

CHIMIE ET ENVIRONNEMENT

Mohamed Larbi BOUGUERRA
Département de Chimie - Faculté des Sciences
de Tunis.
(Conférence prononcée devant la Société
des Sciences Naturelles le 18 février 1977).

Le terme "environnement" a des significations différentes pour le géologue pour le botaniste, pour le zoologue, pour l'architecte, pour l'urbaniste, pour l'ingénieur et pour le chimiste. Les visions peuvent en effet être différentes mais, dans chaque cas, on parle des interrelations d'objets adjacents allant des particules subatomiques à une vision globale voire planétaire de l'Univers. Le chimiste, je pense, est impliqué à tous ces niveaux parce qu'il y a un besoin urgent et nécessaire de connaître les matériaux de tous types, leurs structures et leurs comportements. Le chimiste a donc fort à faire. Bien sûr, nul ne conteste qu'il a introduit les médicaments "miracles", les fibres artificielles, les détergents aux propriétés fantastiques, les combustibles super, les boissons "soft", la pilule, les jouets en plastique etc... mais il est non moins vrai que les mers subissent l'assaut conjugué du pétrole brut, de l'industrie chimique et de ses rejets. Aux Etats Unis, la Food and Drug Administration (F.D.A.) a calculé que 500.000 molécules synthétiques nouvelles, emportées par les fleuves, atteignent la mer chaque année. Le plomb de nos automobiles se trouve maintenant dans les calottes glaciaires des régions polaires et la D.D.T. dans la graisse des phoques et des pingoins de l'Antarctique.

Nul n'ignore aujourd'hui l'effet de serre des effluants gazeux (green-house effect), le syndrome de Los Angeles ou la catastrophe de Seveso : huit mois après l'accident, les habitants de Seveso souffrent d'éruptions cutanées attribuées à "la dioxine".

Dans ce qui suit, nous allons parler de la D.D.T. mais celle-ci n'est pas seule en cause (ni d'ailleurs les organochlorés) quand, on évoque les problèmes de pollution par les composés chimiques. Il faut en effet attirer l'attention sur la pollution provoquée par les biphényles chlorés qui ont été introduits en 1919 c'est-à-dire une décade avant la D.D.T. Les biphényles chlorés sont des mélanges complexes utilisés en électrotechnique pour leur pouvoir isolant et aussi couramment utilisés comme "diluants inertes" des pesticides, des détergents etc... Ils ont des propriétés toxiques analogues à celles de la D.D.T. étant donné leur similitude du point de vue structural. Leur analyse est complexe : en chromatographie en phase gazeuse, ils ont des temps de rétention tels qu'ils sont souvent pris pour de la D.D.T. Il faut aussi signaler les dangers du CPV (chlorure de polyvinyle). Les Etats Unis en produisent 7 millions de tonnes par an. Ce produit soulève de sérieuses questions écotoxicologiques : il est trouvé maintenant dans un grand nombre d'aliments, dans le sang de l'Américain moyen, dans l'eau... Signalons que la ville de New York dépense, pour détruire un récipient en CPV, (bouteilles de laits, d'eau...) sept fois son prix de revient. Il est maintenant prouvé que les ouvriers des fabriques de CPV développent un angiosarcome du foie (1).

Nous ne saurions oublier les fréons, ces hydrocarbures aliphatiques fluorés chlorés, si souvent utilisés dans les bombes aérosols, les réfrigérateurs etc... Ces hydrocarbures peuvent rester dans l'atmosphère entre 40 et 150 ans (2). Leur photodissociation produit du chlore qui détruit, à son tour, l'ozone atmosphérique (3).

Il faut signaler, pour être complet, les nuisances provoquées par les métaux lourds toxiques (4) et l'amiante. Le mercure est à l'origine de la tristement célèbre catastrophe de Minamata au Japon. Il est maintenant établi que l'amiante induit des cancers humains (5). D'après le Dr Aubert de l'INSERM (6), au taux actuel de pollution par le mercure, en Méditerranée, il faudrait 375 semaines (7 ans) pour que, chez un pêcheur, apparaissent les premiers symptômes d'empoisonnement (maladie neurologique de Minamata) et 1000 semaines (20 ans) pour que cela devienne léthal ce qui revient à la consommation de 2 kg de poisson par semaine soit 2 mg de mercure dont 80µg se

fixent dans l'organisme. La Méditerranée est une mer très vulnérable à la pollution : elle est tiède, salée, sans marée, à plateau continental limité et avec une faible communication avec l'Océan : c'est une mer pratiquement sans mouvement.

Notons que des essais couronnés de succès ont été faits pour complexer par le sélénium, le mercure fixé par les êtres vivants et le rendre mobile, donc excrétable (7).

Parlons maintenant de la D.D.T., étant bien entendu que beaucoup (sinon la totalité) de reproches faits à ce produit peuvent être étendus à tous les organochlorés notamment aux biphényles chlorés (8).

1°/ COMPÉTITION POUR LA NOURRITURE ENTRE L'HOMME ET LES INSECTES

Il est clair qu'il est plus difficile de contrôler les petits herbivores (rats, belettes, taupes...), les insectes, les bactéries, les spores d'un champignon que les grands herbivores. Les petits herbivores, les insectes... ont une grande capacité de reproduction : les dégâts qu'ils causent sont importants. Les insectes sont des vecteurs d'épidémies : malaria, fièvre jaune, typhus... Ces maladies ont tué plus d'hommes que toutes les guerres réunies estiment les spécialistes. Il suffit pour s'en convaincre de se rappeler les pestes du Moyen Age : la peste bubonique est transmise par une punaise vivant sur le rat. La grande peste (Great Plague) a tué en 1666 le tiers de la population de la ville de Londres.

Cependant, tous les insectes ne sont pas à bannir. Un grand nombre d'entre eux n'interfère pas avec l'homme, certains sont utiles et tous font partie d'écosystèmes depuis des millénaires. L'abeille par exemple est absolument indispensable au cycle de la vie des plantes à fleur (fertilisation).

Les insectes sont indispensables à la survie de certains oiseaux qui ingèrent insectes et grains et qui rejettent, intacts, plus loin, les grains contribuant

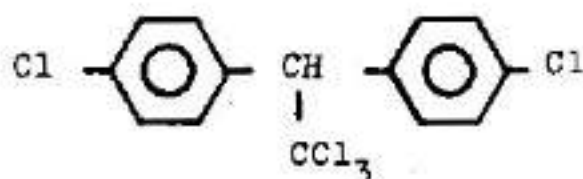
ainsi au cycle d'un grand nombre d'arbres. Un tel exemple d'écologie des insectes est fourni par des fourmis géantes d'Afrique Australe qui envahissent périodiquement les villages dévorant absolument tout sur leur passage les provisions mais aussi les cafards, les rats etc...

Mais l'homme a jugé bon d'intervenir et de contrôler certains insectes qui détruisent des parties non négligeables de ses récoltes. Notons que l'homme a supporté, pendant des millénaires d'années, plus ou moins bien évidemment, les insectes. D'abord, parce que les populations d'insectes sont contrôlées par leurs prédateurs naturels ensuite, plusieurs plantes produisent des insecticides naturels qui leur confèrent une immunité naturelle. Ainsi, le sapin baumier produit un insecticide qui le protège des atteintes de la punaise du tilleul ; certains légumes de l'Inde de l'Est synthétisent un poison des insectes au moyen de leurs racines : il s'agit de la roténone. Mais l'augmentation démographique, les besoins alimentaires accrus ont obligé l'homme à faire une gerre sans merci aux insectes. La panoplie utilisée est appelée la première génération d'insecticides et comprend des produits relativement simples :

- Bouillie bordelaise (mélange de sulfate de cuivre et de chaux).
- L'arséniatode plomb
- Des chlorates etc...

2°/ LES HYDROCARBURES CHLORES

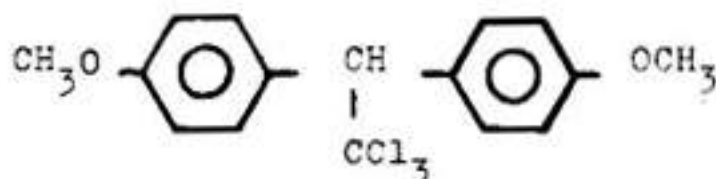
A la fin des années trente et au début des années 40, un nouveau groupe de pesticides de synthèse a été découvert par divers laboratoires. Il s'agit des hydrocarbures chlorés : aldrine, chlordane dieldrine, endrine et heptachlor. Ces pesticides ont été salués comme l'une des grandes découvertes du XX^e siècle. La D.D.T., en particulier, a été consacrée comme produit miracle à sa découverte :



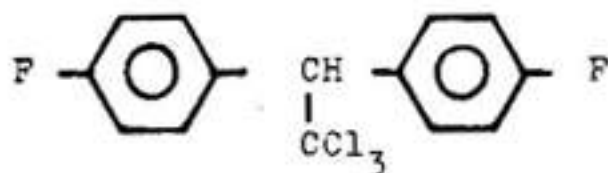
Elle permettait de lutter efficacement, en 1942, en pleine gerre, contre les poux donc le typhus.

Les propriétés insecticides de la D.D.T. ont été découvertes par Paul Muller en 1939 et le produit a été commercialisé en 1942 par la firme Suisse J. R. Geigy dont la D.D.T. devait en faire un mastodonte de l'industrie chimique mondiale. En réalité, le produit était connu des chimistes depuis 1874, date de sa synthèse par F. Zeidler, mais on était passé complètement à côté de ses propriétés insecticides. Rapidement, la D.D.T. a pu être facilement synthétisée et mise sur le marché à bas prix : La D.D.T. et les organochlorés se révélèrent des poisons efficaces et ils peuvent être utilisés, avec une grande marge de confiance, contre n'importe quel insecte.

Signalons que le "méthoxy chlor" est un analogue moins "dur" que la D.D.T.



alors que la D.F.D.T est plus "dure" :



La contribution de la D.D.T. dans la lutte contre la faim n'est plus à démontrer : ainsi, aux Etats Unis, les pertes subies du fait des insectes se montent à 10 % de la récolte totale. Dans les pays en voie de développement elles peuvent atteindre 30 à 40 % (il y a aussi les pertes dues au stockage defectueux).

Dans les zones tropicales, où vivent un milliard d'êtres humains, la D.D.T. a remporté des succès éclatants dans la lutte contre les maladies. Avant de mettre l'accent sur ses dangers, il est juste de souligner que l'usage de la D.D.T. a permis de sauver des millions d'êtres humains de la maladie ou de la faim (ou des deux à la fois).

Pourquoi alors et comment s'explique cette campagne concertée contre l'utilisation de la D.D.T. et des pesticides de son groupe?

Il y a en fait, trois arguments fondamentaux contre les hydrocarbures chlorés :

- a) Ce sont des poisons universels
- b) Ils se dégradent lentement
- c) Ils sont liposolubles.

Etudions ces trois arguments un à un :

A/ LES HYDROCARBURES CHLORES SONT DES POISONS UNIVERSELS

Je ne veux pas entrer dans le détail de leur action mais il est connu que ce sont des poisons non sélectifs. Ces produits tuent non seulement les insectes mais aussi les poissons, les oiseaux, les invertébrés et les mammifères (y compris l'homme).

Un effet supplémentaire de l'empoisonnement non sélectif est que les insectes carnivores et herbivores sont détruits. L'épandage de produits non sélectifs aboutit à la destruction des contrôles naturels sur les tailles relatives des populations. Dans une vallée du Pérou, la D.D.T. associée à deux autres hydrocarbures chlorés a été utilisée massivement pour contrôler les insectes. En quatre années seulement, la production du coton passa de 440 à 650 livres par acre (4046 m²). Une année plus tard, on chuta à 350 livres par acre soit 100 livres de moins qu'avant l'introduction des pesticides. Les études ont montré que les insecticides chlorés avaient détruit les prédateurs naturels des insectes et les oiseaux aussi bien que les insectes nuisibles. La population de ceux-ci décru au départ mais reprit de plus belle, étant devenue d'une part résistante aux pesticides et d'autre part, étant débarassée maintenant, de ses prédateurs.

Si l'on regarde de plus près cette contradiction apparente, on en apprend beaucoup sur les avantages et les dangers des pesticides. Il y a en réalité, une base biochimique aux conséquences désastreuses des organochlorés sur l'environnement : le pesticide en excès, n'est pas excrété par les animaux. Ainsi, la D.D.T. et les pesticides similaires sont généralement plus efficaces contre les prédateurs que contre les insectes nuisibles que l'on veut contrôler. Supposons que l'on ait répandu de la D.D.T. sur un champ et que les insectes nuisibles se nourrissent des feuilles empoisonnées. Comme il n'y a pas excrétion de la D.D.T., celle-ci devient plus concentrée dans leur organisme que sur les feuilles. En outre, comme la mort peut survenir plusieurs jours (ou même semaines) après l'empoisonnement, plusieurs insectes vivants mais empoisonnés vont être dévorés par leurs ennemis naturels. Ainsi, le prédateur a accès à une nourriture plus concentrée en D.D.T. que celle des herbivores, l'insecte nuisible au départ. En outre, quand les oiseaux mangent les insectes carnivores, leur alimentation est encore plus concentrée en D.D.T. Ainsi la D.D.T. se concentre le long de la chaîne alimentaire. Autre exemple : on a étudié, dans un marécage, les concentrations successives d'un insecticide : le toxaphène. La boue du fond de ce marécage et les invertébrés contenaient 0,2 ppm de toxaphène. Cette concentration n'est pas létale pour les invertébrés. Les poissons, qui se nourrissent d'invertébrés accusaient une concentration de 8 ppm. Le pesticide atteint le niveau de 650 ppm dans les tissus lipidiques des oiseaux vivant du poisson du marécage.

Un autre problème fort préoccupant : le pesticide devient après quelque temps d'utilisation, beaucoup moins efficace. Ceci est dû à la mutation des espèces exposées au produit. En 1945, on dénombrait une dizaine d'espèces devenues résistantes à la D.D.T. en 1960 ce chiffre atteint 137 espèces dont 65 s'attaquent aux récoltes et les autres étant des vecteurs de diverses maladies. Plus préoccupant encore : les prédateurs n'acquièrent pas cette résistance. Pourquoi ?

- a) Les insectes nuisibles sont généralement plus petits que leurs prédateurs et se reproduisent beaucoup plus fréquemment. Les mutations ont donc plus de chance de se produire ici.

- b) Les prédateurs ingèrent une alimentation plus riche en pesticide que l'insecte nuisible. Ainsi, pour une même résistance, un plus grand nombre de prédateurs, succombera.
- c) Dans un écosystème, il y a toujours moins de prédateurs que d'herbivores.

B/ LES ORGANOCHLORES SE DEGRADENT LENTEMENT

Ils sont non biodégradables. Ils se décomposent lentement et on suppose cette décomposition de se produire sur 10 voire 15 ans. Les chimistes étudient très activement cette dégradation et ses produits et utilisent les méthodes les plus sophistiquées telle l'oxydation anodique (9). Les organochlorés peuvent donc produire, durant leur vie, des effets secondaires fort embêtants. Comme l'épandage a lieu une fois par an au minimum, il y a accumulation dans le sol. Dans certaines exploitations régulièrement traitées, on a trouvé 15 à 20 livres par acre. Ceci est fort préoccupant car un sol fertile contient énormément d'êtres vivants : 1 milliard de milliard de bactéries, 200 millions de champignons, 25 millions d'algues, 15 millions de protozoaires, des insectes, des vers... par livre de terre arable et fertile. Ces organismes sont nécessaires pour une fertilité continue. Ils fixent l'azote, érodent les roches et procurent ainsi les minéraux aux plantes retiennent l'humidité, aèrent le sol et sont les principaux acteurs des processus de dégradation. L'effet des pesticides sur ces organismes du sol est largement inconnu. Bien sûr, actuellement, avec les pesticides, on a d'excellentes récoltes mais il y a des signes avant coureurs de désastre : en Floride, on a montré que les organochlorés inhibent fortement la nitrification par les bactéries du sol. De même, les termites ne sont plus capables de vivre sur des sols traités au toxaphène dix années précédemment. Comme dans le cas d'un grand nombre de ruptures écologiques, les effets à long terme ne sont pas connus. Peut être les bactéries sont elle immunisées ou le deviendront-elles ? Mais le jeu est fort dangereux.

C/ LES ORGANOCHLORES SONT LIPOSOLUBLES

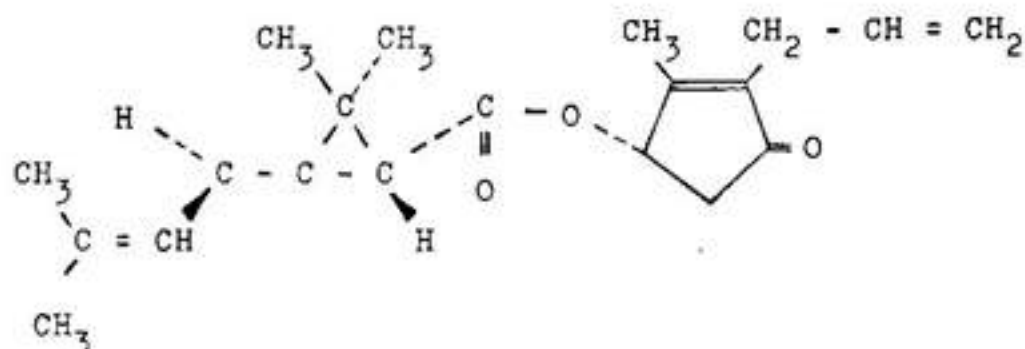
Les organochlorés sont solubles dans les graisses mais pas dans l'eau ou le sang. Si donc de petites

quantités d'organochlorés entrent dans le corps, elles se concentreront dans les tissus adipeux et ne pourront être efficacement éliminées par le sang. Il va donc y avoir accumulation. Ainsi, l'Américain moyen a une concentration de 12 ppm de D.D.T. dans ses tissus adipeux. Cette concentration de D.D.T. n'a pas d'effets détectables sur le métabolisme mais les effets à long terme sont inconnus. Quelques données suggèrent cependant les effets cancérogènes de certains pesticides.

Les études conduites sur une grande variété d'oiseaux montrent que la D.D.T. intervient pour dérégler le métabolisme correct du calcium. Il en résulte une fragilisation des oeufs dont l'épaisseur de la coquille devient si mince qu'elle ne peut être couvée, sa résistance mécanique étant devenue si faible que la femelle l'écrase lors de la couvaison (10), (11).

Cette solubilité des organochlorés dans les graisses est néfaste à plus d'un titre. Voici un cas observé dans un élevage de Saumon au Canada : 700.000 saumons ont été tués dans l'oeuf par les graisses propres de cet oeuf car celles-ci avaient une teneur élevée en D.D.T. La même chose a été observée avec des truites : pendant l'été, période où la nourriture est abondante, les truites développent une couche de graisse qui accumule la D.D.T. En hiver, lors de l'utilisation de cette couche, la truite est tuée par cette concentration élevée de D.D.T. Signalons enfin l'influence néfaste de la D.D.T. sur les cours d'eau et les mers. Ainsi, il a été montré que 1/1000 de ppm de D.D.T. réduisait l'efficacité de la photosynthèse des plantes marines. On peut maintenant se poser valablement la question : y-a-t-il des solutions de rechange ? La réponse est oui. Voici quelques solutions :

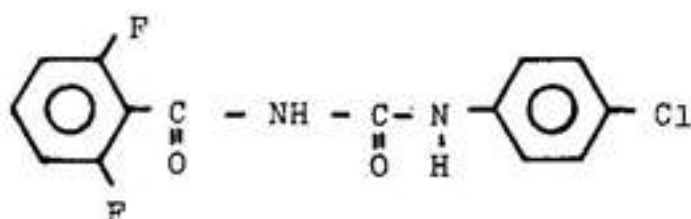
- Recherche de pesticides à courte durée de vie.
- Utilisation de pesticides photodégradables ou plus généralement biodégradables tels ceux tirés des chrysanthèmes (*chrysanthemum pyrethrum roseum*) du type pyréthénoïdes dont l'alléthrine (la formule ci-dessous est un exemple) (12).



Les insecticides tirés de ces plantes sont connus depuis des millénaires en Chine et sont couramment cultivés en Afrique.

- Utilisation des ennemis naturels des insectes prédateurs : bactéries, parasites et même baculovirus (c'est-à-dire que l'on inocule aux insectes une affection virale mais cette technique en est encore à ses débuts car il faut améliorer les cultures de tissus des insectes hôtes).
- Technique de stérilisation des mâles
- Utilisation des hormones juvéniles (mais on constate déjà des résistances).
- Utilisation des attractants sexuels actifs à 2,5 miles (13).
- Utilisation d'espèces végétales résistantes
- Contrôle des surfaces cultivées (en effet, les grandes superficies permettent des dégâts importants quand elles sont infestées).

Voici un exemple d'insecticide mis au point après une étude "globale" menée par le Centre de Recherche et de Contrôle des Moustiques à Fresno en Californie (14) : il s'agit de la "dimilène" qui est une urée substituée :



Elle inhibe le développement de la synthèse de la chitine du moustique. Elle ne porte pas atteinte à un prédateur de ce moustique, un poisson de l'espèce *Gambusia affinis*. Le produit est donc plus sélectif, efficace et cher. Donc les utilisateurs ne l'emploieront qu'à bon escient. En outre, le Centre a attaqué le mal c'est-à-dire le moustique à son origine : on a redécoupé les pâturages pour éliminer les marécages et les eaux stagnantes, on a traité le sol par l'acide sulfurique et le gypse pour provoquer la pénétration de l'eau de pluie, on a construit un système de drainage. On a tout d'abord fait des tests de laboratoire puis des tests sur des aires limitées et enfin à grande échelle. On a étudié la persistance de la diniline dans le sol, l'eau, la végétation, les effets sur les insectes, les crustacés d'eau douce et les poissons. Cette étude a nécessité l'utilisation des techniques les plus élaborées du laboratoire de chimie et a réuni des spécialistes de diverses disciplines (agronomes, entomologistes, sociologues...).

Dans cet exposé, on a fait un rapide survol des problèmes : on n'a pas traité les carbonates, les organophosphorés etc...

Néanmoins il ne faut pas porter de jugement hâtif et penser au problème de la faim dans le monde. A ce problème, la chimie est entraîné d'apporter des solutions radicales.

Notons enfin que les chimistes et les biologistes sont sur le point de résoudre le problème des plastiques dans les ordures ménagères et ceci par la conversion des plastiques en protéines par fermentation après oxydation par l'acide nitrique à 86 % (15).

ADDENDUM : Il est intéressant de signaler que la Division "Chimie des Pesticides" de l'American Chemical Society qui a tenu son assemblée générale à Chicago du 28 Août au 2 Septembre a fait quelques communications très intéressantes. On citera en vrac (16) :

- 1°/ La mise au point d'un procédé de décomposition des pesticides par les sels fondus par Samuel J. Yosim.
- 2°/ La possibilité d'augmenter l'efficacité d'un insecticide en le polymérisant sur un support approprié par A. Neogi.

- 3°/ Une explication "chimique" de la résistance de certaines plantes aux attaques des insectes par le groupe du Dr Paul A. Medin.

Par ailleurs, on pense pouvoir éviter à l'avenir les concentrations de biphényles chlorés (BC) dans la biomasse par bombardement électronique. Les BC deviennent ainsi solubles dans l'eau et ne peuvent s'accumuler dans les tissus adipeux (17).

BIBLIOGRAPHIE

- (1) British Medical J. 1, 590, 1973.
- (2) La Recherche, Juillet - Août 1976 p. 628.
- (3) Nature, 249, p. 810 - 812 Juin 1974.
- (4) La Recherche, Septembre 1976 p. 711.
- (5) Health Phys. 21, 689 - 707, 1971.
- (6) Nature. Avril 549 p. 1975.
- (7) J. of American Chemical Society 98, p. 235, 14 Avril 1976.
- (8) Turk, Turk and Wittes Ecology, pollution, environnement W. B. saunders Edit. Philadelphia.
- (9) J. of Electrochemical society 123 p. 1643 - 1647 et 1637 - 1642 Novembre 1976.
- (10) J. of Applied Ecology Vol 7, n° 1, p. 67 - 115 Avril 1970.
- (11) J. of Chemical Education 51, 1 p. 685, Octobre 1974.
- (12) La Recherche n° 36 Juillet - Août 1973 p. 696.
- (13) Scientific American Mai 1963.
- (14) Varian Instrument Application 10, 1976 p. 18.
- (15) Nature 250 p. 161 - 163 ; 1974.
- (16) Chemical and Engineering News du 12.9.77.
- (17) Chemical and Eng. News. du 9.1.1978.