



INDUSTRIE

de cette exploitation minière ; il est entassé sur terre en de gigantesques terrils, ou dissous et transporté jusqu'à la mer par le Rhin. Durant des décennies, le déversement du sel dans le fleuve a exaspéré les horticulteurs hollandais, qui utilisent l'eau du Rhin pour irriguer leurs orchidées, leurs glaïeuls et d'autres fleurs qui supportent mal les ions chlorure. La Convention de 1976 sur les chlorures stipulait que la France devait stocker une partie des sels sur son territoire, le surcoût de ce stockage étant partagé avec l'Allemagne et avec les Pays-Bas. Toutefois les Alsaciens s'op-

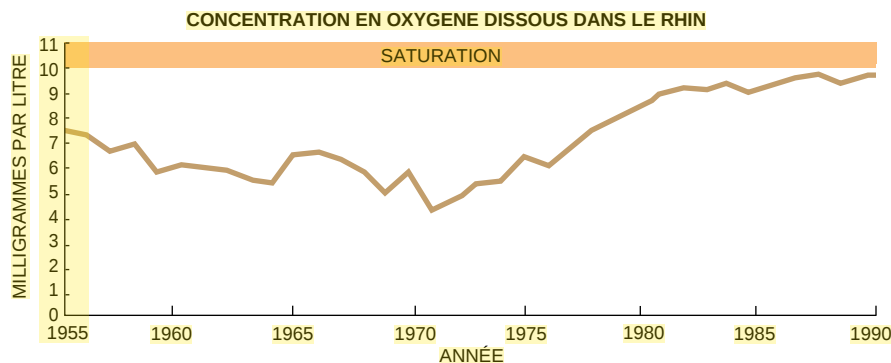
posèrent à cette disposition, et le Parlement hollandais refusa de payer. Un accord n'a été obtenu qu'en 1991 : il impose un contrôle des rejets miniers, de sorte que la concentration en ions chlorure ne dépasse pas 200 milligrammes par litre à la frontière germano-hollandaise. En pratique, les mines doivent interrompre leurs rejets pendant quelques jours, à deux ou trois reprises par an. Les cultivateurs hollandais ne sont pas enchantés de cette solution, mais le problème a peu de chance d'être résolu avant l'épuisement des mines de potasse, d'ici 10 ou 20 ans.

Aussi gênants soient-ils, les ions chlorure ne sont pas parmi les pollutions qui gênent le plus les Pays-Bas. L'azote et le phosphore, qui proviennent surtout des eaux des égouts, favorisent la prolifération des algues et stimulent artificiellement la chaîne alimentaire. Ce phénomène d'eutrophisation est surtout gênant aux Pays-Bas, où les eaux sont lentes et où les algues forment parfois des masses épaisses qui entravent la navigation et bouchent les pompes. En outre, quand les algues meurent en automne, leur décomposition absorbe l'oxygène de l'eau, asphyxiant les poissons et les autres organismes aquatiques.

Le retraitement des eaux usées, qui réduit notablement les quantités d'azote et de phosphore rejetés, s'est généralisé à partir de la constitution de la Commission internationale pour la protection des eaux du lac de Constance, en 1959. Depuis le début des années 1970, le retraitement des eaux usées et l'utilisation de détergents sans phosphates ont progressivement réduit la quantité de phosphore dans le fleuve. En 1992, la concentration moyenne en phosphore mesurée à la frontière germano-hollandaise atteignait 0,21 milligramme par litre ; elle était inférieure aux concentrations des années précédentes, mais restait dix fois supérieure à la concentration mesurée dans le lac de Constance.

Pour des raisons assez complexes, la concentration en azote, elle, n'a pas beaucoup diminué. Dans le fleuve, l'azote est principalement présent sous forme d'ions ammonium (NH_4^+) et d'ions nitrate (NO_3^-). Au cours des 20 dernières années, le traitement des eaux usées a ramené la concentration en ions ammonium à environ 0,27 milligramme d'azote par litre, mais la concentration en nitrates a augmenté ; en 1992, elle atteignait 3,8 milligrammes d'azote par litre. La plupart des nitrates semblent provenir des engrais utilisés dans les cultures voisines du fleuve. Diverses mesures devraient lutter contre l'accroissement de la concentration en nitrates. L'Union européenne, par exemple, octroie des primes aux agriculteurs





3. LA CONCENTRATION EN OXYGÈNE fut minimale, dans le Rhin, au cours de l'été 1970 : dans certaines parties du fleuve, elle devint trop faible pour assurer la survie de beaucoup de créatures.

qui mettent des terres en jachère. L'Allemagne, d'autre part, subventionne les fermiers qui évitent d'utiliser des engrais dans les zones proches du fleuve et qui réduisent globalement leur usage d'engrais.

Les métaux lourds sont d'autres polluants inorganiques qui ont des effets importants sur les organismes vivants. À l'état de traces, certains de ces métaux sont essentiels à la vie, mais à des concentrations supérieures, ils causent des troubles nerveux, et perturbent la croissance et le métabolisme des animaux et des végétaux. Le mer-

cure, le cadmium, le cuivre et une partie du chrome, rejetés principalement par les usines métallurgiques et chimiques, sont facilement identifiables et, par suite, contrôlés. En revanche, le nickel, le zinc et le reste du chrome arrivent dans le fleuve par les eaux résiduaires ; on limite plus difficilement leur arrivée dans le Rhin, parce qu'ils proviennent de la corrosion de canalisations et d'équipements domestiques ou industriels. Les rejets de plomb ont été réduits par l'élimination du plomb de la plupart des carburants, et les infimes traces d'or présentes dans le fleuve ne sont pas dangereuses (au début du XIX^e siècle, un grand nombre d'orpailleurs lavaient le gravier à la batée sur les rives du cours supérieur du Rhin, entre la frontière suisse et la ville allemande de Worms).

Au total, la quantité de ces métaux dans le Rhin a diminué de plus de 90 pour cent depuis les années 1970 : les stations d'épuration ont contribué à cet assainissement en piégeant de grandes proportions de métaux dans leurs boues résiduaires, et des programmes mis en place dans les décharges industrielles récupèrent sélectivement les métaux en vue de leur réutilisation dans les rejets industriels.

Aujourd'hui les métaux présents dans les eaux du Rhin ne menacent plus les riverains ni la vie aquatique, mais les sédiments accumulés dans certaines parties du lit du fleuve et de ses affluents contiennent toujours des concentrations métalliques assez élevées. La pollution par les métaux reste notamment problématique dans le port de Rotterdam, où des dragages ont ramené en surface des sédiments chargés de métaux, qui se sont redéposés en aval. Des négociations entre les autorités portuaires et certaines industries chimiques et métallurgiques

situées en amont ont conduit à des accords pour réduire encore les rejets de métaux.

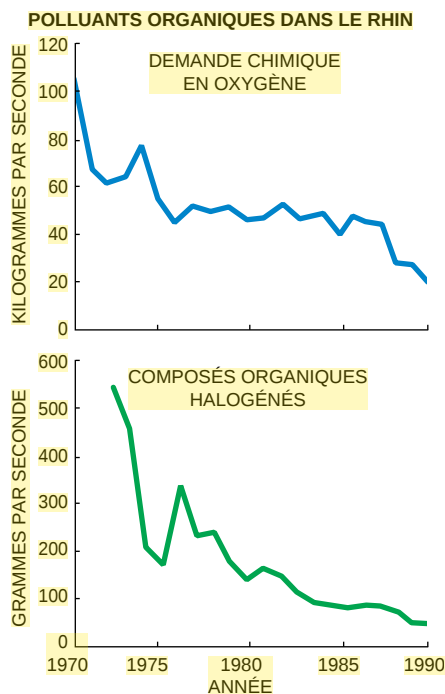
Les menaces organiques

Si les limitations des rejets de composés inorganiques sont utiles, l'effort doit surtout porter sur la pollution par les composés organiques. Bien que ces substances représentent généralement moins de un pour cent de la pollution d'une rivière, elles captent l'oxygène dissous dans l'eau et rendent celle-ci impropre à la vie.

Entre 1969 et 1976, les pollutions organiques ont été fréquentes dans le Rhin, réduisant souvent la concentration en oxygène dissous à moins de deux milligrammes par litre, durant les mois d'été, dans certaines parties du fleuve. À de telles concentrations, de nombreux organismes aquatiques meurent. L'Allemagne ayant dépensé 250 milliards de francs dans des usines de retraitement qui éliminent 90 pour cent des polluants organiques, la concentration en oxygène dissous est revenue à des valeurs plus saines de neuf à dix milligrammes par litre (soit 90 pour cent de la concentration d'équilibre dans l'eau pure).

Le contrôle des polluants organiques est beaucoup plus difficile que celui des composés inorganiques. Alors que le nombre de ces derniers est de quelques dizaines, dans les cours d'eau pollués, celui des composés organiques d'origine naturelle et artificielle est de plusieurs milliers. Comme on ne peut isoler et analyser chacun d'eux, les chimistes considèrent des groupes de composés, qu'ils dosent par des méthodes variées. On peut notamment rechercher les effets ou les caractéristiques de toutes les substances organiques dans l'eau. On peut aussi déterminer les concentrations de familles de composés. Associées, ces deux techniques donnent des estimations précieuses sur l'état organique d'un échantillon d'eau et peuvent être complétées, selon les besoins, par des dosages de substances organiques précises.

Une mesure classique de l'effet biologique des composés organiques est la demande biologique en oxygène, mesurée généralement sur une période de cinq jours (notée DBO₅) : après avoir ajouté des bactéries et des éléments nutritifs à un échantillon d'eau, on dose l'oxygène dissous. Dans la mesure de



4. L'OXYGÈNE absorbé par l'oxydation des polluants organiques (représenté par la demande chimique en oxygène) a diminué spectaculairement depuis 1970 (en haut). De même, les mesures prises par les États riverains ont permis une nette réduction de la concentration (en bas) en composés organiques halogénés (surtout chlorés).

la «demande chimique en oxygène» (DCO), on ajoute de l'acide sulfurique concentré et du chrome à l'eau analysée, afin d'établir la consommation maximale possible d'oxygène par l'échantillon. En 1992, à la frontière germano-hollandaise, la DBO₅ était de trois milligrammes par litre, et la DCO de dix milligrammes par litre.

Les substances organiques sont habituellement groupées en quatre grandes catégories : les halogènes organiques adsorbables (qui comprennent principalement des composés chlorés), les détergents, les hydrocarbures et les acides humiques. Même quand ils sont présents dans de grandes molécules, le chlore et les autres halogènes (le brome, l'iode ou le fluor) sont particulièrement gênants, parce qu'ils sont toxiques et persistants. Les composés chlorés proviennent de plusieurs sources, notamment de l'industrie papetière, qui blanchit au chlore la cellulose brute. Toutefois la plupart des papiers sont converties à de nouveaux procédés de blanchiment, où l'utilisation de chlore est réduite. Le chlore pénètre aussi dans la rivière sous forme d'insecticides tels que le DDT (le dichlorodiphényltrichloroéthane), l'hexachlorocyclohexane, l'hexachlorobenzène et le pentachlorophénol. Plusieurs pays européens ont interdit l'utilisation de ces produits et d'autres composés chlorés persistants. Les mesures prises depuis 1970 ont contribué à réduire les concentrations en certains composés organochlorés, mesurées à la frontière germano-hollandaise, de facteurs compris entre 5 et 15.

La recherche de détergents plus biodégradables contribue également à réduire la pollution par les composés organiques. Depuis 1964, les pays européens ont des réglementations de plus en plus strictes, imposant des biodégradabilités des détergents de plus en plus importantes, ce qui a permis de ramener la proportion de tensioactifs anioniques (les molécules qui assurent la fonction de détergence), à Düsseldorf, de 650 grammes par seconde en 1964 à 80 grammes par seconde en 1987 ; en 1992, la concentration en tensioactifs anioniques, à la frontière germano-hollandaise, était supérieure à 0,05 milligramme par litre.

Les hydrocarbures sont plus biodégradables que les composés halo-

génés. Les produits pétroliers comme l'essence et le kérosène représentent environ 20 pour cent de tout le trafic marchand à travers la frontière hollandaise. En outre, les milliers de bateaux qui parcourent le Rhin chaque année utilisent, pour remplir leur fond de cale, quelque 20 000 mètres cubes d'un mélange d'huile et d'eau qui, pour la plus grande part, est fourni et récupéré par des bateaux approvisionneurs. Les mesures prises pour limiter les rejets d'hydrocarbures permettent de maintenir la concentration de ces composés à 0,01 milligramme par litre, à la frontière germano-hollandaise.

La quatrième famille de substances organiques – les acides humiques – sont les produits à court terme de la biodégradation. Qu'elle soit mise en œuvre dans les stations d'épuration ou qu'elle ait naturellement lieu dans le fleuve, la biodégradation est un processus inachevé ; seule une partie des substances organiques consommées par les bactéries est totalement métabolisée et rejetée sous forme de gaz carbonique ; le reste est seulement partiellement oxydé et transformé en acides humiques. Ces derniers sont produits par les stations d'épuration, mais ils ont toujours été présents dans le fleuve. En 1973, 25 pour cent de la pollution organique résiduelle du Rhin était due aux acides humiques. Plus récemment, cette proportion a augmenté, encore qu'elle soit difficile à déterminer avec exactitude, faute de méthodes d'analyse précises. Les acides humiques sont toutefois jugés inoffensifs, car ils sont produits naturellement à un stade précoce de l'oxydation des matières organiques.

Un accident fondateur

Quel que soit le soin apporté au contrôle de certains polluants, le Rhin, comme toute voie d'eau utilisée pour le transport de marchandises, peut être accidentellement pollué. Jadis le fleuve était si pollué que les accidents se remarquaient à peine, mais aujourd'hui des systèmes de surveillance les détectent facilement ; cette détection permet des réactions rapides, qui limitent les dégâts.

Quelques incidents désolants ont eu pour conséquence utile de déclencher la création de ce système de contrôle. L'un des pires eut lieu le