Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 59 (1969-1970)

Heft: 1

Artikel: Principaux aspects économiques et sociaux de la pollution des eaux

Autor: Bosset, Eric

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308451

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Principaux aspects économiques et sociaux de la pollution des eaux

par Eric Bosset,
Inspecteur des eaux du Canton de Vaud,
Laboratoire cantonal, rue Dr.-César-Roux 19, Lausanne (Suisse)

Introduction

Maladie de la civilisation, la pollution des eaux tant superficielles que souterraines est la conséquence directe du progrès technique et matériel qui, tout en apportant nombre de satisfactions aux peuples assez fortunés pour en profiter pleinement, présente comme envers du décor des causes de détérioration croissante de deux éléments vitaux: l'EAU et l'AIR. Certes, elle est un mal ancien. Depuis que les hommes ont commencé à se grouper en collectivités, certaines eaux ont été plus ou moins polluées. Mais tant qu'il n'existait pas de grandes agglomérations, la pollution restait faible et les processus naturels d'auto-épuration suffisaient à y remédier.

La nature tend en effet, spontanément, à réparer les désordres créés par l'homme, en particulier dans les ruisseaux, rivières et fleuves, où l'eau est en général plus ou moins fortement brassée, selon la nature du fond, la pente, le débit et la vitesse du courant. Ce brassage facilite le renouvellement de l'oxygène et, à moins de conditions exceptionnelles, l'oxygène ne fait jamais défaut dans les eaux profondes. Aussi, grâce à une multitude de microorganismes (bactéries, champignons, infusoires, rotifères, etc.) et de petits animaux (vers, mollusques, larves d'insectes, etc.) s'abritant sous les galets ou s'accrochant aux cailloux arrondis, les substances organiques en suspension, à l'état colloïdal ou

en solution dans l'eau sont désintégrées et minéralisées, c'est-à-dire transformées complètement – par oxydation – en produits non putrescibles ou, mieux, stables. Quant aux matières minérales en suspension dans l'eau, elles subissent une décantation plus ou moins rapide, selon la densité des particules, la vitesse du courant et la turbulence de l'eau. Par conséquent, grâce au pouvoir épurateur qui leur est propre, les eaux de surface se débarrassent d'elles-mêmes des impuretés qu'elles reçoivent. Les eaux du sous-sol sont en général moins vulnérables à la pollution que les eaux superficielles, parce que mieux isolées, à des degrés divers toutefois, des actions qui s'exercent brutalement en surface. Elles aussi possèdent leurs propres moyens d'auto-épuration naturelle. Une filtration lente au travers d'un terrain à grains fins ou à fissures fines assure l'élimination des particules solides et colloïdales de matières en suspension et des microorganismes de l'eau d'infiltration, d'une part par rétention mécanique et par adsorption, d'autre part grâce aux processus biologiques naturels de destruction. Les couches superficielles du terrain que cette eau doit traverser pour gagner des veines sourcières ou une nappe souterraine, constituent déjà un barrage à la pollution ; la couche d'humus et de terre végétale est un filtre excellent, sans cesse régénéré par l'activité biologique intense qui y règne (bactéries, protozoaires, vers, etc.).

La capacité d'auto-épuration des eaux de surface, de même que le pouvoir de filtration du sol, ne sont toutefois efficaces que dans certaines limites. Si celles-ci sont dépassées par suite de déversements excessifs de résidus liquides ou gazeux, de matières solides putrescibles ou toxiques, la pollution ne peut être neutralisée par les processus naturels.

Avec l'expansion des villes et des agglomérations, les progrès de l'hygiène, l'élévation du niveau de vie, l'essor de l'industrie, la pollution des eaux superficielles et des eaux souterraines a au cours des dernières décennies atteint un degré souvent intolérable dans nombre de pays européens et extra-européens. Le fait est particulièrement net dans les pays fortement industrialisés et à population très dense. Pratiquement, seuls les pays sous-développés à population clairsemée ne sont pas touchés par ce phénomène.

La situation s'est aggravée surtout depuis que, pour répondre aux exigences de l'hygiène moderne, on s'est mis toujours davantage à canaliser les eaux usées, avec l'idée que le problème était résolu, alors

qu'il n'était que déplacé. L'institution du «tout-à-l'égout» a eu pour résultat de déverser pratiquement tous les résidus dans les eaux courantes et de là dans les lacs, auxquels ils apportent des quantités croissantes de substances nutritives et de matières organiques, qui toutes favorisent la prolifération des algues. En d'autres circonstances, notamment pour résoudre le problème de l'évacuation des eaux usées d'habitations isolées, on a eu recours à la solution du puits perdu, sans se préoccuper des risques de contamination pour les eaux souterraines, des pollutions répétées pouvant avoir à la longue, dans le sous-sol, un caractère de gravité extrême, au point de rendre définitivement inutilisables pour les besoins de l'homme certains gisements d'eau. Aussi n'est-il pas étonnant que la pollution de cours d'eau, de lacs et de nappes d'eau souterraines où sont déversées des quantités toujours plus considérables d'eaux usées d'origine ménagère ou industrielle, a dans maints cas dépassé le «seuil d'irréversibilité», c'est-à-dire le degré de pollution au-delà duquel les processus naturels d'auto-épuration ne parviennent plus à rétablir la situation primitive d'équilibre, seule garantie de la conservation de ces ressources naturelles fondamentales pour l'existence, indispensables aux activités des collectivités humaines.

En limitant les possibilités d'utilisation des eaux dans l'économie nationale, surtout pour l'approvisionnement de la population et le développement tant industriel qu'agricole, en portant atteinte à la santé publique, aux loisirs et à la beauté des sites, en causant des dommages à la faune aquatique, en compromettant la navigation, la pollution des eaux entraîne d'incalculables préjudices. Le danger est particulièrement aigu lorsque les déchets sont évacués à proximité des sources d'approvisionnement en eau (risques d'épidémies de maladies hydriques), lorsque la construction des réseaux d'égouts et des stations d'épuration nécessaires n'est pas aussi rapide que le développement de l'industrie et l'expansion des centres urbains, lorsqu'enfin les eaux résiduaires ne subissent pas un traitement approprié et sont déversées dans des cours d'eau à faible débit, ces derniers devenant rapidement de véritables égouts à ciel ouvert.

En tout état de cause, nombreux sont les groupes sociaux dont l'activité ou la santé est ou peut être menacée par la pollution des eaux: utilisateurs industriels, usagers agricoles, pêcheurs, baigneurs, touristes, navigateurs et, bien entendu, consommateurs domestiques.

Aussi le problème primordial est-il de prévenir et de réduire la pollution des eaux. On ne saurait ici trop souligner le fait que nombre d'autorités publiques, tout en insistant sur la nécessité d'épurer l'eau pour la rendre potable, n'ont accordé qu'une attention très limitée au traitement des eaux usées et à l'élimination des ordures ménagères, des déchets solides industriels et des résidus agricoles. En raison des retards apportés à la mise en œuvre des moyens scientifiques et techniques propres à *supprimer les causes de la pollution des eaux*, il faut maintenant consacrer des investissements importants pour essayer de *lutter contre les effets de la pollution*. Malgré les progrès remarquables des recherches scientifiques qui s'appliquent à mieux détecter la menace même de ce phénomène et à le mieux connaître, on doit hélas constater que la tendance actuelle est nettement à l'aggravation dans certaines régions. En dépit des efforts déjà consentis, la détérioration de l'état sanitaire de la plupart des lacs du Plateau suisse se poursuit de façon alarmante, nous reviendrons sur cette question. Quoi qu'il en soit, la pollution des eaux n'est pas un mal inévitable. Celle résultant du développement de la démographie et de l'industrie peut et doit être stoppée.

Que faut-il entendre par pollution? A dire vrai, il est difficile de définir à quel moment une eau est polluée. Une eau de rivière, n'ayant pas traversé d'agglomération, peut être troublée par de fines particules argileuses en suspension entraînées par les pluies, ou être colorée par des matières humiques provenant de terrains tourbeux qui lui confèrent une teinte brunâtre, voire présenter naturellement une forte charge en matières salines ou en substances organiques dissoutes, toutes caractéristiques excluant son utilisation pour la consommation humaine, sans toutefois qu'elle soit impropre à certains usages industriels ou à la vie du poisson. De même, une eau de surface, de source ou de nappe souterraine peut renfermer des traces de produits chimiques non nocifs, qui ne lui confèrent pas de caractère précis de pollution, sauf si cette eau est consommée pendant un temps très long, ces produits pouvant avoir un effet cumulatif et, partant, être aussi dangereux qu'absorbés en doses massives. Par ailleurs, la pollution des eaux ne dépend pas uniquement des activités de l'homme et des animaux domestiques. Il existe d'autres sources de pollution: propagation de microorganismes infectieux transmis par les animaux sauvages, contact de l'eau avec des minerais toxiques, risques dus aux forces de la nature (inondations, par exemple).

C'est dire qu'une définition ne considérant que la pollution causée par l'homme est pour le moins discutable, bien qu'une altération des eaux provoquée par les seuls agents naturels n'ait aucune conséquence juridique. Si l'on considère que la pollution des eaux représente une menace pour la salubrité, la santé et le bien-être publics, met en danger la faune aquatique et sauvage, entrave l'utilisation légitime et bénéfique de l'eau à des fins domestiques, agricoles, industrielles, récréatives et autres, compromet enfin l'évacuation et la dispersion définitive des effluents résiduels, le terme de pollution doit s'appliquer à toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques d'une collection d'eau quelconque, ou à tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans une telle étendue d'eau, de nature à créer une nuisance ou à rendre l'eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue, soit de la santé, de la sécurité et du bien-être publics, soit de ses usages légitimes aux fins susmentionnées. Une telle définition présente l'avantage d'être à la fois complète et précise, excluant toute équivoque.

La pollution des eaux procède donc de plusieurs causes. Aussi convient-il d'en décrire la nature, le mécanisme et les effets, d'en souligner les incidences économiques et sociales, d'indiquer enfin brièvement les solutions techniques à mettre en œuvre pour supprimer les pollutions existantes et empêcher le développement des pollutions futures dont nous menace plus particulièrement l'expansion incessante des agglomérations urbaines et l'essor de l'industrie.

Nature, mécanismes et effets de la pollution des eaux

L'une des principales sources de pollution, c'est le *rejet des résidus de la vie collective*, soit eaux usées, ordures ménagères et déchets solides provenant de l'artisanat et de l'industrie. Les égouts des agglomérations sont chargés : des eaux de pluie des toits, cours et chaussées; des eaux de nettoiement des places et rues; des eaux ménagères; des eaux usées provenant des W. C. et établissements publics; des eaux résiduaires de l'artisanat et de l'industrie. En général, les eaux ménagères dominent. Pour ce qui est des eaux de pluie et de nettoiement des voies publiques, le volume et le degré de pollution varient suivant les conditions locales. Tandis que pour les *eaux usées domestiques*, ils sont

relativement uniformes. Celle-ci renferment, d'une part des matières minérales solides (terre, sable, etc.) et dissoutes (sel de cuisine, phosphates des urines, adjuvants des poudres à laver et autres détergents ménagers, etc.), d'autre part des détritus organiques putrescibles ou non d'origine diverse (déchets de cuisine, matières fécales, savon, papier, bois, caoutchouc, etc.). Quant aux *effluents résiduels de l'artisanat*, ils peuvent renfermer des déchets d'abattage, des corps gras, des fibres textiles, de la paille, du papier, des matières organiques et inorganiques (minérales), des colorants, etc. Enfin, la nature, la concentration et le volume des *eaux résiduaires industrielles* varient fortement suivant les cas. Ces eaux de diverses origines peuvent être chargées de matières organiques ou inorganiques en suspension, à l'état colloïdal ou en solution, d'acides ou de bases, de produits toxiques (cyanures, sels de chrome, cuivre, nickel, zinc, etc.), de graisses et d'huiles, de goudron, de colorants, etc.

Les matières contenues dans les eaux usées et dont l'introduction pollue les eaux de surface et les eaux souterraines, sont donc, d'une part des matières solides en suspension, les unes décantables, les autres non décantables, d'autre part des matières dissoutes. Les effets de ces substances sur le milieu récepteur étant différents selon leur nature, les *types de pollution* résultant du déversement des eaux d'égout, y compris les effluents résiduels industriels, peuvent être classés en quatre catégories:

1. Pollutions de nature chimique

Elles sont dues à la présence de matières organiques, d'une part, et inorganiques, d'autre part. La forme la plus répandue est la *pollution organique*, résultant du déversement de grandes quantités de matières organiques (protides ou matières azotées, glucides ou hydrates de carbone, lipides ou graisses, etc.) par des eaux résiduaires non épurées d'origine domestique ou industrielle (malteries et brasseries, distilleries, sucreries, laiteries et fromageries, fabriques de conserves, de gélatines et de colles, abattoirs, tanneries, fabriques de papier et de textiles, etc.). Les suspensions les plus lourdes, par exemple les matières fécales, agrégats de papiers, fibres textiles grossières, etc., se déposent sur le fond des cours d'eau, dans les endroits où le courant est faible, ou sur le littoral des lacs, pour être attaqués, désintégrés et minéralisés

par les bactéries, champignons et autres microorganismes mentionnés précédemment. En ces endroits, les bactéries (Sphaerotilus natans, notamment) et les champignons (Leptomitus lacteus, etc.) prolifèrent à l'envi, s'agglutinent en masses compactes que le courant, s'il devient plus fort, détache et entraîne pour les déposer plus loin et les abandonner à la décomposition. Il en résulte une *pollution secondaire*, ainsi qu'un envasement des fonds.

Ces amas de bactéries et de substances organiques susceptibles de fermenter encombrent les frayères et refuges à poissons, si bien que ces derniers les abandonnent. Les tronçons de cours d'eau et les rives de lacs affectés par une telle pollution perdent ainsi tout intérêt pour la pêche. De plus, tout spécialement au débouché des égouts, leur aspect devient déplaisant et parfois même repoussant, en raison d'une part du fort trouble ou de la couleur désagréable de l'eau, d'autre part des dépôts de matières putrides accumulées sur les fonds ou sur les bords, voire de boues flottantes, qui apparaissent surtout pendant les premières fortes chaleurs de l'année, les boues de fond entrant en putréfaction et se détachant. Enfin, la décomposition et la minéralisation des substances organiques déversées, tant en suspension qu'en solution, entraînent la consommation de tout ou partie de l'oxygène dissous dans l'eau. Lorsque la charge polluante organique des eaux résiduaires augmente, leur demande biochimique d'oxygène s'élève elle aussi. Le mode et l'intensité des transformations ci-dessus dépendent dans une large mesure des conditions extérieures, en particulier de la température, de la lumière et du pH, qui influent sur l'activité de nombreux microorganismes, ainsi que de la teneur en oxygène du milieu, laquelle est caractéristique et a une influence décisive sur l'évolution des processus chimiques et biologiques de décomposition et de minéralisation. Si l'oxygène est abondant, ces processus s'effectuent par voie aérobie et aboutissent à la minéralisation complète des substances organiques, les matières azotées et celles phosphorées étant transformées en nitrates, respectivement en phosphates. S'il fait défaut, la décomposition des substances organiques s'effectue par voie anaérobie, avec toutes les conséquences fâcheuses qui en résultent ; il se produit une putréfaction de ces matières, avec formation de produits intermédiaires insuffisamment oxydés (ammoniaque, acides aminés, hydrogène sulfuré, composés organiques de soufre et de phosphore, acides gras volatils, etc.). Les produits libérés, dont beaucoup dégagent

une odeur désagréable, voire nauséabonde, sont en majeure partie des substances fortement réductrices, donc avides d'oxygène et qui, partant, entraînent la désoxygénation de l'eau. Selon leur concentration, certains d'entre eux peuvent être toxiques pour le poisson.

A mesure que les eaux usées se diluent au sein du milieu récepteur, les bactéries et champignons des eaux polluées sont remplacés par d'autres organismes, en particulier des algues bleues, qui grâce aux sels fertilisants (nitrates, phosphates, etc.) libérés par la décomposition des matières organiques, peuvent proliférer aussi bien dans les lacs que dans des rivières calmes. D'où seconde cause de pollution secondaire.

La pollution des eaux de surface due aux polluants organiques ordinaires peut donc être particulièrement nocive pour le poisson, déjà en raison de l'abaissement du taux d'oxygénation de l'eau, question qui sera d'ailleurs examinée plus en détail ultérieurement. Ce genre de pollution compromet gravement l'équilibre biochimique du milieu récepteur, d'autant plus que la quantité de matières organiques introduites ou formées dans les eaux augmente rapidement, par suite de rejets accrus d'eaux usées. Elle entraîne en outre de sérieuses difficultés pour l'approvisionnement en eau potable et en eau à usage industriel, le traitement de l'eau puisée dans les lacs devenant plus onéreux et compliqué, d'une part par suite de colmatage des installations de filtration, en corrélation avec la densité de plus en plus forte des algues planctoniques, ce qui nécessite de fréquents nettoyages des lits filtrants, voire l'installation de préfiltres ou de dispositifs de microtamisage, d'autre part du fait d'odeurs ou de faux-goûts de l'eau destinée à la consommation, diverses formes phytoplanctoniques sécrétant des substances odorantes ou sapides, qui même à de très faibles concentrations nuisent à la qualité de cette eau et, partant, sont préjudiciables à la purification de l'eau de boisson. Enfin, la prolifération anarchique d'organismes inférieurs, en particulier de bactéries, de champignons et d'algues, favorisée par la présence de quantités croissantes de matières organiques, de sels azotés et phosphorés, etc. constitue une lourde entrave à la baignade et aux sports nautiques.

Quant aux eaux souterraines, qu'il s'agisse de nappes d'eau à proprement parler ou de veines d'eau alimentant des sources, elles peuvent être contaminées par l'infiltration d'eaux usées dans le sol, par l'intermédiaire de puits perdus ou par les pertes des égouts, voire par les

infiltrations de rivières polluées atteignant des nappes souterraines. Si aucun inconvénient ne risque de se produire là où les couches superficielles traversées présentent une forte épaisseur et assurent une autoépuration convenable, bien qu'un danger latent ne puisse dans certains cas être écarté, par contre dans les terrains à forte perméabilité, en particulier dans les roches fissurées (calcaires, certains grès, poudingue, etc.), les manifestations de pollution organique sont en général graves, surtout lorsque cette forme de pollution prend un caractère chronique. En tout état de cause et même dans les terrains meubles granuleux (graviers et sables), la présence de matières organiques provoque dans les eaux souterraines les mêmes réactions que dans les eaux superficielles. L'oxydation chimique et biologique de ces substances entraîne une consommation importante, voire une disparition intolérable de l'oxygène dissous lorsque la teneur en matières organiques est forte. Des bactéries anaérobies font alors leur apparition et engendrent dans le milieu aquifère des phénomènes de réduction, la décomposition des matières organiques produit de l'acide carbonique qui rend l'eau agressive à l'égard du terrain qu'elle imprègne. Il en résulte la mise en solution de fer et souvent aussi de manganèse, sous forme de combinaisons plus ou moins complexes, ainsi qu'une augmentation indésirable des concentrations d'autres composés chimiques nuisibles (sels incrustants de calcium et de magnésium, en particulier), voire l'apparition d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré, au point que l'eau devient inutilisable.

A cet égard, la pollution des cours d'eau contribuant à l'alimentation des nappes souterraines peut, notamment dans les tronçons aménagés en lacs de barrage, exercer des effets préjudiciables sur le régime physico-chimique des eaux souterraines, en particulier par les processus réducteurs engendrés. Avec le temps, les boues accumulées risquent de colmater la partie endiguée du lit et, partant, de faire tarir les infiltrations du cours d'eau, déterminant ainsi une baisse de rendement de la nappe souterraine.

Une autre forme de pollution de nature chimique est celle résultant, par l'intermédiaire d'effluents parfois complexes, du déversement de *substances toxiques*, dont les concentrations dans l'eau ne cessent malheureusement d'augmenter de nos jours. Ces substances, dont sont chargées essentiellement certaines eaux résiduaires industrielles (galvanisation et traitements spéciaux des métaux, industries chimiques,

usines de distillation, etc.), sont soit de nature inorganique (chlore libre, ammoniaque, hydrogène sulfuré et sulfures solubles, acides minéraux, bases fortes, sels de métaux lourds: cadnium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc, etc.), soit de nature organique (acide cyanhydrique et dérivés; combinaisons aliphatiques telles que chloroforme, alcools, aldéhydes, cétones, esters, acides acétique et oxalique, etc.; combinaisons aromatiques comme benzol, toluol, phénols, chlorobenzol et chlorophénols, amines, composés nitrés, mercaptans, goudron et dérivés, etc.; produits anti-parasitaires, etc.). Selon leur concentration et dans certains cas à de très faibles doses, elles peuvent non seulement tuer les bactéries et autres microorganismes intervenant dans les processus d'auto-épuration, rendant ainsi un cours d'eau stérile et y empêchant toute dépollution naturelle, mais causer aussi des mortalités de poissons et d'autres organismes aquatiques, qui suivant les circonstances finissent par disparaître. La toxicité des sels métalliques pour le poisson est un problème pour le moins complexe, l'effet de ces composés, comme d'ailleurs de beaucoup d'autres substances toxiques, pouvant dépendre de plusieurs facteurs: concentration en oxygène et température de l'eau, question qui sera examinée plus loin; pH de l'eau et teneur en autres ions, en particulier en carbonates, susceptibles l'un et l'autre de provoquer la précipitation du composant toxique dans l'exutoire et, partant, son inactivation; espèce de poisson, etc. Par ailleurs, certaines substances toxiques sont indésirables en raison de leur odeur désagréable (hydrogène sulfuré, par exemple) ou peuvent constituer un danger pour la santé publique (corps cyanogénés et métaux lourds, par exemple), si l'eau est utilisée pour la consommation humaine ou l'abreuvage du bétail; danger dont la gravité est particulièrement aiguë en période de grande sécheresse. Dans d'autres cas, il peut s'agir d'acides ou de bases, capables de causer de graves dommages, en modifiant le pH du milieu récepteur, en détruisant les bactéries et autres organismes aquatiques, en décomposant enfin ses réserves naturelles en matières organiques nutritives. Le déversement d'une quantité excessive d'acide entraîne inévitablement la corrosion d'ouvrages métalliques ou en béton, de pompes, etc.

L'effet des substances toxiques sur le sous-sol, générateur d'une pollution des eaux souterraines, peut être lourd de conséquences. Alors même que la circulation naturelle de ces eaux opère généralement une dilution et une élimination plus ou moins rapide des substances nocives

dissoutes qui ont été introduites accidentellement dans le milieu aquifère, la pénétration répétée d'effluents résiduels industriels contenant des cyanures complexes, des sels de métaux lourds ou des combinaisons chimiques toxiques et stables, porte un préjudice durable à la nappe sous-jacente, excluant son utilisation pour les usages domestiques et agricoles, voire industriels.

D'autres substances encore sont à l'origine d'intoxications. Des manifestations pathologiques peuvent se produire à la suite de l'ingestion d'eaux massivement infestées par certaines algues, bleues notamment, qui sécrètent des *toxines* susceptibles de provoquer des mortalités de poissons ou d'animaux domestiques, voire des troubles de la santé de l'homme. De tels cas ont été observés lors de périodes chaudes et sèches, essentiellement dans des étangs, secteurs riverains de lacs-réservoirs et rivières dont le niveau d'eau était bas du fait de la sécheresse, l'eau puisée pour l'abreuvage du bétail ou la consommation humaine étant prélevée à faible profondeur.

Une troisième forme de pollution de nature chimique est celle provoquée par le rejet de fortes quantités de *matières salines en solution*, le facteur dilution jouant ici un rôle important dans le maintien de la qualité de l'eau, qu'il s'agisse d'eaux superficielles ou d'eaux souterraines. Pour beaucoup de rivières et de fleuves européens, en particulier le Rhin, il existe une étroite corrélation entre l'augmentation du degré de salinité de leurs eaux et le déversement d'effluents salifères par les diverses branches de l'industrie minière et par l'industrie de produits chimiques inorganiques. Différents sels solubles, en particulier les bicarbonates, chlorures et sulfates de calcium et de magnésium sont nuisibles à partir de certaines concentrations; en provoquant une indésirable augmentation de la dureté de l'eau, ils en limitent les possibilités d'utilisation, aussi bien pour la consommation que pour la plupart des usages industriels, y compris le refroidissement de turbines et autres machines. De même, un excès de salinité de l'eau compromet, voire interdit son utilisation dans l'agriculture et plus particulièrement en horticulture. Par ailleurs, l'action des sulfates est particulièrement néfaste à l'égard des bétons, dont ils peuvent causer une rapide détérioration. Enfin, l'auto-épuration biologique n'a pas d'action sur les sels, dont la concentration et, partant, la nocivité dépendent donc uniquement de la dilution des eaux résiduaires à leur arrivée dans le milieu récepteur.

Il existe encore une quatrième forme de pollution de nature chimique, celle par les *huiles minérales*, due à la décharge d'eaux résiduaires industrielles ou artisanales (métallurgie, construction mécanique, garages, etc.), aux fuites et débordements provenant de réservoirs de stockage, aux pertes parfois accidentelles au cours des opérations de transvasement, aux déversements bien souvent par négligence et aux résidus de combustion des carburants de bateaux-citernes, péniches et autres bateaux naviguant sur les fleuves, canaux et lacs. La pollution des eaux de surface par les huiles minérales, qu'il s'agisse de graisses de lubrification, d'huiles moteur ou de chauffage, de carburants (mazout diesel, essence, pétrole), comporte de graves inconvénients, lesquels peuvent aussi être provoqués par la présence «d'huile soluble», qui utilisée notamment pour la coupe et le façonnage des métaux, donne des émulsions laiteuses en mélange avec l'eau. La pellicule huileuse à la surface de l'eau entrave les processus de réaération au contact de l'air, déjà lorsqu'il s'agit d'un film dont l'épaisseur est supérieure à 10^{-4} cm; elle peut même empêcher la pénétration et la diffusion de l'oxygène atmosphérique, gaz indispensable non seulement pour la vie du poisson, mais aussi pour la décomposition et la minéralisation des matières polluantes d'origine organique. Par ailleurs, beaucoup de petits organismes, notamment les larves d'insectes, les crustacés, les mollusques et certains vers des «couvertures biologiques nutritives» du poisson, sont sensibles aux hydrocarbures. La disparition de ce petit monde affecte par conséquent grandement l'économie piscicole. De plus, la présence d'essence, de mazout, ou d'autres dérivés du pétrole, peut provoquer de détestables faux-goûts rendant la chair du poisson impropre à la consommation. Les hydrocarbures, en particulier les huiles, peuvent aussi exercer une action toxique sur les nombreux microorganismes qui jouent un rôle capital dans les processus d'auto-épuration du milieu.

Bien que d'ordinaire réputés insolubles, les hydrocarbures n'en présentent pas moins une solubilité non négligeable dans l'eau, de l'ordre de quelques ppm. ou mg./1., variable selon leur nature et leur viscosité. Aussi de très faibles doses de ces produits sont susceptibles d'altérer le goût ou l'odeur de l'eau, au point de la rendre imbuvable et impropre à la plupart des usages domestiques, nécessitant de ce fait un traitement spécial, parfois décevant, des eaux destinées à l'alimentation. Enfin, l'aspect des eaux souillées par de grandes taches irides-

centes ou par des traînées huileuses longues parfois de plusieurs centaines de mètres, est carrément déplaisant; les sports aquatiques et nautiques sont compromis; le plumage des oiseaux aquatiques et la végétation rivulaire se couvrent d'une couche d'huile. Si dans les eaux courantes, la pollution par les huiles disparaît assez rapidement, par dilution et entraînement, ses effets s'observent de façon durable dans les ports, les baies et les criques aux eaux calmes, voire même sur les rives où les huiles lourdes s'accumulent, se fixant sur diverses installations ou se mélangeant aux particules de limon ou de sable fin en suspension dans l'eau, pour se déposer sous forme de boues ou de crasses sombres, à tel point que l'aspect de l'eau devient repoussant.

Quant à l'infiltration de produits pétroliers dans le sol, elle présente un grave danger pour les eaux souterraines, celles-ci pouvant être influencées dans une mesure plus ou moins considérable suivant la nature du sol. Les conséquences d'une telle pollution risquent d'être désastreuses, en raison de la durée des inconvénients, du coût particulièrement onéreux des installations de purification (coagulation et filtration sur sable, ou absorption par du charbon actif, voire encore traitement par l'ozone, etc.) et des difficultés extrêmes de décontaminer un sous-sol pollué par de l'huile ou de l'essence. Dans la plupart des cas, il faut creuser et évacuer tous les matériaux manifestement contaminés, puis éliminer par un pompage de longue durée les dépôts résiduels adsorbés dans les pores du terrain. En tout état de cause, ces conséquences sont bien souvent déplorables: altération du goût ou de l'odeur de l'eau souterraine, excluant son utilisation comme eau potable pendant des dizaines d'années; inhibition, voire blocage des processus d'auto-épuration, par suite de destruction des microorganismes du sol (bactéries et protozoaires) intervenant dans ce phénomène; enfin dommages causés à l'herbe, aux cultures, aux arbres.

A la pollution causée par les huiles, il faut associer celle due aux *détergents synthétiques*, ou substances tensio-actives, dont l'emploi s'est considérablement développé au cours des vingt dernières années dans l'économie domestique, l'artisanat et différentes industries. Introduits dans les poudres à laver et autres produits de nettoyage, les détersifs ou syndets (abréviation de «Synthetic detergents») ont pour effet d'abaisser la tension superficielle de l'eau, dans laquelle ils sont tous solubles. Ce sont en outre des émulsionnants et des moussants. On distingue trois catégories de détergents:

- anioniques (sulfates d'alcools gras et amides grasses sulfonées), qui jouent le principal rôle dans la pollution des eaux, en raison de leur pourcentage élevé dans la fabrication des surfactifs du commerce. Certains sont dits «durs», parce que difficilement ou très lentement dégradables par voie biologique, sous l'action des microorganismes épurants présents dans les eaux usées; d'autres sont dits «mous», parce que rapidement et presque entièrement biodégradables.
- cationiques (essentiellement bases d'ammonium quartenaire), à action bactéricide bien marquée.
- non ioniques ou neutres (dérivés polyglycoliques), pour la plupart assez facilement décomposables par les processus biologiques.

Les détergents présentent la fâcheuse disposition, le plus souvent même en petites quantités, de produire des mousses ou écumes encombrantes et stables, par ailleurs inesthétiques, dans les installations d'épuration biologique d'eaux usées, en particulier dans les bassins d'aération à boues activées, et à la surface des eaux, notamment dans les cours d'eau à forte turbulence, à l'aval des seuils et cascades, des barrages et des écluses. En entravant l'incorporation d'oxygène atmosphérique, ces mousses nuisent à la réaération de l'eau, aussi bien dans les rivières que dans les stations ci-dessus. Ils inhibent en outre les activités bactériennes dans ces stations et peuvent présenter une action toxique sur la faune aquatique, cette nocivité étant au reste très complexe, en raison de l'interférence des divers facteurs en cause (température, pH et teneur en sels dissous du milieu, structure moléculaire et biodégradabilité du produit, type de poisson ou d'organisme des couvertures biologiques nutritives). Les détergents peuvent enfin conférer un goût déplaisant aux eaux de distribution et donner lieu à des difficultés de traitement des eaux de surface, du fait qu'ils laissent un dépôt sur les filtres, que l'eau filtrée a tendance à mousser et que dans le cas de faibles perméabilités, inférieures à 10^{-4} m/sec., ils sont susceptibles de provoquer un colmatage partiel des filtres par des bulles de gaz. Les adjuvants qu'ils renferment étant le plus souvent en majeure partie des phosphates et polyphosphates alcalins, qui ne sont pratiquement pas retenus dans les stations d'épuration, les détergents contribuent par conséquent à stimuler la croissance anarchique des plantes aquatiques, en particulier des algues.

2. Pollutions de nature physique

Elles affectent notamment la couleur, la limpidité, la température et la teneur en matières en suspension du milieu récepteur. Nombre d'eaux résiduaires présentent une couleur ou une turbidité prononcée. Dans certains cas, les eaux d'égout déversées dans une rivière ou un lac laissent une trace visible sur un long parcours. Pour le profane, la *coloration* d'une eau de surface est le signe d'une pollution. Une eau de rivière colorée peut cependant être inoffensive, par ailleurs être colorée naturellement par les substances empruntées aux terrains drainés de son bassin d'alimentation. Ces substances sont parfois de nature à provoquer, par mélange avec les eaux d'égout déversées, une coloration qui ne se produirait pas si le déversement était effectué dans un cours d'eau possédant d'autres caractéristiques. Toutefois, dans la plupart des cas la couleur est due aux matières colorantes organiques ou inorganiques d'eaux résiduaires industrielles (teintures de l'industrie textile, colorants de l'industrie du papier, etc), aux produits acides ou basiques et aux sels d'origine organique ou minérale, mis en œuvre ou provenant des différents processus de fabrication (industries chimiques, ateliers de galvanisation, etc.).

La caractéristique physique la plus notoire des eaux usées ménagères et de beaucoup d'eaux résiduaires industrielles est leur forte *turbidité*, causée par la présence de matières colloïdales ou de particules solides en suspension finement divisées (féculents, boues de fabrication, lessives finales, fibrilles de papier, produits d'encollage et de charge du papier, limons de lavage des graviers, etc.), dont l'effet sur le milieu récepteur peut être particulièrement défavorable. Plus la turbidité de l'eau est forte, plus la pénétration de la lumière est entravée, ce qui gêne d'autant les processus d'auto-épuration, en réduisant l'activité photosynthétique des organismes chlorophylliens. Bien qu'en général la turbidité d'un cours d'eau soit due à la décharge d'eaux d'égout ou d'eaux résiduaires industrielles, elle peut aussi être naturellement et momentanément provoquée par les pluies violentes et les fontes de neige entraînant de fines particules argileuses arrachées aux terrains lessivés, cette eau étant encore satisfaisante pour le poisson et certains usages industriels. Par ailleurs, l'absence de turbidité ne signifie pas que l'eau n'est pas polluée, celle-ci pouvant renfermer des substances toxiques qui ne créent pas de turbidité. En conséquence, comme sa coloration,

la turbidité d'une eau de surface ne fournit qu'une indication très approximative sur son degré de pollution.

Les hausses de *température* dues au rejet de grandes quantités d'eaux en provenance de circuits de refroidissement ou d'eaux chaudes de fabrication (centrales thermiques et nucléaires, raffineries de pétrole, aciéries et autres établissements industriels, etc.), peuvent avoir de nombreux effets nuisibles, déjà en raison de la sensibilité à la température de beaucoup d'espèces de poissons. Une élévation de plusieurs degrés de la température du milieu récepteur entraîne une diminution de la teneur en oxygène, voire sa disparition pendant les périodes estivales critiques, la solubilité de ce gaz dans l'eau étant inversément proportionnelle à la température, tous autres facteurs (pression atmosphérique, agitation de l'eau) demeurant stables. De ce fait, le réchauffement des eaux réceptrices provoqué par l'apport des effluents ci-dessus réduit le pouvoir d'auto-épuration du milieu. Lorsque ces eaux sont polluées par des matières organiques, il en résulte une consommation plus rapide de l'oxygène dissous, par suite de l'accélération des processus biochimiques de décomposition et de transformation des substances organiques. Suivant la loi de Van t'Hoff, la vitesse de réaction s'accroît lorsque la température augmente; elle double pour une élévation de température de 10°C.

C'est dire que le milieu devient impropre à entretenir la vie du poisson, la concentration en oxygène dissous ne suffisant plus à assurer sa respiration. Selon M. Huet: Qualités des eaux à exiger pour le poisson (Bull. inform. N°. 6, janv. 1962, Féd. europ. prot. eaux), il peut y avoir danger pour l'existence du poisson lorsque le degré de saturation de l'eau en oxygène tombe en dessous de 80 % pour les salmonidés (localement et passagèrement la teneur en oxygène dissous peut être abaissée jusqu'à une concentration non inférieure à 5 mg./1.), environ 70 % pour la plupart des autres espèces (localement et passagèrement, au moins 3 mg./1. d'oxygène dissous). De plus, des variations anormales de température durant la période de reproduction, déterminant un réchauffement intempestif de l'eau, sont spécialement préjudiciables au frai des poissons. En outre, la toxicité de nombreuses substances présentes dans les eaux usées ménagères ou les effluents industriels augmente avec la température; celle du cyanure de potassium, par exemple, double de valeur lorsque la température de l'eau s'élève de 10°C. Aussi n'est-il pas étonnant que les pointes de mortalité du

poisson correspondent le plus souvent aux périodes chaudes et sèches, lorsque les cours d'eau atteignent leur débit d'étiage ou que des prélèvements exagérés d'eaux superficielles sont effectués, et que la teneur de l'eau en oxygène diminue naturellement en raison de la température élevée. Par ailleurs, une insuffisance d'oxygène provoquée par le réchauffement favorise dans les cours d'eau le foisonnement d'organismes anaérobies, en particulier de champignons. Dans les lacs, le déversement de grands volumes d'eaux de refroidissement provenant surtout de centrales thermiques classiques ou nucléaires, peut élever de plusieurs degrés la température des couches superficielles et, partant, favoriser la prolifération des algues. Enfin, un réchauffement consécutif à l'introduction d'effluents gêne l'utilisation de l'eau en aval pour le refroidissement.

Un autre facteur exerçant sur la qualité de l'eau des effets défavorables et nocifs, ce sont les *matières en suspension* présentes dans les eaux d'égout et la plupart des eaux résiduaires industrielles, mais pouvant aussi provenir de la vidange de bassins de retenue. Tous les cours d'eau, il est vrai, même ceux qui sont peu pollués, contiennent des matières en suspension consistant en apports par les eaux de ruissellement et en produits d'érosion du lit et des berges. En l'occurrence, il s'agit essentiellement de matières d'origine minérale. Par contre, dans les eaux d'égout les matières en suspension sont de nature organique et aussi en partie de nature minérale. Certains effluents industriels peuvent renfermer de fortes quantités de boues minérales, spécialement ceux de diverses industries chimiques et des exploitations de mines et gravières. Toutes ces matières sont susceptibles d'entraîner de graves inconvénients pour le milieu récepteur. Elles engendrent la formation de boues de sédimentation, tout particulièrement si le courant est faible. Ces dépôts recouvrent et détruisent les couvertures biologiques nutritives du poisson; ils peuvent également contrarier ou entraver totalement la reproduction des poissons, en détruisant les œufs ou même les frayères; d'où disparition du poisson et aspect déplaisant des zones envasées. Le cas échéant, si la turbidité de l'eau est accompagnée d'un déversement d'acides, d'alcalis ou de substances qui lèsent les branchies du poisson ou empêchent leur fonctionnement normal, les matières en suspension sont susceptibles de blesser ou d'engluer les branchies.

Lorsqu'elles contiennent beaucoup de substances organiques, les matières en suspension peuvent par temps chaud amener la fermentation des boues de fond, qui en se décomposant dégagent des odeurs nauséabondes et montent à la surface sous l'action des gaz libérés, pour former des masses flottantes de boues malodorantes; d'où atteinte à l'esthétique des sites et sérieuse entrave à la baignade, ainsi qu'aux sports aquatiques. Les produits engendrés par la fermentation de la vase entraînent une diminution de la teneur en oxygène dissous et peuvent, selon leur concentration, exercer une action nocive sur les poissons. En outre, les matières en suspension gênent, voire inhibent les processus d'auto-épuration, en diminuant la pénétration de la lumière et, partant, la photosynthèse. La flore aquatique subit elle aussi l'influence de l'envasement, car la présence des boues entrave l'assimilation et la croissance des végétaux. De plus, les matières en suspension compromettent les possibilités d'utilisation de l'eau pour beaucoup d'usages, en particulier pour la consommation. Enfin, dans les cours d'eau navigables, l'envasement de leur lit peut nécessiter des dragages onéreux.

En résumé, le dépôt sur le lit d'un cours d'eau de matières en suspension, qu'il s'agisse de produits insolubles ou de substances organiques, peut entraîner la destruction de toute vie végétale et animale. Les phénomènes ci-dessus altèrent le régime de l'oxygène et tendent à réduire la capacité d'auto-épuration de l'eau, entravent l'utilisation de l'eau à des fins domestiques, agricoles, industrielles et récréatives, portent préjudice à l'économie piscicole et affectent les voies d'écoulement, en particulier les rivières où le débit est relativement faible. Les matières en suspension apportées par les eaux résiduaires ont donc directement ou indirectement des effets néfastes sur les eaux réceptrices.

Dans la pollution physique des eaux de surface, les *mousses* ou écumes dues aux savons et détergents synthétiques, ainsi que les *émulsions* formées par diverses substances contenues notamment dans les effluents de tanneries, d'industries métallurgiques, chimiques et textiles, jouent également un rôle. De grandes quantités de mousses ou d'émulsions stables, dont l'aspect est particulièrement déplaisant, ont donc pour effet d'entraver le transfert et la dissolution de l'oxygène atmosphérique (réaération en surface) et la pénétration de la lumière.

3. Pollutions de nature physiologique

Elles ont trait à l'odeur et au goût.

Cette forme de pollution résulte, dans une certaine mesure, de la décomposition des matières organiques introduites ou produites dans les eaux, et du rejet d'effluents résiduaires industriels contenant des substances chimiques (ammoniaque, chlore libre, hydrogène sulfuré et sulfures solubles, cyanures, phénols et chlorophénols, mercaptans, détergents, huiles minérales, hydrocarbures paraffineux et autres micropolluants, dont certains sont encore mal identifiés ou pratiquement indosables), qui toutes ont une odeur ou un goût particulier conférant à l'eau, même à de très faibles doses, des caractéristiques organoleptiques très désagréables. Dans la plupart des cas, elles altèrent directement l'odeur et le goût de l'eau; par contre, l'effet indésirable de faibles quantités de composés phénolés ne se manifeste qu'après contact avec le chlore, en raison de la formation de chlorophénols au goût exécrable facilement perceptible. C'est dire que les eaux phénolées ne peuvent pas sans autre être utilisées pour la consommation, car si elles doivent être soumises à une chloration prophylactique, elles présenteront un goût détestable.

Plusieurs des substances incriminées, toxiques pour le poisson à des doses déterminées, mais qui à des dilutions plus fortes ne mettent plus en danger la vie des poissons et ne sont pas nuisibles pour la faune aquatique nutritive, peuvent cependant affecter la qualité des poissons, en communiquant à leur chair un «goût de produit chimique» tellement prononcé et désagréable, qu'elle devient immangeable. Si en pisciculture le mauvais goût de la chair du poisson peut résulter d'une nourriture défectueuse, en eau libre les effluents résiduaires déversés sont susceptibles d'altérer la qualité de cette chair, soit directement, soit indirectement par contamination de la nourriture qu'absorbe le poisson. Par conséquent, la pêche sportive et plus encore la pêche professionnelle sont gravement lésées. En tout état de cause, il faut plusieurs semaines, en transférant le poisson dans une eau propre, pour débarrasser sa chair du mauvais goût qu'elle a acquis.

Par ailleurs, diverses formes de plancton végétal sécrètent, on l'a déjà relevé, des substances odorantes ou sapides semblables aux huiles essentielles, qui même à de très faibles concentrations nuisent à la qualité de l'eau puisée dans les lacs et rivières calmes. De même, le fer

et le manganèse peuvent conférer à l'eau une sursaveur métallique prononcée. Certains sels, suivant leur concentration, lui communiquent un goût désagréable; lorsque l'eau renferme une trop forte quantité de chlorures, elle a une saveur saumâtre; si la teneur en magnésie est élevée, elle est amère; s'il y a excès d'alumine, l'eau présente un goût terreux. En l'occurrence, des traitements chimiques appropriés permettent d'éliminer ces substances.

Pour les eaux souterraines, l'infiltration même accidentelle de substances responsables d'odeurs et de goûts anormaux, représente un grave danger, étant donné que même de faibles concentrations sont dommageables.

Les effets de la pollution physiologique se manifestent donc non seulement dans le domaine de la pêche, mais aussi dans celui de la purification des eaux destinées à l'alimentation. Les incidences économiques sur le traitement de l'eau sont souvent onéreuses. La présence de substances responsables d'une odeur ou d'un faux-goût implique des opérations et des installations plus complexes pour l'épuration de l'eau, non seulement de filtration classique sur sable quartzeux ou sur terre d'infusoires (kieselguhr), mais également d'absorption des substances indésirables contenues dans l'eau. Les adsorbants (charbon activé, résines synthétiques spéciales à haute porosité, etc.) et dispositifs de filtrage utilisés à cet effet sont d'un prix de revient assez élevé et nécessitent des régénérations périodiques, d'autant plus coûteuses que le degré de pollution de l'eau brute s'accroît. Pour parfaire l'élimination des composés chimiques et exclure en même temps tout risque d'infection pour les usagers, il faut encore faire subir à l'eau un traitement final par la dioxyde de chlore ou l'ozone. On conçoit aisément que les frais de production d'eau potable s'en trouvent accrus dans des proportions considérables.

4. Pollutions de nature biologique

Elles sont caractérisées par la présence de bactéries pathogènes, de certains champignons, de virus, de protozoaires pathogènes, de vers parasites, enfin d'algues. Plusieurs de ces microorganismes sont la cause de maladies infectieuses transmises par voie hydrique.

Cette forme de pollution est avant tout la conséquence du déversement d'eaux usées brutes, bien que l'épuration mécano-biologique

de ces eaux n'exclut pas tout risque d'infection bactériologique, virale, etc, nombre de microorganismes pathogènes véhiculés par les eaux usées d'origine domestique pouvant survivre pendant un certain temps, plus longtemps dans les eaux non polluées que dans les eaux d'égout. Elle peut aussi être un effet secondaire d'une pollution provoquée par des eaux d'égouts ou par des effluents résiduaires industriels favorisant une multiplication excessive, voire anarchique d'organismes inférieurs, en particulier de bactéries, de champignons et d'algues. Dans de nombreux cours d'eau et zones littorales de lacs influencés par des déversements croissants d'eaux usées, l'augmentation de la teneur en bactéries, notamment en bacilles coliformes, qui constituent des germes témoins d'une pollution fécale d'origine humaine ou animale, présente un danger indéniable pour la santé publique. Les microorganismes pathogènes propagés par les eaux usées et résistant quelque temps aux agents extérieurs, peuvent être transportés sur de longues distances par les eaux courantes. Dans les eaux stagnantes, qu'il s'agisse de lacs ou d'étangs, ils sont disséminés par les courants internes, pour disparaître d'autant plus rapidement que le processus d'auto-épuration bactérienne est plus actif. Bien que les cours d'eau tiennent une plus grande place dans l'épidémiologie que les eaux stagnantes, il n'en demeure pas moins que la détérioration de l'état bactériologique de la plupart des lacs du Plateau suisse, qui sont des foyers de concentration de populations et, par conséquent, de pollution, doit retenir l'attention. Tout d'abord, il y a l'importante question des baignades. Aussi bien dans les rivières que dans les plages lacustres recevant des eaux usées d'origine domestique, traitées ou non, il existe un risque de contamination. Par ailleurs, au stade actuel de la pollution, la plupart des collections d'eaux de surface sont impropres à être utilisées sans traitement, comme sources d'eau d'alimentation. Les méfaits de microbes comme les salmonelles, à l'origine des fièvres typhoïde et paratyphoïdes, des virus de l'hépatite épidémique et de la poliomyélite, de différents protozoaires intestinaux responsables de dysenteries, enfin de vers parasites (kystes de grande douve du foie, œufs de taenia et d'ascaris), sont trop connus pour qu'il soit nécessaire d'insister.

Grâce au pouvoir filtrant et épurateur du sol et du sous-sol, les eaux des nappes souterraines et celles des sources jaillissant de terrains faiblement perméables sont en général assez bien protégées contre la pollution biologique, la vitesse de circulation de l'eau influant directe-

ment sur la faculté de filtration du terrain aquifère. Les eaux des nappes proches de la surface du sol et celles des sources qui s'écoulent de roches fissurées sont par contre exposées à cette pollution, surtout lors de fortes pluies ou de fonte de neige. La pollution biologique des eaux souterraines peut être due à différentes causes: afflux massifs d'eaux de ruisellement lessivant la surface du sol; infiltrations d'eaux usées domestiques, d'eaux résiduaires artisanales ou industrielles contenant une riche flore bactérienne; épandage de fumier et de purin; fuites d'installations agricoles (aires à fumier, fosses à purin, etc.); irrigation des terrains avec un cours d'eau pollué; infiltrations de rivières polluées atteignant des nappes souterraines. La principale source de contamination, ce sont surtout les eaux usées d'origine humaine et animale, pourvoyeuses de microorganismes et notamment de bactéries pathogènes propageant les maladies susmentionnées.

Jusqu'à maintenant, il n'a été question que de pollutions dues aux eaux usées. Les *dépôts d'ordures ménagères et de déchets industriels*, soit sur terrains vagues, soit sur les bords des lacs et cours d'eau, constituent une autre cause de pollution des eaux, qui revêt une acuité croissante, la production d'ordures ménagères notamment ne cessant d'augmenter d'année en année. Certes, le recours à des carrières, gravières, sablières ou glaisières abandonnées présente certains avantages : élimination plus ou moins hygiénique des détritus, en tant toutefois que la mise en décharge soit contrôlée; une fois l'excavation comblée, restitution à la culture des surfaces exploitées; enfin, amélioration de l'état des lieux. Mais ce procédé peut présenter de sérieux inconvénients, d'une part pour les nappes souterraines sous-jacentes, voire celles situées à la périphérie, d'autre part pour le voisinage. Si les ordures se composent en grande partie de déchets imputrescibles, elles contiennent encore des matières dégradables plus ou moins facilement. Aussi les eaux suintant des décharges de résidus divers renferment en général de fortes quantités de composés solubles issus de la décomposition des matières organiques, qui enrichissent le milieu souterrain en sels minéraux étrangers, tels que chlorures, sulfates et autres composés nuisibles. Selon la nature et la structure du terrain aquifère, ces produits sont entraînés dans la nappe par l'activité circulatoire des eaux d'infiltration, lesquelles provoquent un lessivage des gadoues. Il en est de même pour les décharges sur les bords des lacs et cours d'eau. Les effets de ces dépôts sur les eaux souterraines pouvant

se prolonger durant plusieurs années, la mise en décharge des ordures ménagères et autres déchets solides provenant de l'artisanat et de l'industrie implique par conséquent certaines précautions, qui seront examinées ultérieurement. Quant à l'évacuation des ordures par jet dans un torrent ou une rivière à courant rapide, elle doit être interdite. Les cours d'eau ne sauraient tenir lieu de dépotoir des résidus des activités humaines.

Une autre forme de pollution, résultant de l'extension ou du développement des techniques, c'est la *pollution agricole*, dont les sources sont diverses: purin, jus d'ensilage, produits antiparasitaires, engrais chimiques minéraux, enfin eaux résiduaires des laiteries et fromageries, ainsi que des industries traitant les produits agricoles (distilleries, sucreries, etc.), dont il a déjà été fait état. Ce sont surtout les produits utilisés en agriculture qui présentent des dangers, leurs effets sur les eaux pouvant revêtir un caractère particulièrement aigu.

Au cours des deux dernières décennies, la mécanisation a pris un énorme essor dans l'agriculture. Elle s'est traduits par la mise en service croissante d'installations d'épandage de *purin* sous pression, en vue d'intensifier la production fourragère. A côté de pollutions chimiques et bactériologiques d'eaux souterraines, auxquelles les engrais naturels (fumier et purin) peuvent apporter des teneurs croissantes en nitrates notamment, qui résultant de la nitrification microbiologique des matières azotées provoquent au-delà de certaines concentrations l'apparition chez les nourrissons qui la boivent de la «maladie bleue» (méthémoglobinémie), les cas de pollution d'eaux de surface se sont multipliés, dus le plus souvent à la négligence ou causés intentionnellement (non vidange de fosse en temps utile, manque d'étanchéité de la fosse ou des conduites, mauvaise fermeture des vannes, désordre dans les installations, raccordement volontaire à une canalisation de drainage, etc.). Non dilué, le purin de bovins ou de porcins constitue un produit éminemment nocif pour le poisson, en raison de sa forte teneur en matières organiques, en ammoniaque et en hydrogène sulfuré. Quant aux *silos à fourrages verts*, qui souvent manquent de fosse de rétention des jus d'écoulement ou de conduite d'évacuation dans la fosse à purin, leur nombre croissant a eu pour conséquence une augmentation des cas d'empoisonnement de cours d'eau. Ces jus renferment de fortes quantités de matières organiques, dont la décomposition peut consommer tout l'oxygène disponible

dans le milieu récepteur. En tout état de cause, elle produit de l'acide carbonique rendant l'eau souterraine agressive, avec les conséquences fâcheuses décrites précédemment.

L'utilisation accrue de *pesticides*, c'est-à-dire de produits chimiques de désinfection et de lutte contre les parasites ou les mauvaises herbes, est responsable de graves pollutions des eaux, en raison de la nocivité de ces produits (insecticides, fongicides, acaricides, nématocides, herbicides, etc.) sur l'ensemble des espèces animales, y compris les oiseaux et les insectes utiles, leur application étant dans certains pays faits par avions et à doses massives, sur des dizaines de milliers d'hectares. Nombre d'entre eux, même après séjour prolongé dans le sol, ne perdent pas leur effet nocif et créent par conséquent des pollutions résistantes; d'autres se décomposent plus ou moins rapidement, soit par hydrolyse, soit sous l'action biologique des microorganismes du sol, les produits de dégradation étant dans certains cas plus toxiques que les pesticides eux-mêmes. A cet égard, on peut les classer en quatre catégories:

- composés organiques chlorés, tels que DDT (dichlordiphényltrichloréthane), HCH (hexachlorcyclohexane), lindane ou Gammahexa, dieldrine, aldrine, toxaphène, méthoxychlore, chlordane, heptachlore, etc., utilisés comme insecticides. D'une manière générale très peu solubles dans l'eau, les hydrocarbures chlorés représentent le danger le plus grave, en raison de leur persistance. Le danger d'intoxication directe pour l'homme et les animaux domestiques, comme pour le gibier et les poissons, existe déjà à de très faibles concentrations.
- composés organiques phosphorés, tels que parathion, malathion, phosdrine, etc., employés principalement comme insecticides. Relativement solubles dans l'eau, la plupart des organo-phosphorés se décomposent assez rapidement au contact du sol. Par ailleurs, ils sont moins toxiques vis-à-vis du poisson que les hydrocarbures chlorés.
- autres composés organiques ou organo-métalliques, tels que dérivés de l'urée, triazines, triazines nitrées ou thionitrées, employés comme désherbants, carbamates et dithiocarbamates, utilisés comme fongicides, produits nicotinés ou à base de dinitrocrésol, pour la destruction des pucerons, poux, etc. Les herbicides ci-dessus sont d'une

manière générale beaucoup moins toxiques pour la faune aquatique que les insecticides.

- substances minérales, telles que soufre et polysulfures alcalins, de calcium et de baryum, sulfate et oxychlorure de cuivre, arséniates de plomb et de calcium. Bien que les deux derniers produits soient progressivement remplacés par des produits organiques de synthèse, les préparations de soufre et les sels de cuivre conservent dans le vignoble une place importante en tant que fongicides.

Comme pour les animaux, la toxicité des pesticides pour l'homme peut prendre deux formes: intoxication aiguë, en général d'origine accidentelle, et intoxication chronique, laquelle peut être le fait de la pollution de l'eau de consommation, de très faibles doses absorbées chaque jour étant susceptibles d'être stockées dans l'organisme et d'avoir un effet cumulatif.

La pollution des eaux de surface par les pesticides peut être due à diverses causes: entraînement par les eaux de ruissellement depuis les terrains où le produit a été appliqué, ceci tout particulièrement lors de pluies violentes provoquant un intense et rapide lessivage des surfaces traitées, au point d'engendrer une pollution grave; le cas échéant, transport par érosion de sols sur lesquels les pesticides ont été adsorbés; épandage direct à l'occasion de traitements par voie aérienne; décharge accidentelle de résidus de fabrication; déversement par inadvertance ou par négligence de préparations en poudre ou en solution, soit dans une canalisation, soit dans un ruisseau ou une rivière, par rinçage des pulvérisateurs et ustensiles utilisés, le plus souvent sur une bouche d'égout, sinon directement dans un cours d'eau; rejet par négligence d'emballages vides imprégnés de produits ou à moitié utilisés, voire de restes de dissolutions à la fin du traitement. A dire vrai, les empoisonnements de poissons provoqués par des pesticides résultent avant tout de procédés inadéquats d'élimination ou d'évacuation d'emballages et de soldes de préparations.

Pour les eaux souterraines, les risques de pollution sont liés, d'une part à l'activité circulatoire des eaux d'infiltration, qui peuvent entraîner des éléments à nocivité persistante ou susceptibles de conférer à l'eau souterraine un fort mauvais goût, comme par exemple l'HCH utilisé pour détruire les hannetons, d'autre part aux conditions locales (nature et topographie du sol, pouvoir de fixation), aux caractéris-

tiques du produit lui-même (solubilité dans l'eau, résistance dans le sol à la dégradation physique et biochimique), enfin à la forme de traitement (mode d'application et quantité de produit utilisée à l'hectare). En particulier, le pouvoir d'adsorption du sol joue un rôle important. Alors que les argiles et les humus du sol retiennent fortement la plupart des produits chimiques épandus pour combattre la vermine, les sols perméables, graveleux et sableux, n'ont qu'un très faible pouvoir de fixation. Aussi les surfaces traitées peuvent dans ce cas être une sérieuse source de pollution pour les eaux sous-jacentes. Par ailleurs, la végétation peut également jouer un rôle dans la dégradation de différents pesticides organiques.

Le lessivage des terres ayant reçu des *engrais chimiques minéraux* riches en composés de phosphore et d'azote provoque dans les cours d'eau et en particulier dans les lacs une pollution indirecte, par l'apport de sels nutritifs (phosphates et nitrates) qui favorisent la prolifération des algues microscopiques et filamenteuses, contribuant ainsi dans une large mesure à accélérer l'eutrophisation des lacs. Les études scientifiques effectuées depuis plusieurs années pour la plupart des lacs suisses montrent de façon péremptoire que des modifications en apparence minimes, en particulier de la teneur en phosphates de l'eau, peuvent avoir des effets décisifs sur leur équilibre chimique et biologique. Tout accroissement de la concentration en éléments fertilisants se traduit inexorablement par une production accrue de plancton et de végétaux aquatiques. A la fin de leur période de croissance, pour la plupart en automne, algues et plantes annuelles meurent et s'amassent sur le fond des eaux, où elles créent un milieu biologique défavorable, en raison de la consommation de l'oxygène dissous, de la libération d'acide carbonique et de gaz toxiques ou malodorants (ammoniaque, hydrogène sulfuré, etc.). Aussi la décomposition de ces matériaux végétaux, qui se traduit également par la mise en solution d'éléments nutritifs azotés et phosphorés, entraîne de profondes et funestes modifications dans le régime biochimique du lac. Celles-ci sont soulignées par une désoxygénation partielle ou totale des couches profondes pendant la stagnation due à la stratification thermique, par une oxygénation dans l'ensemble déficitaire de ces couches, malgré le brassage de la masse lacustre par les phénomènes de circulation, enfin par des perturbations – par carence d'oxygène – dans les divers processus de minéralisation des matières organiques. De cette croissance

catastrophique de la flore aquatique résulte une *pollution secondaire* permanente, par suite de la remise en jeu, par les phénomènes de circulation des eaux, de l'azote et du phosphore des matières organiques produites ou introduites dans le lac.

Dans ces conditions, l'utilisation de l'eau des lacs et son conditionnement pour la consommation se heurtent davantage encore à des difficultés, tout particulièrement lors de proliférations massives d'espèces phytoplanctoniques indésirables, susceptibles de perturber le fonctionnement des installations de filtration et même de microtamisage, voire d'engendrer des faux-goûts. Le cas échéant, ces difficultés peuvent aussi se produire avec des eaux de rivières à cours lent.

Lorsque l'apport d'azote dans les eaux est excessif, il risque au contact de matières organiques en fermentation sur le fond des rivières ou des lacs, par conséquent en milieu réducteur, de donner lieu à la formation d'un excès de nitrites, avec lequel la vie aquatique est incompatible.

Enfin, la pénétration répétée d'eaux chargées d'engrais artificiels azotés enrichit les nappes souterraines en nitrates, au risque que leur eau ne puisse plus sans inconvénient être utilisée pour la consommation (méthémoglobinémie infantile).

Quant à la *pollution radioactive* des eaux, elle aussi liée à l'évolution du progrès et de la civilisation, elle peut résulter, d'une part du rejet de déchets radioactifs provenant des installations d'extraction et de traitement des minerais, de laboratoires de recherche, d'hôpitaux et de centrales nucléaires, d'autre part de l'enfouissement de substances radioactives dans le sol, enfin de retombées radioactives consécutives aux essais d'armes nucléaires. Cette forme de pollution menace aussi bien les eaux de surface que les eaux souterraines, le danger de contamination radioactive des sources d'approvisionnement en eau ne cessant d'augmenter, au fur et à mesure que le nombre d'établissements d'énergie atomique, en particulier d'usines nucléaires, s'accroît dans le monde. Par ailleurs, une grande partie de la radioactivité tend dans les eaux à se concentrer dans les matières en suspension et en particulier dans certains organismes (différentes algues, par exemple), pour se retrouver dans les boues des stations de préparation d'eau potable à partir d'eaux ainsi contaminées, comme d'ailleurs dans celles des stations d'épuration d'eaux usées renfermant des résidus radioactifs libérés par des hôpitaux, laboratoires, etc.

Les risques de pollution ne doivent cependant pas être exagérés, des contrôles réguliers de radioprotection étant maintenant exercés dans tous les pays où la radioactivité artificielle devient un article industriel quasi courant. En particulier, une prévention de la pollution radioactive des eaux est exercée. D'une manière générale, des précautions sévères sont prescrites et prises pour que les déchets de l'industrie nucléaire soient traités et évacués afin d'écarter tout danger dans l'immédiat et dans le temps. Le danger de contamination réside avant tout dans les accidents pouvant se produire lors de l'utilisation industrielle et médicale des radio-éléments. Par ailleurs, des négligences, voire des actes de malveillance, ne peuvent être exclus. D'où la nécessité de contrôles sévères.

En résumé, la pollution des eaux, qui en quelque sorte est la rançon du progrès technique et de l'élévation générale du niveau de vie, revêt un aspect à la fois social, financier et technique.

Incidences sociales et économiques de la pollution des eaux

L'*aspect social* est évident. Premièrement, l'eau polluée a en général un goût ou une odeur désagréable; elle peut aussi être dangereuse à consommer. On ne peut pas vivre longtemps sans eau. A mesure que la densité de la population augmente, il devient plus difficile, voire impossible de trouver de l'eau potable à proximité des habitations. Il faut donc de plus en plus «traiter» les eaux avant de les livrer au consommateur, plus exactement leur faire subir une série d'opérations complexes, telles qu'adoucissement des eaux dures, déferrisation, floculation, décantation, épuration par des filtres à absorption, désinfection, etc. Ces divers procédés sont maintenant bien connus, mais aussi critiqués, car le consommateur européen n'aime pas beaucoup et se méfie même de toute cette chimie de l'eau. Deuxièmement, le rejet d'effluents créant des conditions nutritives et thermiques favorables au développement d'organismes inférieurs (bactéries, champignons et plancton) constitue une grave nuisance à plusieurs égards: difficultés pour l'approvisionnement en eau potable, en eau d'abreuvage du bétail et en eau d'usage; entrave à la baignade, à la pratique des sports nautiques, voire à la navigation; appauvrissement en pois-

sons et, partant, pertes considérables pour les pêcheurs et pour l'industrie de la pêche; enfin atteinte au paysage.

Il convient ici de souligner que si les *pollutions aiguës*, provoquées par le déversement brutal et accidentel, ou par vagues et en forte concentration de produits toxiques ou fermentescibles, ont des effets en général indiscutables, les *pollutions chroniques*, résultant d'un déversement continu de matières nocives, même à de faibles doses, sont souvent beaucoup plus dangereuses, parce qu'insidieuses et difficiles à déceler par les seuls examens chimiques de l'exutoire. Introduits continuellement à des doses subléthales dans un cours d'eau, les produits toxiques peuvent provoquer la disparition totale de sa population piscicole, soit que les poissons eux-mêmes y soient sensibles, soit que leur faune nutritive dépérisse; dans l'un et l'autre cas, tout organisme vivant finit par disparaître du cours d'eau pollué. En outre, on l'a déjà relevé, d'une manière générale la toxicité augmente considérablement à mesure que diminue le taux d'oxygène et que s'élève la température de l'eau.

L'*aspect financier* de la pollution des eaux mérite une attention particulière, tout d'abord en raison des dommages causés à l'économie nationale, qu'il est bien souvent difficile d'estimer de façon précise. Par exemple, on ne saurait guère chiffrer en pertes monétaires l'impossibilité de se baigner, le fait que la navigation à rame ou à voile ne soit guère agréable dans des eaux polluées, ou que les rives de lacs ou cours d'eau salies par des dépôts d'algues ou de boues n'attirent plus les touristes. L'estimation est également difficile pour les dangers potentiels de pollution biologique des eaux de surface. Par contre, les dommages causés à la pêche et aux biens matériels, de même que l'augmentation des frais d'épuration des eaux destinées à l'alimentation humaine et aux usages industriels peuvent faire l'objet d'estimations concrètes.

A ce propos, il n'est pas inutile de rappeler qu'avec l'accumulation de matières nutritives favorisant la prolifération des algues, l'utilisation de l'eau des lacs du Plateau suisse soumis à l'influence humaine et son conditionnement pour la consommation deviennent de plus en plus compliqués et coûteux. Dans divers cas, les installations classiques de filtration simple et de désinfection par le chlore gazeux, ou l'hypochlorite de soude, s'avèrent inefficaces; aussi faut-il avoir recours à la double filtration (ou filtration en deux étages), à la coagulation par le

sulfate d'alumine ou un autre produit, combattre les faux-goûts et odeurs en remplaçant la chloration ordinaire par un traitement plus onéreux au dioxyde de chlore ou à l'ozone, voire adjoindre encore un prétraitement au charbon actif, ceci spécialement pour fixer les détergents synthétiques et les micropolluants résistants éventuels. En outre, qu'ils soient urbains, industriels ou agricoles, tous les utilisateurs ont besoin d'une eau satisfaisant à certaines exigences de qualité, par ailleurs en quantité largement suffisante pour faire face à une demande sans cesse en expansion. Envisager une future distribution à double réseau, c'est-à-dire d'une part une distribution d'eau de haute qualité, d'autre part une distribution d'eau de qualité plus basse, apparaît – mis à part le coût excessif des installations, les difficultés pratiques et les dangers dus à l'interconnexion toujours possible des deux réseaux – comme n'étant pas acceptable, puisque une part croissante des alimentations en eau publiques est aussi destinée aux besoins industriels et agricoles. Seul un réseau transportant en abondance une eau de haute qualité peut réellement améliorer les possibilités d'alimentation des collectivités, de l'industrie et de l'agriculture.

Les eaux de surface étant toujours davantage mises à contribution pour couvrir les besoins accrus en eau potable et industrielle, ou pour enrichir certaines nappes souterraines par suralimentation artificielle, il faut par conséquent mettre en œuvre tous moyens propres à supprimer de nouvelles pollutions des ressources hydrauliques et éliminer les causes actuelles.

Certes, le volume des investissements nécessaires, non seulement pour stopper l'augmentation de la pollution résultant du développement de la démographie et de l'industrie, mais encore pour la faire régresser partout où par suite d'une indifférence passée vis-à-vis de ce problème, la pollution de certaines collections d'eaux naturelles a atteint un degré intolérable, est élevé. Il importe donc, par tous moyens utiles, d'en réduire le montant: pour l'industriel, en recherchant les économies d'eau par le recyclage, au besoin en modifiant certains procédés de fabrication, en choisissant enfin, sur la base d'essais en station-pilote, le système d'épuration le plus efficace et le moins onéreux tant en frais d'investissement que de fonctionnement; pour les projets importants à charge des collectivités, par une étude serrée de la quantité et de la qualité des effluents à épurer et des possibilités de traitement en station unique, moyennant des prétraitements

à effectuer sur certains effluents en vue d'éviter des interférences éventuelles sur la marche de l'installation d'épuration collective, par des essais en station pilote, enfin par un appel d'offre correspondant au système le plus économique et mettant tous les adjudicataires sur pied d'égalité.

Aspects techniques de la lutte contre la pollution des eaux

L'*aspect technique* de la lutte contre la pollution des eaux ne saurait donc être sous-estimé, les recherches effectuées constituant une importante contribution à la solution du problème et étant toujours payantes. Au surplus, une lutte bien comprise contre la pollution exige une *connaissance scientifique* précise de la faune et de la flore des cours d'eau et des lacs, des conditions particulières au milieu et de l'effet que les différentes formes de rejets polluants exercent sur elles.

Que faut-il faire pour combattre la pollution ? La première tâche est de *supprimer à la source*, c'est-à-dire à l'endroit où il surgit, *le gros danger que constituent les eaux résiduaires*, aussi bien celles des égouts des villes et villages que les effluents industriels et agricoles.

Pour ce qui est du *traitement des eaux usées domestiques*, les solutions applicables à l'heure actuelle permettent une épuration satisfaisante tant mécanique ou physique (séparation des matières décantables) que biologique (élimination des matières en suspension non décantables et des substances organiques dissoutes), sous réserve que les installations soient bien conçues et de capacité adéquate.

L'élimination des sels fertilisants favorisant la prolifération de la flore aquatique, notamment des algues, exige un troisième stade d'épuration, réalisable par précipitation chimique pour les composés de phosphore et par dénitrification microbienne dirigée pour les nitrates, ces techniques pouvant l'une et l'autre être inclues sans difficultés dans le cycle normal du traitement biologique par le procédé à boues activées. En ce qui concerne les bactéries pathogènes, les virus et autres agents propagateurs de maladies infectieuses, leur élimination ne peut être assurée à coup sûr sans une stérilisation énergique de l'effluent final, c'est-à-dire une quatrième phase d'épuration, nécessaire avant tout pour les eaux usées d'établissements hospitaliers. Il con-

vient ici de souligner qu'en tout état de cause les eaux prélevées pour l'alimentation dans les lacs et cours d'eau, de même que celles souterraines exposées à une pollution par des infiltrations de surface, doivent être purifiées à titre prophylactique, par chloration, ozonisation ou tout autre procédé, ceci même après filtration, à moins qu'il ne s'agisse d'une filtration lente, à une vitesse de l'ordre de quelques mètres par jour.

L'*épuration des eaux résiduaires industrielles* est du point de vue technique sensiblement plus difficile, par suite d'une part de la variété des corps polluants et d'autre part de la multiplicité des formes dans lesquelles ces produits apparaissent. Les moyens à disposition ne manquent toutefois pas, tant pour l'épuration physique (déshuilage, écumage, floculation, décantation, filtration, échange thermique, etc.), chimique (neutralisation, oxydation, réduction, échange d'ions, précipitation, etc.) ou biologique (lits bactériens, boues activées, digestion, auto-épuration par lagunage, etc.) des effluents liquides, que pour l'élimination des boues (lits de séchage, centrifugation, filtration sous vide, incinération, etc.). Ils permettent aussi de récupérer sous une forme utile différentes substances polluantes. En outre, il est souhaitable, lorsque cela est possible, de traiter les eaux résiduaires industrielles à charge organique en même temps que l'ensemble des eaux usées locales.

La *prévention de la pollution par infiltration souterraine d'eaux d'égout* implique la canalisation des eaux usées dans des tuyaux parfaitement étanches (Eternit avec joint Triplex, béton centrifugé ou grès avec emboîtement à cloche), ainsi que l'interdiction de puits perdus ou de tranchées absorbantes dans les zones où des sources ou des nappes souterraines exploitées ou exploitables risquent d'être souillées, compte tenu des conditions hydrogéologiques locales. Si dans de telles zones le problème de l'évacuation des eaux usées ne peut être résolu de manière satisfaisante, une interdiction générale de bâtir doit être appliquée.

Quant à la *lutte contre la pollution par les produits pétroliers*, des eaux souterraines notamment, elle implique, d'une part des mesures de sécurité dans le stockage des hydrocarbures (construction des réservoirs, protection contre la corrosion intérieure et celle extérieure, ouvrages de rétention des fuites, dispositifs de détection et de signalisation des fuites, surveillance et entretien des installations), le trans-

port et la manutention de ces produits, d'autre part la création et la signalisation de zones de protection des eaux souterraines ou superficielles menacées, compte tenu des conditions hydrogéologiques et topographiques locales et des connaissances acquises sur le comportement des produits pétroliers infiltrés dans le sol, enfin l'organisation d'un dispositif d'alarme et de moyens d'intervention en cas d'accident. Il faut encore souligner que les séparateurs d'huiles minérales n'offrent pas, à eux seuls, une garantie de sécurité suffisante. Aussi importe-t-il que leur effluent soit évacué autant que possible vers une station centrale, en vue d'une épuration plus poussée.

La *lutte contre la pollution par les détergents synthétiques* ne saurait consister dans une réglementation de l'utilisation de ces produits, dont la consommation croît constamment, en même temps que se multiplient les machines à laver. La seule solution valable pour résoudre ce problème est le remplacement des détergents résistant à la dégradation biologique, par des détersifs facilement biodégradables en milieu riche en oxygène et en éléments nutritifs, par ailleurs moussant peu.

En ce qui concerne les *ordures ménagères et industrielles*, organiser l'enlèvement et le traitement de ces déchets est actuellement, aussi bien pour les communes que pour nombre de fabriques, une tâche tout aussi urgente que l'épuration des eaux usées. Dans l'établissement des places de décharge, il faut tout d'abord, tenant compte des conditions géologiques et hydrologiques locales, s'assurer que les eaux suintant des gadoues ne puissent pas polluer une source ou une nappe d'eau souterraine exploitée ou exploitable, voire un cours d'eau ou un lac voisin. Il convient en outre, par une mise en décharge contrôlée, d'éviter ou tout ou moins d'atténuer les inconvénients tels que mauvaises odeurs, prolifération de mouches et de rats, risques d'incendie. En raison de l'augmentation constante de la production d'ordures ménagères, il devient toujours plus nécessaire de procéder à leur destruction par incinération. D'une manière générale, seuls des ouvrages communautaires ou intercommunaux (stations d'incinération et, le cas échéant, de compostage) sont en mesure de permettre une élimination satisfaisante non seulement des ordures ménagères et autres détritus, mais aussi des boues provenant des installations d'épuration, dont on ne sait que faire.

Pour ce qui est des *eaux résiduaires agricoles*, qu'il s'agisse de purins, de jus d'ensilage, etc., qui ne peuvent être traités dans les stations

d'épuration collectives, car ils en gêneraient le bon fonctionnement, la seule solution est leur utilisation comme engrais, par épandage sur les prés et champs, les jus d'ensilage en mélange avec le purin. Les empoisonnements causés par les *pesticides* étant surtout le fait de procédés inadéquats d'élimination ou d'évacuation d'emballages ou de restes de dissolutions utilisées pour les traitements, il faut donc employer entièrement les préparations, brûler les emballages utilisés, nettoyer enfin avec précaution, sur des surfaces vertes appropriées, les pulvérisateurs et autres ustensiles. Quant aux *engrais chimiques minéraux*, seul un mode d'utilisation mieux approprié et plus rationnel permettra d'enrayer la fertilisation accrue et indésirable des eaux, responsable notamment de l'eutrophisation des lacs. A cet effet, il importe de donner des conseils et des éclaircissements aux agriculteurs, afin d'éviter un gaspillage inutile de ces engrais. Il est d'ailleurs dans l'intérêt des agriculteurs de limiter les pertes de produits utilisés, en particulier de composés azotés et phosphorés, dues au lessivage ou à l'érosion des sols engraissés.

Conclusion

La pollution constitue un problème universel dont la gravité ne peut être sous-estimée. Quelle que soit la région du monde considérée, les causes et les incidences économiques et sociales de ce fléau sont identiques. Il importe de prendre conscience que la protection des eaux contre la pollution, alors même qu'elle exige des investissements considérables et des travaux de longue haleine, est une partie intégrante du problème général de l'utilisation des ressources hydrauliques, lequel revêt une importance considérable pour le développement économique et social.

Dénoncer le mal et le danger ne suffit pas. Il faut aussi porter remède. Seule une politique systématique de prévention de la pollution envahissante des eaux est capable de résoudre le grave problème de la sauvegarde de ces ressources fondamentales. Elle requiert, faut-il le préciser, une étroite collaboration de tous les milieux, y compris les particuliers.