA POLLUTION

*Tee L. Guidotti*

Le problème de la pollution industrielle est plus compliqué dans les pays en développement que dans les pays industriels. Les obstacles structurels à la prévention et à l'élimination de la pollution y sont plus importants. Ces obstacles sont surtout d'ordre

économique parce que les pays en développement ne possèdent pas les ressources nécessaires pour lutter contre la pollution autant que le font les pays développés. Par contre, la pollution peut coûter très cher à une société en développement en termes de santé, de déchets, de détérioration du milieu, de dégradation de la qualité de vie et des moyens qu'il faudra consacrer à l'assainissement des sites. Pour prendre un exemple extrême, pensons à l'avenir des enfants exposés aux émanations de plomb dans certaines mégapoles de pays qui utilisent encore l'essence au plomb, ou qui vivent au voisinage de fonderies. On a mis en évidence chez certains de ces enfants des taux de plombémie suffisamment élevés pour compromettre leurs facultés intellectuelles et cognitives.

Comparativement aux pays industriels, les entreprises des pays en développement manquent en général de capitaux et, lorsqu'elles peuvent investir, elles le font d'abord dans l'équipement et dans les moyens de production. Les capitaux consacrés à la lutte antipollution sont jugés «improductifs» par les économistes parce qu'ils ne conduisent pas à une augmentation de la production ni du rendement. Mais la réalité n'est pas aussi simple. Il se peut que l'argent investi dans la lutte contre la pollution ne rapporte apparemment rien de manière directe à l'entreprise ou à la branche, mais cela ne veut pas dire pour autant qu'il n'a aucun rendement. Dans de nombreux cas, par exemple une raffinerie de pétrole, la lutte contre la pollution permet aussi de réduire les déperditions et de gagner en efficacité, ce qui profite directement à l'entreprise. Quand la population sait se faire entendre, une entreprise a tout avantage à entretenir de bonnes relations avec elle et peut avoir intérêt à faire un effort pour diminuer la pollution. Malheureusement, la structure sociale existant dans beaucoup de pays en développement ne le permet pas parce que les gens les plus touchés par la pollution appartiennent souvent aux classes démunies et marginalisées de la société.

La pollution peut nuire à l'environnement et à la société dans son ensemble, mais ce préjudice est «externalisé» et ne porte pas vraiment atteinte à l'entreprise, du moins financièrement. En effet, le coût de la pollution tend à être supporté par l'ensemble de la société, et épargné à l'entreprise. On s'en aperçoit surtout lorsque l'industrie est vitale pour l'économie locale ou pour les priorités nationales et que l'on fait preuve d'une grande tolérance à l'égard des dommages qu'elle provoque. Une solution serait «d'internaliser» le préjudice en intégrant, sous forme de taxe ajoutée aux charges d'exploitation de l'entreprise, les frais d'assainissement ou le coût estimatif des dommages subis par l'environnement. On inciterait ainsi l'entreprise à limiter ses dépenses en diminuant la pollution. Cependant, dans les pays en développement, presque aucun gouvernement n'est en mesure d'agir en ce sens ni de prélever de telles taxes.

Dans la pratique, sauf lorsque la réglementation de l'État l'impose, on trouve rarement des capitaux à investir dans des équipements antipollution. Or, les États prennent rarement des mesures pour réglementer l'industrie, à moins que des raisons majeures et la pression de leurs citoyens ne les y contraignent. Dans la plupart des pays industriels, les gens jouissent d'une sécurité raisonnable quant à leur santé et à leur vie courante et ils attendent une meilleure qualité de vie, ce qu'ils associent à un environnement plus sain. Parce qu'elles sont économiquement plus stables, ces populations sont plus disposées à accepter un sacrifice financier pour assainir leur environnement. Toutefois, pour être compétitifs sur les marchés mondiaux, beaucoup de pays en développement hésitent à réglementer leurs industries. Ils espèrent en fait que la croissance industrielle d'aujourd'hui finira par enrichir suffisamment la société pour que l'on puisse nettoyer la pollution demain. Malheureusement, le coût du nettoyage augmente aussi vite, sinon plus, que les coûts liés au développement industriel. Au premier stade de leur industrialisation, les pays en

développement ne devraient avoir à consacrer que des sommes relativement faibles à la prévention de la pollution, mais ils n'ont presque jamais les capitaux nécessaires pour cela. Lorsqu'ils les ont, plus tard, les coûts sont souvent exorbitants et le mal est déjà fait.

L'industrie des pays en développement est généralement moins efficace que celle des pays industriels. C'est là un défaut chronique, qui tient au manque de formation des ressources humaines, au coût des équipements et des technologies importés et au gaspillage inévitable qui se produit quand certains secteurs de l'économie sont plus développés que d'autres.

Cette inefficacité tient aussi, dans une certaine mesure, à la nécessité de s'en remettre à des technologies dépassées qui sont faciles à obtenir, n'exigent pas de licence coûteuse ou dont l'utilisation revient moins cher. Ces technologies polluent souvent davantage que les technologies de pointe accessibles aux entreprises des pays développés. Prenons l'exemple de l'industrie du froid, où l'utilisation des chlorofluorocarbures (CFC) comme réfrigérants est beaucoup plus économique que les autres techniques, bien que ces produits chimiques contribuent fortement à l'appauvrissement de la couche d'ozone dans la haute atmosphère et, partant, à l'érosion du bouclier qui protège la terre contre les rayonnements ultraviolets; certains pays ont été très réticents à une interdiction des CFC parce qu'il leur aurait été alors financièrement impossible de fabriquer et d'acheter des réfrigérateurs. Le transfert de technologie est manifestement la solution, mais les entreprises des pays développés qui ont mis au point ces technologies, ou qui en détiennent la licence, hésitent naturellement à les faire partager. Ils hésitent parce qu'ils ont consacré leurs propres ressources à l'élaboration de ces technologies, qu'ils désirent en conserver la maîtrise pour maintenir l'avantage qu'ils possèdent sur leurs propres marchés et que l'usage ou la vente de ces technologies risque de ne leur rapporter de l'argent que pendant la durée limitée du brevet.

Les pays en développement se heurtent à un autre problème: le manque de compétences et de connaissances quant aux effets de la pollution, aux méthodes de surveillance et aux techniques antipollution. Ils comptent relativement peu d'experts dans le domaine, en partie parce que le nombre d'emplois est limité et parce qu'il existe pour leurs services un marché restreint, même si, en réalité, les besoins sont importants. Comme le marché des équipements et des services de lutte contre la pollution s'annonce réduit, il leur arrive de devoir importer ces compétences et ces techniques, ce qui ajoute aux coûts. De façon générale, il se peut que les cadres moyens et supérieurs de l'industrie n'aient pas conscience du problème ou qu'ils n'en soient qu'en partie conscients. Et quand bien même un ingénieur, un directeur ou un contremaître d'une entreprise sauraient pertinemment qu'une activité est polluante, ils peuvent éprouver de la difficulté à persuader leurs collègues, leurs supérieurs ou les propriétaires de l'entreprise qu'un problème se pose, qui doit être résolu.

L'industrie de la plupart des pays en développement se situe au bas de l'échelle des marchés internationaux, ce qui signifie que ses produits sont compétitifs sur le plan du prix mais pas sur celui de la qualité ou de l'originalité. Peu de pays en développement, par exemple, se spécialisent dans la production d'acier de qualité supérieure pour la fabrication d'instruments chirurgicaux et de machines haut de gamme. Ils produisent de l'acier de moindre qualité pour le bâtiment et le secteur manufacturier, car le marché est beaucoup plus vaste, les compétences techniques nécessaires sont moins poussées et leurs prix demeurent compétitifs tant que la qualité demeure acceptable. La lutte contre la pollution rend les prix moins compétitifs en accroissant les coûts de production apparents sans augmenter ni le volume de la production, ni le chiffre d'affaires. Le principal enjeu des pays en développement est de trouver un équilibre entre cette réalité économique et le

besoin de protéger leur population, leur environnement et leur avenir, en sachant que, à terme, les coûts seront encore supérieurs et que les dommages risquent d'être irréversibles.

## ● LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Isabelle Romieu

La pollution atmosphérique s'aggrave régulièrement depuis les origines de la révolution industrielle, il y a 300 ans. Quatre facteurs principaux expliquent cette aggravation: une industrialisation croissante; une augmentation des transports; un développement économique rapide et une plus forte consommation d'énergie. D'après les informations disponibles, les limites fixées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour les polluants atmosphériques dominants sont régulièrement dépassées dans beaucoup de grands centres urbains. Bien que ces vingt dernières années de nombreux pays industriels aient progressé dans la lutte contre la pollution atmosphérique, la qualité de l'air — notamment dans les grandes agglomérations du monde en développement — se dégrade. On a tout lieu de se préoccuper, en particulier, des incidences des polluants atmosphériques ambiants sur la santé dans beaucoup de zones urbaines où les concentrations sont suffisantes pour augmenter les taux de mortalité et de morbidité, donner lieu à des déficits de la fonction pulmonaire et engendrer des troubles cardio-vasculaires et neurologiques (Romieu, Weitzenfeld et Finkelman, 1990; OMS/PNUE, 1992). La pollution de l'air intérieur due à la combustion de divers produits dans les ménages constitue aussi un fléau dans les pays en développement (OMS, 1992c); elle n'entre toutefois pas dans le cadre de cette analyse, qui traite uniquement des sources de la pollution de l'air extérieur, de sa dispersion et de ses effets sur la santé, et qui comprend une étude de cas sur la situation au Mexique.

### La source des polluants atmosphériques

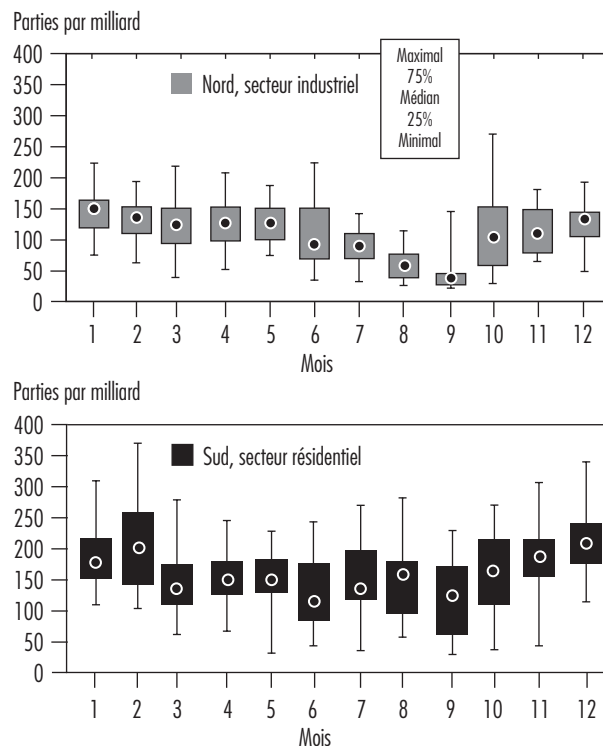
Les polluants atmosphériques les plus répandus dans les villes sont le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), les particules en suspension, les oxydes d'azote ( $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$ , regroupés sous le terme  $\text{NO}_x$ ), l'ozone ( $\text{O}_3$ ), le monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ ) et le plomb ( $\text{Pb}$ ). La combustion de carburants fossiles dans des installations fixes entraîne la production de  $\text{SO}_2$ , de  $\text{NO}_x$  et de particules, y compris la formation

Tableau 53.3 • Principales sources de polluants de l'air extérieur

Polluants	Sources
Oxydes de soufre	Combustion de charbon et de pétrole, fonderies
Particules en suspension	Produits de combustion (carburant, biomasse), fumée du tabac
Oxydes d'azote	Combustion de pétrole et de gaz
Monoxyde de carbone	Combustion incomplète de pétrole et de gaz
Ozone	Réaction photochimique
Plomb	Combustion de pétrole et de charbon, production de piles, câbles, produits de soudure, peintures
Substances organiques	Solvants pétrochimiques, vaporisation de combustibles non brûlés

Source: d'après PNUE, 1991b.

Figure 53.4 • Niveau d'ozone dans deux zones de Mexico. Maximum quotidien en une heure, par mois, 1994



d'aérosols de sulfates et de nitrates dans l'atmosphère du fait de la transformation du gaz en particules. Les véhicules à essence sont la principale source de  $\text{NO}_x$ , de  $\text{CO}$  et de  $\text{Pb}$ , alors que les moteurs diesel dégagent d'importantes quantités de particules, de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{NO}_x$ . L'ozone, oxydant photochimique et principal composant du smog photochimique, ne provient pas directement de matières en combustion, mais se forme dans la basse atmosphère par le contact de  $\text{NO}_x$  et de composés organiques volatils (COV) avec la lumière du soleil (PNUE, 1991b). Le tableau 53.3 résume les principales sources de polluants de l'air extérieur.

### La dispersion et le transport des polluants atmosphériques

Les deux principaux facteurs de la dispersion et du transport des polluants atmosphériques sont la météorologie (y compris les phénomènes de microclimats tels que les «lots de chaleur») et la topographie, en rapport avec la répartition de la population. Beaucoup de villes sont entourées de collines qui peuvent empêcher le passage du vent et bloquer les polluants sur place. Sous des climats tempérés et froids, les inversions thermiques contribuent à la concentration de particules. Dans des conditions de dispersion normales, les gaz polluants chauds prennent de l'altitude à mesure qu'ils entrent en contact avec des masses d'air plus froides. Dans certains cas, il arrive cependant que la température augmente avec l'altitude et qu'une couche d'inversion se forme, enfermant ainsi les polluants près de leur point d'émission et en retardant la diffusion. Le transport sur de longues distances de polluants atmosphériques dégagés par les métropoles peut avoir des incidences nationales et régionales. Les oxydes d'azote et de soufre peuvent faciliter la formation de dépôts acides loin du point d'origine. On relève fréquemment de plus fortes concentrations d'ozone

Tableau 53.4 • Synthèse de la relation dose-effet d'une exposition de courte durée à des particules inhalables (PM<sub>10</sub>) selon différents indicateurs des effets sur la santé

Effets sur la santé	Pourcentage de variation pour une augmentation de 10 µg/m <sup>3</sup> de PM <sub>10</sub>	
	Moyenne	Fourchette
<i>Mortalité</i>		
Total	1,0	0,5-1,5
Troubles cardio-vasculaires	1,4	0,8-1,8
Troubles respiratoires	3,4	1,5-3,7
<i>Morbidité</i>		
Admissions à l'hôpital pour un problème respiratoire	1,1	0,8-3,4
Admissions aux urgences pour un problème respiratoire	1,0	0,5-4
Exacerbation des symptômes chez les asthmatiques	3,0	1,1-11,5
Variation du débit respiratoire maximum	0,08	0,04-0,25

en aval des régions urbaines à cause du décalage dû à la durée des réactions photochimiques (PNUE, 1991b).

### Les effets des polluants atmosphériques sur la santé

Les polluants et leurs dérivés peuvent avoir des effets nocifs en altérant, par leur interaction, des molécules essentielles aux processus biochimiques ou physiologiques du corps humain. Trois facteurs agissent sur le degré de toxicité de ces substances: leurs propriétés chimiques et physiques, la dose de polluant qui atteint les zones tissulaires clés et la réaction de ces tissus au polluant. Les conséquences des polluants atmosphériques sur la santé peuvent aussi varier selon les groupes démographiques; les jeunes et les personnes âgées, en particulier, sont souvent sensibles à leurs effets délétères. Les personnes ayant déjà de l'asthme ou une autre affection respiratoire ou cardiaque peuvent, si elles y sont exposées, connaître une aggravation de leurs symptômes (OMS, 1987).

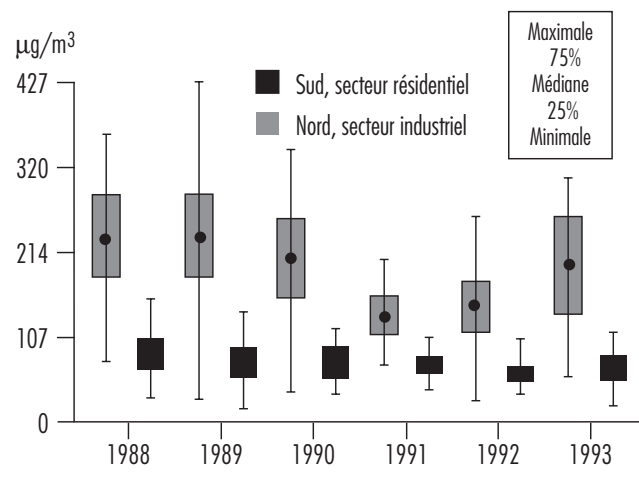
### Le dioxyde de soufre et les particules

Durant la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, des phases de stagnation marquée de l'air ont provoqué une forte mortalité dans les régions où la combustion de combustibles fossiles produisait d'importantes quantités de SO<sub>2</sub> et de particules en suspension. Des études sur leurs effets à long terme sur la santé ont aussi révélé l'existence d'un lien entre les concentrations moyennes annuelles de SO<sub>2</sub> et de particules et les taux de mortalité et de morbidité. Des études épidémiologiques ont montré que certains niveaux de particules inhalables (PM<sub>10</sub>) à des concentrations relativement faibles (ne dépassant pas la norme) sont nuisibles à la santé, ainsi que l'existence d'une relation dose-effet entre la dose de PM<sub>10</sub> absorbée et les taux de mortalité et de morbidité en rapport avec des problèmes respiratoires (Dockery et Pope, 1994; Pope, Bates et Raizenne, 1995; Bascom et coll., 1996) (voir tableau 53.4).

### Les oxydes d'azote

Il est ressorti d'études épidémiologiques que l'absorption de NO<sub>2</sub> est nocive, notamment parce qu'elle augmente l'incidence et la

Figure 53.5 • Quantité de particules (PM<sub>10</sub>) présente dans deux zones de Mexico, 1988-1993



gravité des infections respiratoires et aggrave les symptômes respiratoires, surtout après une longue exposition. On a aussi observé une dégradation de l'état clinique de personnes sujettes à l'asthme, à la bronchopneumopathie chronique obstructive et à d'autres infections respiratoires chroniques. Toutefois, d'autres chercheurs n'ont remarqué aucun effet contraire du NO<sub>2</sub> sur les fonctions respiratoires (OMS/ECOTOX, 1992; Bascom et coll., 1996).

### Les oxydants photochimiques et l'ozone

Les effets sur la santé d'une exposition à des oxydants photochimiques ne peuvent être attribués aux seuls oxydants, car le smog photochimique se compose toujours de O<sub>3</sub>, de NO<sub>2</sub>, d'acide, de sulfate et d'autres réactifs. Ces polluants peuvent avoir des effets

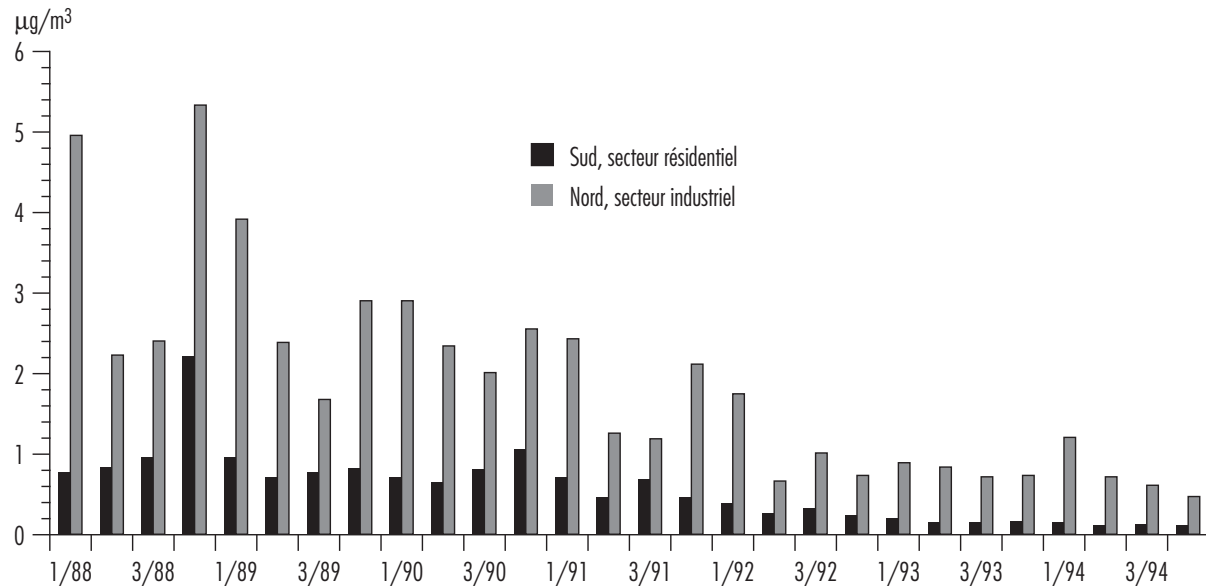
Tableau 53.5 • Problèmes de santé liés aux variations quotidiennes de la concentration maximale d'ozone dans l'air ambiant selon diverses études épidémiologiques

Problème de santé	Variations du 1-h O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Variations du 8-h O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Exacerbation des symptômes chez des enfants et des adultes en bonne santé ou des asthmatiques ayant une activité normale		
Augmentation de 25%	200	100
Augmentation de 50%	400	200
Augmentation de 100%	800	300
Admissions à l'hôpital pour des problèmes respiratoires <sup>a</sup>		
5%	30	25
10%	60	50
20%	120	100

<sup>a</sup> Etant donné la forte corrélation existant entre les concentrations de 1-h O<sub>3</sub> et de 8-h O<sub>3</sub> selon des études sur le terrain, on devrait obtenir une amélioration presque identique en diminuant les taux de 1-h O<sub>3</sub> ou de 8-h O<sub>3</sub>.

Source: OMS, 1995.

Figure 53.6 • Teneur en plomb dans l'air de deux zones de Mexico, 1988-1994



additifs ou synergiques sur la santé humaine, mais le O<sub>3</sub> s'avère le plus actif biologiquement. Une exposition à l'ozone peut causer

#### Etude de cas: la pollution atmosphérique à Mexico

La zone métropolitaine de Mexico (ZMM) est située à une altitude moyenne de 2 240 m dans un bassin de 2 500 km<sup>2</sup> entouré de montagnes dont deux dépassent 5 000 m. Sa population était estimée à 17 millions d'habitants en 1990. A cause de sa géographie particulière et de la faiblesse des vents, la ventilation est insuffisante et on observe de fréquentes inversions thermiques, surtout en hiver. Les 30 000 entreprises et plus que compte la ZMM et les 3 millions de véhicules à moteur qui y circulent quotidiennement comptent pour 44% de la consommation d'énergie totale. Depuis 1986, la pollution atmosphérique est contrôlée, y compris la présence de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, particules et hydrocarbures autres que le méthane. Les principaux problèmes de pollution atmosphérique sont liés à l'ozone, surtout dans le sud-ouest de la ville (Romieu, Weitzenfeld et Finkelman, 1990). En 1992, la norme nationale fixée pour l'ozone (110 parties par milliard (ppm) par heure au maximum) a été dépassée dans ce secteur durant plus de 1 000 heures et on a atteint un maximum de 400 ppm. Les taux de particules sont élevés dans la partie nord-est de la ville, près de la zone industrielle. En 1992, la moyenne annuelle de particules inhalables (PM<sub>10</sub>) s'est établie à 140 µg/m<sup>3</sup>. Depuis 1990, le gouvernement a pris des mesures importantes pour réduire la pollution atmosphérique, dont un programme qui interdit l'utilisation des voitures un jour par semaine en fonction du numéro de plaque minéralogique, ainsi que la fermeture de l'une des raffineries les plus polluantes de Mexico et la mise sur le marché d'essence sans plomb. Ces mesures ont entraîné une baisse de la quantité de divers polluants atmosphériques, notamment du SO<sub>2</sub>, des particules, du NO<sub>2</sub>, du CO et du plomb. En revanche, la teneur en ozone demeure inquiétante (voir figures 53.4, 53.5 et 53.6).

une diminution de la fonction pulmonaire (dont une augmentation de la résistance des voies aériennes, une baisse du débit respiratoire et une diminution du volume pulmonaire) à cause d'une constriction des voies aériennes, des symptômes respiratoires (toux, respiration sifflante, essoufflement, douleurs thoraciques), une irritation des yeux, du nez et de la gorge et une perturbation de l'activité (baisse des performances sportives, par exemple) due à une réduction de l'apport d'oxygène (OMS/ECOTOX, 1992). Le tableau 53.5 résume les effets les plus graves de l'ozone sur la santé (OMS, 1992a, 1995). D'après plusieurs études épidémiologiques, il existe un rapport de cause à effet entre, d'une part, la dose d'ozone absorbée et, d'autre part, la gravité des symptômes respiratoires et la détérioration des fonctions respiratoires (Bascom et coll., 1996).

#### Le monoxyde de carbone

L'absorption de CO a pour principal effet de freiner l'alimentation des tissus en oxygène par la formation de carboxyhémoglobine (COHb). Quand la teneur du sang en COHb augmente, on peut observer les effets suivants: troubles cardio-vasculaires chez les sujets faisant déjà de l'angine de poitrine (de 3 à 5%); baisse de la vigilance (>5%); céphalées et étourdissements (≥10%); fibrinolyse et mort (OMS, 1987).

#### Le plomb

Une exposition au plomb perturbe principalement la biosynthèse du sang, mais peut aussi agir sur le système nerveux et d'autres systèmes tel le système cardio-vasculaire (tension artérielle). Les nouveau-nés et les enfants de moins de cinq ans sont particulièrement exposés, car il suffit d'un niveau de plombémie d'environ 10 µg de plomb par décilitre de sang pour perturber leur développement neurologique (CDC, 1991).

Plusieurs études épidémiologiques traitent de l'effet de la pollution atmosphérique, en particulier de l'absorption d'ozone, sur la santé des habitants de Mexico. Des études écologiques font apparaître une hausse de la mortalité due à un contact avec des particules fines (Borja-Arburto et coll., 1995) et une augmentation du nombre d'enfants asthmatiques reçus aux urgences (Romieu et

coll., 1994). Des études sur les retombées d'une exposition à l'ozone parmi des enfants en bonne santé révèlent une augmentation de l'absentéisme scolaire attribuable à des troubles respiratoires (Romieu et coll., 1992), et une diminution de la fonction pulmonaire après une exposition aiguë ou subaiguë (Castillejos et coll., 1992, 1995). Des enquêtes réalisées auprès d'enfants asthmatiques ont révélé une multiplication des symptômes respiratoires et une baisse du débit expiratoire de pointe après une exposition à l'ozone (Romieu et coll., 1994) et à des particules fines. Bien qu'une exposition aiguë à l'ozone et à des particules puisse à l'évidence être associée à des problèmes de santé vécus par la population de Mexico, il importe d'évaluer les effets chroniques d'une telle exposition, notamment compte tenu des taux élevés d'oxydants photochimiques relevés à Mexico et de l'inefficacité des mesures de prévention.

## ● LA POLLUTION TERRESTRE

*Teo L. Guidotti et Weiping Chen*

La quantité de déchets produite par l'être humain est en augmentation. Les déchets solides commerciaux et domestiques posent fréquemment un important problème pratique aux autorités locales. Les déchets industriels sont habituellement beaucoup moins volumineux, mais davantage susceptibles de renfermer des matières dangereuses, telles que produits chimiques toxiques, liquides inflammables et amiante. Bien qu'ils soient moins importants en quantité, leur traitement suscite plus d'inquiétudes que celui des déchets domestiques à cause des problèmes de santé à craindre et des risques de contamination de l'environnement.

La production de déchets dangereux est devenue un problème majeur partout dans le monde. La cause première en est la fabrication et la distribution industrielles. Il y a une pollution terrestre lorsque des déchets dangereux contaminent le sol et les eaux souterraines à cause de mesures de traitement inadéquates ou irresponsables. L'existence de décharges à l'abandon ou mal tenues pose un problème de société particulièrement délicat et coûteux. Les déchets dangereux sont parfois éliminés dans l'illégalité et d'une façon d'autant plus dangereuse que leur propriétaire ne peut trouver un moyen économique de s'en débarrasser. L'un des principaux dilemmes à résoudre en matière de gestion des déchets dangereux est de trouver des méthodes de destruction qui soient à la fois sûres et peu coûteuses. Les préoccupations exprimées par le public concernent essentiellement les risques pour la santé d'une exposition à des substances chimiques toxiques et, notamment, les risques de cancer.

La convention de Bâle signée en 1989 est un accord international qui a pour objectif de limiter les mouvements transfrontières de déchets dangereux et d'empêcher que ces derniers ne soient expédiés vers des pays dépourvus d'installations aptes à les traiter en toute sécurité. Elle prévoit que la production de tels déchets dans le monde et leur transport transfrontalier doivent être limités au minimum. La circulation de déchets dangereux est assujettie à l'obtention de l'autorisation du pays destinataire et à sa législation, auquel on aura fourni les renseignements requis. Les mouvements transfrontières de déchets dangereux doivent se faire dans le respect de l'environnement et sous réserve que le pays d'accueil ait garanti qu'il peut les traiter d'une manière sûre. Tous les autres mouvements de déchets dangereux sont jugés illégaux et, donc, avec intention criminelle, ils sont passibles des lois et sanctions nationales. Cette convention apporte un cadre capital pour lutter contre ce problème à l'échelle internationale.

### Les dangers attribués aux produits chimiques

On entend par substances dangereuses des composés et des mélanges qui présentent une menace pour la santé et les biens due à leur toxicité, leur inflammabilité, leur explosibilité, leur rayonnement ou à d'autres propriétés. L'attention du public se porte plutôt sur les substances cancérigènes, les déchets industriels, les pesticides et les rayonnements. D'innombrables composés qui n'entrent pas dans ces catégories peuvent toutefois constituer une menace pour la sécurité et la santé de la population.

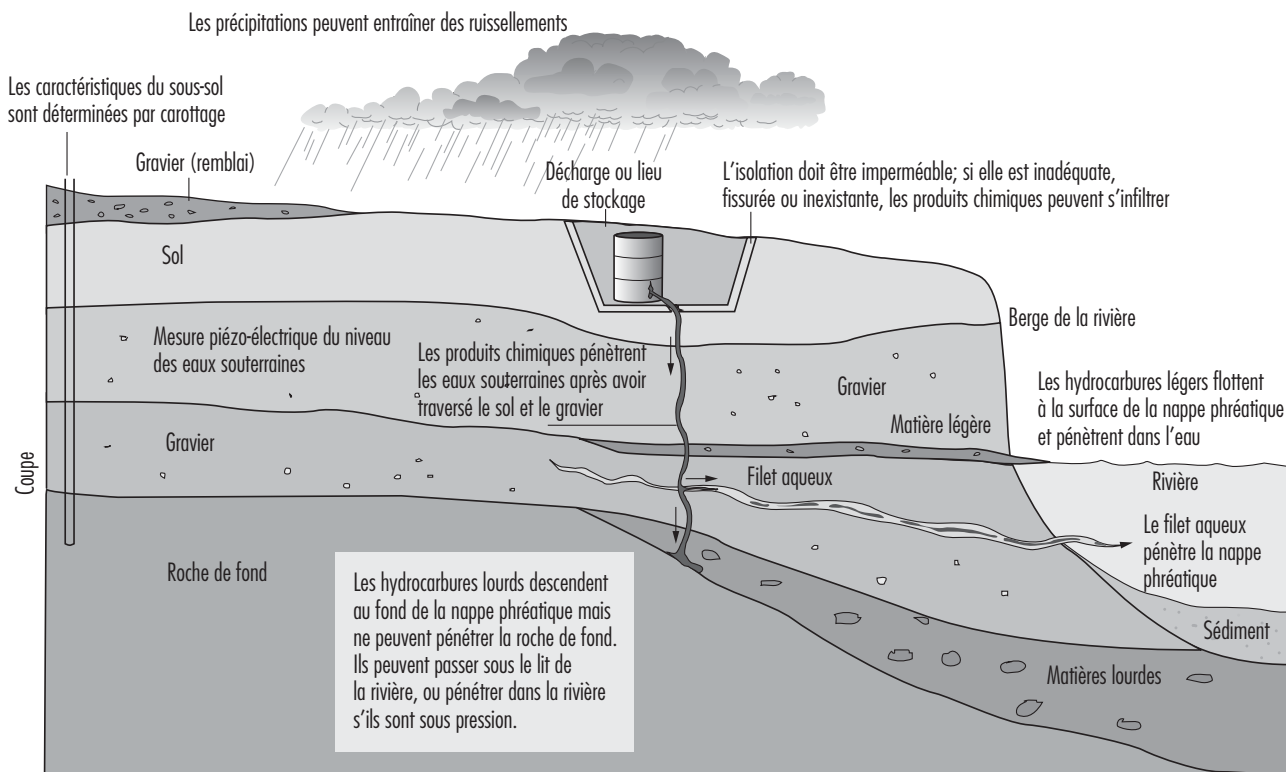
Les produits chimiques dangereux peuvent présenter des risques physiques, surtout lors du transport ou d'accidents industriels. Les hydrocarbures peuvent s'enflammer, voire exploser. Les incendies et les explosions peuvent générer leurs propres effets toxiques en fonction des produits chimiques présents à l'origine. Les incendies qui surviennent dans des entrepôts de pesticides donnent lieu à des situations particulièrement dangereuses, car les pesticides peuvent se transformer par leur combustion en produits encore plus toxiques (comme les paraoxones dans le cas des organophosphates) et peuvent libérer d'importantes quantités de dioxines et de furannes nocifs pour l'environnement lorsqu'ils brûlent en présence de composés du chlore.

En ce qui concerne les déchets dangereux, c'est leur toxicité qui inquiète le plus les populations. Des produits chimiques peuvent être toxiques pour l'être humain, mais aussi porter atteinte à l'environnement par leur toxicité pour certaines espèces animales et végétales. Ceux qui ne se dégradent pas rapidement dans le milieu ambiant (que l'on qualifie de *biopersistants*) ou qui s'y accumulent (on parle de *bioaccumulation*) méritent une attention particulière.

Le nombre de substances toxiques d'usage courant et les risques qu'elles présentent ont énormément évolué. Au cours de la dernière génération, les activités de recherche et de développement en chimie organique et en génie chimique ont donné naissance à des milliers de nouveaux composés largement employés à des fins commerciales, dont des composés rémanents comme les biphényles polychlorés (BPC), des pesticides plus puissants, des accélérateurs et des plastifiants aux effets inhabituels et mal compris. La production de produits chimiques est en très forte hausse. Rien qu'aux États-Unis, par exemple, la production de composés organiques synthétiques était inférieure à 1 million de tonnes en 1941. Aujourd'hui, elle dépasse largement les 80 millions. Beaucoup de composés aujourd'hui répandus ont subi peu de tests et sont mal connus.

Les produits chimiques toxiques sont aussi beaucoup plus présents dans notre vie quotidienne que par le passé. Nombre d'usines chimiques ou de décharges autrefois isolées ou en bordure d'une ville ont été absorbées par la croissance des banlieues. Les populations se trouvent ainsi plus près des sources de problème que naguère. Certains quartiers sont construits directement sur d'anciennes décharges. Si les incidents liés à des substances dangereuses peuvent prendre de nombreuses formes et se révéler très spécifiques, il semble que la majorité d'entre eux soit attribuable à un éventail relativement restreint de substances dangereuses: solvants, peintures et enduits, solutions métalliques, biphényles polychlorés (BPC), pesticides, acides et bases. Selon des études menées aux États-Unis, les dix substances dangereuses les plus courantes que l'on a trouvées dans des décharges ayant nécessité une intervention des pouvoirs publics sont les suivantes: plomb, arsenic, mercure, chlorure de vinyle, benzène, cadmium, BPC, chloroforme, benzo[a]pyrène et trichloroéthylène. Cependant, le chrome, le tétrachloroéthylène, le toluène et le phtalate de di(2-éthylhexyle) étaient aussi très présents parmi les substances dont on a pu voir qu'elles migraient ou qu'elles pouvaient atteindre des êtres humains. L'origine de ces déchets chimiques est extrêmement variable et dépend de la situation locale, mais les solutions électrolytiques, les produits chimiques mis au rebut, les sous-pro-

Figure 53.7 • Coupe transversale d'une décharge fictive de déchets dangereux



duits des industries manufacturières et les solvants constituent le plus gros des déchets.

### La contamination des eaux souterraines

La figure 53.7 illustre les problèmes qui peuvent se poser et représente la coupe d'une décharge de déchets dangereux fictive (dans la pratique, un site de ce type ne doit jamais se trouver près d'un plan d'eau ni au-dessus d'un banc de graviers). Une installation d'élimination (de confinement) de déchets dangereux bien conçue est isolée par une enveloppe parfaitement étanche qui empêche les substances chimiques de s'échapper dans le sol. Elle est aussi munie de dispositifs pour traiter les produits chimiques qui peuvent être neutralisés ou transformés et pour réduire le volume de déchets qu'elle accueille; les produits chimiques qui ne peuvent être traités sont conservés dans des conteneurs imperméables (la perméabilité, cependant, est relative, comme nous l'expliquons ci-dessous).

Des produits chimiques peuvent fuir si un conteneur est endommagé, filtrer si de l'eau y pénètre, ou déborder pendant des manutentions ou en cas de bouleversement du site. Une fois qu'ils ont traversé l'enveloppe de protection, ou bien si l'enveloppe est déchirée ou inexistante, ils entrent dans le sol et s'y infiltrent sous l'effet de la pesanteur. Leur déplacement est beaucoup plus rapide en terrain poreux qu'en terrain argileux ou lorsqu'ils atteignent un substrat rocheux. Même dans le sous-sol, l'eau suit une pente descendante et passe par les endroits qui offrent le moins de résistance; le niveau de l'eau souterraine s'abaissera donc légèrement dans le sens du flux et celui-ci s'accélérera nettement dans le sable ou le gravier. Les produits chimiques finiront par atteindre la nappe phréatique. Les plus légers tendent à flotter et à former une pellicule en surface. Les plus lourds et les composés solubles dans l'eau tendent à se dissoudre ou sont entraînés lentement par

l'eau à travers les roches poreuses ou le gravier. Il est possible de dresser un plan du passage de matières liquides contaminées au moyen de puits ou de sondes. Le passage grossit peu à peu et se déplace dans le sens de l'écoulement souterrain.

Les eaux de surface peuvent être contaminées par des écoulements de la décharge, si la couche superficielle du sol est touchée, ou par les eaux souterraines. Lorsque ces dernières se déversent dans une masse d'eau, par exemple une rivière ou un lac, les polluants y pénètrent du même coup. Certains produits chimiques tendent à se déposer dans les sédiments de fond et d'autres sont entraînés par le courant.

La contamination des eaux souterraines peut prendre des siècles à disparaître. Lorsque des habitants de la région s'approvisionnent en eau dans des puits peu profonds, ils risquent d'être contaminés par ingestion et par contact cutané.

### Les risques pour la santé humaine

Les gens peuvent se trouver en présence de substances toxiques de toutes sortes de façons. L'exposition à une substance toxique peut se produire à plusieurs stades de son utilisation. Des travailleurs amenés à toucher des déchets industriels négligent de changer de vêtements ou de se laver avant de rentrer chez eux. D'autres, qui habitent près d'une décharge de déchets dangereux illégale, mal conçue ou mal exploitée, peuvent être exposés à la suite d'un accident ou d'une manipulation imprudente, ou faute de moyens de rétention ou de barrières pour tenir les enfants à l'écart. Un individu peut être exposé à son domicile parce qu'il ingère un produit mal étiqueté, stocké dans de mauvaises conditions ou malencontreusement laissé à la portée des enfants alors que son emballage ne répond pas aux normes de sécurité.

On distingue essentiellement trois voies par lesquelles la toxicité des produits dangereux s'exerce: inhalation, ingestion et pénétra-

tion par la peau. Une fois absorbées, et selon la voie empruntée, les substances toxiques peuvent avoir sur les personnes de multiples effets, dont la liste est particulièrement longue. Cependant, les préoccupations du public et les études scientifiques se concentrent plutôt sur le risque de cancer et de troubles de la reproduction. De manière générale, cet intérêt correspond au danger que présentent les produits chimiques que l'on trouve à ces endroits.

Beaucoup d'études sont effectuées sur des personnes habitant autour ou à proximité de décharges. A quelques exceptions près, ces études ne nous renseignent que très peu sur des problèmes de santé qui soient vérifiables et d'un intérêt clinique réel. Les exceptions tiennent essentiellement à des situations dans lesquelles la contamination apparaît exceptionnellement forte et que le mode d'exposition est clairement défini, que les individus habitent en bordure immédiate du site ou qu'ils s'approvisionnent dans un puits alimenté par une source contaminée. Plusieurs raisons peuvent probablement expliquer cette absence étonnante d'informations sérieuses concernant les effets sur la santé. Premièrement, à la différence de la pollution de l'air et des eaux superficielles, les substances chimiques à l'origine de la pollution terrestre ne sont pas à portée immédiate des personnes touchées. Ces dernières peuvent vivre dans un secteur fortement contaminé par des produits chimiques, sans pour autant en ressentir les effets toxiques si elles n'entrent pas en contact avec ces produits par les voies susmentionnées. Une autre explication possible est le fait que les effets chroniques d'une exposition à ces produits toxiques prennent beaucoup de temps à se manifester et sont très difficiles à étudier. Il se peut enfin que ces substances chimiques aient sur la santé humaine des effets chroniques moins violents qu'on ne le suppose habituellement.

Outre ses répercussions sur la santé humaine, la pollution terrestre peut nuire très gravement aux écosystèmes. Des espèces végétales et animales, des bactéries du sol (qui contribuent au rendement agricole) et d'autres éléments des écosystèmes peuvent être irrémédiablement endommagés par une pollution plus ou moins importante qui n'a aucune incidence visible sur notre santé.

### La maîtrise du problème

La répartition spatiale de la population, les restrictions relatives à l'utilisation des terres, les coûts de transport et les préoccupations écologiques de la société constituent autant de pressions pour que l'on trouve une solution à une élimination économiquement viable des déchets dangereux. C'est pourquoi on s'intéresse de plus en plus à des méthodes comme la réduction à la source, le recyclage, la neutralisation chimique et l'aménagement de centres d'élimination (confinement) sûrs pour des déchets dangereux. Les deux premières solutions visent à diminuer la quantité de déchets produits. La neutralisation chimique réduit la toxicité des déchets et peut les transformer en solides plus facilement manipulables. Autant que possible, il vaut mieux procéder à cette opération sur le lieu de production des déchets pour limiter le volume de déchets qui doit être déplacé. Pour les déchets résiduels, on a besoin d'installations bien conçues, qui fassent appel aux meilleures techniques de traitement et de conditionnement des substances chimiques.

La construction de sites d'élimination (confinement) pour produits dangereux coûte relativement cher. Il convient de choisir avec soin chaque site pour prévenir toute pollution des eaux superficielles et des principales nappes aquifères (eaux souterraines). Chaque site doit être conçu et construit avec des barrières imperméables pour éviter une contamination du sol et des eaux souterraines. Ces barrières consistent habituellement en une enveloppe de plastique épais qu'on pose sur une couche d'argile comprimée. Dans la réalité, on se sert d'une barrière pour retarder les ruptures et ralentir les infiltrations qui finissent toujours par se produire, mais qui sont acceptables dans la mesure où elles n'entraînent aucune accumulation et où elles ne polluent pas grave-

ment les eaux souterraines. La perméabilité désigne une propriété d'un matériau et n'est autre que la résistance de ce dernier à la pénétration d'un liquide ou d'un gaz dans des conditions de pression et de température données. Même la barrière la moins perméable qui soit, par exemple une enveloppe en plastique ou de l'argile comprimée, ne pourra totalement empêcher un liquide chimique de la traverser, bien que cela puisse ne se produire qu'après des années voire plusieurs siècles; une fois la brèche ouverte, l'écoulement peut devenir permanent, mais son débit restera très faible. L'eau qui passe directement au-dessous d'une décharge de déchets dangereux est donc toujours exposée à certains risques de contamination, ne fût-ce que minimes. Une fois que de l'eau souterraine est contaminée, il est très difficile, et souvent impossible, de la purifier.

Beaucoup de décharges de déchets dangereux font l'objet de contrôles réguliers par des prélèvements et de vérifications des puits avoisinants pour s'assurer que la pollution ne se répand pas. Les plus modernes sont équipées de dispositifs de recyclage ou de traitement installés sur place ou à proximité, ce qui permet de réduire le volume des déchets entreposés.

Le confinement des déchets dangereux n'apporte pas de solution parfaite au problème de la pollution des sols. La conception des installations requiert les services coûteux d'experts, leur construction coûte cher et elles peuvent nécessiter un travail de surveillance, ce qui ajoute encore aux frais d'exploitation. Elles n'apportent aucune garantie contre une contamination future des eaux souterraines, bien qu'elles en limitent sensiblement les risques. L'un des principaux inconvénients est le fait que, inévitablement, quelqu'un doit vivre à proximité. Les collectivités dans lesquelles les décharges de déchets dangereux sont installées ou en projet s'y opposent en général fortement et font obstacle à l'agrément des pouvoirs publics. C'est ce qu'on appelle le syndrome du «d'accord chez les autres, mais pas chez moi», réaction courante à l'implantation d'installations jugées indésirables. Lorsqu'il est question de décharges de déchets dangereux, ce syndrome tend à se manifester avec une vigueur particulière.

Malheureusement, en l'absence de sites d'élimination (de confinement) des déchets dangereux, notre société risque de perdre complètement le contrôle de la situation. Quand il n'existe pas de tels sites, ou qu'il revient trop cher d'en utiliser un, les déchets dangereux sont souvent éliminés d'une façon illégale. D'aucuns, par exemple, répandent des déchets liquides à même le sol dans des lieux à l'écart, s'en débarrassent dans des caniveaux ou des égouts qui se déversent dans des cours d'eau voisins, ou expédient leurs déchets dangereux vers des pays où leur traitement est régi par des lois plus laxistes. Cela peut aboutir à des dérives encore plus dangereuses que l'utilisation d'un site aménagé et exploité de manière peu satisfaisante.

Il existe plusieurs techniques pour éliminer les déchets résiduels. Les incinérateurs à haute température sont à cet égard l'un des moyens les plus propres et les plus efficaces, mais ils sont extrêmement coûteux. Une des solutions les plus prometteuses consiste à incinérer les déchets toxiques liquides dans des fours à ciment, qui fonctionnent à des températures suffisamment élevées et que l'on trouve dans tous les pays en développement et industriels. L'injection dans des puits profonds situés sous la nappe phréatique est une option à retenir pour les produits chimiques dont on ne peut se défaire autrement. Cependant, les eaux souterraines peuvent suivre des chemins compliqués et il arrive qu'elles soient finalement contaminées par une pression inhabituelle dans le sous-sol ou par une fuite dans un puits. La déshalogénéation est une technique chimique qui consiste à retirer les atomes de chlore et de brome à des hydrocarbures halogénés, comme les BPC, pour que l'on puisse facilement les détruire par incinération.

Il reste un important problème à régler concernant les déchets municipaux solides: la contamination attribuable à l'élimination

accidentelle ou intentionnelle de déchets dangereux. On peut limiter ces risques par des collectes séparées. Dans la plupart des municipalités, les substances chimiques et autrement dangereuses sont traitées séparément pour qu'elles ne contaminent pas les déchets solides. L'idéal serait que, pour leur élimination, on les achemine vers une installation offrant la sécurité voulue.

On a cruellement besoin d'endroits où l'on puisse collecter et éliminer de petites quantités de déchets dangereux à un coût minime. Habituellement, les personnes en possession d'une bouteille ou d'une boîte contenant un solvant, un pesticide ou quelque poudre ou liquide inconnu ne peuvent s'offrir le luxe de s'en débarrasser convenablement et n'ont pas conscience des risques correspondants. Il faut donc qu'il y ait un système quelconque pour la collecte de ce genre de déchets afin de dissuader le consommateur de les déverser sur le sol, de les vider dans les toilettes ou d'empoisonner l'air en les brûlant. Un certain nombre de municipalités organisent des journées de collecte durant lesquelles les habitants peuvent apporter de petites quantités de substances toxiques en un lieu central pour qu'elles soient évacuées et éliminées de manière sûre. Des systèmes décentralisés ont été mis sur pied dans certaines zones urbaines, grâce auxquels les substances toxiques à jeter, en petites quantités, sont ramassées à domicile ou localement en vue de leur élimination. Aux États-Unis, l'expérience montre que les gens sont disposés à faire une dizaine de kilomètres pour se débarrasser de leurs déchets toxiques ménagers en un lieu sûr. La sensibilisation des consommateurs à la toxicité possible de produits courants s'impose fortement. Les pesticides en bombes aérosols, l'eau de Javel, les produits ménagers nettoyants, liquides ou autres, peuvent présenter un danger, surtout pour les enfants.

### Les décharges de déchets dangereux abandonnées

L'existence de décharges de déchets dangereux à l'abandon ou peu sûres est un problème mondial. Celles de ces décharges qui doivent être décontaminées créent d'énormes risques pour la société. L'aptitude des pays et des autorités locales à assainir les décharges les plus importantes varie grandement. La logique voudrait que le propriétaire de la décharge ou la personne qui l'a installée en paie l'assainissement. Dans la pratique, ces décharges changent souvent de mains: l'ancien propriétaire a mis la clé sous la porte, le propriétaire actuel n'a pas l'argent nécessaire pour procéder aux travaux d'assainissement qui sont souvent retardés pendant une très longue période à cause d'études techniques coûteuses suivies de batailles juridiques. Les pays plus petits ou moins riches ont peu de pouvoir pour demander aux propriétaires actuels, ou aux responsables, de se charger de la décontamination, et trop peu de ressources pour s'en occuper eux-mêmes.

Les méthodes classiques d'assainissement des décharges de déchets dangereux sont très lentes et coûteuses. Elles demandent des gens extrêmement spécialisés qui font souvent défaut. On commence par examiner la décharge pour établir dans quelle mesure le sol est atteint et si les eaux souterraines sont contaminées. On évalue la probabilité que les riverains puissent entrer en contact avec les substances dangereuses et, dans certains cas, on fait une estimation des risques pour la santé qui en découlent. Il faut ensuite s'entendre sur un niveau de décontamination acceptable et décider dans quelle mesure l'exposition doit être réduite pour protéger la santé humaine et l'environnement. Pour déterminer l'ampleur du travail de décontamination, les pouvoirs publics appliquent les lois en vigueur sur l'environnement, ainsi que les normes sur la pollution atmosphérique et l'eau potable et ils se fondent sur une évaluation des risques sanitaires engendrés par telle ou telle décharge. La décontamination à effectuer est alors fixée dans le souci de préserver la santé et l'environnement. Il s'agit d'établir le mode de réhabilitation du site, ou la meilleure façon de diminuer l'exposition. Techniquement parlant, la réha-

bilitation consiste à décontaminer une décharge au niveau souhaité avec des moyens industriels ou autres. Parmi les techniques employées, mentionnons l'incinération, la solidification, le traitement chimique, l'évaporation, le lavage répété du sol à grande eau, la biodégradation, le confinement, l'enlèvement de la terre et le pompage des eaux souterraines. Ces techniques industrielles sont trop complexes et trop particulières à chaque situation pour que l'on puisse les décrire en détail ici. Il faut que chaque solution soit adaptée aux circonstances et que l'on dispose des fonds nécessaires à son application. Parfois, la réhabilitation n'est pas faisable. On doit alors établir à quel usage le site pourra être affecté.

## LA POLLUTION DES EAUX

*Ivanildo Hespanhol et Richard Helmer*

Depuis au moins deux millénaires, l'eau naturelle a vu sa qualité se dégrader peu à peu et elle est aujourd'hui contaminée au point que ses usages sont extrêmement restreints ou qu'elle peut même être nocive à l'être humain. Certes, cette dégradation est liée au développement socio-économique d'un bassin fluvial, mais le transport de contaminants dans l'atmosphère sur de grandes distances a changé la donne: désormais, des régions éloignées peuvent aussi être indirectement polluées (Meybeck et Helmer, 1989).

Les récits et les griefs qui nous ont été transmis du Moyen Âge concernant le dépôt sauvage d'excréments, ou les cours d'eau nauséabonds qui traversaient des villes surpeuplées, constituent, parmi d'autres problèmes semblables, les premières manifestations de la pollution des eaux urbaines. C'est en 1854 que l'on a établi pour la première fois un lien de cause à effet évident entre la mauvaise qualité de l'eau et des problèmes de santé humaine, lorsque John Snow attribua à une source d'eau de consommation bien localisée l'épidémie de choléra qui sévissait à Londres.

Depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, et parallèlement à l'accélération de la croissance industrielle, différents problèmes de pollution des eaux sont apparus à un rythme élevé. La figure 53.8 illustre le genre de problèmes que les eaux douces posent en Europe.

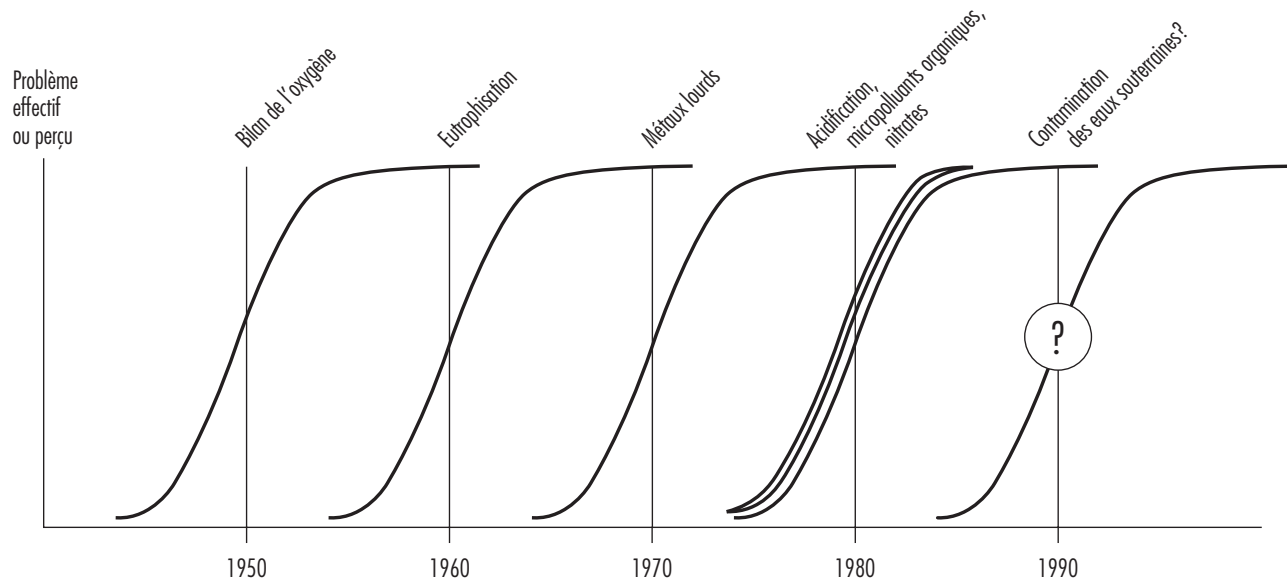
Pour résumer la situation européenne, on peut dire que: 1) les problèmes du passé (agents pathogènes, bilan de l'oxygène, eutrophisation, métaux lourds) ont été établis et étudiés et que les moyens de lutte nécessaires ont été définis et plus ou moins appliqués; 2) les problèmes actuels sont d'une nature différente, car on a, d'un côté, des sources de pollution ponctuelles et non ponctuelles «classiques» (nitrates) et des contaminants présents partout dans l'environnement (produits organiques synthétiques) et, de l'autre, des facteurs «de la troisième génération» qui perturbent les cycles planétaires (acidification, changement climatique).

Autrefois, la pollution des eaux dans les pays en développement s'expliquait principalement par le déversement d'eaux usées non traitées. Elle est aujourd'hui plus complexe, résultant de la production de déchets dangereux par des industries et du développement rapide de l'usage de pesticides en agriculture. De fait, actuellement, la pollution des eaux dans certains pays en développement, et en tout cas dans les pays en voie d'industrialisation, est pire que dans les pays industriels (Arceivala, 1989). Malheureusement, les pays en développement dans leur ensemble accusent un très grand retard en ce qui concerne l'élimination des principales sources de pollution. En conséquence, la qualité de leur environnement se détériore progressivement (OMS/PNU, 1991).

### Les types et les sources de pollution

Un grand nombre d'agents microbiens, d'éléments et de composés peuvent polluer l'eau; on peut les classer comme suit: organismes

Figure 53.8 • Problèmes dus à la pollution de l'eau



microbiologiques, composés organiques biodégradables, particules en suspension, nitrates, sels, métaux lourds, nutriments et micropolluants organiques.

#### **Les organismes microbiologiques**

Les organismes microbiologiques sont courants dans les cours d'eau pollués essentiellement par le déversement d'eaux ménagères non traitées. Ces agents microbiens comprennent les bactéries pathogènes, virus, helminthes, protozoaires et plusieurs organismes multicellulaires plus complexes qui peuvent provoquer des maladies gastro-intestinales. D'autres organismes, par nature plus opportunistes, infectent les individus fragiles par contact du corps avec de l'eau contaminée ou par inhalation de gouttes d'eau de mauvaise qualité avec divers aérosols.

#### **Les composés organiques biodégradables**

Des substances organiques d'origine naturelle (débris terrestres allochtones ou débris autochtones de plantes aquatiques) ou de source humaine (déchets ménagers, agricoles et certains déchets industriels) sont décomposées par des microbes aérobies, tandis que la rivière poursuit son cours. Il en résulte un abaissement de la teneur en oxygène en aval du point de déversement des eaux usées, ce qui nuit à la qualité de l'eau et à la survie du biote aquatique, notamment des poissons nobles.

#### **Les particules en suspension**

Les particules sont un important vecteur de polluants organiques et inorganiques. La plupart des métaux lourds toxiques, des polluants organiques, des pathogènes et nutriments, comme le phosphore, sont présents dans les particules en suspension. On trouve aussi dans ces particules une quantité appréciable de matières organiques biodégradables qui consomment l'oxygène dissous dans les cours d'eau. Ces particules proviennent de l'urbanisation et de la construction de routes, du déboisement, de l'exploitation minière, du dragage de rivières, de sources naturelles liées à l'érosion terrestre ou de catastrophes naturelles. Des particules plus grosses se déposent dans les lits des cours d'eau, les réservoirs, les plaines d'inondation, ainsi que dans les marais et dans les lacs.

#### **Les nitrates**

La concentration de nitrates dans les eaux superficielles non polluées varie entre moins de 0,1 et 1 mg par litre (exprimé en azote), de sorte qu'un taux de nitrate supérieur à 1 mg/l est le signe d'une intervention humaine: déversement de déchets municipaux, écoulement d'origine urbaine ou agricole, etc. Les précipitations atmosphériques sont aussi une importante source de nitrates et d'ammoniac dans les bassins versants, notamment dans les zones où il n'existe pas de sources de pollution directes, par exemple dans certaines régions tropicales. La forte concentration de nitrates dans l'eau de consommation peut intoxiquer gravement les nouveau-nés alimentés au biberon pendant leurs premiers mois, ou encore les personnes âgées, par un phénomène appelé méthémoglobinémie.

#### **Les sels**

La salinisation de l'eau peut avoir des causes naturelles, comme l'interaction géochimique des eaux avec des sols salins, ou des causes humaines: irrigation des terres agricoles, apport d'eau de mer provoqué par un pompage excessif des eaux souterraines dans certaines îles et zones côtières, élimination de déchets industriels et de la saumure de champs de pétrole, salage des routes, lixiviat de décharges et fuites d'égouts.

Bien qu'elle empêche d'utiliser l'eau pour l'irrigation des cultures fragiles ou pour la consommation en particulier, la teneur en sel, même très élevée, n'a en soi pas d'effets directement nocifs sur la santé, mais elle peut s'accompagner d'effets indirects catastrophiques. La disparition de terres agricoles fertiles et la diminution des récoltes dues à la saturation hydrique et à la salinisation des sols irrigués privent des villages entiers de leur moyen de subsistance et peuvent aller jusqu'à entraîner des pénuries alimentaires.

#### **Les métaux lourds**

Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium et le mercure sont des micropolluants qui présentent un intérêt particulier, car ils ont une incidence sur la santé et l'environnement à cause de leur rémanence, de leur forte toxicité et de leur accumulation biologique.