

LE PROBLÈME DES POLLUTIONS INDUSTRIELLES DES COURS D'EAU.

CRÉATION D'UN LABORATOIRE AMBULANT POUR L'ÉTUDE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DES POLLUTIONS

par A. WURTZ

Chef de Travaux à la Station Centrale d'Hydrobiologie appliquée

Grâce à une subvention du Conseil supérieur de la Pêche, il m'a été possible de réaliser à la Station centrale d'Hydrobiologie appliquée du Paraclet, un projet dont l'intérêt et l'utilité n'échapperont certainement pas à tous ceux qui ont à cœur ou qui ont pour mission de protéger le poisson dans nos rivières.

On connaît le grave danger que font courir à nos cours d'eau les pollutions industrielles. Par suite du développement grandissant d'usines et d'industries qui déversent souvent des tonnes de produits nocifs dans les eaux, certains de nos cours d'eau sont en train de se dépeupler complètement et de devenir des égouts d'usine.

Pour lutter contre les pollutions, il faut d'abord pouvoir les déceler, afin de les signaler à l'industriel responsable, en le priant d'y remédier, et s'il refuse, de le poursuivre des rigueurs de la loi.

Mais « déceler » une pollution chimiquement, biologiquement et juridiquement n'est pas toujours aisé. S'il est quelquefois facile, et navrant, de voir des centaines de kilos de poissons morts à la suite d'une pollution, entraînés ventre en l'air par le courant, il est beaucoup plus difficile de prouver qu'une rivière est chimiquement et biologiquement impropre à la vie des poissons.

Le procédé que recommande l'Administration des Eaux et Forêts consiste à prélever de l'eau en amont, au déversoir et en aval de l'usine incriminée, à faire analyser celle-ci ultérieurement au laboratoire, et le cas échéant, à immerger à l'aide de nasses, des poissons dans la rivière pour voir s'ils résistent ou non à la toxicité de l'eau.

Malheureusement, dans certaines pollutions brutales dues à un déversement unique de quantités massives de substances toxiques, on constate

rien une hécatombe de poissons, mais le prélèvement de l'eau est fait trop tard, après le passage du flot destructeur. D'autre part, dans de nombreux cas de pollutions chroniques, l'analyse chimique seule, faite dans des délais souvent longs, sur de l'eau prélevée et conservée en bouteilles, ne donne qu'une image très incomplète de la réalité. Il y a de nombreux faits qui échappent à l'analyse chimique ainsi conçue. Lorsque par exemple, à la suite de pollutions chroniques, la nourriture vient à manquer dans une rivière, le poisson émigre, et celle-ci se dépeuple, sans que l'analyse chimique, ni même l'immersion momentanée de poissons ne puisse rendre compte du phénomène. Seule l'étude des conditions anormales de nourriture et de milieu permettent de constater le dépeuplement et ses ravages causés par la pollution lente et permanente. En plus des dosages chimiques effectués sur place, une étude biologique des rivières s'impose donc.

A cet effet, il nous paraît indispensable que les spécialistes de la lutte antipollutions puissent se rendre sur place afin de faire toutes les observations biologiques et chimiques sur le terrain. Alors seulement les documents rassemblés seront juridiquement inattaquables.

C'est dans ce but qu'a été créé au Paraclat le laboratoire ambulant antipollutions. Nous allons décrire dans cet article le but, le fonctionnement et les possibilités de ce laboratoire.

Auparavant, il convient de donner quelques précisions sur l'origine des pollutions. Les questions qui se posent sont les suivantes :

1° Comment la pollution se produit-elle ? Quel est le rôle joué par les usines et quelles sont les substances déversées, entraînant la pollution ? Pour ne pas rendre cette étude préalable trop longue, nous ne ferons que résumer l'essentiel des données relatives à cette question.

2° Une fois connues les substances susceptibles d'être déversées par les usines, comment la pollution se manifeste-t-elle, et comment la reconnaît-on ? C'est ce que nous exposerons dans les autres chapitres relatifs au but et au fonctionnement du laboratoire ambulant antipollutions.

I. — ORIGINE DES POLLUTIONS ET SUBSTANCES CHIMIQUES RESPONSABLES.

Il n'est pas nécessaire, pour cet exposé, de passer en revue toutes les usines et les innombrables substances chimiques plus ou moins toxiques qui sont susceptibles d'être déversées dans les cours d'eau. Au contraire, beaucoup de pollutions industrielles se ressemblent et on peut les ranger dans un certain nombre de catégories.

1° *Pollutions chimiques par substances toxiques.*

D'une manière générale, ces pollutions sont dues à des eaux résiduaires d'usines, chargées de composés chimiques minéraux ou organiques, toxiques par eux-mêmes, mais non susceptibles de fermentations.

Si ces eaux sont déversées brutalement et en quantités considérables, la pollution peut être aiguë et brutale elle-même ; c'est à ce moment que l'on constate des hécatombes désastreuses de poissons. Si au contraire les substances toxiques ne sont pas en assez grande quantité pour provoquer un empoisonnement massif des poissons, elles peuvent cependant agir à la longue, même à faible dose. La pollution est alors chronique. De toute façon, la rivière se dépeuple : les poissons, se trouvant dans un milieu défavorable, émigrent, ou meurent, ou du moins ne se reproduisent plus, ce qui revient au même.

Parmi les eaux résiduaires dangereuses, citons d'abord celles provenant des mines de charbon et des industries qui s'y rattachent. Ces eaux noirâtres renferment en suspension des substances charbonneuses et goudroneuses, qui, en se déposant sous forme de boues noires dans les rivières, empêchent toute vie animale ou végétale ; de plus, elles sont souvent très chargées en sels de toutes sortes : chlorures, sulfates de sodium, de potassium, de calcium, de baryum, de fer, en acide sulfurique libre (eaux très acides).

Les eaux provenant des cokeries, des usines à gaz, des usines à ammoniac, des raffineries et distilleries des sous-produits de la houille renferment, à côté de nombreux dérivés du goudron et du pétrole, des composés sulfurés odorants provenant du gaz d'éclairage, des phénols, des cyanures, des sulfocyanures, des chlorures, de l'ammoniac, des sels de divers métaux ; elles sont caractérisées par une énorme oxydabilité (jusqu'à 10 à 30 grammes de matières organiques par litre).

Les mines et usines métallurgiques, les forges, hauts-fourneaux, aciéries, fonderies et toutes industries qui s'y rattachent (chaudronneries, tréfileries, clouteries, usines de galvanoplastie et de décapage de métaux) font également énormément de ravages. Il est normal que dans les mines ou les usines métallurgiques, les eaux résiduaires ayant servi à traiter et à laver les minerais renferment de grandes quantités de boues et de sels métalliques (fer, zinc, cuivre, plomb, etc.) ainsi que des sels de potassium, de sodium, de baryum, et même de l'arsenic provenant des impuretés des minerais ; on y trouve souvent des acides libres (sulfurique, chlorhydrique, nitrique). Les eaux résiduaires des forges et fonderies, qui ont été traversées par l'air sortant des hauts-fourneaux, sont chargées de poussières de charbon, de sels de potassium, de cyanures, d'acides libres, et sont très toxiques. Il en est de même de toutes les eaux résiduaires des usines du groupe métallurgique.

Le groupe des usines de produits chimiques, de colorants, d'engrais, de poudres explosives, de caoutchouc synthétique, de matières plastiques déversent des eaux résiduaires extrêmement complexes et difficiles à étudier. Le nombre de substances traitées et fabriquées étant extraordinairement grand, il est tout à fait impossible d'en donner même une simple énumé-

ation. Toutes les substances chimiques toxiques peuvent s'y rencontrer, en proportions et en quantités variables suivant l'heure de la journée et les corps spécialement traités, depuis les acides minéraux, la soude, les cyanures, le chlore libre, jusqu'aux phénols, pétroles, goudrons, en passant par les innombrables colorants (certains, comme les colorants à l'aniline, sont très toxiques), les sels de mercure, de plomb, de zinc, de cuivre, de fer, des chlorures, bromures, iodures, les hypochlorites, hyposulfites, les sulfures, etc. Dans les eaux provenant d'usines d'engrais (superphosphates), il faut s'attendre à trouver de l'acide sulfurique libre et du chlorure de calcium. Tout ce que l'on peut dire relativement à ce groupe complexe d'usines, c'est que si les eaux résiduaires ne sont pas traitées et purifiées énergiquement — et dans ce cas, la purification, en raison même de leur complexité, est très difficile — elles provoquent dans les cours d'eau des empoisonnements irrémédiables.

Citons encore les eaux provenant du lavage des *grandes carrières de sable, de kaolin, de craie, de gypse*, etc., des carrières où l'on polit les terres. Ces eaux ne renferment généralement pas de substances toxiques, mais elles sont le plus souvent tellement chargées de détritits divers (particules argileuses, crayeuses, gypse, etc.) qu'elles peuvent, en se déposant dans les rivières, encombrer celle-ci et gêner sensiblement le développement de la faune aquatique.

Rappelons enfin, pour mémoire, les *mines de potasse*, relativement peu importantes en France, dont les eaux de lavage peuvent créer des teneurs normalement élevées, donc toxiques, de sels dans les rivières où elles sont versées, en particulier de chlorure de sodium et des chlorures, bromures, dures de potassium.

2° *Pollutions mixtes, chimiques ou organiques, par substances facilement fermentescibles.*

Les pollutions du deuxième groupe doivent être appelées mixtes parce que deux phénomènes entrent en jeu : en premier lieu, comme dans le cas précédent, il peut y avoir déversement de substances chimiques minérales ou organiques agissant comme poison ; mais en second lieu — et c'est ce qui caractérise ce genre de pollutions — il y a surtout dans ces cas une quantité considérable de matières organiques susceptibles de fermenter. Ces pollutions sont donc nocives soit par les substances toxiques versées auxquelles s'ajoutent les phénomènes de fermentation, soit par les fermentations seules.

De toute façon, elles diffèrent des précédentes et sont le plus souvent aisément reconnaissables. En aval des usines, sur un parcours plus ou moins long, les fermentations entraînent une disparition plus ou moins grande de l'oxygène. On voit souvent sur l'eau une sorte d'écume traduisant les phénomènes de fermentation ; une flore et une faune spéciale se dévelop-

pent, dont l'étude permet d'apprécier la gravité et l'étendue de la pollution. (Champignons en queue d'agneau ou *Leptomitus*, Bactéries en touffes blanchâtres ou *Sphaerotilus*, Bactéries en voile blanc ou *Beggiatoa*, Infusoires formant des enduits glaireux sur les objets immergés, Vers *Tubifex* rouges, Larves de mouches : *Chironomes* et *Eristalis*, etc.).

Dans un premier groupe, nous placerons les *sucreries*, *amidonneries*, *féculeries*, qui ont en commun de déverser des eaux résiduaires troubles renfermant du sucre ou de l'amidon, donc facilement fermentescibles. La putréfaction des matières organiques entraîne souvent l'apparition de fortes doses d'ammoniaque. De plus, les eaux de sucreries, provenant du lavage des betteraves sont chargées de particules terreuses. Mais en règle générale, ces pollutions ne devraient pas être dangereuses, car les eaux résiduaires de ce groupe, du moins dans les usines bien conçues, sont assez faciles à épurer.

Les eaux provenant des *distilleries de betteraves*, de *graines*, de *potatoes de terre* par contre, le sont plus difficilement, et on signale de nombreuses pollutions par ces industries. Ces eaux, constituant ce que l'on appelle les vinasses, sont souvent très concentrées et riches en matières organiques, facilement putrescibles et chargées de plus en phosphates, chaux, potasse, ammoniaque, etc. Les pollutions sont intermittentes, et comme pour les sucreries, correspondent à la campagne sucrière (octobre-décembre).

Les *brasseries*, *fabriques de levures* évacuent des eaux brunes également riches en matières organiques, en azote, en phosphates, en potasse, et très facilement putrescibles. C'est au déversoir et en aval de ces usines que l'on trouve souvent des quantités énormes de Champignons en queue d'agneau et des Bactéries d'eaux polluées.

On peut considérer ensemble un certain nombre d'industries dont les effets se font sentir de la même manière : les *abattoirs* et *clos d'équarissage*, les *fabriques de conserves de viandes et de poissons*, dont les eaux résiduaires peuvent être chargées de sang, de matières grasses, de matières albuminoïdes diverses, de débris de chair, de poils, de cornes, de matières fécales, de purin, les *laiteries*, *fromageries* et *caséineries* dont les eaux de lavages sont également chargées de matières albuminoïdes (lait, petit lait, caséine), de sucres fermentescibles (lactose), de matières grasses, souvent acides (acide lactique et butyrique). Elles ont en commun que la fermentation des matières albuminoïdes (renfermant de l'azote et souvent du soufre) provoque la disparition de l'oxygène dissous dans les rivières polluées, et la formation de doses élevées, toxiques, d'ammoniaque et d'hydrogène sulfuré.

Les eaux des *stéarineries*, *savonneries*, *huileries*, renferment des corps gras, des acides gras combinés en partie à la chaux, de la glycérine, de la soude, etc. ; elles sont, suivant les procédés de fabrication et les époques du déversement soit très acides (acides gras), soit très alcalines (soude).

La présence d'huiles et de corps gras qui surnagent sur l'eau, rend celle-ci impropre non seulement à tout usage, mais encore à toute vie.

Dans un autre groupe on peut ranger un certain nombre d'usines dont les eaux résiduaires causent des pollutions très graves : ce sont les tanneries, les fabriques de colles et de gélatine, les usines de peignage de laine, les pelleteries. Les eaux de tanneries, de composition variable, extrêmement putrescibles, de couleur brune, renferment de la soude, du chlorure de chaux, du sulfure de sodium, souvent de notables quantités d'arsenic. Les fabriques de colles et gélatine, traitant les déchets d'animaux (cornes, os, peaux, poissons) dégagent souvent des odeurs épouvantables ; leurs eaux résiduaires, de composition très complexe, renferment non seulement des détritiques organiques putrescibles, mais encore des acides organiques (butyrique, valérianique, propionique), des acides minéraux (sulfurique, chlorydrique, nitrique), des sulfites, du phosphate de calcium, des solvants ayant servi aux extractions, de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré. Les usines de peignage de laine déversent également des eaux très nocives, renfermant des sels de potasse, de la soude, du carbonate d'ammonium, des acides organiques (phénique, benzoïque, oxalique, urique), des acides gras (butyrique, propionique, etc.) ; les grandes quantités de graisses qui imprègnent les laines, provenant des glandes sudoripares ou sébacées, et constituant le « suint », s'accumulent dans les rivières et se décomposent très lentement, provoquant également de graves pollutions.

Une importance particulière se rattache à l'ensemble des usines de l'industrie du papier et de la cellulose : fabriques de pâte de bois ou de paille, papeteries, cartonneries, usines de lavage et de blanchiment des chiffons, usines de cellulose et de soies artificielles. Les eaux résiduaires provenant de ces industries comptent également parmi les plus nocives, à la fois par leur toxicité chimique et leur haut degré de putrescibilité (1). Suivant que la cellulose est extraite du bois ou de la paille par des procédés mécaniques ou chimiques, elles sont plus ou moins riches en fibres et débris de bois ou de paille, envasant les rivières, ou bien elles renferment de grandes quantités de bisulfite de soude ou de soude caustique, formant ces boues noirâtres que l'on appelle « boues bisulfitiques ». Lorsque l'extraction chimique de la cellulose se fait par le procédé au sulfate, les composés formés (sulfure de sodium, sulfure de méthyle, mercaptan) sont encore plus désagréables et les odeurs qu'ils dégagent vraiment épouvantables. Les matières organiques fermentescibles sont constituées surtout par les débris de bois de paille et par les sucres provenant du bois. Dans les eaux résiduaires d'usines de blanchiment de chiffons ou de pâtes à bois, on trouve souvent du chlore libre. Les mêmes substances, les mêmes ferments

(1) Un article a été consacré à ce sujet dans le *Bulletin de Pisciculture* n° 147 (1947) indiquant les problèmes qui se posent aux U.S.A. dans les industries du papier et de la cellulose, et les moyens proposés ou essayés pour lutter efficacement contre ces pollutions.

lutions se retrouvent dans les eaux résiduaires des usines de cellulose et de soie artificielle.

Les eaux provenant des industries du textile (*filatures, teintureries, usines de lavage et de blanchiment des laines, du coton*) renferment également des substances toxiques très variées, provenant de l'apprêt, de la transformation et de la coloration des matières textiles brutes : savons, soude, acide tartrique, chlore, borax, formol, tanins, benzène, colorants divers. De plus, les cours d'eau servant d'effluents peuvent être engorgés mécaniquement par les débris de fibres textiles. Les fermentations sont souvent intenses et de nombreux cas de mortalité de poissons ont été signalés, empoisonnés par les eaux résiduaires de ces industries. Il ne faut pas oublier les eaux servant au rouissage du lin et du chanvre, qui, non seulement dégagent des odeurs nauséabondes, mais sont encore le siège d'intenses fermentations (dégagement d'acide butyrique, propionique, acétique et de gaz tels que le méthane), qui les rendent tout à fait impropres à la vie des poissons ; heureusement les régions où se pratique cette industrie sont assez localisées, ce qui limite les dégâts.

Citons encore, pour terminer cette énumération qui est loin d'être complète, les eaux des égouts des agglomérations urbaines. Lorsque l'épuration des eaux d'égoûts est incomplète, il en résulte souvent des pollutions chroniques dues à la fermentation des matières organiques (formation d'hydrogène sulfuré, d'ammoniaque, etc.), ainsi qu'un envasement progressif du lit des rivières.

II. — DIAGNOSTIC DES POLLUTIONS. BUT ET FONCTIONNEMENT DU LABORATOIRE AMBULANT ANTIPOLLUTIONS.

Le problème qui se pose est de pouvoir diagnostiquer les pollutions industrielles au point de vue chimique et biologique. Nous allons exposer comment nous envisageons l'étude de ce double problème avec le laboratoire ambulancier.

1° Analyse chimique des pollutions industrielles.

A la lumière de ce qui a été exposé dans les pages précédentes, on voit que le nombre des substances toxiques ou fermentescibles à rechercher dans les eaux polluées est très grand. Fort heureusement, on est guidé dans cette étude par le type d'usine responsable de la pollution. Il est par exemple parfaitement inutile de rechercher des métaux ou des sels de métaux dans l'effluent d'une laiterie, alors qu'il convient de porter son attention surtout sur les matières organiques fermentescibles, l'hydrogène sulfuré, l'ammoniaque, l'acide butyrique. Dans les eaux provenant d'une usine de décapage de métaux, il sera normal par contre de rechercher les acides minéraux et les sels de métaux comme le fer, le cuivre et le zinc. Bref, ce sont les substances traitées dans l'usine qui donnent une indication sur la

composition probable des eaux résiduaires déversées et qui guident le chimiste dans le dosage de telle substance toxique plutôt que de telle autre.

Nous estimons que les mesures physico-chimiques et les dosages chimiques nécessaires dans le diagnostic d'une pollution sont les suivants :

Température, matières en suspension, pH, oxygène dissous, indice de putrescibilité, consommation biologique en oxygène (B. O. D.), matières organiques, ammoniacque, nitrites, nitrates, hydrogène sulfuré et sulfures, chlore libre, chlorures, acidité totale (en acide libre), alcalinité totale (en soude et chaux) phénols, arsenic, cyanures, sulfocyanures, phosphates, degré hydrométrique (sels de calcium et de magnésium), fer, cuivre, manganèse, aluminium, zinc, résidu sec à 180°, hypochlorites, sulfites et hyposulfites, sulfates, acide lactique, acide butyrique, auxquels on peut ajouter accessoirement le dosage de l'azote total, des acides aminés, de l'indol, etc.

Parmi ces mesures et dosages un certain nombre doivent être obligatoirement effectués sur place, si l'on ne veut pas avoir des résultats complètement faux. Ce sont en particulier les matières en suspension, l'oxygène dissous, l'indice de putrescibilité, la consommation biologique en oxygène, les matières organiques, l'ammoniacque, les nitrites et nitrates, l'hydrogène sulfuré, le degré hydrotimétrique, les phosphates, le fer.

En effet, on comprend facilement que lorsque les échantillons d'eau polluée sont conservés plusieurs heures, voire même plusieurs jours dans des bouteilles, la composition de l'eau peut varier complètement. Les putréfactions qui ont commencé dans l'eau polluée continuent dans les bouteilles de prélèvement avec d'autant plus d'intensité que les microbes y pullulent d'une manière prodigieuse ; il en résulte que des doses considérables d'ammoniacque, d'hydrogène sulfuré, de matières organiques, d'acide butyrique, etc., peuvent se former dans les échantillons d'eau après le prélèvement, à la suite de phénomènes que ne sont pas directement en rapport avec la pollution.

C'est pourquoi nous avons réalisé des caisses qui renferment tout le matériel nécessaire aux dosages sur le terrain. Trois caisses, longues chacune de 60 centimètres, larges et hautes de 30 centimètres ont été nécessaires pour renfermer tous les flacons, réactifs, solutions et petits appareils.

Sans vouloir insister sur les méthodes de dosage proprement dites, il nous paraît nécessaire de décrire l'agencement et le mode d'utilisation de ces caisses, pour en montrer à la fois l'intérêt et la simplicité.

La caisse n° 1 renferme tout ce qui est nécessaire à la mesure de la température, du degré hydrométrique, du pH, et au dosage précis de l'oxygène des matières organiques, des nitrites, des nitrates, de l'ammoniacque et du chlore libre.

Un système de planchettes percées de trous, un tiroir-portoir amovible placé à mi-hauteur permettent de disposer les flacons à réactifs avec un minimum d'encombrement. Thermomètre, burette hydrométrique, pipette

sont fixées à l'intérieur du couvercle. Un support de burette avec une burette peut être immédiatement vissé sur le côté de la caisse, pour permettre toutes mesures volumétriques précises.

L'oxygène est dosé par la méthode classique de WINCKLER, dans des flacons tarés ; le prélèvement de l'eau en vue du dosage d'oxygène est effectué avec un petit appareil spécial, assez pratique, d'après CERNY et PESTA. Le pH est mesuré colorimétriquement. Le degré hydrotimétrique est mesuré avec la liqueur de savon titrée également classique. Les matières organiques

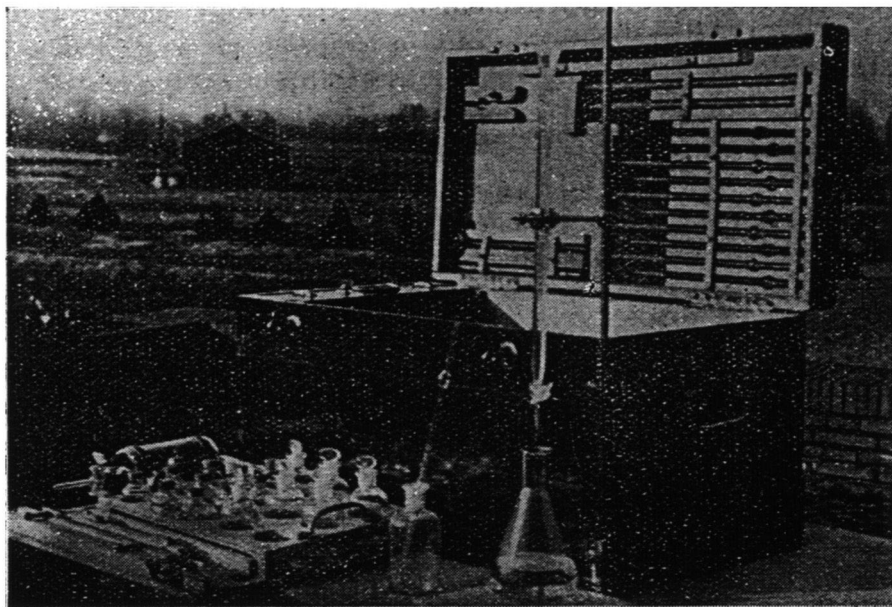


Photo WURTZ.

Caisse n° 1, prête pour l'emploi, montrant la disposition partielle des flacons à réactifs, des burettes, pipettes, etc.

sont dosées par le permanganate de potassium et exprimées en oxygène emprunté au permanganate. L'ammoniaque et les sels ammoniacaux sont dosés colorimétriquement en tubes de Nessler avec le réactif de Nessler. Les nitrates sont également dosés colorimétriquement par la méthode rapide et précise à la diphenylamine sulfonée, les nitrites par le réactif de Griess (α -naphthylamine et acide sulfanilique). Enfin le chlore libre peut être décélé par l'orthotolidine.

La caisse n° 2 renferme ce qui est nécessaire au dosage de l'indice de putrescibilité, de la consommation biologique en oxygène, de l'hydrogène sulfuré, des phénols, des chlorures, de l'arsenic, des cyanures, des sulfo-cyanures, de l'acidité (en acides libres), de l'alcalinité (en soude et chaux), du fer, du cuivre et du zinc.

Cette caisse renferme également un colorimètre à comparaison visuelle

en petites cuves (type DUBOSCQ ou HELBIGE), permettant de faire le dosage précis par colorimétrie des substances recherchées.

Il convient d'insister sur la mesure de l'indice de putrescibilité et de consommation biologique en oxygène, qui constituent, avec le dosage des matières organiques, de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré, le meilleur moyen pour diagnostiquer sur place les pollutions chroniques par fermentations nocives.

La mesure de l'indice de putrescibilité, appelée encore épreuve d'incubation, repose sur le principe suivant : lorsqu'une eau est putrescible, c'est à-dire lorsqu'elle renferme tellement de matières organiques attaquables par des microbes qu'au bout d'un certain temps elle devient putride, il est possible de mettre en évidence cette putrescibilité par un colorant tel que le bleu de méthylène qui est réduit et se décolore plus ou moins rapidement ; la vitesse avec laquelle la décoloration a lieu indique l'indice de putrescibilité. Après avoir mis quelques gouttes d'une solution de bleu de méthylène dans un flacon bouché à l'émeri d'environ 125 centimètres cubes, on remplit exactement avec l'eau à analyser, on bouche hermétiquement sans laisser de bulle d'air, on paraffine bouchon et goulot, puis on porte à l'étuve à 30°, et en observant souvent le flacon pendant ses jours, on note le moment de la décoloration.

La consommation biologique en oxygène (Biological Oxygen Demand B. O. D. des Américains) permet de se rendre compte de la perte en oxygène dissous dans les eaux polluées. Elle donne des indications parfaites sur la richesse en matières organiques de l'eau, sur l'intensité des phénomènes de fermentation, donc sur le degré de pollution. On fait le dosage normal d'oxygène sur le terrain. Puis on prélève de la même manière des échantillons d'eau dans des bouteilles bouchées à l'émeri, on paraffine encore les bouchons, on porte dans une étuve réglée à la plus haute température observée dans la rivière et on refait un dosage d'oxygène après 5 ou 6 jours d'incubation. La différence donne la consommation biologique en oxygène et les chiffres trouvés permettent de montrer d'une manière catégorique que les fermentations consécutives à une pollution entraînent un abaissement considérable, voire une disparition complète de l'oxygène dissous.

L'hydrogène sulfuré est reconnu par ébullition en présence d'un papier à l'acétate de plomb ; lorsqu'il y en a en quantités appréciables, il est titré par l'acétate de cadmium et dosé au laboratoire par iodométrie. Les chlorures sont dosés exactement par le nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. Les phénols sont reconnus qualitativement et dosés colorimétriquement, si l'on veut, par la paranitraniline. L'acidité libre est titrée dans des flacons gradués spéciaux, dont le bouchon est muni d'une petite burette, par une solution de soude en présence de méthylorange ; inversement, l'alcalinité (exprimée en soude ou en chaux) est titrée de la même manière par une solution d'acide sulfurique.

L'arsenic est reconnu qualitativement sur le terrain ; lorsque l'on soupçonne sa présence, il peut être dosé au laboratoire par la méthode extrêmement sensible du papier au bromure mercurique. Les cyanures sont dosés par entraînement dans un petit tube à boules et formation de bleu de Prusse. Les sulfocyanures donnant avec le chlorure ferrique une coloration rouge sang sont également faciles à reconnaître.

Le fer est dosé par la méthode très sensible à l'orthophénanthroline, le zinc par séparation dans la dithizone et extraction dans le tétrachlorure de carbone. Le cuivre enfin est dosé par le diéthylthiocarbamate.

La caisse n° 3 renferme du matériel complémentaire : flacons et réactifs pour le dosage colorimétrique des phosphates par le réactif coeruleo-molybdique, des tubes de Grandval et Lajoux pour les comparaisons colorimétriques à l'œil nu, des flacons de 1 litre renfermant de l'eau distillée, une petite pissette, des bouteilles à prélèvement, des tubes à fond plat pour les récoltes des petits animaux et des plantes caractéristiques des eaux polluées, un filet troubleau, un filet à plancton, etc.

Ce qui caractérise l'ensemble de ces trois caisses, c'est la réduction des appareils et le peu d'encombrement des objets et réactifs utilisés. Les réactions pouvant être faites sur le terrain sont à la fois rapides et précises : cette condition essentielle est réalisée par l'utilisation de flacons gradués, de petites burettes spéciales, de tubes colorimétriques et surtout de solutions et de réactifs dont le titre est calculé de telle sorte que leur emploi est des plus simples. Ainsi dans le dosage des chlorures, 1 centimètre cube de la solution de nitrate d'argent employée correspond à 1 milligramme de chlorures. Dans le dosage de l'alcalinité, 1 centimètre cube de la solution d'acide sulfurique correspond à 1 milligramme de chaux ; dans le dosage de l'ammoniaque, 1 centimètre cube de la solution titrée de chlorure d'ammonium correspond à 0,1 milligramme d'ammoniaque, et dans celui du fer, 1 centimètre cube de la solution-étalon de fer renferme 0,1 milligramme de fer, et ainsi de suite.

Cependant, un certain nombre de dosages ne peuvent être effectués qu'au laboratoire, soit parce que les techniques sont plus longues et plus compliquées, soit parce qu'elles nécessitent l'emploi d'appareils non transportables. Il en est ainsi par exemple du résidu sec à 180°, des sulfates, du calcium, du sodium, du plomb, du manganèse, de l'aluminium qui exigent des concentrations, des filtrations, des incinérations de longue durée et ne sont le plus souvent réalisables que par gravimétrie. Nous sommes également obligés de réaliser au laboratoire le dosage des hyposulfites et hypochlorites que l'on ne rencontre d'ailleurs dans les eaux polluées que dans des circonstances exceptionnelles. Enfin, à l'aide d'appareils spéciaux, nous pouvons faire le dosage de l'azote total et des acides aminés, ainsi que certains dosages délicats, comme celui de l'acide lactique, de l'acide butyrique, du formol, de l'indol, etc.

2° *Analyse biologique des pollutions industrielles.*

L'analyse biologique des pollutions, qui ne peut être faite que sur le terrain, doit comprendre nécessairement une étude de l'action directe des eaux résiduaires sur les poissons, et une étude aussi détaillée que possible de la faune et de la flore du cours d'eau pollué.

La première étude sur les poissons est simple. Mais au lieu d'immerger des poissons dans des nasses — ce qui est judicieux, mais ne permet pas d'observer le comportement du poisson — nous nous proposons avec notre laboratoire ambulante, de faire les expériences sur place dans des aquariums.

Le matériel emporté comprend une petite table (qui peut être pliante), trois aquariums d'environ 15 litres, un bidon avec divers poissons, une bouteille à oxygène comprimé avec manodétendeur et diffuseur. Arrivés sur place, on remplit les aquariums, le premier avec de l'eau prélevée en amont de l'usine, le deuxième avec de l'eau provenant du déversoir, le troisième avec de l'eau prélevée en aval. On immerge dans chaque aquarium 3 ou 4 poissons, qui seront les mêmes autant que possible que ceux que l'on peut s'attendre à rencontrer dans la rivière polluée. On utilisera par exemple au moins une espèce de poisson ayant des besoins respiratoires élevés : Truite, Perche, Vairon, d'autres espèces assez sensibles telles que le Gardon ou la Vandoise et enfin des espèces plus résistantes telles que la Carpe ou la Tanche. Si on en a la possibilité, on pourrait même faire des essais sur de jeunes alevins de Truites par exemple, qui réagissent à la moindre pollution.

On étudie ensuite le comportement des poissons, en notant le nombre des mouvements respiratoires, leur accélération s'il y a lieu, les signes d'énervement ou d'asphyxie, le moment où le poisson perd son équilibre et nage ventre en l'air, le moment où il ne réagit plus, et enfin la mort, si le cas se présente.

On comprend l'intérêt de telles observations qui peuvent être tout à fait catégoriques et concluantes, puisque l'on a les poissons sous les yeux au même temps, et qu'il est très facile de comparer leur comportement dans les trois eaux provenant de l'amont, du déversoir et de l'aval des usines.

En faisant varier les conditions expérimentales, il sera même possible de démontrer la toxicité directe de l'eau. Ainsi, après avoir immergé les poissons dans l'eau et constaté qu'ils présentent des troubles, on peut faire passer avec un diffuseur un fort courant d'oxygène. Si le poisson revient à lui, c'est que la pollution était due à un manque d'oxygène consécutif à des fermentations nocives. S'il reste en position d'asphyxie, c'est que la pollution est due à des déversements toxiques, sans que l'oxygène n'intervienne.

La deuxième étude (faune et flore), indispensable dans le cas des pollutions chroniques, nécessite l'intervention du spécialiste. A l'aide d'instruments spéciaux (filet-troubleau, filet à plancton, grattoir, crochets), on effec-

tuera des prélèvements aux différents endroits de la pollution et l'on étudiera la faune et la flore soit dans l'eau courante, soit sur les berges, les pieux, les cailloux ou dans la vase.

Sans vouloir insister sur les caractères particuliers de la faune et de la flore aux divers points de pollution, nous rappellerons simplement que, suivant le degré de pollution, les animaux et les plantes sont absolument caractéristiques (1).

Dans les eaux fortement polluées, presque totalement dépourvues d'oxygène, on trouvera des Bactéries et des Champignons en queue d'agneau (*Sphaerotilus*, *Leptomitus*), des voiles de Bactéries sulfuraires (*Beggiatoa*), des revêtements muqueux de Bactéries ou d'Infusoires (*Zoogloea*, *Carchesium*, *Vorticelles*, etc.), des Vers (*Tubifex*), des larves d'Insectes (*Eristalis*, *Chironomes* ou *vers de vase*).

Dans les eaux peu polluées, riches seulement en matières organiques en décomposition plus ou moins intenses, on trouvera des petites sangsues (*Herpobdella*, *Glossosiphonia*), des Mollusques (*Limnées*, *Planorbis*, *Sphaerium*), des Crustacés (*Aselles*), des larves d'Insectes (*Sialis*), et parmi les organismes peu visibles à l'œil nu, des *Daphnies*, des *Rotifères*.

Enfin dans les eaux courantes pures, on trouvera des larves d'Insectes (*Ephémères*, *Perles*, *Phryganes*), des Crustacés (*Gammarus*), des Vers plats (*Planaires*).

L'examen des plantes supérieures, leur « état de santé » permet également d'importantes conclusions. Dans les eaux très pures, on trouvera par exemple des *Callitriches*, des *Renoncules flottantes* bien vertes. Dans les eaux polluées, les plantes se recouvrent de champignons, brunissent en disparaissant. Enfin l'étude des Algues microscopiques et du plancton en général, donnera des indications complémentaires très utiles, car les Algues, et la plupart des organismes planctoniques, sont extrêmement sensibles à toute espèce de pollution.

En résumé, les trois analyses effectuées sur place (analyse chimique, analyse biologique sur les poissons, analyse biologique de la faune et de la flore) doivent se compléter et mettre en lumière les faits suivants :

1° L'analyse chimique prouvera que l'eau est toxique, impropre à la vie des poissons, ou qu'elle est le siège de fermentations nocives ;

2° L'analyse biologique avec poissons montrera que ceux-ci sont incommodés ou tués dans les eaux résiduaires ;

3° L'analyse biologique de la faune et de la flore enfin montrera que dans une rivière polluée les conditions de nutrition sont tellement défavorables que les poissons émigrent ou ne se reproduisent plus.

Nous estimons que ces trois arguments associés sont juridiquement inattaquables.

(1) Voir à ce sujet un article complet publié dans la revue *L'eau*, n° 5 de mai 1949.