

Point de vue

La chimie de l'environnement

par Michel Kerfanto
(Professeur à l'Université de Rennes,
Directeur de l'E.N.S.C.R.)



Les divisions de la chimie se multiplient, et il est souvent difficile de discerner les frontières qui les séparent. Il est commode de classer ces divisions en horizontales et en verticales : les premières sont constituées des sciences de base et des techniques fondamentales, alors que les autres se définissent relativement à l'application dans un domaine pratique déterminé. C'est ainsi que la chimie organique et la chimie analytique sont des tranches horizontales de la chimie, la chimie biologique représente une partie verticale.

Bien entendu; dans certains cas, la distinction est difficile à faire : c'est le cas par exemple de la chimie du solide.

Ch. physique générale	Ch. environnement	Ch. pharmaceutique	Ch. biologique	Pétrochimie	Ch. des macromolécules
Ch. analytique					
Ch. organique					
Ch. organo-métallique					
Ch. minérale					

Par ailleurs, il est courant de faire apparaître de nombreuses sections verticales, pour définir plus précisément un domaine de

préoccupation : chimie des engrais, chimie du bois, chimie des pesticides, chimie des antibiotiques, ... La multiplicité de ces subdivisions ne présente qu'un intérêt secondaire, car il s'agit souvent d'un découpage vertical d'une des grandes divisions horizontales : c'est ainsi par exemple que la chimie des antibiotiques et la chimie des terpènes sont surtout des chapitres particuliers de l'organique.

Il est classique, dans les revues scientifiques consacrées à la recherche de base en chimie, de diviser — quand c'est encore possible — les publications en suivant les tranches horizontales qui correspondent grossièrement aux grandes parties de la science fondamentale. Si des publications présentent un caractère marqué d'application, elles apparaissent dans des revues spécialisées pour chacune des sections verticales.

* *

Les nombreuses mises en cause de l'utilisation des produits chimiques dans la vie moderne ont conduit à consacrer des recherches au problème général des contraintes et des nuisances créées par l'emploi journalier et multiple des diverses substances mises sur le marché par les industries chimiques et parachimiques : le chimiste est considéré *a priori* comme un pollueur. C'est ainsi qu'est née une chimie présentant des caractères spécifiques, qui est encore loin d'avoir une personnalité bien définie, mais dont l'existence est indéniable. Il a été proposé de l'appeler noxologie, néologisme rappelant la notion de nuisance, de nocivité; mais il semble aussi simple et plus général de l'appeler « chimie de l'environnement ».

La chimie de l'environnement existe bien sûr depuis longtemps, depuis que l'on a utilisé des produits chimiques (*); elle est déjà relativement développée dans certains domaines — l'eau par exemple — mais ce n'est que depuis quelques années qu'elle s'impose avec force dans notre monde contemporain. Comment la placer dans notre classification?

(*) On entend ici par produit chimique toute substance ayant nécessité la réalisation de réactions chimiques ou l'intervention de méthodes d'analyse immédiate, à l'exception des méthodes de séparation mécanique (définition conventionnelle adoptée dans l'enseignement sur l'environnement chimique à l'E.N.S. Chimie de Rennes).



Il est logique de considérer la chimie de l'environnement comme une branche verticale de la chimie, puisque, c'est évident, elle utilise toutes les ressources de la science fondamentale. Pour appuyer notre assertion, nous allons passer en revue un certain nombre de domaines qui, à notre avis, font partie de cette branche.

I. Les eaux

L'étude des eaux est un chapitre très important de la chimie de l'environnement. Elle nécessite en premier lieu la connaissance des propriétés physiques et chimiques de l'eau; il faut également connaître les ressources du globe et les caractéristiques particulières des eaux en fonction de leur origine. Une grande attention doit être portée aux techniques d'analyse, et il est même indispensable pour un spécialiste de connaître l'existence de certaines bactéries (par exemple *Escherichia Coli*), et d'être apte à réaliser une culture de ces microbes. De façon générale, les personnes qualifiées dans le domaine des eaux s'orientent vers une des deux voies : eaux potables, ou eaux usées.

La science des eaux potables nécessite de connaître des notions d'analyse particulières : mesure des caractères organoleptiques, du titre hydrotimétrique (dureté), des titres alcalimétriques, ..., mais elle requiert surtout la connaissance de toutes les méthodes classiques de mise en évidence d'ions et de molécules. Par ailleurs, lors de la distribution des eaux potables, la corrosion intervient, avec ses questions relatives aux équilibres, à la cristallographie.

L'étude des eaux usées fait intervenir des données spéciales : demande chimique en oxygène, demande biologique en oxygène, mesure des matières en suspension, test de putrescibilité, matières inhibitrices, ... Deux sortes de problèmes se posent de façon générale à l'utilisateur d'eau :

soit améliorer une eau en vue de son emploi comme eau potable ou comme eau industrielle : on parle de traitement d'eaux,

soit purifier une eau très polluée en vue de son rejet dans la nature : dans ce cas, on parle d'épuration.

Les notions de traitement et d'épuration sont parfois difficiles à distinguer, et il est bien entendu possible d'utiliser des méthodes semblables, sinon identiques, pour les deux. L'initiation aux diverses méthodes de traitement (ou d'épuration) oblige à connaître, outre diverses techniques (coagulation, décantation, filtration), le principe de certaines actions chimiques : adoucissement par la chaux, épuration calcosodique, désiliciage, échange d'ions, stérilisation par le chlore ou certains de ses dérivés, par le brome, ou bien l'ozone. Il faut ajouter que la connaissance des méthodes biologiques de traitement est indispensable : lits bactériens, boues activées. Une eau non potable particulière revêt une importance de premier plan : l'eau de mer. Le liquide, qui contient en moyenne 35 à 36 grammes par litre de sels minéraux, existe en quantité énorme à la surface du globe : environ $1,4 \cdot 10^9$ km³, et il est bien évident que la gent humaine devra avoir recours de plus en plus à cette source inépuisable. Le dessalement implique la résolution de nombreux problèmes théoriques

Vues prises dans un grand port de plaisance français (sur la photographie du haut, une promiscuité symbolique : un cadavre de rat à côté d'une bouteille de whisky vide).

et techniques relatifs à la distillation, à l'utilisation des membranes, à la solubilité, et de façon générale à la thermodynamique.

II. L'atmosphère

L'étude de l'atmosphère représente également une part importante de la chimie de l'environnement. Elle impose de se pencher d'abord sur la composition et les mouvements du milieu aérien ; la notion d'inversion de température est primordiale. Parmi les polluants, l'anhydride sulfureux, les oxydes de carbone et les oxydes d'azote jouent un rôle fondamental, et il importe donc de les étudier plus particulièrement ; le plomb et ses dérivés, ainsi que les composés organiques et les poussières, sont également responsables d'une grande partie des nuisances. L'interaction entre l'oxygène, le peroxyde d'azote et les substances organiques, sous l'influence de la lumière solaire, conduit à l'apparition des produits spécialement nocifs : citons en particulier les nitrates de peracycle $R-CO_2-O-NO_2$ et les composés organiques oxydés de basse condensation en carbone : formol, acide formique, acroléine, auxquels il ne faut pas omettre de joindre l'ozone, pour sa participation aux diverses réactions, qui est de première importance ; l'étude de l'ensemble de ces réactions a permis d'expliquer de façon très correcte l'existence du smog au-dessus de certaines villes.

Un problème important, dans la science de l'atmosphère, est l'influence des diverses combustions sur la pollution : il s'agit des fumées des cheminées et des gaz d'échappement des moteurs à explosion. Ces derniers émettent de l'oxyde de carbone, des oxydes d'azote, des imbrûlés organiques dont certains sont carcinogènes (benzo-3,4 pyrène), de l'anhydride sulfureux, des dérivés du plomb ; la quantité d'oxyde de carbone émise dépend du réglage du moteur, plus particulièrement du réglage du ralenti. Bien entendu, le dosage des différents polluants de l'atmosphère nécessite la mise au point de techniques analytiques particulières.

III. L'élaboration et l'emploi des produits chimiques

Les produits chimiques bénéficient, de façon générale, d'une réputation très variable, et souvent très fâcheuse. Aux produits chimiques sont souvent assimilés les chimistes qui sont considérés, pour les uns, comme des apprentis-sorciers, pour d'autres comme des bienfaiteurs de l'humanité, pour d'autres encore, plus rares, comme des assassins conscients.

Il convient d'abord de lutter contre cette confusion qui règne dans la façon de considérer les chimistes et les produits chimiques. On sait par exemple que la morphine est une substance employée en thérapeutique comme analgésique et soporifique : on sait aussi que, malheureusement, c'est une drogue dangereuse. Les vendeurs de drogue sont peut-être des assassins, mais les fournisseurs de morphine thérapeutique sont utiles à la Société. Le mal réside dans l'utilisation qui est faite des P.C. beaucoup plus que dans le fait de les élaborer ; ce ne sont souvent que des intérêts sordides qui conduisent à détourner les buts utilitaires de la chimie vers des voies de rentabilité illégale. D'autre part, s'il est bon de réhabiliter le chimiste relativement aux accusations de pollution qui lui sont lancées, il n'en reste pas moins qu'il existe des nuisances créées par les P.C.

dans leur fabrication, leur distribution, leur utilisation, et dans les résidus rencontrés en bout de chaîne. L'étude de l'ensemble de ces questions relève tout particulièrement de la chimie de l'environnement.

Pour bien aborder cette partie, il faut tout d'abord bien connaître le P.C., et faire une étude préalable des propriétés fondamentales : réactivité, combustibilité, conductivité, densité, tensio-activité, solubilité, ... sans oublier la toxicité aiguë ou cumulative. Cette toxicité est parfois due à des métabolites qu'il convient donc de discerner. La question de l'accumulation des toxiques le long des chaînes trophiques est primordiale. Une section spéciale de l'étude doit être consacrée au problème des différents types d'accidents provoqués par les P.C., ainsi que, marginalement, des premiers soins à donner aux victimes.

Lors de l'étude consacrée à l'élaboration et à l'utilisation professionnelle des P.C., une partie importante concerne l'incendie, sa prévention et sa détection ; l'étude des extincteurs s'impose ; le comportement au feu des matières plastiques mérite une attention particulière. Le cas des explosions doit être développé.

En ce qui concerne la réactivité des P.C., il convient de s'attarder plus spécialement sur les peroxydes, et, de façon générale, sur de nombreuses réactions d'oxydo-réduction qui peuvent se produire du fait d'un simple contact entre deux composés déterminés. La causticité est souvent la cause de brûlures.

La chimie de l'environnement doit également comprendre une étude sur les sources des principales maladies professionnelles ; elle doit comporter un chapitre important sur la distribution des P.C. : transport, règles d'étiquetage, et sur certains problèmes importants : appareils sous pression, gaz liquéfiés.

Les médicaments créent souvent des problèmes dans notre environnement : emploi, résidus. A cette partie, il faut joindre la délicate question de l'intoxication délibérée : c'est le drame de la drogue ou de l'alcoolisme. Les résidus représentent à eux seuls un point fondamental de la pollution. Les résidus industriels sont multiples et variés : ils se répartissent sur toute la panoplie des P.C. organiques ou minéraux ; la lutte contre leurs nuisances consistera surtout à éviter leur rejet ; leur destruction ou leur désactivation représentera à chaque fois un cas particulier. Les résidus domestiques, bien que très divers dans leur composition, comportent presque toujours les mêmes constituants de base, et leur destruction, bien qu'elle ne soit pas réalisée correctement dans de nombreux cas, ne pose pas beaucoup de problèmes de principe : décharge contrôlée, compostage, incinération, pyrolyse. Un chapitre sera consacré à certains résidus spéciaux : emballages, gros appareillages, ...

De nombreux cas spécifiques de P.C. sont dignes du plus haut intérêt dans l'étude de l'environnement : engrais, antiparasitaires, détergents. Il est également indispensable de s'attarder sur le pétrole, les papiers, les aérosols et les plaquettes, sur la pollution radioactive. Certains groupes de produits commerciaux nécessitent une étude particulière : les peintures et les colorants, les cosmétiques et les parfums. Un point essentiel doit être développé : c'est celui des P.C. et de l'alimentation ; c'est surtout ce dernier problème qui conduit à aborder la question des fraudes et de leurs conséquences. Signalons enfin, tout en ayant le sentiment d'avoir omis de nombreux

sujets importants dans ce programme, le cas très actuel de la pollution par certains métaux : mercure, cadmium, plomb, ...

IV. Conclusion

La chimie de l'environnement existe ; c'est un fait expérimental qui doit être reconnu. Les contours de cette division de la chimie sont loin d'être nets, et ceci pour deux raisons essentielles :

d'abord parce que c'est une division qui emprunte à toutes les sections horizontales de la chimie, sans exception, et que certaines de ses préoccupations pourraient être revendiquées par ces sections elles-mêmes,

ensuite et surtout parce que la discipline « environnement » est par essence multidisciplinaire ; elle fait appel à la géographie, la sociologie, la biologie, la physique, le droit, ... et il apparaît, si l'on n'approfondit pas la question, que la chimie n'est qu'un modeste chapitre de cette science multiple.

Une des conséquences de cette deuxième raison sera d'ailleurs que le « chimiste de l'environnement » devra avoir des notions solides de disciplines voisines dans le cadre de l'environnement : bactériologie, physique de l'atmosphère, génie chimique, ... Quant à la première raison, elle implique que le chimiste de l'environnement présente une très large panoplie de connaissances dans la science chimique, en particulier en chimie analytique.

Pendant longtemps encore, le chimiste risque d'être considéré comme un personnage dangereux. Comment en effet comprendre que certains drames aient pu se produire, ou tout au moins que leurs conséquences n'aient pu être évitées ?

Le 18 mars 1967 le « Torrey-Canon » s'échoue sur les récifs des Seven Stones, et libère sur la mer la plus grande partie des 117 000 tonnes de pétrole brut que contiennent ses cales ; dans la nuit du 9 au 10 avril, le mazout commence à se déposer sur les côtes bretonnes. Malgré toute la bonne volonté et les connaissances des membres de la Commission Scientifique Régionale présidée par le Recteur d'Académie, la lutte contre la catastrophe est difficile à mener : les responsables manquent de données essentielles sur les produits adsorbants ou solvants qui leur sont proposés, et sur les conséquences de l'utilisation de tels produits. C'est ainsi par exemple que les légères indispositions dont sont victimes les militaires du contingent conduisent à interrompre le nettoyage par solvants le 13 mai (1).

En novembre 1970, c'est un incendie qui s'allume brutalement à l'intérieur du dancing « Cinq-sept » : la combustibilité des matières plastiques utilisées dans la décoration est mise en accusation. Très récemment, un drame identique se produit en Belgique dans le dancing « Six-neuf ». Avec une meilleure connaissance des propriétés des matières plastiques, et avec une meilleure information des utilisateurs, ne pourrait-on éviter que de telles catastrophes horribles se produisent ?

Qui ne se souvient de la pénible affaire de Minnimata dans laquelle de nombreux Japonais furent victimes du méthylmercure ? Ou de ce drame qui, en Irak, provoqua en 1972 la mort d'un grand nombre de personnes — un millier peut-être — qui avaient absorbé de l'oxyde mercurique servant à protéger les semences céréalières contre les para-

sites? Ou encore de cette intoxication collective qui, en 1959, au Maroc, provoqua la mort de nombreux habitants et la paralysie totale de milliers d'autres, et qui était due à l'ingestion d'huile d'olive à laquelle avait été ajoutée de l'huile minérale?

Combien de maladies infectieuses ont été contractées par l'absorption d'eau contaminée par des bactéries pathogènes? Combien de personnes ont-elles été victimes d'eau polluée par des substances toxiques? Citons, pour terminer cette énumération, l'aventure de cet apprenti chimiste qui, muni d'un masque à gaz mais sans gants protecteurs, manipule sans précaution une solution de cyanure dans de l'acétonitrile (bon solvant des lipides de la peau); il plonge en particulier une main dans le liquide pour récupérer un barreau magnétique. Il en est mort.

Ces quelques exemples attristants ne sont qu'un mince échantillon des conséquences d'une mauvaise connaissance de la chimie de l'environnement telle que nous l'avons définie ci-dessus. Nous aurions pu parler tout aussi bien de drames provenant de la pollution atmosphérique, de l'usage domestique inconsideré de certains produits chimiques, de l'emploi de défoliants ou des antiparasitaires, des accidents professionnels. Tout ceci indique que l'on a besoin de l'existence en soi d'une chimie de l'environnement. Cette science doit prendre de plus en plus d'importance avec l'intrusion croissante de la chimie dans la vie courante. Elle a notamment besoin de recherches, tant d'aspect fondamental qu'appliqué, qui lui permettront d'aborder la résolution des problèmes journaliers. Il est bien évident que des textes législatifs régleront de façon de plus en plus sévère l'utilisation des produits chimiques, tant dans la vie domestique que dans la vie des usines et des ateliers; de nombreuses études seront nécessaires, tant pour permettre l'élaboration de ces textes que l'emploi ultérieur de nouvelles substances.

Jusqu'à présent, de nombreux chimistes travaillaient peu ou prou dans le domaine de l'environnement tout en étant rattachés à une spécialité officiellement déclarée. Il est logique de penser que, d'ici quelque temps, la chimie de l'environnement constituera en elle-même une spécialité. Déjà, des signes précurseurs apparaissent: le volume 1 d'une « environmental chemistry » vient de paraître (2), et traite essentiellement de la présence des produits organiques dans la nature; d'autres publications abordent moins directement le même problème (3, 4, 5); mais depuis longtemps, des ouvrages spécialisés ont été publiés sur des chapitres particuliers: eau, air,

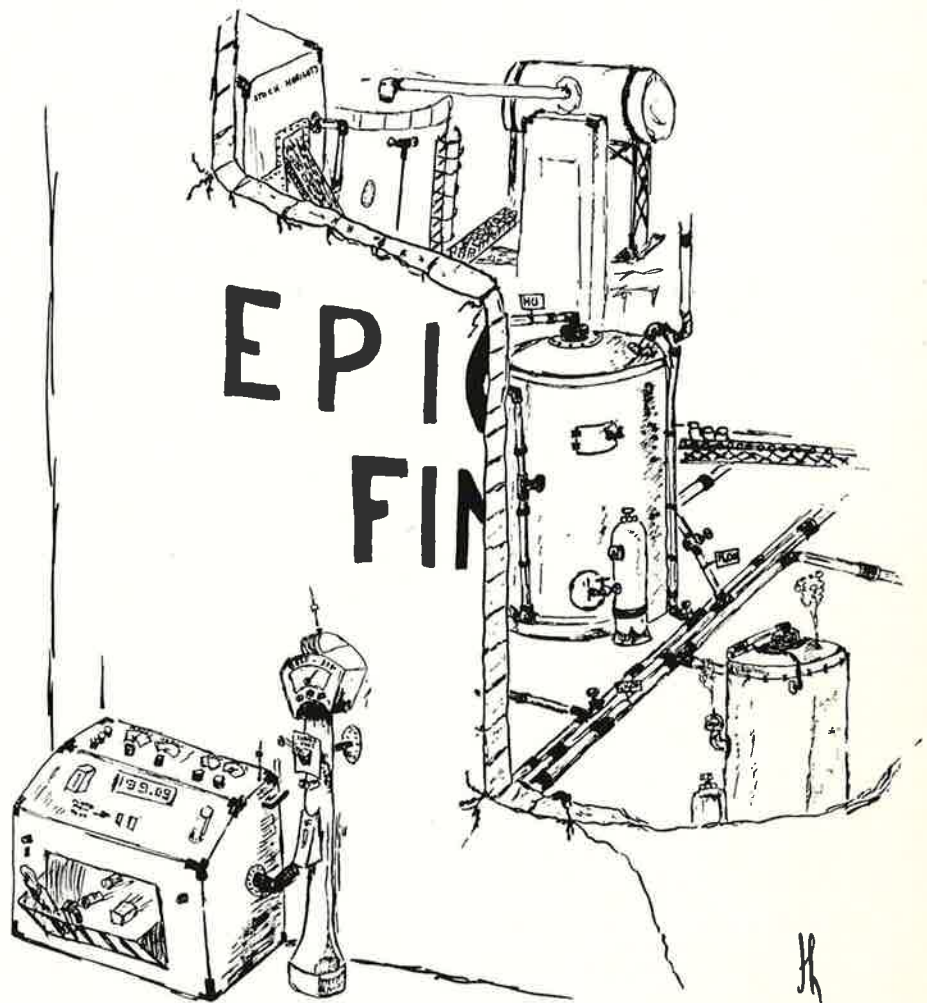
pesticides, détergents, ...; d'autre part, plusieurs chercheurs français se sont regroupés au sein du G.R.U.T.T.E.E. (*) pour étudier les problèmes relatifs aux traitements des eaux.

Les problèmes créés par la présence des produits chimiques dans la biosphère n'étant pas vernaculaires, il est vraisemblable que, de plus en plus, dans tous les pays, apparaîtra en propre une chimie de l'environnement dont l'importance ne fera que croître.

(*) G.R.U.T.T.E.E.: Groupe de Recherches Universitaires sur les Techniques de Traitements et d'Épuration des Eaux.

Bibliographie

- (1) *Bulletin de liaison du Centre d'Études des Problèmes de la Mer*, n° 6, mai 1968, Université de Rennes, 1968.
- (2) G. Eglinton, *Environmental Chemistry*, volume 1, The chemical Society London, 1975.
- (3) J. Calvin and Giddings, *Chemistry, Man and Environmental Change*, Canfield Press, San Francisco, 1973.
- (4) M. M. Jones et Coll., *Chemistry, Man and Society*, W. B., Saunders Company, Philadelphia, 1972.
- (5) R. G. Gymer, *Chemistry: An ecological Approach*, Harper and Row, New York, 1973.



Dessin de Robert Thivet, ingénieur E.N.S.C.R., chercheur en chimie de l'environnement.