

Tableau 55.16 • Liste des paramètres contrôlés

|                               |  |           |                              |  |           |
|-------------------------------|--|-----------|------------------------------|--|-----------|
| Ag                            | Argent   | µg/l      | Mg                           | Magnésium  | mg/l      |
| Al                            | Aluminium  | µg/l      | Mn                           | Manganèse  | µg/l      |
| ALG                           | Algues   | Nb/100 ml | Mo                           | Molybdène  | µg/l      |
| ALKM                          | Basicité exprimée par CaCO <sub>3</sub>                  | mg/l      | Na                           | Sodium   | mg/l      |
| As                            | Arsenic  | µg/l      | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Ammoniac sous forme de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>    | mg/l      |
| B                             | Bore   | mg/l      | Ni                           | Nickel   | µg/l      |
| Ba                            | Baryum   | µg/l      | NKJT                         | Azote total Kjeldahl                                   | mg/l      |
| Br                            | Bromures   | mg/l      | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | Nitrites sous forme de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>    | mg/l      |
| Ca                            | Calcium  | mg/l      | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Nitrates sous forme de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>    | mg/l      |
| Cd                            | Cadmium  | µg/l      | ODOR                         | Nombre-seuil d'odeur                                   |           |
| Cl                            | Chlorures  | mg/l      | OG                           | Huiles et graisses                                     | µg/l      |
| CLDE                          | Demande de chlore  | mg/l      | Pb                           | Plomb  | µg/l      |
| CLRL                          | Chlorophylle   | µg/l      | PHEN                         | Phénols  | µg/l      |
| CN                            | Cyanures   | µg/l      | PHFD                         | pH mesuré in situ                                      |           |
| Co                            | Cobalt   | µg/l      | PO <sub>4</sub>              | Phosphates sous forme de PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | mg/l      |
| COLR                          | Couleur (cobalt platine)                                 |           | PTOT                         | Phosphore total sous forme de P                        | mg/l      |
| Cr                            | Chrome   | µg/l      | RSCL                         | Chlore libre résiduel                                  | mg/l      |
| Cu                            | Cuivre   | µg/l      | SAR                          | Rapport d'adsorption du sodium                         |           |
| DBO                           | Demande biochimique en oxygène                           | mg/l      | Se                           | Sélénium   | µg/l      |
| DCO                           | Demande chimique en oxygène                              | mg/l      | Si                           | Silice sous forme de H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>   | mg/l      |
| DO                            | Oxygène dissous (en O <sub>2</sub> )                     | mg/l      | Sn                           | Etain  | µg/l      |
| DOC                           | Carbone organique dissous                                | mg/l      | SO <sub>4</sub>              | Sulfates   | mg/l      |
| DS <sub>105</sub>             | Solides dissous à 105 °C                                 | mg/l      | Sr                           | Strontium  | µg/l      |
| DS <sub>550</sub>             | Solides dissous à 550 °C                                 | mg/l      | SS <sub>100</sub>            | Solides en suspension à 100 °C                         | mg/l      |
| EC                            | Conductivité électrique                                  | µmhos/cm  | SS <sub>550</sub>            | Solides en suspension à 550 °C                         | mg/l      |
| ENTR                          | Entérocoques   | Nb/100 ml | STRP                         | Streptocoques  | Nb/100 ml |
| F <sup>-</sup>                | Fluorures  | mg/l      | T                            | Température  | °C        |
| FCOL                          | Coliformes fécaux  | Nb/100 ml | TCOL                         | Total des coliformes                                   | Nb/100 ml |
| Fe                            | Fer  | µg/l      | TOTB                         | Total des bactéries                                    | Nb/100 ml |
| HARD                          | Dureté sous forme de CaCO <sub>3</sub>                   | mg/l      | TS <sub>105</sub>            | Total des solides à 105 °C                             | mg/l      |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Bicarbonates sous forme de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l      | TS <sub>550</sub>            | Total des solides à 550 °C                             | mg/l      |
| Hg                            | Mercure  | µg/l      | TURB                         | Turbidité  | NTU       |
| K                             | Potassium  | mg/l      | UV                           | UV (absorption à 254 nm)/(cm x 10)                     |           |
| Li                            | Lithium  | µg/l      | Zn                           | Zinc   | µg/l      |
| MBAS                          | Détergents   | µg/l      |                              |  |           |

surveillance portait sur les divers points de prélèvement d'échantillons situés le long du réseau de la troisième conduite, les divers paramètres étudiés et la fréquence des échantillonnages. Le dispositif préliminaire portait sur les différents ouvrages du système, à savoir les puits de récupération, la conduite de transport, les réservoirs, un certain nombre de connexions avec les consommateurs et la présence de puits d'eau potable à proximité de l'installation d'épuration. La liste des paramètres inclus dans le programme de surveillance de la troisième conduite est donnée au tableau 55.16.

#### La surveillance des puits de récupération

Le programme d'échantillonnage des puits de récupération repose sur la mesure, deux ou trois fois par mois, d'un petit nombre de «paramètres indicatifs» (voir tableau 55.17). Lorsque les concentrations de chlorures de l'eau du puits où l'échantillon a été prélevé dépassent de plus de 15% les valeurs initiales à ce même puits, on en conclut que le pourcentage d'effluents récupérés dans l'eau de l'aquifère a «sensiblement» augmenté et le puits est transféré dans la catégorie suivante d'échantillonnage. Ici, on détermine tous les trois mois 23 «paramètres caractéristiques». Dans

certaines des puits, on fait chaque année une étude complète de l'eau portant sur 54 paramètres différents.

#### La surveillance du système de transport

Le système de transport, long de 87 km, est surveillé en 7 points centraux le long de la canalisation d'eaux usées. A ces points, 16 paramètres différents font l'objet d'un échantillonnage une fois par mois. Ce sont: PHFD, DO, T, EC, SS<sub>100</sub>, SS<sub>350</sub>, UV, TURB, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PTOT, ALKM, DOC, TOTB, TCOL, FCOL et ENTR. Les paramètres pour lesquels on ne prévoit pas de changements le long du réseau ne sont mesurés qu'à 2 points d'échantillonnage — à l'entrée et à l'extrémité de la conduite de transport. Ce sont: Cl, K, Na, Ca, Mg, HARD, B, DS, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et MBAS. En ces deux points, on prélève une fois par an divers métaux lourds (Zn, Sr, Sn, Se, Pb, Ni, Mo, Mn, Li, Hg, Fe, Cu, Cr, Co, Cd, Ba, As, Al, Ag).

#### La surveillance des réservoirs

Le dispositif de surveillance des réservoirs de la troisième conduite repose essentiellement sur l'examen d'un nombre limité de paramètres qui servent d'indicateurs du développement biologique dans les réservoirs et révèlent la présence de polluants extérieurs. Cinq réservoirs font l'objet de prélèvements d'échantillons, une fois par mois, pour: PHFD, T, DO, SS totaux, SS volatils, DOC, CLRL, RSCL, TCOL, FCOL, STRP et ALG. Dans ces 5 réservoirs, on prélève également tous les deux mois la silice. Tous ces paramètres sont également relevés six fois par an dans les échantillons d'un autre réservoir, Zohar B.

#### Résumé

Le projet de la région de Dan fournit une eau régénérée de haute qualité pour l'irrigation sans restriction du Néguev israélien.

La première étape de ce dispositif est exploitée partiellement depuis 1970 et complètement depuis 1977. De 1970 à 1993, un volume total de 373 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées brutes a été envoyé aux étangs d'oxydation facultative et un volume total de 243 millions de m<sup>3</sup> d'eau a été pompé à partir de l'aquifère au cours de la période 1974-1993 et distribué au sud du pays. Une partie de l'eau s'est perdue, principalement sous l'effet de l'évaporation et de l'écoulement par infiltration à partir des étangs. En 1993, ces pertes se sont élevées à environ 6,9% des eaux usées brutes envoyées à l'installation de la première étape (Kanarek, 1994).

L'installation de traitement biomécanique, deuxième étape, est en exploitation depuis 1987. Au cours de la période d'exploitation 1987-1993, un volume total de 478 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées brutes a été envoyé à l'installation de traitement biomécanique. En 1993, environ 103 millions de m<sup>3</sup> (95 d'eau régénérée, plus 8 d'eau potable) ont été transportés par le réseau et utilisés pour l'irrigation du Néguev sans conditions restrictives.

L'eau des puits de récupération indique la qualité de l'eau de l'aquifère souterrain. Cette qualité varie tout le temps sous l'effet des effluents qui y pénètrent par percolation. La qualité de l'eau de l'aquifère est proche de celle des effluents pour les paramètres qui ne sont pas affectés par les processus de traitement sol-aquifère, tandis que les paramètres qui sont influencés par le passage à travers les couches du sol (par exemple, turbidité, matières en suspension, ammoniac, carbone organique dissous, etc.) présentent des valeurs nettement plus faibles. Il convient de noter que la teneur en chlorures de l'eau de l'aquifère a augmenté de 15 à 26% au cours d'une période de 4 ans, comme le montre le changement de qualité dans les puits de récupération. Ce changement indique que l'eau de l'aquifère est continuellement remplacée par les effluents dont la teneur en chlorures est nettement plus élevée.

La qualité de l'eau des 6 réservoirs du système de la troisième canalisation est influencée par les modifications biologiques et chimiques qui se produisent dans les réservoirs à l'air libre. La

Tableau 55.17 • Paramètres étudiés dans les puits de récupération

| Groupe A               | Groupe B                      | Groupe C                          |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Paramètres indicatifs  | Paramètres caractéristiques   | Paramètres de l'essai complet     |
| 1. Chlorures           | Groupe A plus:                | Groupes A + B plus:               |
| 2. Electroconductivité | 6. Température                | 24. Solides en suspension         |
| 3. Détergents          | 7. pH                         | 25. Virus entériques              |
| 4. Absorption UV       | 8. Turbidité                  | 26. Numération bactérielle totale |
| 5. Oxygène dissous     | 9. Solides dissous            | 27. Coliformes                    |
|                        | 10. Carbone organique dissous | 28. Colibacilles fécaux           |
|                        | 11. Basicité                  | 29. Streptocoques fécaux          |
|                        | 12. Dureté                    | 30. Zinc                          |
|                        | 13. Calcium                   | 31. Aluminium                     |
|                        | 14. Magnésium                 | 32. Arsenic                       |
|                        | 15. Sodium                    | 33. Fer                           |
|                        | 16. Potassium                 | 34. Barium                        |
|                        | 17. Nitrates                  | 35. Argent                        |
|                        | 18. Nitrites                  | 36. Mercure                       |
|                        | 19. Ammoniac                  | 37. Chrome                        |
|                        | 20. Azote total Kjeldahl      | 38. Lithium                       |
|                        | 21. Phosphore total           | 39. Molybdène                     |
|                        | 22. Sulfate                   | 40. Manganèse                     |
|                        | 23. Bore                      | 41. Cuivre                        |
|                        |                               | 42. Nickel                        |
|                        |                               | 43. Sélénium                      |
|                        |                               | 44. Strontium                     |
|                        |                               | 45. Plomb                         |
|                        |                               | 46. Fluorures                     |
|                        |                               | 47. Cyanures                      |
|                        |                               | 48. Cadmium                       |
|                        |                               | 49. Cobalt                        |
|                        |                               | 50. Phénols                       |
|                        |                               | 51. Huiles minérales              |
|                        |                               | 52. Carbone organique total       |
|                        |                               | 53. Odeur                         |
|                        |                               | 54. Couleur                       |

teneur en oxygène augmente sous l'effet de la photosynthèse des algues et de la dissolution de l'oxygène atmosphérique. Les concentrations de divers types de bactéries ont également augmenté en raison de la pollution non contrôlée due à la faune aquicole résidant à proximité des réservoirs. La qualité de l'eau fournie aux consommateurs le long du réseau dépend de celle de l'eau provenant des puits de récupération et des réservoirs. La chloration obligatoire de l'eau du réseau offre une garantie supplémentaire au cas où on l'utiliserait par erreur comme eau potable. Si l'on compare les données relatives à l'eau de la troisième conduite avec les exigences du ministère de la Santé d'Israël en matière de qualité des eaux usées à utiliser à des fins agricoles sans restriction, on constate que, la plupart du temps, la qualité de l'eau est entièrement conforme à ces exigences.

En conclusion, on peut dire que le système de récupération et d'utilisation des eaux usées de la troisième conduite est une réussite israélienne au niveau environnemental et national. Il a résolu le problème de l'élimination sanitaire des eaux usées de la région de Dan tout en augmentant le bilan hydrique national d'environ 5%. Dans un pays aride comme Israël, où la distribution d'eau,

spécialement à des fins agricoles, est très limitée, il s'agit là d'une contribution non négligeable.

Le coût du fonctionnement et de l'entretien des installations de recharge des eaux régénérées s'est élevé en 1993 à environ 3 cents E.-U. par  $m^3$  (0,093 NIS/ $m^3$ ).

Le système fonctionne depuis la fin des années soixante sous la surveillance étroite du ministère de la Santé d'Israël et du département de la sécurité et de la santé au travail de la société Mekoroth. Aucun cas de maladie professionnelle liée au fonctionnement de ce système complexe n'a été signalé jusqu'ici.

## ● LES PRINCIPES DE GESTION DES DÉCHETS

Lucien Y. Maystre

La prise de conscience des problèmes de l'environnement a conduit à une transformation rapide des méthodes de gestion des déchets. Il convient d'interpréter ce changement avant d'examiner plus avant les méthodes utilisées pour gérer les déchets et pour éliminer les résidus.

Les principes modernes de gestion des déchets reposent sur l'idée qu'il existe une relation déterminée entre la biosphère et l'anthroposphère. Un modèle général (voir figure 55.22) reliant ces deux sphères se fonde sur l'hypothèse que toutes les matières extraites de l'environnement finissent comme déchets soit directement (venant du secteur de la production), soit indirectement (venant du secteur du recyclage), en gardant à l'esprit que tous les déchets produits par la consommation retournent à ce dernier secteur pour être recyclés ou éliminés.

Dans cette perspective, le recyclage doit être défini en termes généraux: recyclage d'objets entiers (consignés) jusqu'à celui d'objets dont on récupère certaines pièces détachées (voitures, ordinateurs, par exemple), ou production de matières nouvelles (papiers et cartons, boîtes de conserve) ou d'objets similaires (recyclage,

Figure 55.22 • Modèle général des principes de gestion des déchets

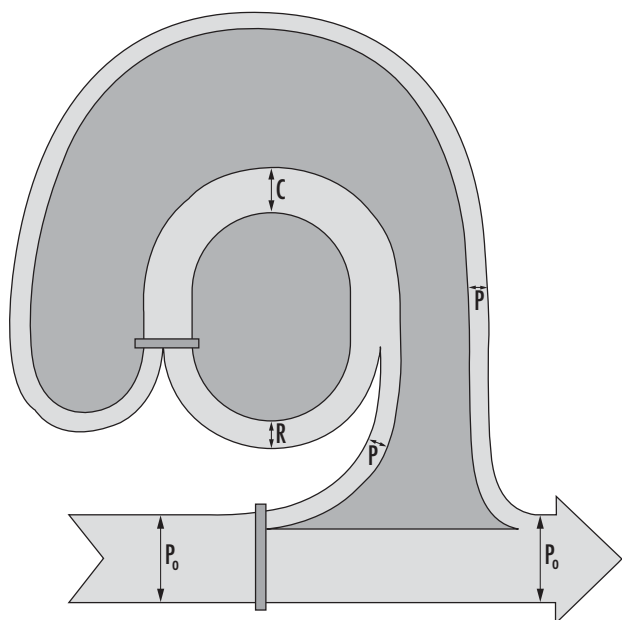
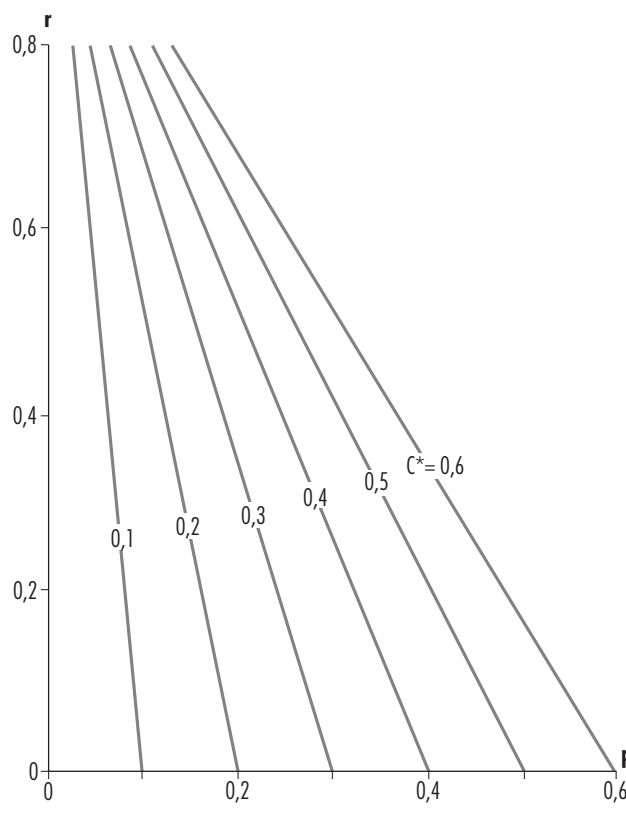


Figure 55.23 • Fonction d'utilité montrant les compromis entre production et recyclage



recyclage sous forme de matières moins nobles, etc.). A long terme, ce modèle peut être considéré comme un état d'équilibre stable dans lequel les biens finissent sous forme de déchets au bout de quelques jours ou souvent de quelques années.

### Déductions à tirer du modèle

On peut faire certaines déductions à partir de ce modèle, à condition de définir clairement les divers flux. Dans ce modèle:

- $P_0$  = apport annuel des matières extraites de l'environnement (biosphère, hydrosphère ou lithosphère). A l'état d'équilibre, cet apport est égal à l'élimination annuelle finale des déchets.
- $P$  = production annuelle de biens à partir de  $P_0$
- $C$  = circulation annuelle de biens dans l'anthroposphère
- $R$  = circulation annuelle de déchets convertis en biens par le recyclage (à l'état d'équilibre:  $C = R + P$ )
- $p$  = efficacité de la production, mesurée comme ratio de  $P/P_0$
- Si  $r$  = efficacité du recyclage, mesurée en tant que ratio de  $R/C$ , la relation s'établit comme suit:  $C/P_0 = p/(1-r)$
- Si  $C/P_0 = C^*$ , alors  $C^*$  représente le ratio des biens aux matières extraites de la nature

En d'autres termes,  $C^*$  est la mesure du rapport qui lie l'anthroposphère à l'environnement. Il dépend de l'efficacité de la production et de celle du recyclage. La relation entre  $C^*$ ,  $p$  et  $r$ , qui est une fonction d'utilité, peut être représentée graphiquement comme le fait la figure 55.23, qui montre les compromis explicites entre  $p$  et  $r$  pour une valeur choisie de  $C^*$ .

Dans le passé, l'industrie s'est développée dans le sens d'une augmentation de l'efficacité de la production,  $p$ . A la fin des

années quatre-vingt-dix, le prix de l'élimination des déchets par leur dispersion dans l'atmosphère, les masses d'eau ou les sols (mise en décharge non contrôlée) ou par leur mise en dépôt en milieu confiné a augmenté très rapidement, du fait que les normes de protection de l'environnement devenaient de plus en plus sévères. Dans ces conditions, il est devenu économiquement attractif d'augmenter le rendement du recyclage (autrement dit d'augmenter  $r$ ). Cette tendance persistera au cours des décennies à venir.

Pour augmenter l'efficacité du recyclage, il faut remplir une condition importante: les déchets à recycler (en d'autres termes, les matières premières de la deuxième génération) doivent être aussi «purs» que possible (c'est-à-dire débarrassés des éléments indésirables qui empêcheraient le recyclage). Pour y parvenir, il n'y a qu'un seul moyen, c'est de généraliser la politique qui consiste à ne pas mélanger à la source les déchets ménagers, commerciaux et industriels. C'est ce que l'on appelle souvent de manière impropre le tri à la source. Trier consiste à séparer; or, l'idée est précisément de ne pas avoir à séparer en stockant les différentes catégories de déchets dans des conteneurs ou des endroits distincts jusqu'à ce qu'ils soient collectés. Le concept moderne de gestion des déchets est le «non-mélange» des déchets à la source pour pouvoir accroître le rendement du recyclage et obtenir ainsi un meilleur ratio entre les biens produits et les matières extraites de l'environnement.

### Les méthodes de gestion des déchets

Les déchets peuvent être groupés en trois grandes catégories, en fonction de leur origine:

1. le secteur primaire de production (industries extractives, exploitation forestière, agriculture, élevage, pêche);
2. les industries de production et de transformation (denrées alimentaires, biens d'équipement, produits en tout genre);
3. le secteur de la consommation (ménages, entreprises, transports, commerce, bâtiment, services, etc.).

Les déchets peuvent aussi être classés par le législateur en:

- déchets municipaux et déchets banals des entreprises qui peuvent être collectés avec les premiers, puisqu'ils sont formés tous deux des mêmes catégories et sont de petites dimensions (légumes, papier, métaux, verre, plastique, etc.), bien que dans des proportions variables;
- déchets urbains encombrants (meubles, matériels, véhicules, déchets de construction et de démolition autres que les matières inertes);
- déchets soumis à une législation spéciale (matières dangereuses, infectieuses, radioactives).

**La gestion des déchets municipaux et des déchets commerciaux ordinaires.** Ramassés par camion, ces déchets peuvent être transportés (directement ou par des stations de transfert route-route, route-rail, ou route-voie d'eau et des moyens de transport à longue distance) vers une décharge ou une installation de traitement en vue de la récupération des matières (par tri mécanique, compostage, biométhanisation) ou de l'énergie (incinérateur à grille ou à four rotatif, pyrolyse).

Les installations de traitement produisent des quantités relativement faibles de résidus qui peuvent être plus dangereux pour l'environnement que les déchets initiaux. Ainsi, les incinérateurs émettent des cendres volantes d'une teneur très élevée en métaux lourds et en substances chimiques complexes. Ces résidus sont souvent classés par le législateur dans la catégorie des déchets dangereux et exigent une gestion appropriée. Les installations de traitement ne sont pas assimilables à des décharges parce qu'elles sont des «systèmes ouverts» où les produits entrent et sortent,

alors que les décharges sont essentiellement des «puits» (si l'on néglige la faible quantité de lixiviats qui doivent subir un traitement ultérieur et la production de biogaz, qui peut être une source d'énergie exploitée dans les très grandes décharges).

**L'équipement industriel et domestique.** La tendance actuelle, qui a aussi des conséquences commerciales, est de confier le soin du recyclage aux producteurs des différentes catégories de déchets (voitures, ordinateurs, machines, par exemple). Les résidus sont alors des déchets soit dangereux, soit semblables aux déchets ordinaires provenant des entreprises.

**Les déchets provenant de la construction et de la démolition.** L'augmentation du prix des décharges incite à trier les déchets. En séparant les déchets dangereux et combustibles des grandes quantités de matières inertes, on parvient à mieux éliminer celles-ci à un prix très inférieur à celui des déchets non triés.

**Les déchets spéciaux.** Les déchets chimiquement dangereux doivent être traités par la neutralisation, la minéralisation, l'insolubilisation ou doivent être inertisés avant de pouvoir être déposés dans des décharges spéciales. Les déchets infectieux seront de préférence brûlés dans des incinérateurs spéciaux. Les déchets radioactifs font l'objet d'une législation très rigoureuse.

### La gestion des résidus

Les déchets provenant de la production et de la consommation qui ne peuvent être ni recyclés, ni soumis à un recyclage sous forme de matière moins noble, ni réutilisés ou incinérés pour produire de l'énergie, doivent en fin de compte être éliminés. La toxicité de ces résidus pour l'environnement doit être réduite selon le principe de la «meilleure technique disponible à un coût acceptable». Après avoir subi ce traitement, les résidus devraient être déposés à des emplacements où ils ne contamineront pas l'eau et l'écosystème et où ils ne se répandront pas dans l'atmosphère, la mer, les lacs ou les cours d'eau.

Les dépôts de déchets se caractérisent habituellement par l'emploi de couches isolantes multiples (argile, géotextiles, feuilles de polystyrène, etc.), par le détournement de toutes les eaux exogènes et par des revêtements imperméables. Les dépôts permanents doivent être surveillés pendant des décennies. Il faut aussi contrôler pendant longtemps les restrictions imposées à l'emploi des terres d'un site ayant servi de décharge. Dans la plupart des cas, il faut des systèmes de drainage contrôlé pour les lixiviats et les gaz.

Pour l'élimination finale des résidus biochimiquement plus stables et chimiquement inertes qui proviennent du traitement des déchets, on peut se contenter de conditions moins rigoureuses, si bien qu'il est moins difficile de trouver dans la région où ils ont été produits un emplacement pour les déposer. On peut ainsi éviter d'exporter les déchets ou leurs résidus, ce qui soulève toujours l'indignation des pays qui ne veulent pas servir de dépotoirs.

## LA GESTION ET LE RECYCLAGE DES DÉCHETS SOLIDES

Niels Jorn Hahn et Poul S. Lauridsen

On décrit traditionnellement les déchets solides comme des produits résiduels, qui représentent un coût lorsqu'il faut les éliminer.

La gestion des déchets englobe un ensemble complet d'impacts potentiels sur la santé et la sécurité de l'être humain et sur l'environnement. Bien que les risques qu'ils présentent puissent être de

nature similaire, ces impacts devraient être classés en fonction de trois types distincts d'opérations:

- manutention et stockage chez le producteur des déchets;
- collecte et transport;
- tri, traitement et élimination.

Il ne faut pas oublier que les risques pour la sécurité et la santé se présenteront d'abord là où les déchets sont produits, c'est-à-dire dans l'usine ou chez le consommateur. C'est pourquoi il peut être dangereux pour l'entourage immédiat de stocker les déchets là où ils sont produits — spécialement lorsqu'ils sont triés à la source. Dans le présent article, on exposera les grandes lignes de la gestion des déchets solides et on tentera de cerner les risques que font naître, pour la sécurité et la santé des travailleurs, les entreprises chargées de la collecte, du transport, du traitement et de l'élimination des déchets solides.

### Pourquoi gérer les déchets solides?

La gestion des déchets solides s'impose lorsque la société change de structure et passe d'une population agricole à faible densité à une population urbaine à forte densité. En outre, l'industrialisation a généré un grand nombre de produits que la nature est incapable de décomposer ou de digérer ou ne peut le faire que très lentement. Certains produits industriels contiennent par conséquent des substances qui, en raison de leur faible dégradabilité ou même de leurs caractéristiques toxiques, peuvent s'accumuler dans la nature pour atteindre des niveaux qui risquent de mettre en danger l'utilisation future des ressources naturelles par l'humain, telle que l'eau de boisson, les sols agricoles, l'air, etc.

La gestion des déchets solides vise à prévenir la pollution du milieu naturel.

Tout système de gestion des déchets solides devrait reposer sur des études techniques et sur une planification d'ensemble comprenant:

- des études et estimations de la composition des déchets et de leurs quantités;
- des études sur les techniques de collecte;
- des études sur les installations de traitement et d'élimination;
- des études sur la prévention de la pollution de l'environnement naturel;
- des études sur les normes de sécurité et de santé au travail;
- des études de faisabilité.

Ces études doivent comprendre la protection de l'environnement naturel et les questions de sécurité et de santé au travail, en tenant compte des possibilités de parvenir à un développement durable. Comme il est rarement possible de résoudre tous les problèmes à la fois, il importe, au stade de la planification, d'établir une liste des priorités. Pour trouver une solution aux risques auxquels sont exposés l'environnement et les travailleurs, la première chose à faire est de reconnaître l'existence de ces risques.

### Les principes de gestion des déchets

La gestion des déchets englobe un large éventail de relations complexes en matière de sécurité et de santé au travail. Elle représente l'inverse du processus classique dans lequel la production consiste en l'extraction des matières excédentaires. À l'origine, on cherchait simplement à récolter ces matières, à en réemployer la partie utile et à éliminer le reste dans un site aussi proche que possible, non destiné à l'agriculture, à la construction, etc. On procède encore ainsi dans un grand nombre de pays.

Les sources de déchets peuvent être décrites par les différentes activités qui s'exercent dans une société moderne (voir tableau 55.18).

Chaque type de déchet est caractérisé par son origine ou par le type de produit dont il est issu. Par conséquent, les risques qu'il

présente pour la sécurité et la santé devraient être définis au moment où l'on impose des restrictions à la manipulation du produit par le producteur du déchet. De toute manière, le stockage des déchets peut créer des risques nouveaux et plus importants (activité chimique ou biologique pendant la période de stockage).

On peut distinguer les étapes ci-après dans la gestion des déchets:

- séparation à la source en catégories déterminées de déchets selon leurs caractéristiques matérielles;
- stockage temporaire chez le producteur dans des bacs, sacs, conteneurs, ou en vrac;
- collecte et transport à l'aide d'un véhicule:
  - à traction humaine ou animale, à moteur, etc.;
  - à plate-forme ouverte, benne fermée, benne à compactage, etc.
- station de transfert: compactage et rechargement dans de plus grandes unités de transport;
- installations de recyclage ou de traitement;
- traitements:
  - tri manuel ou mécanique en différentes catégories de matières en vue du recyclage;
  - traitement des déchets triés au préalable pour former des matières premières secondaires;
  - traitement des nouvelles matières premières secondaires;
  - incinération pour réduire le volume ou récupérer l'énergie;
  - digestion anaérobie des matières pour obtenir des produits d'amendement du sol, des engrais ou de l'énergie (biogaz);
  - compostage des matières organiques pour obtenir des produits d'amendement du sol et des engrais.
- élimination des déchets:
  - décharges conçues et situées de manière à empêcher une migration des eaux polluées (lixiviats de décharge), en particulier vers les ressources en eau potable (nappes souterraines, puits, cours d'eau).

Le recyclage des déchets peut intervenir à n'importe quelle étape du système; à chacune de ces étapes, des risques particuliers peuvent surgir pour la sécurité et la santé au travail.

Dans les sociétés à faible revenu et les pays non industrialisés, le recyclage des déchets solides représente un revenu essentiel pour ceux qui en font la collecte. En général, on ne se pose, dans ces pays, aucune question concernant les risques pour le personnel exposé et la collectivité.

Dans les pays fortement industrialisés, on a clairement tendance à accorder plus d'attention au recyclage des énormes quantités de déchets produites. Outre la valeur marchande directe des déchets, cette attitude s'explique par le fait que la population prend de plus en plus conscience du déséquilibre entre la consommation et la protection de l'environnement naturel. On a donc appelé recyclage ce qui était auparavant la collecte des déchets et l'ébouage pour rendre cette activité plus noble dans l'esprit du public, ce qui s'est traduit par une prise de conscience beaucoup plus aigüe des conditions de travail dans ce secteur.

De nos jours, les autorités chargées de la sécurité et de la santé au travail dans les pays industriels se préoccupent de conditions qui passaient inaperçues il y a quelques années encore et étaient tacitement acceptées, consistant par exemple à:

- soulever de trop lourdes charges et manipuler de trop grandes quantités de matières par journée de travail;
- être exposé sans protection suffisante à des poussières de composition inconnue;
- être exposé sans le savoir à des micro-organismes (bactéries, champignons) et à des endotoxines;
- être exposé sans le savoir à des matières chimiques toxiques.

Tableau 55.18 • Sources de déchets

| Activité                   | Description des déchets  |
|----------------------------|--|
| Industrie                  | Résidus de production<br>Produits défectueux   |
| Commerce de gros           | Produits défectueux  |
| Commerce de détail         | Emballages pour le transport<br>Produits défectueux<br>Matières organiques (provenant des industries alimentaires)<br>Déchets alimentaires   |
| Consommateurs              | Emballages pour le transport<br>Emballages de conditionnement (papier, verre, métal, plastique, etc.)<br>Déchets de cuisine (organiques)<br>Déchets dangereux (produits chimiques, huiles)<br>Déchets encombrants (meubles, etc.)<br>Déchets de jardin |
| Construction et démolition | Béton, briques, métaux, terre, etc.  |
| Services collectifs        | Déchets d'entretien des espaces verts<br>Déchets du nettoyage des rues<br>Mâchefer, cendres et gaz de carneau provenant de la production d'énergie<br>Boues d'égout<br>Déchets hospitaliers  |
| Traitement des déchets     | Rebuts des installations de tri<br>Mâchefer, cendres et matériaux d'épuration des effluents gazeux provenant de l'incinération   |

### Le recyclage

Le recyclage et la récupération sont des termes qui couvrent à la fois la réutilisation (utilisation dans le même but) et la régénération/récupération de matières ou d'énergie.

Les raisons du recours au recyclage peuvent varier selon les conditions nationales et locales. Les principaux arguments en sa faveur peuvent se résumer comme suit:

- détoxification des déchets dangereux lorsque des normes de protection de l'environnement rigoureuses sont fixées par les autorités;
- récupération de ressources dans les zones à faible revenu;
- réduction du volume des déchets dans les zones où la mise en décharge est prédominante;
- récupération de l'énergie dans les régions où la conversion des déchets en énergie peut remplacer les combustibles fossiles (charbon, gaz naturel, pétrole, etc.).

Comme on l'a vu plus haut, le recyclage peut se faire à n'importe quelle étape du système, mais il peut être conçu pour prévenir la formation des déchets. C'est le cas lorsque les produits sont destinés au recyclage ou au rachat après utilisation finale, par exemple, par la consignation des récipients de boissons (bouteilles en verre, etc.).

Le recyclage peut donc aller plus loin que la simple mise en œuvre de la régénération ou de la récupération des matières extraites des déchets.

Dans la plupart des cas, il faut séparer ou trier les déchets en fractions ayant un degré minimal de finesse pour pouvoir les utiliser en lieu et place des matières premières vierges ou d'origine.

Le tri peut être fait par les producteurs des déchets (séparation à la source) ou après la collecte, c'est-à-dire dans une installation centrale de tri.

### La séparation à la source

Avec les techniques actuelles, la séparation à la source donne lieu à des fractions de déchets qui sont «conçues» pour être traitées. Un degré minimal de séparation à la source est inévitable, étant donné que certains mélanges de catégories de déchets ne peuvent être séparés en fractions de matières réutilisables qu'au prix d'un grand effort (économique). Lorsqu'on définit la séparation à la source, il faut toujours tenir compte du type final de recyclage envisagé.

Le système de tri à la source devrait viser à ne pas mélanger ni polluer les différentes catégories de déchets, ce qui ferait obstacle à leur recyclage.

La collecte de catégories de déchets triées à la source fera souvent naître des risques plus précis pour la sécurité et la santé au travail que ne le fait le ramassage en vrac. Cela s'explique par la concentration de fractions de certains déchets, par exemple les substances toxiques. Le tri de matières organiques aisément dégradables peut se traduire par des niveaux élevés d'exposition à des champignons dangereux, bactéries, endotoxines, etc., lorsque ces matières sont manipulées ou transvasées.

### Le tri centralisé

Il peut se faire par des méthodes mécaniques ou manuelles.

On considère généralement que le tri mécanique sans séparation préalable à la source selon les techniques connues de nos jours ne devrait être utilisé que pour la production de combustibles obtenus à partir des déchets. Pour que les conditions de travail soient acceptables, il faut que l'équipement mécanique soit entièrement confiné et que le personnel porte des «combinaisons spatiales» lorsqu'il procède au service et à l'entretien.

Compte tenu des techniques actuelles, le tri central mécanique avec séparation à la source n'a pas donné de bons résultats du fait qu'il est difficile d'atteindre une efficacité suffisante. Lorsque les caractéristiques des fractions de déchets triées seront plus clairement définies et lorsqu'elles seront reconnues à l'échelle nationale ou internationale, on pourra s'attendre à ce que des techniques nouvelles appropriées et efficaces soient mises au point. Le succès de ces techniques sera étroitement lié aux précautions qui seront prises pour instaurer des conditions de travail acceptables.

Le tri centralisé manuel suppose une séparation préalable à la source afin d'éviter les risques pour la sécurité et la santé au travail (poussières, bactéries, substances toxiques, etc.). Il devrait se limiter à un certain nombre de «caractéristiques» des fractions de déchets de manière à éviter les erreurs prévisibles dans le tri à la source et à faciliter le contrôle à la zone de réception de l'usine. Au fur et à mesure que les fractions de déchets seront définies plus clairement, il deviendra possible d'imaginer des dispositifs de plus en plus nombreux et performants pour les procédures de tri automatique, afin de réduire l'exposition directe de l'humain à des substances nocives.

### Pourquoi recycler?

Il convient de noter que le recyclage n'est pas une méthode de traitement des déchets qui devrait être considérée indépendamment des autres pratiques. Pour compléter le recyclage, il faut avoir accès à une décharge convenablement gérée et, peut-être, à des installations plus traditionnelles de traitement des déchets, comme les usines d'incinération et les installations de compostage.

Le recyclage devrait être évalué en liaison avec:

- l'approvisionnement local en matières premières et en énergie;

- ce qui est remplacé — ressources renouvelables (papier/arbres) ou non renouvelables (pétrole).

Aussi longtemps que le pétrole et le charbon seront utilisés comme ressources énergétiques, l'incinération et les combustibles obtenus à partir des déchets constitueront une solution viable de gestion fondée sur la récupération d'énergie. La réduction à un minimum des quantités de déchets par cette méthode peut cependant impliquer l'utilisation de décharges soumises à des normes environnementales extrêmement strictes, ce qui pourrait être très coûteux.

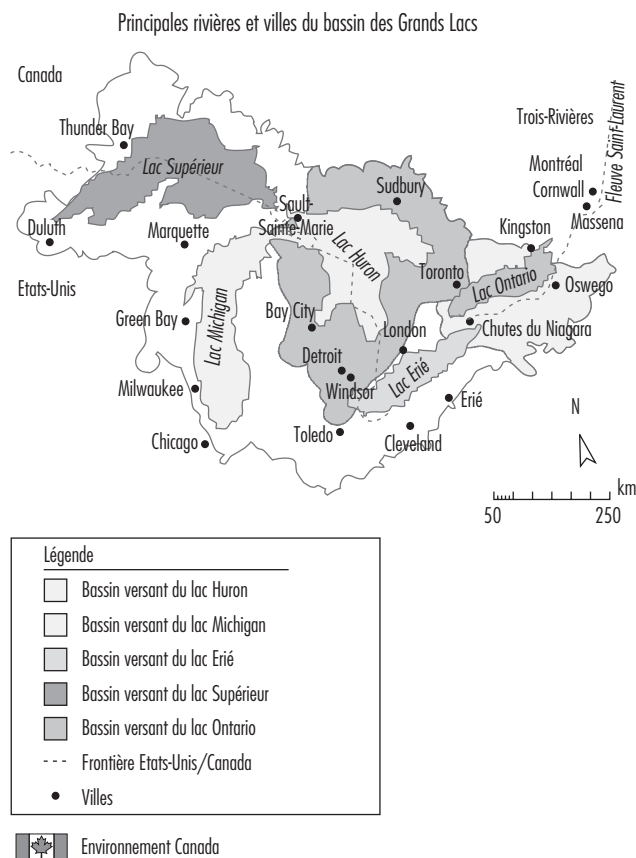
## ● ÉTUDE DE CAS: PRÉVENTION ET MAÎTRISE PAR LE CANADA DE LA POLLUTION MULTIMILIEUX DANS LES GRANDS LACS

Thomas Tseng, Victor Shantora et Ian R. Smith

### Le défi

Les Grands Lacs — ils sont au nombre de cinq — sont une ressource partagée entre le Canada et les Etats-Unis (voir figure 55.24). Ils contiennent plus de 18% des eaux de surface de la planète. Dans ce bassin vivent un Canadien sur trois (environ 8,5 millions)

Figure 55.24 • Bassins versants des Grands Lacs



et un Américain sur neuf (27,5 millions). C'est aussi le cœur industriel des deux pays puisqu'il regroupe le cinquième de la puissance industrielle des Etats-Unis et la moitié de celle du Canada. Les activités économiques menées autour du bassin des Grands Lacs créent chaque année une richesse estimée à mille milliards de dollars. Avec le temps, l'accroissement de la population et des activités industrielles a soumis ces lacs à une série d'atteintes, jusqu'à ce que les deux pays reconnaissent au milieu du XX<sup>e</sup> siècle la nécessité d'une action concertée pour les protéger.

### La réaction

Depuis les années cinquante, les deux pays ont mis en place des programmes nationaux et bilatéraux pour résoudre les problèmes de pollution les plus flagrants et pour répondre à des préoccupations plus complexes concernant la qualité de l'eau. Grâce à ces mesures, les eaux des Grands Lacs sont visiblement plus pures qu'elles ne l'étaient vers le milieu du siècle dernier, les concentrations de métaux lourds et de matières chimiques organiques ont diminué et les niveaux de contaminants chez les poissons et les oiseaux aquatiques ont sensiblement baissé. Par leur succès, les mesures prises par le Canada et les Etats-Unis pour restaurer et protéger les Grands Lacs offrent un modèle de coopération bilatérale pour la gestion des ressources, même s'il reste encore beaucoup à faire.

### Aperçu de l'étude de cas

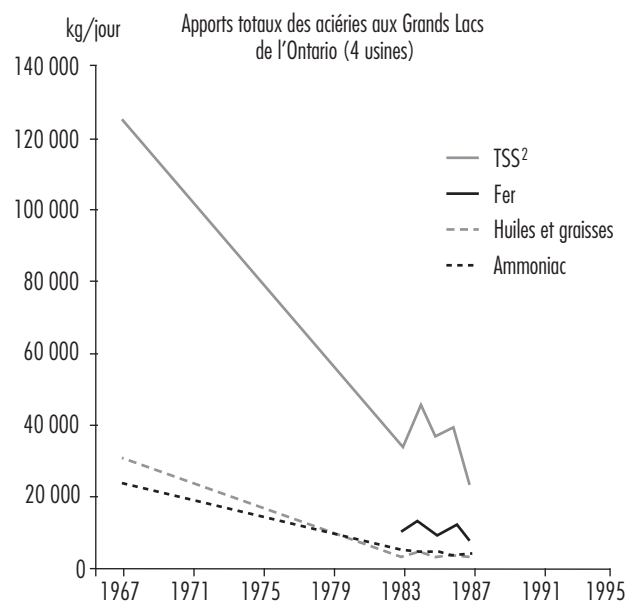
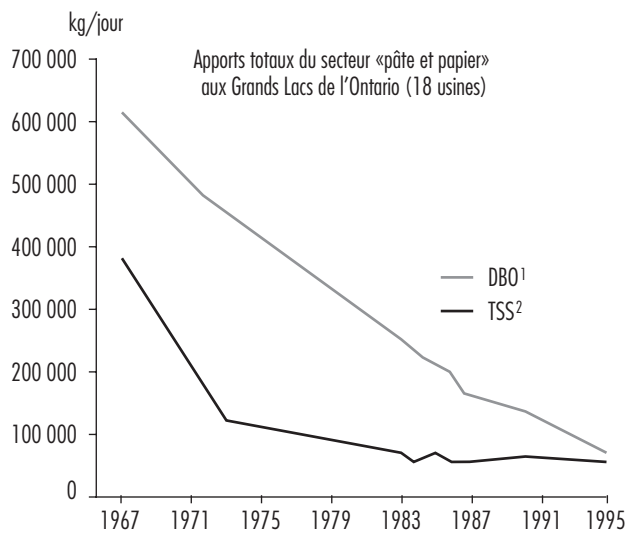
Les menaces que font peser les substances toxiques rémanentes (dites aussi persistantes) ne se font sentir qu'à long terme et leur gestion exige une approche multimilieu englobant toutes les sources de pollution. Pour atteindre l'objectif de longue haleine qui est d'éliminer pratiquement les substances toxiques des Grands Lacs, les autorités chargées de l'environnement, les industries et les autres parties intéressées du bassin ont dû mettre au point de nouvelles approches et de nouveaux programmes. Cet exposé sur l'étude de cas vise à donner un bref résumé des programmes canadiens de lutte contre la pollution et des progrès accomplis jusqu'en 1995, et à décrire les initiatives de gestion des substances toxiques rémanentes dans les Grands Lacs. Les initiatives et programmes analogues adoptés par les Etats-Unis ne seront pas examinés ici. Les lecteurs qui le désirent peuvent s'adresser au Great Lakes National Program Office de l'Agence américaine de protection de l'environnement (Environmental Protection Agency (EPA)) à Chicago pour obtenir des renseignements sur les programmes américains, fédéraux et d'Etat, concernant la protection des Grands Lacs.

### Les années soixante-dix et quatre-vingt

Dans les années soixante, on s'était aperçu que le lac Érié souffrait d'un enrichissement par les nutriments, ou eutrophisation, phénomène qui posait un grave problème. Devant la nécessité d'une action bilatérale, le Canada et les Etats-Unis ont signé, en 1972, le premier accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs. Cet accord esquissait les mesures de réduction de la pollution à prendre pour abaisser les concentrations de phosphore provenant principalement des détergents de lessive et des eaux usées municipales. Pour concrétiser cet engagement, le Canada et l'Ontario ont adopté une législation et des programmes visant à enrayer la pollution par les sources ponctuelles. Entre 1972 et 1987, le gouvernement fédéral et celui de cette province ont investi plus de 2 milliards de dollars dans la construction d'installations de traitement des eaux usées et l'amélioration du bassin des Grands Lacs.

L'accord de 1972 reconnaissait aussi la nécessité de réduire les rejets de substances chimiques toxiques dans les lacs par l'industrie et d'autres sources telles que les déversements. Au Canada, la réglementation fédérale sur les effluents (en fin de cycle) adoptée dans les années soixante-dix pour les polluants classiques rejetés

Figure 55.25 • Réduction progressive de la pollution industrielle



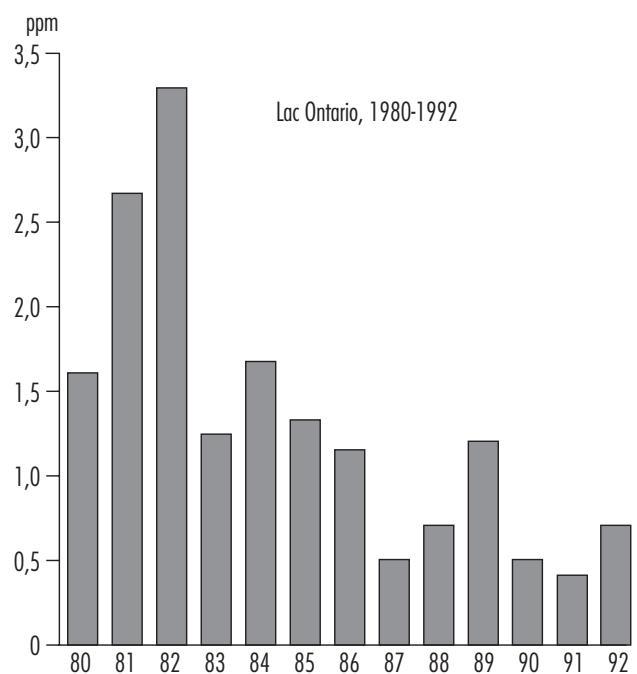
<sup>1</sup> DBO: demande biochimique en oxygène. <sup>2</sup> TSS: total des solides en suspension.

par les grands secteurs industriels (pâte et papier, métallurgie, raffineries de pétrole, etc.) a fourni une norme nationale de référence, tandis que l'Ontario établissait des directives analogues sur les effluents, adaptées aux besoins locaux, y compris ceux des Grands Lacs. Les mesures prises par les entreprises et les municipalités pour se conformer aux dispositions fédérales et à celles de l'Ontario en la matière ont produit des résultats impressionnants; c'est ainsi que de 1975 à 1989, les concentrations de phosphore apportées par les sources ponctuelles au lac Érié ont diminué de 70% et que, dès le début des années soixante-dix, les rejets de polluants classiques par les 7 raffineries de pétrole de l'Ontario avaient été réduits de 90%. La figure 55.25 fait apparaître des tendances analogues dans la réduction des apports du secteur de la pâte et du papier et de celui de la sidérurgie.

Vers le milieu des années soixante-dix, la présence de concentrations élevées de substances chimiques toxiques chez les poissons et dans la faune des Grands Lacs, les anomalies de reproduction constatées chez certains oiseaux piscivores et la diminution de la population d'un certain nombre d'espèces ont fourni la preuve de la présence de substances toxiques bioaccumulatives et rémanentes. Le Canada et les États-Unis ont alors décidé d'axer leurs efforts sur la protection de la faune et ont signé, en 1978, un deuxième accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, par lequel ils s'engageaient à «restaurer et maintenir l'intégrité chimique, physique et biologique des eaux de l'écosystème des Grands Lacs». L'un des principaux objectifs était «d'interdire le déversement de substances toxiques en quantités toxiques et d'éliminer en pratique le déversement de toute substance toxique rémanente». Il était nécessaire de viser à une élimination quasi totale, étant donné que les substances chimiques toxiques rémanentes peuvent se concentrer et s'accumuler dans la chaîne trophique, causant ainsi des dommages graves et irréversibles à l'écosystème, alors que les substances non rémanentes doivent être maintenues à des niveaux inférieurs à ceux auxquels elles causent des dommages immédiats.

Outre les mesures plus strictes appliquées aux sources ponctuelles, le Canada et l'Ontario ont élaboré et renforcé les mesures de réglementation des pesticides, des produits chimiques commerciaux, des déchets dangereux et des sources de pollution non ponctuelles, comme les décharges et les incinérateurs. Les initiatives des autorités ont été conçues davantage dans une optique multimilieu, et l'idée que les substances chimiques devaient être suivies «du berceau jusqu'à la tombe» a inspiré la nouvelle politique du gouvernement comme de l'industrie en matière de gestion de l'environnement. Un certain nombre de pesticides toxiques rémanents ont été interdits par la loi fédérale sur les produits antiparasitaires (Pest Control Products Act) (DDT, aldrine, mirex, toxaphène, chlordane) et la loi sur les contaminants de l'environ-

Figure 55.26 • Concentrations de mirex dans les œufs du goéland argenté



Source: Service canadien de la faune.

nement (Environmental Contaminants Act) a servi à : 1) interdire l'emploi de substances toxiques rémanentes (CFC, PPB, PCB, PPT, mirex, plomb) dans le commerce, les industries manufacturières et les industries de transformation; 2) à limiter les substances chimiques rejetées par certaines opérations industrielles (mercure, chlorure de vinyle, amiante).

Au début des années quatre-vingt, ces mesures, ainsi que les efforts analogues des Etats-Unis, ont commencé à porter leurs fruits. Les niveaux de contamination relevés dans les sédiments et chez la faune des Grands Lacs étaient en diminution et l'amélioration notable de l'environnement était attestée par le retour du pyrague à tête blanche sur les rives canadiennes du lac Erié, par une augmentation de 200% de la population de cormorans, par la réapparition du balbuzard pêcheur dans la baie Georgienne et le rétablissement des sternes communes dans la région du port de Toronto; toutes ces espèces avaient souffert dans le passé des niveaux atteints par les substances toxiques rémanentes et leur rétablissement montre bien que les efforts déployés ont porté leurs premiers fruits.

La tendance à la réduction des concentrations de certaines des substances toxiques rémanentes dans la faune et les sédiments s'est stabilisée vers le milieu des années quatre-vingt (voir, par exemple, la figure 55.26). Les scientifiques en ont conclu que :

1. Si les programmes de lutte contre la pollution de l'eau et les contaminants adoptés étaient utiles, ils ne suffisaient pas à obtenir de nouvelles réductions des concentrations.
2. Des mesures additionnelles s'imposaient pour les sources non ponctuelles de substances toxiques rémanentes, y compris les sédiments contaminés, les polluants apportés par la pollution atmosphérique à longue distance, les décharges abandonnées, etc.
3. Certains polluants peuvent persister dans l'écosystème à des concentrations infimes et peuvent s'accumuler biologiquement dans la chaîne trophique pendant une période prolongée.
4. Le moyen le plus efficace pour lutter contre les substances toxiques rémanentes est d'empêcher leur production à la source plutôt que de tenter de supprimer leur rejet.

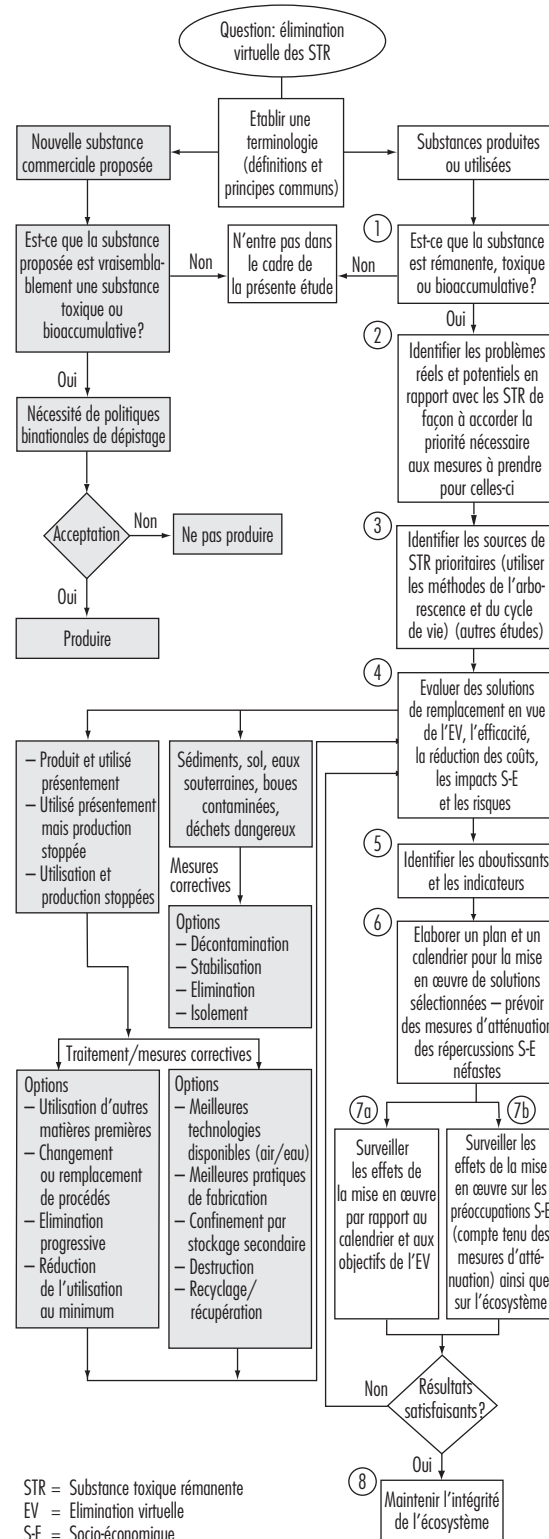
On s'est accordé à reconnaître qu'il fallait redoubler d'efforts pour parvenir à éliminer pratiquement ces substances de l'environnement par l'application du principe des rejets nuls et par l'adoption du concept de l'écosystème pour gérer la qualité de l'eau dans les Grands Lacs.

Pour réaffirmer leur volonté de parvenir à l'élimination pratique des substances toxiques rémanentes, le Canada et les Etats-Unis ont complété l'accord de 1978 par l'adoption d'un protocole en novembre 1987 (United States and Canada, 1987). Ce protocole désigne les zones à problèmes autour des Grands Lacs où des activités bénéfiques avaient été entravées et il prévoit l'élaboration et l'application de plans d'actions correctrices (Remedial Action Plans (RAPs)) pour les sources ponctuelles et non ponctuelles dans les zones désignées. Le protocole prévoit aussi des plans de gestion à l'échelle des lacs (Lakewide Management Plans (LAMPs)) pour servir de cadre à l'élimination des obstacles aux usages bénéfiques dans le lac tout entier, ainsi qu'à la coordination de la lutte contre les substances toxiques rémanentes présentes dans chacun des Grands Lacs. De plus, le protocole comprend de nouvelles annexes concernant l'établissement de programmes pour les sources atmosphériques, les sédiments contaminés, les décharges, les déversements et le contrôle des espèces exotiques.

### La décennie quatre-vingt-dix

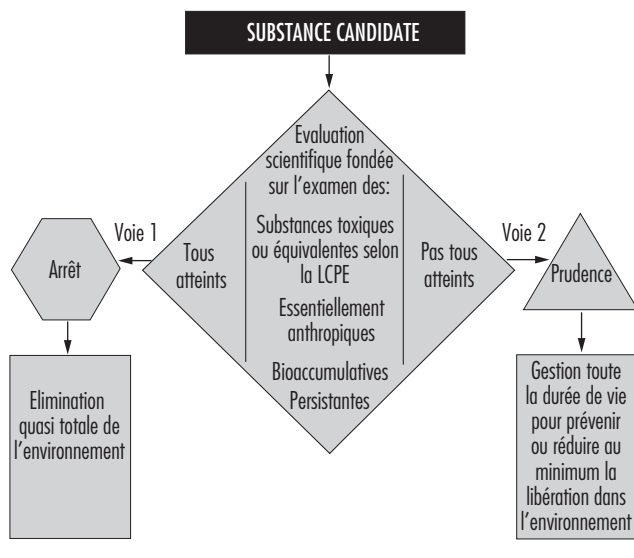
Après la signature du protocole de 1987, l'objectif d'une élimination pratiquement totale a été énergiquement soutenu par les

Figure 55.27 • Processus de prise de décisions pour l'élimination virtuelle des substances toxiques rémanentes dans les Grands Lacs



Source: Commission mixte internationale, 1993

Figure 55.28 • Choix des objectifs au titre de la politique de gestion des substances toxiques



groupes de défense de l'environnement de part et d'autre des Grands Lacs, face aux préoccupations croissantes suscitées par les substances toxiques rémanentes. La Commission mixte internationale, qui est l'organe consultatif binational créé en vertu du Traité des frontières des eaux internationales de 1909 (Boundary Waters Treaty), a également défendu avec vigueur cette formule. En 1993, une équipe de travail binationale de cette commission a recommandé une stratégie d'élimination dite virtuelle (quasi totale) (Commission mixte internationale, 1993) (voir figure 55.27). Vers le milieu des années quatre-vingt-dix, la Commission et les parties s'efforçaient de définir un programme d'application de ces stratégies, y compris les considérations relatives aux impacts socio-économiques.

Les gouvernements du Canada et de l'Ontario ont agi de plusieurs manières pour combattre ou réduire les rejets de substances toxiques rémanentes. Les initiatives et programmes importants sont brièvement exposés ci-après.

#### La loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE)

En 1989, Environnement Canada a regroupé dans un seul texte les différentes dispositions juridiques qui le concernent. La LCPE confère au gouvernement fédéral de larges pouvoirs (collecte d'informations, formulation et application des règlements) couvrant tout le cycle de vie des substances chimiques. En vertu de cette loi, le règlement sur la notification des nouvelles substances fixe des procédures d'examen de celles-ci, afin que l'on puisse interdire l'importation, la fabrication ou l'emploi au Canada des substances toxiques rémanentes qui ne peuvent pas être contrôlées comme il convient. La première phase du programme d'évaluation de la liste des substances prioritaires (Priority Substances List (PSL I)) a été réalisée en 1994; 25 des 44 substances évaluées ont été jugées toxiques selon la définition de la LCPE, et l'élaboration de stratégies de gestion de ces substances a été entreprise en vertu d'un processus de choix stratégiques; 56 autres substances prioritaires ont été désignées et seront évaluées au titre de la phase II du programme PSL. L'inventaire national des rejets de polluants a été effectué en 1994 pour imposer aux industries et autres installa-

Tableau 55.19 • Critères de sélection des substances toxiques candidates à la voie I de la politique de gestion

| Persistance |          | Bioaccumulation           | Toxicité  | Origine anthropique  |
|-------------|----------|---------------------------|---|--|
| Milieu      | Demi-vie |                           |   |  |
| Air         | ≥ 2 j    | BAF ≥ 5 000               | Toxique selon la LCPE ou équivalent de toxicité selon la LCPE | Concentrations dans l'environnement provenant essentiellement des activités humaines |
| Eau         | ≥ 182 j  | ou                        |   |  |
| Sédiments   | ≥ 365 j  | BBCP ≥ 5 000              |   |  |
| Sol         | ≥ 182 j  | ou                        |   |  |
|             |          | log K <sub>ow</sub> ≥ 5,0 |   |  |

LCPE: loi canadienne sur la protection de l'environnement.

tions qui répondent aux critères de communication des données l'obligation d'indiquer chaque année leurs rejets de 178 substances dans l'air, les eaux et le sol et leurs transferts sous forme de déchets. Cet inventaire, établi sur le modèle de l'inventaire des rejets de substances toxiques (Toxic Release Inventory (TRI)), aux États-Unis, offre une importante base de données pour fixer l'ordre de priorité des programmes de prévention et de réduction de la pollution.

#### L'accord Canada-Ontario concernant l'écosystème des Grands Lacs

En 1994, le Canada et l'Ontario ont établi un cadre stratégique pour coordonner l'action visant à restaurer, protéger et conserver l'écosystème des Grands Lacs en mettant l'accent sur la réduction de l'emploi, de la production ou de la libération, avant l'an 2000, de 13 substances toxiques rémanentes de l'étape I (Canada and Ontario, 1994). Cet accord vise aussi une liste supplémentaire de 26 substances toxiques prioritaires (étape II) qui doivent faire l'objet d'importantes réductions. Pour les substances de l'étape I, l'accord: 1) confirme le rejet zéro de 5 pesticides interdits (aldrine, chlordane, DDT, mirex, toxaphène); 2) vise à déclasser 90% des biphényles polychlorés (PCB) à forte concentration, à détruire 50% des quantités stockées et à accélérer la destruction des PCB de faible concentration en stock; 3) vise à réduire de 90% le rejet des 7 substances restantes de l'étape I (alkylplomb, benzo[a]pyrène, hexachlorobenzène, mercure, octachlorostyrène, PCDD (dibenzodioxines chlorées) et PCDF (dibenzofurannes chlorés)). Cet accord s'efforce d'obtenir des réductions quantitatives chaque fois que possible et demande aux sources de prévenir la pollution et d'utiliser d'autres moyens pour atteindre ses objectifs. Quatorze projets ont déjà été lancés par le gouvernement fédéral et celui de l'Ontario pour parvenir à réduire/éliminer les substances des étapes I et II.

#### La politique de gestion des substances toxiques

Reconnaissant la nécessité d'adopter une approche de prévention et de précaution, Environnement Canada a rendu publique, en juin 1995, une politique nationale de gestion des substances toxiques qui doit servir de cadre à l'action dans ce domaine (Environnement Canada, 1995). Cette politique comprend deux voies (voir figure 55.28), afin que les mesures de gestion soient adaptées aux caractéristiques des substances chimiques. Il s'agit:

- d'éliminer pratiquement de l'environnement les substances qui sont essentiellement anthropiques, rémanentes, bioaccumulatives et toxiques (voie I);

Figure 55.29 • Prévention de la pollution des Grands Lacs



- d'appliquer le principe de la gestion pendant tout le cycle de vie («du berceau jusqu'à la tombe») de toutes les autres substances considérées (voie II).

On utilise un ensemble de critères à fondements scientifiques (Environnement Canada, 1995) (voir tableau 55.19) pour répartir entre les deux volets les substances dont on veut s'occuper. Si une substance retenue aux fins de classement dans l'une des deux

voies n'est pas suffisamment réglementée par les programmes existants, on définit des mesures additionnelles dans le cadre du processus des choix stratégiques à partenaires multiples. Cette politique est conforme à l'accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs et elle oriente et encadre un certain nombre de programmes nationaux en définissant leur objectif ultime en matière d'environnement, mais les moyens d'atteindre cet objectif ultime varient selon la substance chimique et sa source, de même

Tableau 55.20 • Récapitulation des réductions de rejets de dioxines et de furannes au Canada

| Sources des émissions                           | Réduction | Période considérée | Initiatives du gouvernement canadien   |
|---|-----------|--------------------|--|
| Effluents des fabriques de papier kraft blanchi | 82%       | 1989-1994          | Réglementations de la LCPE pour les agents de démoissage, les copeaux de bois et les dioxines/furannes |
| Pesticide - 2,4,5-T                             | 100%      | 1985               | Usage interdit par la LPLA   |
| Pesticide - 2,4-D                               | 100%      | 1987-1990          | Teneur en dioxines et usage fortement limités par la LPLA  |
| Pentachlorophénol                               |           |                    |  |
| — préservation du bois                          | 6,7%      | 1987-1990          | Réglémenté par la LPLA   |
| — protection du bois                            | 100%      | 1987-1990          | Usage interdit par la LPLA   |
| PCB   | 23%       | 1984-1993          | Plan d'action du CCME pour les PCB   |
| Incinération                                    | 80%       | 1989-1993          | Directives d'exploitation/d'émission du CCME   |
| — déchets solides municipaux                    |           |                    |  |
| — déchets dangereux et biomédicaux              | 80%       | 1990-1995          | Directives d'exploitation/d'émission du CCME   |

CCME: Conseil canadien des ministres de l'Environnement. LCPE: loi canadienne sur la protection de l'environnement. LPLA: loi sur les produits de lutte antiparasitaires.

que le rythme auquel on y parvient. Cette politique guide aussi la position du Canada sur les substances toxiques rémanentes dans les débats internationaux.

### Le plan d'action pour le chlore

En octobre 1994, Environnement Canada a rendu publique une ligne de conduite d'ensemble pour gérer les matières chlorées dans le cadre de la politique de gestion des substances toxiques (Environnement Canada, 1994). Cette ligne de conduite consiste à réduire l'emploi du chlore à l'aide d'un plan d'action en cinq parties visant à: 1) centrer l'action sur les usages et les produits critiques; 2) améliorer la connaissance scientifique du chlore et de son impact sur la santé et l'environnement; 3) préciser les conséquences socio-économiques; 4) améliorer l'accès du public à l'information; 5) encourager l'adoption de mesures au niveau international pour les substances chlorées. Depuis quelque temps déjà l'emploi du chlore a diminué au Canada, notamment de 45% depuis 1988 dans le secteur de la pâte à papier et du papier. Cette tendance sera accélérée par la mise en œuvre du plan d'action pour le chlore.

### L'action de prévention de la pollution dans les Grands Lacs

Un programme énergétique de prévention de la pollution a été mis en place pour le bassin des Grands Lacs. Depuis mars 1991, Environnement Canada et le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario ont uni leurs efforts à ceux des industriels et des autres parties intéressées pour élaborer et réaliser des projets de prévention de la pollution, par opposition au traitement des déchets ou à la réduction de la pollution postérieurement à sa production. En 1995-96, plus de 50 projets ont visé des substances chimiques commerciales, la gestion des déchets dangereux, les

installations fédérales, les industries, les municipalités et le bassin du lac Supérieur. On trouvera à la figure 55.29 un aperçu de ces projets, qui se subdivisent en deux grandes catégories: ceux qui s'intègrent au programme et ceux qui font l'objet d'accords volontaires. La figure montre aussi les liens avec les autres programmes examinés précédemment (NPRI, RAP, LAMP) et avec un certain nombre d'institutions qui collaborent étroitement avec Environnement Canada en matière de techniques et procédés non polluants, ainsi qu'en matière de formation, d'information et de communication. Les projets de prévention peuvent donner des résultats impressionnants, comme le montre l'exemple des constructeurs d'automobiles, qui ont lancé 15 projets pilotes, éliminant ainsi 2 240 tonnes de substances des usines automobiles Chrysler, Ford et General Motors de l'Ontario.

### Le programme d'accélération de la réduction et de l'élimination des toxiques

Le programme d'accélération de la réduction et de l'élimination des toxiques (Accelerated Reduction/Elimination of Toxics (ARET)) est une initiative menée de concert par les parties intéressées et lancée en 1994 en vue d'éliminer progressivement 14 substances toxiques prioritaires, avec un objectif intérimaire d'une réduction/élimination en 6 ans de 90% et d'une diminution des émissions de 50% pour 87 substances toxiques moins nocives (ARET Secretariat, 1995). En 1995, plus de 200 sociétés et organismes gouvernementaux participaient à cette initiative librement décidée. Ensemble, ils ont réduit les émissions de 10 300 tonnes par rapport à l'année 1988 prise comme référence et se sont engagés à réaliser une réduction supplémentaire de 8 500 tonnes dans les cinq années à venir.

### Les stratégies bilatérales et internationales

Outre les deux initiatives nationales décrites ci-dessus, le Canada et les États-Unis élaborent actuellement une stratégie bilatérale pour coordonner leur action et fixer des objectifs communs pour les substances toxiques rémanentes dans le bassin des Grands Lacs. Ils adopteront des buts et objectifs analogues à ceux de l'accord Canada-Ontario pour les substances des étapes I et II et une liste américaine similaire. Des projets conjoints seront élaborés et réalisés pour faciliter l'échange d'informations au sujet des substances prioritaires comme les PCB et le mercure. En se montrant résolu à parvenir à une élimination pratiquement totale comme décrit plus haut, le Canada pourra jouer un rôle de chef de file par la promotion de l'action internationale dans le domaine des substances toxiques rémanentes. Il avait d'ailleurs accueilli, en juin 1995, à Vancouver, une conférence des Nations Unies pour mettre l'accent sur une concertation mondiale dans le domaine des polluants organiques persistants (POP) et pour explorer des formules de prévention en vue de réduire les émissions de ces polluants dans le monde. Le Canada est également coprésident du groupe de travail de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE) chargée d'élaborer un protocole pour les polluants organiques persistants dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontières.

### Un exemple — les dioxines et les furannes

Depuis plus d'une décennie, on sait que les dibenzodioxines chlorées et les dibenzofurannes chlorés forment un groupe de substances toxiques rémanentes qui sont une source de préoccupation pour l'environnement du Canada et des Grands Lacs. Le tableau 55.20 expose sommairement les mesures prises au niveau fédéral et les diminutions de rejets obtenues jusqu'ici, montrant comment la panoplie de programmes et d'initiatives a permis de réduire sensiblement ces substances toxiques. En dépit de ces résultats impressionnants, dioxines et furannes continuent d'occuper la première place dans la politique de gestion des substances

toxiques, le plan d'action pour le chlore, l'accord Canada-Ontario et la stratégie bilatérale esquissée ci-dessus.

### Résumé

La qualité de l'eau des Grands Lacs s'est sensiblement améliorée grâce aux mesures de lutte contre la pollution prises depuis le début des années soixante-dix par les gouvernements et les parties intéressées au Canada et aux États-Unis. La présente étude de cas donne un résumé des efforts et des succès du Canada dans la lutte contre la pollution générale et les polluants classiques. Elle décrit en outre une nouvelle approche qui se dessine (la politique de gestion des substances toxiques, le plan d'action pour le chlore, la prévention de la pollution, l'action volontaire, les consultations entre parties intéressées, etc.) pour aborder les problèmes beaucoup plus difficiles que posent les substances toxiques rémanentes dans les Grands Lacs. Elle décrit aussi brièvement les programmes d'ensemble (COA, NPRI, SOP, PSL, etc.) mis en place en vue d'atteindre l'objectif d'une élimination pratique de ces substances. On trouvera, dans les références bibliographiques à la fin du présent chapitre, de plus amples renseignements sur l'approche canadienne.

## ● DES TECHNIQUES DE PRODUCTION MOINS POLLUANTES

*David Bennett*

### La prévention, la lutte antipollution et l'assainissement

Classiquement, il y a trois moyens de s'attaquer au problème de la pollution: la prévention, la lutte antipollution et l'assainissement. Ils forment une hiérarchie dans laquelle la priorité doit être donnée à la prévention, suivie des mesures de lutte, l'assainissement constituant un pis-aller. On entend par réduction de la pollution n'importe quel moyen de l'atténuer, mais en pratique elle implique d'ordinaire une forme de lutte. Bien que la hiérarchie de ces trois démarches soit exprimée en termes de préférences ou de priorités, ce n'est pas toujours le cas dans la pratique; des pressions peuvent être exercées par le législateur en faveur d'une voie plutôt que d'une autre; une stratégie peut être moins coûteuse qu'une autre ou l'assainissement peut être l'action la plus urgente, comme dans le cas d'un déversement exceptionnellement important ou de la diffusion dangereuse d'un polluant à partir d'un site contaminé.

#### La prévention de la pollution

On peut définir la prévention de la pollution comme une stratégie ou un ensemble de moyens destinés à éviter que des polluants ne soient créés. Comme le dit Barry Commoner, «pas de polluant, pas de pollution». Ainsi, si une substance chimique dont l'utilisation crée de la pollution est éliminée, il y aura «rejet zéro» (ou «émission zéro») du polluant considéré. Le rejet zéro est plus convaincant si cette substance chimique n'est pas remplacée par une autre substance ou par un produit de substitution susceptible de constituer un nouveau polluant.

Une stratégie souvent utilisée pour prévenir la pollution est celle de l'interdiction, de l'élimination ou de la réduction progressive de substances ou de catégories de substances chimiques (on peut aussi imposer des restrictions aux utilisations). Ces stratégies font l'objet de lois ou de règlements nationaux, plus rarement d'accords internationaux (conventions ou traités) ou de règlements locaux.

Une seconde stratégie consiste à réduire la pollution, là encore dans le sens de la prévention plutôt que de la lutte. Si on limite l'utilisation d'une substance chimique polluante, on obtiendra

presque toujours une baisse de la pollution. C'est cette stratégie qui a inspiré les programmes de réduction de l'utilisation des substances toxiques (Toxics Use Reduction (TUR)) en Amérique du Nord et de techniques non polluantes en Europe.

Contrairement aux interdictions et aux éliminations progressives, qui s'appliquent généralement à tous les lieux de travail visés au sein d'une juridiction politique, les programmes de réduction de la pollution portent sur des lieux ou des catégories de lieux précis. Il s'agit généralement, pour commencer, des lieux de travail d'une certaine dimension dans les industries manufacturières (y compris chimiques), bien que les principes de la réduction de la pollution puissent être appliqués de manière générale par exemple aux mines, aux centrales électriques, aux chantiers de construction, aux bureaux, à l'agriculture (pour les engrais chimiques et les pesticides) et aux municipalités. Aux États-Unis, le Michigan et le Vermont ont adopté sous forme de lois des programmes de réduction de l'emploi des substances toxiques pour les personnes qui exercent une activité professionnelle à domicile.

La réduction de la pollution peut aboutir à l'élimination de substances chimiques déterminées et atteindre ainsi les mêmes objectifs que l'interdiction ou l'élimination progressive. Là encore, on aboutirait ainsi à un rejet zéro du polluant concerné, mais l'obligation de supprimer des substances chimiques déterminées n'est pas inscrite dans les programmes de réduction; ce qui est prescrit, c'est un plan général comportant un ensemble adaptable de méthodes. L'obligation de supprimer une substance donnée est un exemple d'une «norme de spécification». L'obligation d'établir un programme général est une «norme de résultat» parce qu'elle autorise une certaine souplesse dans le mode d'application, bien qu'un objectif à atteindre obligatoirement (résultat) dans un programme général soit considéré (curieusement) comme une norme de spécification. Lorsqu'elles ont le choix, les entreprises préfèrent généralement les normes de résultat aux normes de spécification.

#### La lutte antipollution

Les mesures de lutte contre la pollution ne peuvent pas éliminer celle-ci; tout ce qu'elles peuvent faire, c'est en atténuer les effets sur l'environnement. Ces mesures s'appliquent aux rejets en fin de cycle de fabrication. Leur utilité dépend du polluant et des conditions propres à l'industrie. Les principales méthodes de lutte, rangées sans ordre particulier, sont:

- la maîtrise, puis le stockage des polluants;
- la filtration, consistant à extraire du flux de rejets les polluants en suspension dans l'air ou dans l'eau par des méthodes physiques, comme les tamis, filtres et autres barrières perméables (le coke, par exemple);
- la précipitation, par laquelle le polluant est précipité chimiquement et ensuite retenu dans son état transformé, ou saisi par des méthodes physiques, comme les champs électrostatiques;
- la destruction — par exemple, l'incinération ou la neutralisation, par laquelle les polluants sont transformés chimiquement ou biologiquement en substances moins nocives;
- la dilution, par laquelle le polluant est dilué ou lessivé, afin d'en atténuer les effets sur un organisme ou un écosystème ou, au contraire, la concentration, destinée à diminuer les effets de la mise en décharge;
- l'évaporation ou la dissolution — par exemple, la dissolution d'un gaz dans l'eau;
- l'utilisation — par exemple, la transformation d'un polluant en un produit potentiellement utile, mais pas nécessairement moins toxique (comme le dioxyde de soufre transformé en acide sulfurique ou l'emploi d'un déchet solide comme base des revêtements routiers);
- le recyclage externe (lorsque le recyclage ne fait pas partie intégrante du procédé de production);

- le changement de milieu récepteur, par lequel le flux de déchets est détourné de l'air, du sol ou de l'eau vers un autre milieu, parce que ce changement rend le polluant moins nocif;
- le changement d'état — en un état solide, liquide ou gazeux, parce que le nouvel état est moins nocif.

### **L'assainissement**

L'assainissement est nécessaire dans la mesure où la prévention et la lutte antipollution ont échoué. Il est aussi très onéreux et les coûts n'en sont pas toujours supportés par le pollueur. Les modes d'assainissement sont:

#### **Le nettoyage des sites contaminés**

Le terme «nettoyage» a une acception courante, comme lorsqu'on dit que l'entreprise doit «nettoyer ce qu'elle a pollué», ce qui peut signifier beaucoup de choses différentes. Dans le contexte de la protection de l'environnement, on parlera plutôt de décontamination, qui est un terme technique désignant certains types ou modes d'assainissement. Même dans son sens restreint, ce terme peut signifier: 1) l'élimination des polluants d'un site contaminé; ou 2) la remise en état d'un site pour qu'il retrouve tout son potentiel d'utilisation. Dans un autre cas encore, on entendra seulement la réhabilitation par confinement des polluants à l'intérieur d'un site, d'une zone ou d'une masse d'eau — notamment par le recouvrement, le colmatage ou la construction d'un sol imperméable.

Pour atteindre son but, la décontamination doit être efficace à 100% et protéger intégralement les travailleurs, les personnes de passage et le grand public. Il faut aussi veiller à ce que les matériaux, les méthodes et les techniques de décontamination ne créent pas de nouveaux risques. Bien qu'il soit préférable que la protection des travailleurs qui en sont chargés soit assurée par des procédés intégrés en amont, un équipement de protection individuelle approprié sera presque toujours nécessaire. Normalement, les personnels chargés de travaux d'assainissement sont classés parmi les travailleurs spécialisés dans le traitement des déchets dangereux, bien que certaines de ces tâches puissent être effectuées par les sapeurs-pompiers ou par des employés municipaux.

L'assainissement des sites contaminés nécessite le recours à un grand nombre de produits et de méthodes relevant de la physique, de la chimie, de la biologie et de la biotechnologie.

#### **Le traitement des déchets dangereux**

Le plus souvent, les déchets dangereux (ou toxiques) sont traités aujourd'hui par des travailleurs spécialisés et dans des installations conçues à cet effet. Du point de vue de l'environnement, le critère d'efficacité d'une installation de traitement de déchets dangereux est qu'elle ne doit rejeter que des substances inertes, ou pratiquement inertes, telles que de la silice, des composés inorganiques insolubles, des scories insolubles et non corrosives, de l'azote gazeux ou du dioxyde de carbone — bien que celui-ci soit un gaz à effet de serre responsable de modifications climatiques et qui est donc à son tour nocif pour l'environnement.

Un autre critère est que l'installation ait un bon rendement énergétique, c'est-à-dire qu'elle soit économe en énergie, avec un rapport entre la puissance utilisée et le volume de déchets traités aussi faible que possible. Selon une règle empirique (qui n'est heureusement pas une loi universelle), plus la stratégie de réduction de la pollution (ou des déchets) est efficace, plus elle consomme d'énergie, ce qui est un autre inconvénient selon les critères du développement durable.

Même lorsque les travailleurs sont convenablement protégés, il est facile de voir les inconvénients du traitement des déchets dangereux comme mode de lutte contre la pollution. Les méthodes de prévention peuvent s'appliquer au processus de traitement,

mais non au principal «intrançable», à savoir les déchets à traiter. Il faut à peu près autant d'énergie pour traiter des déchets dangereux qu'il en a fallu pour les créer, et ils produiront toujours de nouveaux déchets, même si ceux-ci sont inertes ou non toxiques.

#### **Les déversements et les fuites**

Les mêmes considérations valent aussi pour les déversements et les fuites de substances chimiques. Il faut aussi tenir compte des dangers liés à l'urgence des opérations de nettoyage. Les travailleurs chargés du nettoyage des déversements et des fuites sont presque toujours des spécialistes des opérations d'urgence. Selon l'ampleur et la nature du polluant, les fuites et les déversements peuvent donner lieu à des accidents industriels majeurs.

### **Les modes de prévention de la pollution**

#### **La définition et les principes généraux**

Définir la prévention de la pollution peut sembler superflu, mais cette définition est importante, car les partisans de cette méthode voudraient, par principe, que l'on s'en tienne à une stratégie agressive uniquement axée sur la prévention, aux dépens des méthodes de lutte contre la pollution, et que l'on évite l'assainissement. Ils font valoir que plus on définit la notion de prévention avec rigueur, plus elle a de chances de réussir dans la pratique. Inversement, plus on laisse les entreprises lui donner une acception large, plus on risque de les voir ressortir la même panoplie de vieilles stratégies déjà appliquées sans succès. A cela, les entreprises répondent parfois que même les déchets toxiques peuvent avoir une valeur marchande et que les méthodes de lutte contre la pollution ont donc un rôle à jouer, si bien que la pollution n'existe que potentiellement. En outre, la notion de rejet zéro est, à leur avis, une impossibilité qui ne peut susciter que des espoirs fallacieux et des stratégies mal conçues. Les partisans des méthodes de prévention répondent que, aussi longtemps qu'on ne fixera pas le rejet zéro comme objectif ou idéal à atteindre, on ne parviendra pas à prévenir la pollution et on ne pourra pas améliorer la protection de l'environnement.

Les définitions les plus strictes de la prévention reposent, pour la plupart, sur un élément unique ou central, qui est d'éviter d'utiliser des substances chimiques susceptibles de créer des polluants. Certaines des controverses les plus vives en matière de définition concernent le recyclage, qui sera traité ci-après dans le cadre de la prévention.

#### **Les objectifs**

L'un des objectifs de la prévention de la pollution peut être le rejet zéro de polluants. C'est ce que l'on désigne parfois par l'expression «élimination virtuelle» (de fait ou quasi totale), car même le rejet zéro ne peut résoudre le problème des contaminants qui sont déjà présents dans l'environnement. Avec les méthodes de prévention, le rejet zéro est possible alors que, même en théorie, les procédés de lutte ne peuvent atteindre le niveau zéro et qu'ils sont moins efficaces encore en pratique, en raison du laxisme avec lequel ils sont appliqués en général. Ainsi, on peut envisager la production d'automobiles sans aucun rejet de polluants par l'usine; les déchets de production sont recyclés et le produit (la voiture) constitué de pièces réutilisables ou recyclables. C'est ainsi que l'on est parvenu au rejet zéro de certains polluants — par exemple, en modifiant le procédé de fabrication dans l'industrie de la pâte à papier pour ne pas rejeter de dioxines ni de furannes dans les effluents. L'objectif du rejet zéro a aussi été inscrit dans les lois sur l'environnement et dans les politiques des organes chargés de réduire la pollution.

En pratique, l'objectif du rejet zéro est souvent remplacé par des objectifs de réduction — une diminution de 50% des émissions polluantes d'ici à telle année, par exemple. Ces objectifs

intermédiaires revêtent généralement la forme de «défis» ou de critères à l'aune desquels on peut mesurer le succès d'un programme de prévention. Ils sont rarement le produit d'une analyse ou d'un calcul de faisabilité et aucune sanction ne leur est associée si l'objectif n'est pas atteint. Ils ne sont pas non plus mesurés avec précision.

Les réductions devraient être mesurées (et non pas estimées) en utilisant l'une des formules ci-après:

Pollution ( $P$ ) = toxicité du polluant ( $T$ ) × volume ( $V$ ) des rejets  
ou:

$$P = T \times V \times E \text{ (potentiel d'exposition).}$$

Cela est très difficile en théorie et très coûteux en pratique, bien que l'on puisse en principe le faire grâce aux techniques d'évaluation des dangers (voir ci-après). Il y a tout lieu de penser qu'il vaudrait mieux utiliser les ressources financières à d'autres fins — par exemple, pour obtenir qu'on établisse des plans de prévention adéquats.

En ce qui concerne les pesticides chimiques, on peut atteindre l'objectif d'une réduction de leur emploi par les méthodes de lutte intégrée contre les parasites, étant entendu que cette expression peut, elle aussi, être définie au sens large ou au sens étroit.

### Les méthodes

Les principales méthodes de prévention sont:

- L'élimination ou la suppression progressive de certaines substances chimiques dangereuses.
- La substitution des facteurs de production — le remplacement d'une substance toxique ou dangereuse par une autre non toxique ou moins dangereuse: dans l'imprimerie, par exemple, le remplacement des colorants organiques synthétiques par des colorants à l'eau, des solvants organiques par des solvants à l'eau ou aux agrumes et, dans certaines applications, des huiles minérales par des huiles végétales. A titre d'exemple de substitution non chimique, on peut citer le remplacement des décapants chimiques fluides pour les peintures par le nettoyage à la grenaille, l'emploi de systèmes à eau chaude à haute pression au lieu du nettoyage caustique, ou l'utilisation de l'étuvage à la place des pentachlorophénols (PCP) dans l'industrie du bois.

Dans tous les cas, il faut procéder à une analyse pour s'assurer que les produits substitutifs sont vraiment moins dangereux que ceux qu'ils remplacent. Une telle initiative relève du bon sens en général et, dans le meilleur des cas, on peut appliquer les techniques d'évaluation des dangers (voir ci-après) à la substance chimique considérée et à celle qui doit la remplacer.

- La modification de la composition du produit — remplacer un produit final par un autre qui ne soit pas toxique ou qui le soit moins lorsqu'on l'utilise, le rejette ou l'élimine.

Alors que la méthode de substitution vise les matières premières et les additifs utilisés dès le début du processus, en modifiant la composition on aborde le problème sous l'angle du produit final.

Les programmes généraux visant à fabriquer des produits qui soient plus respectueux de l'environnement sont des exemples de «conversion économique». Comme exemple de modification de la composition du produit, on peut citer la fabrication de piles rechargeables au lieu de piles jetables, ou encore l'emploi de revêtements à base d'eau à la place de ceux qui font appel à des solvants organiques.

Là encore, une analyse de substitution est indispensable pour s'assurer que le bénéfice net pour l'environnement est plus grand avec les produits à composition modifiée qu'avec ceux que l'on employait auparavant.

- La modernisation de l'unité de production, pour qu'elle utilise moins de substances chimiques ou des substances moins toxiques.
- L'amélioration du fonctionnement et de l'entretien de l'unité de production, ainsi que des méthodes de production, y compris le maintien de l'ordre et de la propreté des locaux, un contrôle de la qualité plus efficace et des inspections du processus de fabrication.

A titre d'exemple des mesures de prévention des déversements, on peut citer l'emploi de conteneurs hermétiques, la prévention des fuites et l'emploi de couvercles flottants pour les réservoirs à solvants.

- La réduction de la quantité de substances mises en œuvre, et une plus large réutilisation de certaines d'entre elles. Par exemple, on tend parfois à multiplier inutilement les opérations de dégraissage. On peut aussi employer moins de substances chimiques pour chaque opération. Autre exemple de réutilisation possible: celui des liquides de dégivrage.
- L'adoption de méthodes en circuit fermé et le recyclage en cours de processus. A strictement parler, un processus en circuit fermé est celui qui ne produit aucune émission sur le lieu du travail ou dans l'environnement extérieur, pas même le rejet d'eaux usées dans les eaux de surface ou de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Il n'y a que des intrants, des produits finis et des déchets inertes ou non toxiques. Dans la pratique, les méthodes en circuit fermé éliminent certains des rejets dangereux, mais pas tous. Dans la mesure où l'on y parvient, on peut considérer qu'il s'agit là d'un exemple de recyclage en cours de processus (voir ci-après).

### Le recyclage

Lorsqu'on tente de définir ce qu'est la prévention de la pollution, on aboutit fatalement à un certain nombre de «zones grises» dans lesquelles il n'est pas facile de distinguer les mesures de prévention de celles qui visent la réduction des émissions. Ainsi, pour pouvoir être considérée comme une méthode de prévention, une phase du processus de production doit faire «partie intégrante de l'unité de production», mais il n'est pas toujours facile de dire à quelle distance de la périphérie du processus cette phase doit se trouver pour mériter l'appellation de prévention. Certains processus peuvent être tellement éloignés du noyau d'une opération qu'ils paraissent être une phase ajoutée et, par conséquent, ressemblent plutôt à une mesure antipollution «en bout de chaîne» qu'à une méthode de prévention. Une fois encore, il y a des cas marginaux, comme celui d'une canalisation de rejets qui constitue le produit de départ d'une usine voisine: considérées ensemble, les deux usines forment une sorte de circuit fermé, mais celle d'amont génère encore des effluents et ne satisfait donc pas aux critères de la prévention.

Il en va de même du recyclage. Traditionnellement, on distingue trois types de recyclage:

- le recyclage en cours de processus — par exemple, lorsque le solvant du nettoyage à sec est filtré, nettoyé et séché, puis réutilisé dans le même processus;
- le recyclage hors processus, mais dans l'usine, comme c'est le cas lorsque les déchets de production des pesticides sont nettoyés puis réutilisés comme base inerte pour un nouveau cycle de fabrication;
- le recyclage hors processus et hors de l'usine.

De ces trois types de recyclage, le troisième n'est généralement pas considéré comme une méthode de prévention: plus le lieu du recyclage est éloigné, moins on a de garantie que le produit recyclé est effectivement réutilisé. Il y a aussi les risques que présente le transport des déchets à recycler et l'incertitude quant à

leur valeur marchande ultime. On peut en dire autant, toutefois à un moindre degré, du recyclage hors processus, mais dans l'usine: il y a toujours la possibilité que les déchets ne soient pas réellement recyclés ou, s'ils le sont, ne soient pas réellement réutilisés.

Dans les stratégies initiales de prévention des années quatre-vingt, on avait exclu le recyclage sur site, mais hors processus parce qu'il n'était pas considéré comme une véritable mesure de prévention de la pollution. On craignait que les résultats d'un programme efficace de prévention de la pollution ne soient compromis ou que ce programme ne perde de son efficacité si l'on mettait trop l'accent sur le recyclage. Depuis le milieu des années quatre-vingt-dix, certains décideurs ont accepté que le recyclage sur place et hors processus soit considéré comme une méthode légitime de prévention. Il est vrai qu'il y a de véritables «zones grises» entre la prévention de la pollution et la lutte contre la pollution. Il est vrai aussi que certains types de recyclage sur place répondent réellement aux attentes, même s'ils ne peuvent techniquement être reconnus comme des mesures de prévention. Enfin, il y a la pression des entreprises: les employeurs ne comprennent pas pourquoi l'on refuserait de reconnaître certaines techniques si elles contribuent à la réalisation des objectifs d'un programme de prévention.

### *La planification de la prévention*

La planification est un élément essentiel des méthodes de prévention, et cela d'autant plus que les bénéfices qu'on peut en tirer sur les plans du rendement industriel et de la protection de l'environnement ne se manifestent généralement qu'à long terme (non dans l'immédiat), en fonction du type de planification qu'exigent la conception et la commercialisation du produit. Habituellement, pour planifier la prévention de la pollution, on établit des plans périodiques. Il n'existe pas de modèle unique pour ce type de planification, mais on peut envisager, par exemple, une démarche qui prenne en compte:

- les objectifs;
- l'inventaire des substances chimiques et l'estimation des rejets dans l'environnement;
- les méthodes de prévention utilisées et proposées;
- les responsabilités et les mesures à prendre au cas où les objectifs ne seraient pas entièrement atteints.

Une autre approche peut comporter:

- l'examen des procédés de fabrication;
- la définition des possibilités de prévention;
- le classement de ces possibilités et le calendrier de réalisation des options retenues;
- l'évaluation des résultats à l'issue de la période prévue pour sa réalisation.

Les plans élaborés peuvent être de nature très diverse. Certains sont d'application facultative, même s'ils sont prévus par la loi en tant que code de bonne pratique (d'application volontaire). D'autres sont obligatoires en ce sens qu'ils doivent: 1) être conservés dans l'usine aux fins d'inspection; ou 2) être soumis à un organe de réglementation et de contrôle une fois réalisés; ou 3) être soumis à un organe de réglementation et de contrôle aux fins d'examen ou d'approbation. Il existe aussi d'autres variantes, comme l'obligation d'avoir un plan au cas où le dispositif facultatif serait à certains égards insuffisant ou inefficace.

Le caractère normatif des plans d'application obligatoire varie lui aussi, notamment du point de vue des pénalités et des sanctions applicables. Rares sont les autorités qui ont le pouvoir d'exiger que des modifications précises soient apportées à la teneur des plans de prévention; presque toutes disposent par contre d'un pouvoir au cas où des exigences formelles n'ont pas été satisfaites — par exemple, si certaines parties du plan ont été ignorées. Il

n'existe pratiquement pas d'exemple de pénalité ou de sanction au cas où des exigences concrètes du plan n'auraient pas été respectées. C'est dire qu'en matière de planification de la prévention, les obligations juridiques sont encore rares.

Les questions qui peuvent se poser à propos de la présentation des plans concernent leur caractère confidentiel: dans certains cas, seul un résumé est publié, tandis que dans d'autres, les plans ne sont divulgués que si le producteur omet d'une façon ou d'une autre de se conformer à la loi. Il n'existe pratiquement aucun exemple de cas où les exigences relatives à la planification l'aient emporté sur les dispositions relatives au secret des affaires ou au caractère confidentiel des facteurs de production, des procédés de fabrication ou des matières entrant dans la composition des produits. Dans un petit nombre de cas, les associations de défense de l'environnement ont accès au processus de planification, mais on ne connaît guère d'exemples où la loi l'exige ou qu'elle prévoise le droit, pour les travailleurs, de participer dans tous les cas à l'établissement de ces plans.

### *La législation*

Dans les provinces canadiennes de la Colombie-Britannique et de l'Ontario, les mesures de prévention de la pollution sont d'application facultative et leur efficacité dépend de la pression morale exercée par les gouvernements et par les défenseurs de l'environnement. Aux Etats-Unis, près de la moitié des Etats (26) se sont dotés d'une législation en la matière, tandis qu'en Europe plusieurs pays nordiques ont adopté des lois sur les technologies «propres». Ces lois varient fortement quant à leur teneur et à leur efficacité; certaines définissent la prévention de la pollution au sens étroit, d'autres au sens large ou en termes vagues qui recouvrent toute une série d'activités de protection de l'environnement concernant la pollution et les déchets, et non pas seulement la prévention. La loi du New Jersey est extrêmement contraignante; celles du Massachusetts, du Minnesota et de l'Oregon font une large place au droit de regard et à l'assistance du gouvernement, alors que celle de l'Alaska n'est guère plus qu'une déclaration d'intention.

### *La sécurité, la santé et l'emploi*

Prévenir la pollution est d'une importance cruciale pour la santé au travail: la diminution de l'utilisation de substances toxiques s'accompagne presque toujours d'une réduction correspondante de l'exposition des travailleurs et, par conséquent, des atteintes à la santé d'origine professionnelle. C'est là un excellent moyen de prévenir le danger «à la source» et, dans bien des cas, d'éliminer les dangers par des «moyens de prévention technique» (c'est-à-dire par des méthodes techniques), ce qui est la meilleure ligne de défense contre les risques chimiques. Ces mesures préventives diffèrent cependant de la stratégie traditionnelle qui consiste à «isoler totalement» ou à «confiner totalement» le processus chimique. Si cet isolement total reste extrêmement utile et hautement souhaitable, il ne saurait être considéré comme une méthode de prévention puisqu'il maîtrise plutôt qu'il ne réduit intrinsèquement un danger existant.

La plupart du temps, c'est à cause de leur impact sur les communautés humaines (risques liés à l'environnement) que l'on s'est préoccupé des polluants qui présentent un danger pour les travailleurs, les collectivités et le milieu physique. Même si ce sont souvent les travailleurs qui sont le plus fortement exposés pendant leur activité (pollution du lieu du travail), ce ne sont pas eux qui sont jusqu'à présent les principales cibles des mesures de prévention. La loi du Massachusetts, par exemple, vise à réduire les risques pour la santé des travailleurs, des consommateurs et de l'environnement sans déplacer les dangers d'une de ces catégories à l'autre (il en va de même au New Jersey). Toutefois, le législateur n'a rien fait pour mettre l'accent sur la pollution du lieu de

travail, en tant que préjudice majeur, pas plus qu'il n'a prévu l'obligation d'accorder la primauté aux personnes les plus exposées aux dangers, c'est-à-dire souvent les travailleurs. Il n'a pas non plus prévu l'obligation de former les travailleurs à la prévention de la pollution.

Cette carence s'explique par plusieurs raisons. La première est que la prévention de la pollution est une discipline nouvelle par rapport à l'optique traditionnelle qui ne voit pas que la protection de l'environnement dépend des procédés mis en œuvre sur le lieu du travail. Une deuxième raison est que les travailleurs ne sont encore que rarement associés aux décisions prises par la direction en matière de protection de l'environnement. Dans de nombreux pays, la loi leur donne le droit de faire partie de comités mixtes sur la sécurité et la santé au travail, de refuser un travail dangereux ou insalubre, d'être informés des questions de prévention et d'être formés aux problèmes et procédures de sécurité et de santé, mais elle leur accorde rarement des droits dans le domaine parallèle et commun à bien des égards de la protection de l'environnement, comme celui de siéger dans des comités mixtes syndicat-direction, celui d'alerter le public lorsque l'employeur recourt à des pratiques dommageables pour l'environnement, celui de refuser de polluer ou de dégrader l'environnement extérieur, celui d'être informé et celui de participer aux audits d'environnement réalisés sur le lieu de travail (voir ci-après).

Il est difficile d'évaluer l'impact de la planification de la prévention sur l'emploi. L'objectif déclaré des initiatives en la matière est souvent d'améliorer conjointement, et à l'aide des mêmes mesures, le rendement de l'industrie et la protection de l'environnement. Lorsque cette politique réussit, elle a généralement pour effet de réduire l'emploi global au niveau de l'entreprise (grâce à l'innovation technologique), mais d'augmenter les compétences requises et, par conséquent, la sécurité de l'emploi (parce que la planification se fait à plus longue échéance). Si l'on réduit la quantité de matières premières et d'additifs utilisée, l'emploi dans les industries chimiques diminuera, mais il est probable que cette perte sera compensée par l'abandon des produits de départ au profit de substances chimiques produites industriellement et par la mise au point de produits de rechange ou de substitution.

Il est un aspect de l'emploi sur lequel la planification de la prévention n'a pas de prise. Il est possible de faire diminuer les polluants émis par une usine donnée, mais, dans la mesure où la stratégie industrielle vise à créer de la richesse et de l'emploi à valeur ajoutée, toute augmentation du nombre d'installations de production (même «propres») aura tendance à annuler les gains déjà obtenus dans la protection de l'environnement. L'échec le plus notoire des mesures de protection, à savoir que les progrès réalisés dans la réduction des émissions polluantes sont annulés par l'augmentation du nombre des sources, se retrouve malheureusement dans la prévention de la pollution, ainsi que dans toute autre forme d'intervention. Il est bien connu que les écosystèmes ont une certaine «capacité d'absorption» et que cette limite peut être atteinte aussi bien par un petit nombre de sources très polluantes ou «sales» que par un nombre relativement élevé de sources propres.

### **Les audits d'environnement sur le lieu du travail**

La planification de la prévention peut faire partie intégrante de l'audit environnemental sur le lieu du travail ou y être ajoutée. Bien qu'il existe un grand nombre de versions de cette méthode, elles revêtent généralement la forme d'un «audit de site» ou d'un «audit de production», dans lesquels le cycle tout entier est soumis à une analyse à la fois environnementale et financière.

En gros, un audit sur le lieu du travail peut porter sur trois domaines du développement durable et de la protection de l'environnement :

- l'économie des facteurs de production provenant des ressources naturelles, comme les substances minérales, l'eau et les produits ligneux;
- l'utilisation d'énergie, qui peut aussi englober l'examen des sources d'énergie, du rendement énergétique, de la consommation et des économies d'énergie;
- la prévention de la pollution, la lutte contre la pollution et l'assainissement.

Si l'on réussit à prévenir la pollution, les mesures de lutte et d'assainissement perdront de leur importance. Les dispositifs de prévention peuvent occuper une grande place dans un audit environnemental sur le lieu de travail.

Traditionnellement, les entreprises ont pu «externaliser» les préjudices qu'elles causent à l'environnement par des moyens comme l'utilisation excessive de l'eau ou le déversement des déchets dans la collectivité et l'environnement. Devant cette attitude, on a réclamé l'imposition de taxes en début de chaîne, par exemple, sur l'utilisation de l'eau ou sur les produits peu respectueux de l'environnement ou les déchets («taxes sur la pollution»).

On parvient ainsi à «internaliser» les coûts pour l'entreprise. Il s'est cependant révélé difficile d'attribuer un juste prix aux facteurs de production et aux préjudices, par exemple, le coût des déchets pour la collectivité et l'environnement. Il n'est pas évident non plus que les taxes sur la pollution réduisent celle-ci dans une mesure proportionnelle aux montants perçus; elles peuvent bien «internaliser» les coûts, mais elles ne font que s'ajouter à ceux de l'exercice d'une activité.

Les audits environnementaux ont l'avantage d'avoir un intérêt économique sans qu'il soit nécessaire de déterminer le coût des effets externes. Ainsi, on peut calculer la «valeur» des déchets en termes de pertes de ressources utilisées comme facteurs de production et de non-utilisation ou d'utilisation médiocre de l'énergie — ou encore de la différence de valeur entre les ressources et l'énergie, d'une part, et la valeur du produit, de l'autre. Malheureusement, l'aspect financier de la planification de la prévention n'est pas encore bien établi, pas plus que sa place dans les audits environnementaux sur le lieu de travail.

### **L'évaluation des dangers**

Certains systèmes de prévention de la pollution ne comportent aucune évaluation des dangers et sont donc dépourvus de critères permettant de décider si une usine ou une installation est plus ou moins respectueuse de l'environnement grâce aux mesures de prévention mises en œuvre. Des systèmes de ce type peuvent comporter une liste des substances chimiques dont il faut se préoccuper ou qui définissent la portée du programme de prévention. Mais cette liste ne classe pas les substances d'après leur degré de danger et elle ne garantit pas qu'un produit de remplacement qui ne figure pas sur la liste soit en réalité moins dangereux que celui qui y est inscrit. C'est le bon sens et non pas l'analyse scientifique qui nous dit comment appliquer un programme de prévention de la pollution.

D'autres systèmes reposent sur des critères d'évaluation du danger. Pour ce faire, ils fixent un certain nombre de paramètres de l'environnement, comme la persistance et la bioaccumulation dans l'environnement, ainsi que certains paramètres de la santé humaine qui servent de mesure de la toxicité, comme la toxicité aiguë, le pouvoir cancérigène, le pouvoir mutagène, l'effet toxique sur la reproduction, etc.

On a alors un système de notation pondérée et une procédure de décision permettant de coter les paramètres pour lesquels on ne possède pas de renseignements suffisants. Les substances pertinentes sont ensuite cotées et classées, puis (souvent) groupées par ordre de danger décroissant.

Bien que ces systèmes soient parfois conçus dans un but spécifique, par exemple évaluer la priorité des mesures de lutte ou d'élimination (interdiction), ils servent souvent de systèmes abstraits utilisables pour une grande variété de mesures de protection de l'environnement, notamment la prévention de la pollution. Ainsi, des substances chimiques qui ont reçu la cote la plus élevée pourraient être les premières à figurer dans un programme obligatoire de prévention ou être inscrites dans un programme d'élimination graduelle ou de substitution. En d'autres termes, ces systèmes ne nous disent pas dans quelle mesure nous devons réduire les dangers pour la santé liés à l'environnement; ils nous disent seulement que toute mesure prise doit l'être en fonction du système d'évaluation des dangers.

Si nous prenons, par exemple, la décision de remplacer une substance chimique dangereuse par une autre qui l'est moins, nous pouvons utiliser le système pour savoir si, à première vue, la décision de remplacement est bonne: nous soumettons les deux substances au système pour déterminer s'il existe un écart important ou seulement minime entre leur degré de danger respectif.

Les systèmes d'évaluation des dangers tiennent rarement compte de deux sortes de considérations. Les premières concernent les données d'exposition, ou le risque d'une exposition de l'humain à la substance. Celui-ci est difficile à calculer et l'on peut faire valoir qu'il biaise le «danger intrinsèque» des substances concernées. Ainsi, on pourrait accorder à une substance une priorité artificiellement faible parce qu'elle présente un risque d'exposition mineur, alors qu'en réalité elle est fortement toxique et relativement facile à traiter.

Les considérations de la seconde catégorie concernent l'impact socio-économique de l'élimination ou de la réduction de l'emploi de la substance chimique concernée. Si nous pouvons commencer

à prendre des décisions de substitution en nous fondant sur l'analyse des dangers, nous devons faire une analyse socio-économique distincte et plus poussée et tenir compte, par exemple, de l'utilité sociale du produit associé à l'utilisation de la substance (qui peut être un médicament utile) et nous devons alors examiner l'impact sur les travailleurs et la collectivité. La raison pour laquelle cette étude doit être distincte est qu'il est impossible de coter les résultats d'une analyse socio-économique de la même façon que les dangers intrinsèques des substances chimiques. Il s'agit de deux ensembles de valeurs entièrement distincts obéissant à des logiques différentes.

Les systèmes d'évaluation des dangers sont cependant extrêmement utiles pour mesurer le succès des programmes de prévention (ils sont aussi relativement nouveaux, tant par leur impact que par leur utilité). Ainsi, il est possible de les appliquer sans se référer à des évaluations de risque, à des analyses de risque et, sous certaines réserves, à une analyse coûts-avantages. Auparavant, pour lutter contre la pollution, on commençait par faire une évaluation des risques et l'on décidait ensuite du type et de l'ampleur des mesures à prendre pour les réduire à un niveau «acceptable». Les résultats étaient rarement impressionnants. En revanche, l'évaluation des dangers peut être utilisée très rapidement et de manière à ne pas retarder ni compromettre l'efficacité d'un programme de prévention. La prévention de la pollution est avant tout un programme pragmatique qui doit permettre de remédier rapidement et en permanence aux problèmes, au fur et à mesure qu'ils se présentent, voire avant même qu'ils n'apparaissent. On peut soutenir que les mesures traditionnelles de lutte ont atteint leurs limites et que seule la mise en œuvre de programmes complets de prévention permettra de passer à la phase suivante de la protection de l'environnement de manière pratique et efficace.

## Références bibliographiques

- American Public Health Association (APHA), 1995: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Alexandria, Virginie, Water Environment Federation).
- ARET Secretariat, 1995: *Environmental Leaders I. Voluntary Commitments to Action on Toxics Through ARET* (Hull, Québec, Environment Canada's Public Enquiry Office).
- Bishop, P.L., 1983: *Marine Pollution and its Control* (New York, McGraw-Hill).
- Brown, L.C. et Barnwell, T.O., 1987: *Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual* (Athens, Géorgie, EPA, Environmental Research Laboratory).
- Brown, R.H., 1993: «The use of diffusive samplers for monitoring of ambient air», *Pure and Applied Chemistry*, vol. 65, n° 8, pp. 1859-1874.
- Calabrese, E.J. et Kenyon, E.M., 1991: *Air Toxics and Risk Assessment* (Chelsea, Michigan, Lewis).
- Canada and Ontario, 1994: *The Canada-Ontario Agreement Respecting the Great Lakes Ecosystem* (Hull, Québec, Environment Canada's Public Enquiry Office).
- Commission mixte internationale, 1993: *Une stratégie pour l'élimination virtuelle des substances toxiques rémanentes*, vol. 1 et 2 (Windsor, Ontario).
- Dillon, P.J., 1974: «A critical review of Vollenweider's nutrient budget model and other related models», *Water Resources Bulletin*, vol. 10, n° 5, pp. 969-989.
- Eckenfelder, W.W., 1989: *Industrial Water Pollution Control* (New York, McGraw-Hill).
- Economopoulos, A.P., 1993: *Assessment of Sources of Air Water and Land Pollution. A Guide to Rapid Source Inventory Techniques and Their Use in Formulating Environmental Control Strategies. Part One: Rapid Inventory Techniques in Environmental Pollution. Part Two: Approaches for Consideration in Formulating Environmental Control Strategies*, document non publié, WHO/YEP/93.1 (Genève, OMS).
- Environmental Protection Agency (EPA), 1987: *Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas*, EPA 440/6-87-010 (Washington, DC).
- Environnement Canada, 1994: *Environment Minister Outlines Approach to Deal with Chlorinated Substances*, News Release (Ottawa).
- 1995: *La prévention de la pollution — Une stratégie fédérale de mise en œuvre* (Ottawa).
- Freeze, R.A. et Cherry, J.A., 1987: *Groundwater* (Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall).
- Hosker, R.P., 1985: «Flow around isolated structures and building clusters, a review», *ASHRAE Transactions*, vol. 91.
- Kanarek, A., 1994: *Groundwater Recharge with Municipal Effluent, Recharge Basins, Soreq, Yavneh 1 and Yavneh 2* (Israël, Mekoroth Water Co.).
- Lee, N., 1993: «Overview of EIA in Europe and its application in the New Bundeslanders», dans V. Kleinschmidt (directeur de publication): *UVP Leitfaden* (Dortmund).
- Metcalf and Eddy, Inc., 1991: *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse* (New York, McGraw-Hill).
- Miller, J.M. et Soudine, A., 1994: «The WMO global atmospheric watch system», *Hrvatski meteorolski casopis*, vol. 29, pp. 81-84.
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 1993: *Luftreinhalteplan Ruhrgebiet West* (Düsseldorf).
- Organisation mondiale de la santé (OMS), 1987a: *Air Quality Guidelines for Europe*, European Series No. 23 (Copenhague, Bureau régional de l'Europe).
- 1987b: *Glossaire de la pollution de l'air*, Série européenne n° 9 (Copenhague, Bureau régional de l'Europe).
- Organisation mondiale de la santé (OMS) et Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNU), 1992: «Bangkok, Beijing, Bombay, London, São Paulo, Shanghai, Tehran, Tokyo, Wrocław, Zagreb», *City Air Quality Trends (GEMS/Air Data)*, vol. 1 (Genève, OMS).
- 1993a: «Athens, Cairo, Caracas, Christchurch, Hong Kong, Los Angeles, Madrid, New York, Shenyang, Toronto», *ibid.*, vol. 2 (Genève, OMS).
- 1993b: *GEMS/Air. A Global Programme for Urban Air Quality Monitoring and Assessment* (Genève, OMS).
- 1994: «Quality insurance in urban air quality monitoring», «Primary standard calibration methods and network intercalibrations for air quality monitoring», «Measurement of suspended particulate matter in ambient air», «Passive and active sampling methodologies for measurement of air quality», *GEMS/Air Methodology Reviews Handbook Series*, vol. 1-4 (Genève, OMS).
- 1995a: «Calcutta, Chicago, Guangzhou, Jakarta, Kuala Lumpur, Lisbon, Santiago, Sydney, Tel Aviv, Warsaw », *City Air Quality Trends (GEMS/Air Data)*, vol. 3 (Genève, OMS).
- 1995b: «Guidelines for GEMS/Air collaborative reviews», *GEMS/Air Methodology Reviews Handbook Series*, vol. 5 (Genève, OMS).
- Parkhurst, B., 1995: *Risk Management Methods, Water Environment and Technology* (Alexandria, Virginie, Water Environment Federation).

- Pecor, C.H., 1973: *Houghton Lake Annual Nitrogen and Phosphorous Budgets* (Lansing, Michigan, Department of Natural Resources).
- Pielke, R.A., 1984: *Mesoscale Meteorological Modeling* (Orlando, Academic Press).
- Preul, H.C., 1964: «Travel of nitrogen compounds in soils», thèse de doctorat, University of Minnesota, Minneapolis.
- 1967: *Underground Movement of Nitrogen*, vol. 1 (London, International Association on Water Quality).
- 1972: «Underground pollution analysis and control. Water Research», *Journal of the International Association on Water Quality*, oct., pp. 1141-1154.
- 1974: «Subsurface waste disposal effects in the Lake Superior watershed». Study and report for Lake Superior Protective Association, State of New Hampshire, non publié.
- 1981: *Recycling Plan for Leather Tannery Wastewater Effluent* (Carbondale, Illinois, International Water Resources Association).
- 1991: *Nitrates in Water Resources in the USA* (American Water Resources Association, Middleburg, Virginia).
- Preul, H.C. et Schroeffer G.J., 1968: «Travel of nitrogen compounds in soils», *Journal of Water Pollution Control Federation*, avril.
- Reid, G. et Wood, R., 1976: *Ecology of Inland Waters and Estuaries* (New York, Van Nostrand).
- Reish, D., 1979: «Marine and estuarine pollution», *Journal of Water Pollution Control Federation*, vol. 51, n° 6, pp. 1477-1517.
- Sawyer, C.N., 1947: «Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage», *Journal of New England Waterworks Association*, vol. 51, pp. 109-127.
- State of Ohio, 1995: «Water quality standards», chap. 3745-1, dans *Administrative Code* (Columbus, Ohio, Ohio EPA).
- Taylor, S.T., 1995: «Simulating the impact of rooted vegetation on instream nutrient and dissolved oxygen dynamics using the OMNI diurnal model», dans *Proceedings of the WEF Annual Conference* (Alexandria, Virginia, Water Environment Federation).
- United States and Canada, 1987: *Revised Great Lakes Water Quality Agreement of 1978 as Amended by Protocol Signed November 18, 1987* (Hull, Québec, Environmental Canada's Public Enquiry Office).
- Venkatram, A. et Wyngaard, J., 1988: *Lectures on Air Pollution Modeling* (Boston, American Meteorological Society).
- Venzia, R.A., 1977: «Land use and transportation planning», dans A.C. Stern (directeur de publication): *Air Pollution* (New York, Academic Press).
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 1985: *Guideline 3781, Part 3: Determination of Plume Rise* (Düsseldorf).
- 1992a: 1992: *Guideline 3782, Part 1: Gaussian Dispersion Model for Air Quality Management* (Düsseldorf).
- 1992b: *Guideline 3783, Part 6: Regional Dispersion of Pollutants over Complex Terrain. Simulation of the Wind Field* (Düsseldorf).
- 1996: *Guideline 3945, Part 1: Gaussian Puff Model* (Düsseldorf).
- 1999: *Guideline 3945, Part 3: Particle Models* (Düsseldorf).
- Viessman, W., Lewis, G.L. et Knapp, J.W., 1989: *Introduction to Hydrology* (New York, Harper and Row).
- Vollenweider, R.A., 1968: *Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorous Factors in Eutrophication* (Paris, OCDE).
- 1969: «Möglichkeiten und Grenzen elementarer Modelle der Stoffbilanz von Seen», *Archiv für Hydrobiologie*, vol. 66, pp. 1-36.
- Walsh, M.P., 1992: «Review of motor vehicle emissions control measures and their effectiveness», dans D. Mage et O. Zali (directeurs de publication): *Véhicules à moteur et pollution atmosphérique. Impact sur la santé publique et mesures d'assainissement* (Genève, OMS).
- Water Environment Federation, 1995: *Pollution Prevention and Waste Minimization Digest* (Alexandria, Virginia).
- Yamartino, R.J. et Wiegand G., 1986: «Development and evaluation of simple models for the flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon», *Atmospheric Environment*, vol. 20, n° 11, pp. S2137-S2156.

### Références complémentaires

- Analytische Chemie*, 1991: Nachr. Chem. Tech. Lab. 40, pp. 146-154.
- Atkins, D.H.F. et Quirino, I., 1992: *A Survey of Nitrogen Dioxide in Paris* (Bruxelles, Commission des Communautés européennes).
- Bartels, U. et Block, J., 1985, dans *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 148, pp. 689-693.
- Beier, R., Gonzales, P.L., Mc Innes, G., Mullye, E., Stevenson, K. et Zierrock, K.H., 1987: *A Study of Network Design and Measurement Methods in the Member States for the EC Air Quality Directive for Nitrogen Dioxide* (Bruxelles, Commission des Communautés européennes).
- Bennett, D., 1991: «Pesticide reduction, a case study from Canada», *New Solutions* (automne).
- Both, R., Otterbeck, K. et Prinz, B., 1993: «Die Geruchsimmisions-Richtlinie: Kommentar und Anwendung in der Praxis», *Staub-Reinhalung der Luft*, vol. 53, pp. 407-412.
- Brasser, L.J. et Mulder, W.C. (directeurs de publication), 1989: *Man and his Ecosystem: Proceedings of the 8th World Clean Air Congress* (The Hague, 11-15 September 1989) (Amsterdam, Elsevier Science).
- Bruckmann, P. et Pfeffer, H.U., 1991: *VDI-Berichte*, rapport 888 (Düsseldorf).
- Buck, M., 1989: «Konzept der Qualitätskontrolle bei Immissionsmessungen», *Staub-Reinhalung der Luft*, vol. 49, pp. 337-342.
- Buck, M. et Pfeffer H.U., 1988, dans *Clean Air*, vol. 22, pp. 7-12.
- Burnett, J.A., Dauphiné, T.C., Jr., McCrindle, S.H. et Mosquin, T., 1989: «La biozone des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent», dans *La nature aux abois: les espèces menacées de disparition au Canada* (Ottawa, Editions Broquet, Inc.).
- Canadian Labour Congress, 1992: *A Critique of the Ontario Hazard Assessment System* (Ottawa).
- Clement, R.E. et Koester, C.J., 1993, dans *Analytical Chemistry*, vol. 65, pp. 85R-116R.
- Commoner, B., 1990: *Making Peace with the Planet* (New York, Pantheon Books).
- Elbers, G. et Lutz, S., 1993: *VDI-Berichte*, rapport 1059, pp. 337-356 (Düsseldorf).
- Ellermann, K., Borowiak, A. et Pfeffer, H.U., 1993: *LIMES-Jahresbericht*, No. Series B (North-Rhine-Westphalia, State Environmental Office, Düsseldorf).
- Environnement Canada, 1993: *Groupe de travail sur la législation en matière de prévention de la pollution. Rapport final* (Ottawa).
- Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Luft)*, 27 février 1986, GMBI 95-143.
- Foran, J. et Glenn, B., 1993: *Criteria to Identify Chemical Candidates for Sunsetting in the Great Lakes Basin* (Washington, DC, George Washington University).
- Fox, D.L., 1993: «Air pollution», *Analytical Chemistry*, vol. 65, pp. 156R-170R.

- Geiser, K., 1990: «Toxics use reduction and pollution prevention», *New Solutions* (printemps).
- Grant, W.B., Kagann, R.H. et McClenney, W.A., 1992, dans *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 42, pp. 18-30.
- Great Lakes Scientific Advisory Board, 1991: *Report to the International Joint Commission*, édition révisée, déc.
- Grefen, K., 1991: «Harmonisierung technischer Regeln im EG-Binnenmarkt. Beitrag der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN», *Staub-Reinhalung der Luft*, vol. 51, pp. 199-205.
- Klockow, D. et Fresenius, Z., 1987, dans *Analytical Chemistry*, vol. 326, pp. 5-24.
- Lahmann, E., 1990: *Luftverunreinigung-Luftreinhaltung* (Berlin, Verlag Paul Parey).
- 1992: *Determination and Evaluation of Ambient Air Quality-Manual of Ambient Air Quality Control in Germany* (Berlin, Federal Minister for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety).
- 1993: *Feststellung und Bewertung Von Immissionen. Leitfaden zur Immissionsüberwachung in Deutschland* (Berlin, Federal Environmental Office).
- Lodge, J.P.J., 1989: *Methods of Air Sampling and Analysis* (Chelsea, Michigan, Lewis).
- McClenney, W., Pleil, J., Evans, G., Oliver, K., Holdren, M. et Weinbery, W., 1991: «VDI-Richtlinie 3482 Bl. 3-6 Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen», *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 41, pp. 1308-1318.
- Medrow, W., 1990: *Gerüche, Schriftenreihe der VDI-Kommission Reinhaltung Luft*, vol. 12 (Düsseldorf).
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 1992: *Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen, Studie des Länderausschusses für Immissionsschutz* (Düsseldorf).
- Mohnen, V., Wilson, J. et Kadlecck J., 1982, dans H.W. Georgii et W. Jaeschke (directeurs de publication): *Chemistry of the Unpolluted and Polluted Troposphere* (Boston, D. Reichel Publishing Co.).
- Ontario Ministry of the Environment (OME), 1990: *Scoring System for Assessing Environmental Contaminants* (Toronto).
- 1992: *Candidate Substances List for Bans and Phase-Outs* (Toronto).
- 1993: *ibid.* (Toronto).
- Petzold, A. et Niessner, R., 1993: *VDI-Berichte*, rapport 1059 (Düsseldorf).
- Pfeffer, H.U., 1982: «Das telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen», *Staub-Reinhalung der Luft*, vol. 42, pp. 233-236.
- Pfeffer, H.U. et Buck, M., 1988: «Proceedings of the 11th Triennial World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO), Houston (Texas)», *Acta Imeko*, vol. 4, pp. 527-536.
- Pott, F., 1991: *VDI-Berichte*, rapport 888 (Düsseldorf).
- Rabano, E.S., Castillo, N.T., Torre, K.J. et Solomon, P.A., 1989: *Journal of Air Pollution Control Association*, vol. 39, pp. 76-80.
- Rossi, M., Ellenbecker, M. et Geiser, K., 1991: «Techniques in toxics use reduction: From concept to action», *New Solutions* (automne).
- Schrecker, T., 1993: *Sustainable Development: Getting There From Here. A Handbook for Union Environment Committees and Joint Labour-Management Environment Committees* (Ottawa, CLC/NRTEE).
- Schwela, D.H. et Köth-Jahr, I., 1994: *Leitfaden für die Aufstellung von Luftreinhaltungsplänen*, Landesumweltamt des Landes Nordrhein-Westfalen (Düsseldorf).
- Shelof, G. et Azov, Y., 1994: *Monitoring of the Third-Line* (en hébreu) (Haifa, Technion Research Center for Environmental Engineering and Water Resources).

- Slanina, J., Wyers, G.P. et Fresenius, J., 1994, dans *Analytical Chemistry*, vol. 350, pp. 467-473.
- United States Office of Technology Assessment, 1986: *Serious Reduction of Hazardous Waste for Pollution Prevention and Industrial Efficiency* (Washington, DC).
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 1993: Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung zur Feststellung und Beurteilung von Geruchsmissionen – Geruchsmissions-Richtlinie vom 16.03.93. Sächs. Amtsblatt Nr. 17 vom 22.04.1993 (Düsseldorf).
- , 1995a: VDI 4280, Blatt 1 (E): *Planung von Immissionsmessungen. Allgemeine Regeln*, 5<sup>e</sup> édition (Düsseldorf).
- , 1995b: VDI-Richtlinie 2465, Blatt 1 (Entwurf), März, *Messen von Russ* (Düsseldorf).
- , non daté: *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft* (Düsseldorf).
- Weber, K., Klein, V. et Diehl, W., 1990: «Optische Fernmessverfahren zur Bestimmung gasförmiger Luftschadstoffe in der Troposphäre», dans *VDI Berichte* (Düsseldorf).
- Wight, G., 1994: *Fundamentals of Air Sampling* (Boca Raton, Floride, Lewis).
- Winkler, P., 1985: «Verfahren der Depositionsmessung», *Staub-Reinhaltung der Luft*, vol. 45, pp. 256-260.