

POP – Polluants Organiques Persistants



Polluants

Fiche détaillée

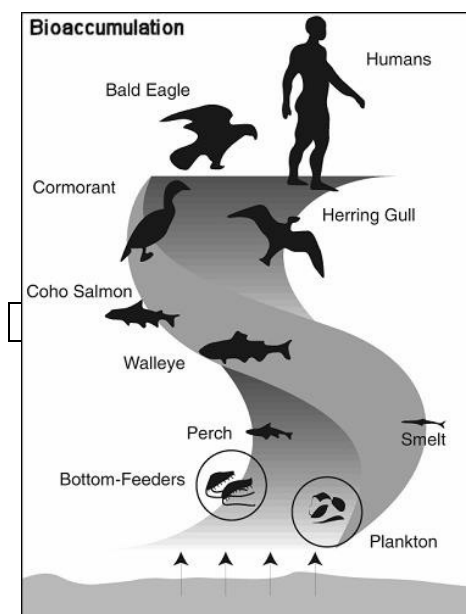
Niveau ★★★

(A partir de la 1ère)

I. Introduction

Un polluant organique persistant (POP) est une substance qui a les caractéristiques suivantes : elle est toxique, elle est persistante dans l'environnement, elle se transporte sur de longues distances (depuis les régions d'émissions, essentiellement les latitudes moyennes, vers des régions où elle n'est ni produite, ni utilisée, pôles entre autres), et sa concentrations dans les organismes vivants augmente à chaque maillon de la chaîne alimentaire (bioaccumulation). On peut classer les POP en deux catégories : les composés non intentionnellement produits par l'homme (dioxines, furanes, HAP ou Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) et ceux issus de la fabrication et de l'utilisation de produits chimiques (PCB, pesticides). Une première liste de 12 produits les plus toxiques (aldrine, chlordane, dieldrine, endrine, heptachlore, hexachlorobenzène, mirex, toxaphène, polychlorobiphényles ou PCB) a été interdite par la convention de Stockholm (2004) sur les polluants organiques persistants. Plus récemment (conférence de Genève, mai 2009), il a été question de rajouter de nouvelles substances à la liste des POPs interdits, et plus généralement, de veiller à la diminution des émissions non intentionnelles d'un certain nombre de PCB ou dérivés : polychlorodibenzodioxines et dibenzofuranes (PCDD/PCDF) et hexachlorobenzène (HCB).

La bioaccumulation désigne la capacité des organismes à absorber et concentrer dans tout ou une partie de leur organisme les POPs (cf. figure 1 ci-dessous). Ces substances non ou peu dégradables persistent dans les organismes vivants car elles ne sont pas métabolisées. Leur possibilité d'accumulation est d'autant plus importante que les organismes n'ont pas d'autres alternatives que de les éliminer (processus long) ou de les stocker. La toxicité et les effets sur la santé (perturbations endocriniennes, caractère cancérigène, tératogène, létal...) des POPs dépend de la capacité de ceux-ci à s'accumuler dans l'organisme. La bioaccumulation s'effectue par le biais de l'alimentation, et via tout le réseau trophique (cf figure 1). Plus la chaîne trophique est longue, plus l'accumulation est importante, et plus les effets délétères risquent d'être marqués. Les prédateurs, situés en parties terminales des chaînes alimentaires, sont donc particulièrement vulnérables à ce type de polluants, et leur présence est le signe d'une qualité satisfaisante du milieu où ils ont effectué l'essentiel de leur croissance. Il n'est pas rare de constater un facteur de bioaccumulation de l'ordre de 100 000 (augmentation de la concentration entre le premier et le dernier élément de la chaîne). La bioaccumulation peut fortement exacerber les effets (positifs ou négatifs) de la bioturbation. Ces deux processus combinés jouent un rôle fondamental au sein de la biosphère et des cycles biogéochimiques affectés par des POPs. La notion de bioturbation désigne le phénomène de transfert d'éléments nutritifs ou chimiques par des êtres vivants au sein d'un compartiment d'un écosystème, ou entre différents compartiments. Le mot décrit aussi le phénomène de mélange actif des couches de sol ou d'eau par les espèces vivantes, animales principalement. Dans un environnement pollué, bioturbation et bioaccumulation contribuent à la contamination généralisée des espèces situées en tête de la chaîne trophique*. La contamination jusqu'aux pôles des mammifères par des POPs montre l'efficacité des transferts de polluants par l'eau et l'air, ainsi que par les animaux. Non seulement des systèmes éloignés, qui semblent isolés comme les zones polaires, ne sont pas épargnées, mais bien au contraire, ils reconcentrent une part non négligeable des pollutions émises dans les régions tempérées, parfois plusieurs siècles auparavant.



II. Composés non intentionnellement produits par l'homme

II.1. Les dioxines et furanes

Définition: on appelle dioxines des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC), ou encore hétérocycle aromatique, dont le carbocycle contient deux atomes d'oxygène. Ces composés sont produits involontairement lors de processus thermiques mettant en présence du chlore et des substances organiques, et possédant des structures chimiques similaires. Les propriétés de ces dioxines, dont leur toxicité, dépendent du nombre et de la position des atomes de chlore. L'une des dioxines les plus toxiques est connue sous le nom de TCDD (tétrachlorodibenzo-para-dioxine) ou encore dioxine de Seveso* (en référence à la catastrophe du même nom, cf. figure 2 ci-dessous).

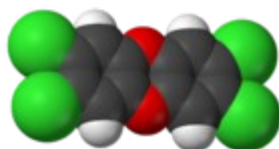


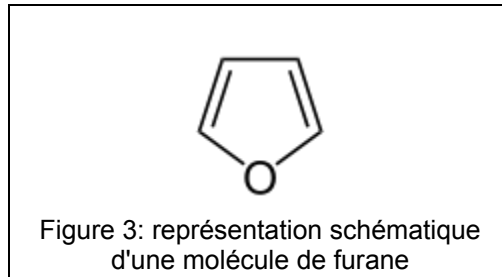
Figure 2 : structure 2D de 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine ou TCDD.

Certains PCB possèdent des propriétés chimiques similaires, et sont considérés comme étant « apparentés aux dioxines » ('dioxin-like'). Contrairement aux PCB, qui sont utilisées dans plusieurs applications industrielles, les dioxines ne font l'objet d'aucun usage industriel. Elles sont formées de manière involontaire et sont libérées en tant que sous-produits des activités humaines (incinération, combustion de combustibles, blanchiment du papier au chlore, fabrication de pesticides). Dans une moindre mesure, elles peuvent aussi résulter de processus naturels comme les feux de forêts et les volcans. On a identifié 419 types de composés apparentés à la famille des dioxines, dont 30 seulement sont considérés comme ayant une toxicité importante. En particulier, on mentionnera les polychlorodibenzo-p-dioxine et tetrachlorodibenzo-p-dioxine comme étant particulièrement toxiques et appelées par ellipse 'dioxine'.

Les dioxines sont transportées dans l'atmosphère et vont se déposer sur l'eau ou sur terre tout au long de leur parcours. Dans l'eau, les dioxines se lient d'abord à de petites particules ou au plancton. Sur terre, elles se déposent sur les plantes ou se lient au sol, le plus souvent sans contaminer les eaux souterraines. Depuis les premiers éléments de la chaîne trophique jusqu'au derniers maillons, les dioxines vont s'accumuler dans les graisses, les concentrations augmentant à chaque maillon (bioaccumulation, propre aux POPs). Elles ont tendance à s'accumuler dans les graisses et dans le foie. En interagissant avec les récepteurs cellulaires, les dioxines peuvent provoquer des perturbations biologiques telles que des troubles hormonaux. Par ailleurs, des tests en laboratoires montrent que la TCDD et certains autres types de dioxines augmentent le nombre de cancers chez plusieurs espèces animales en stimulant la croissance de cellules précancéreuses préexistantes. Chez l'homme, on considère que plus de 95 % de l'apport en dioxines proviendraient de la nourriture, en particulier par l'ingestion de protéines animales (lait et produits laitiers, viandes, poissons), le reste de l'exposition se faisant lors de libérations accidentelles. Cet apport, ou plus généralement l'exposition aux dioxines aurait été réduite de près de 50 % chez les adultes des pays industrialisés depuis le début des années 90. Certaines populations locales ont été accidentellement exposées à de fortes concentrations de dioxines, notamment à Seveso en 1976 (Italie) après l'explosion survenue dans une usine chimique, ou au Japon et à Taiwan où des gens ont consommé de l'huile de riz accidentellement

contaminée aux PCB et aux dioxines. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a établi une Dose Journalière Tolérable (DJT) de 1 à 4 pg I-TEQ par kg de poids corporel et par jour. Le plafond de 4 pg est provisoire, l'objectif final étant de réduire la dose de dioxines chez l'homme à moins de 1 pg I-TEQ* par kg de poids corporel et par jour. Cette valeur a été déterminée en fonction des doses minimales qui ont un effet nocif sur les animaux de laboratoire, divisées par un facteur 10 de sécurité. Cette DJT doit être considérée comme une moyenne sur toute une vie, ce qui signifie que la valeur limite peut être dépassée occasionnellement durant de courtes périodes, sans conséquences attendues pour la santé.

Définition : Les furanes ou polychlorodibenzo-furanes ou PCDF sont une famille de molécules chimiques cycliques (hétérocycle aromatique) émis lors de l'incinération de PCB ($T > 1200^{\circ}\text{C}$). Ils se différencient des dioxines par la présence d'un seul atome d'oxygène dans le cycle central entouré de deux cycles benzéniques (cf figure 3).



Dans ces molécules, 2 à 9 atomes d'hydrogène sont substitués par des atomes de chlore (dans les positions numérotées de 1 à 9). Certaines d'entre elles sont toxiques pour l'homme et l'environnement. Ces molécules sont très stables, ce qui les rend extrêmement persistants et bioaccumulables dans la chaîne alimentaire.

Comme pour les dioxines, les furanes ou PCDF sont des molécules qui ne sont pas synthétisées dans un but particulier, mais des composés non désirés se forment dans certaines conditions lors d'activités humaines, industrielles et domestiques. Ces composés (comme les dioxines d'ailleurs) peuvent être émis dès lors que des molécules organiques sont chauffées en présence d'une source de chlore. Cela peut être lors d'accidents (explosion dans une usine de production de dérivés organochlorés, comme à Sévésco, incendies d'entrepôts, de bâtiments, de transformateurs contenant des PCBs et de véhicules (contenant souvent du PVC), mais plus généralement dans le fonctionnement d'incinérateurs de déchets ménagers ou industriels non conformes (65% du total des émissions). On en trouve émis dans les gaz d'échappement, dans les huiles de moteurs, dans le chauffage domestique (bois, charbon, gaz), et dans la combustion des bois traités au pentachlorophénol (PCP), et des boues d'épuration contaminées.

Dioxines et furanes sont hydrophobes, en revanche, ils ont tendance à se lier à des particules organiques (notamment dans les sols), et ils peuvent pénétrer avec certaines particules organiques dans les tissus adipeux des organismes aquatiques, ce sont des composés lipophiles. Ils peuvent pénétrer dans le noyau des cellules dans lesquels ils vont activer la production de protéines qui constituera la réponse toxique de l'organisme à ces composés. Les composés se détruisant très lentement, cette réponse sera chronique (son action perdure) et déclenchera différentes maladies (cancers, troubles fonctionnels, altérations immunologiques, atteinte du système reproducteur mâle ou femelle lors d'exposition prénatale). Les dioxines et furanes possédant des atomes de chlore aux positions 2, 3, 7 et 8 sont considérés comme les plus toxiques. En particulier, la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine (TCDD) ou TCDD est la forme la plus dangereuse et la plus étudiée des dioxines. Elle est la mieux connue, et sert de norme étalon (calcul de facteur d'équivalence toxique à partir de la réaction des composés sur des poissons) pour l'établissement de la toxicité des autres dioxines et furanes. La toxicité est avérée à partir de niveaux très faibles, du ppt (partie par trillion, soit nanogramme/kilogramme), voire du ppq (partie par quadrillion, soit picogramme/kilogramme).

III. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

III.I. Définition

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques, communément appelés HAPs, constituent une famille de composés chimiques comportant des atomes de carbone et d'hydrogène dont la structure des molécules comprend au moins deux cycles aromatiques condensés. Ces composés sont étudiés depuis de nombreuses années car ils sont présents dans tous les milieux environnementaux, et ils ont une forte toxicité. A ce titre, ils font parties d'une liste de polluants prioritaires établie dès 1976 par l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (EPA), et plus tard par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et l'Union Européenne. Les HAP ne font pas formellement partie des POPs car ils ne sont pas inclus dans la liste déclaratoire de la Convention de Stockholm. Ils se rapprochent des POPs par leur effets sur la santé, et s'en distinguent car s'ils sont assez résistants à la biodégradation, ils sont susceptibles d'être métabolisés (sauf par les mollusques), ce qui permet une diminution des concentrations le long de la chaîne trophique.

III.II. Origines

Selon le nombre de cycles, ils sont classés en HAPs légers (jusqu'à trois cycles) ou lourds (au-delà de trois cycles), et ont des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques très différentes. Le nombre de HAP susceptibles d'être rencontrés dans l'environnement est virtuellement illimité car le nombre de noyaux aromatique accolés est lui-même sans limite, et de plus, chaque composé peut avoir une multitude d'isomères*. Voici le nom de quelques uns des HAP les plus répandus: anthracène, benzo(a)pyrène, chrysène, coronène, phénanthrène, pyrène, naphthalène, triphénylène, tétrabenzonaphthalène. La principale source de HAPs dans l'atmosphère est liée aux combustions, on dit que les HAPs sont alors d'origine pyrolytique. Ils sont alors générés par des processus de combustions incomplètes de la matière organique à haute température durant lesquelles des radicaux libres sont produits par pyrolyse. Naturellement présents dans des combustibles fossiles, ils sont de plus générés par leur combustion incomplète (charbon, fuel, goudron, asphalte, gasoil), ou celles de matières organiques (graisses animales). On va donc trouver des HAPs émis par les combustions de biomasse (feux de forêt, de savane, de résidus agricoles...), mais aussi et surtout, par la combustion de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz). Les HAPs sont donc liés aux transports, aux combustions domestiques, à la production industrielle (aciéries, alumineries...), à la production d'énergie (centrales électriques fonctionnant au pétrole ou au charbon...), ou encore aux incinérateurs. La principale source naturelle de HAPs dans l'atmosphère, mais qui est minime au demeurant, est liée aux éruptions volcaniques. La formation des HAPs est fonction de la source qui les génèrent, aussi on peut les utiliser comme indicateurs d'origine: les rapports de concentration en différents HAPs permettent de calculer des indices moléculaires. Par exemple, si le rapport de la concentration en anthracène sur celle du phénanthrène est supérieur à 10, alors l'origine sera pétrogénique (d'origine pétrolière), tandis que s'il est inférieur à 10, il sera d'origine pyrolytique.

III.III. Toxicité

La toxicité, donnée ici par exemple par rapport à la cancérogénécité du benzo(a)pyrène, auquel on attribue la valeur maximale de 1, est très variable d'un composé à l'autre.

composé	Facteur d'équivalence toxique TEF*		
ACE	0,001		
ANT	0,01	0,1	BbF IcdP BkF
BaP	1		
BbF	0,1		
BghiP	0,01	0,01	ANT BghjP FLU
BkF	0,1		
IcdP	0,1		
FLU	0,01	0,001	ACE
NAPH	0,001		NAPH

Tableau 1: Toxicité d'un ensemble de d'hydrocarbures aromatiques polycycliques : Acénaphthène (ACE), Anthracène (ANT), Benzo(a)pyrène (B(a)P), Benzo(b)fluoranthène (BbF), Benzo(g,h,i)pérylène (BghiP), Benzo(k)fluoranthène (BkF), Indéno(1,2,3-cd)pyrène (IcdP), Fluoranthène (FLU), Naphtalène (NAPH).

Une fois absorbées par les organismes, les HAPs se prêtent à des réactions de transformation sous l'action d'enzymes conduisant à la formation de métabolites qui peuvent avoir un effet toxique plus ou moins marqué en se liant à des molécules biologiques fondamentales telles que les protéines, l'ARN ou l'ADN, et provoquer ainsi des dysfonctionnements cellulaires. Le benzo(a)pyrène est un des HAPs les plus toxiques et cancérigène. En effet, il forme un métabolite, le Benzo(a)Pyrène-7,8-dihydrodiol-9,10-époxyde (BPDE) qui se fixe au niveau de l'ADN des cellules et entraîne des mutations pouvant à terme aboutir au développement de cancers. Outre leurs propriétés cancérigènes, les HAPs présentent un caractère mutagène dépendant de la structure chimique des métabolites formés. Ils peuvent aussi entraîner une diminution de la réponse du système immunitaire, augmentant ainsi les risques d'infection.

III.IV. Concentration dans l'atmosphère

Dans l'atmosphère, les concentrations de HAP particulaires sont très variables. Elles peuvent varier de l'ordre de quelques dizaines de pg/m^3 dans les régions polaires, à quelques centaines de ng/m^3 dans les atmosphères urbaines les plus polluées. Ces concentrations ont tendance à diminuer, notamment grâce aux progrès réalisés par les véhicules automobiles (réduction de la consommation, utilisation de pots catalytiques, développement des filtres à particules...). La variabilité saisonnière des concentrations est marquée par des concentrations plus importantes en hiver. Ce phénomène s'explique principalement à la fois par des émissions plus fortes l'hiver (chauffage domestique), et des conditions météorologiques moins favorables (présence de couche d'inversion radiative, stabilité atmosphérique, température basse favorisant la présence des HAP dans la phase particulaire). A contrario, durant l'été, la plus forte activité photochimique favorise la dégradation des HAPs. Durant leur temps de résidence dans l'atmosphère, les HAPs peuvent coexister à la fois en phase gazeuse et en phase particulaire. Ce qui détermine la répartition des HAPs entre la phase gazeuse et la phase particulaire, c'est leur pression de vapeur saturante. Plus les HAPs sont légers, plus leur pression de vapeur saturante est élevée, et plus on les retrouve dans la phase gazeuse. Les HAPs les plus lourds seront principalement liés à la phase particulaire. Les pressions partielles de saturation et donc les répartitions gaz/particules dépendent de la température. Ainsi, plus la température augmente, plus les HAPs auront tendance à être présents en phase gazeuse, ce qui est effectivement observé l'été par comparaison avec l'hiver. Le nombre de noyaux aromatiques reste quand même le principal facteur de distribution gaz/particules. Ainsi, les composés possédant deux cycles benzéniques sont principalement présents en phase gazeuse, alors que ceux possédant plus de six cycles seront plutôt rencontrés dans la phase particulaire.

IV. Composés issus de la fabrication et de l'utilisation de produits chimiques

IV.1. Les pesticides

Les pesticides sont des produits contenant un principe actif et des adjuvants et ayant pour objectifs l'élimination de « nuisibles » : insecticides (organochlorés ou organophosphorés), fongicides, herbicides et autres (rodenticides, corvicides, nématocides...). On compte aussi les régulateurs de croissance (des cultures) dans la famille des pesticides. Les fongicides représentent la moitié du volume des pesticides utilisés, les herbicides un tiers, les insecticides 3 %, et le reste est constitué de divers produits.

Ces composés peuvent se retrouver dans l'atmosphère directement lors de l'application (perte 20 à 75%), par volatilisation après application (jusqu'à 90%), et par l'action de l'érosion éolienne sur les surfaces traitées. La prédominance des différentes voies est variable selon les types d'application (pulvérisation, enfouissement), les conditions météorologique (présence de vent favorisant l'export, présence de rayonnement solaire favorisant la dégradation photochimique...). Suivant leurs propriétés physico-chimiques, les pesticides vont être présent dans l'air sous 3 formes : solide (collés sur particules de poussières), liquide (pluie, brouillard) ou gazeuse.

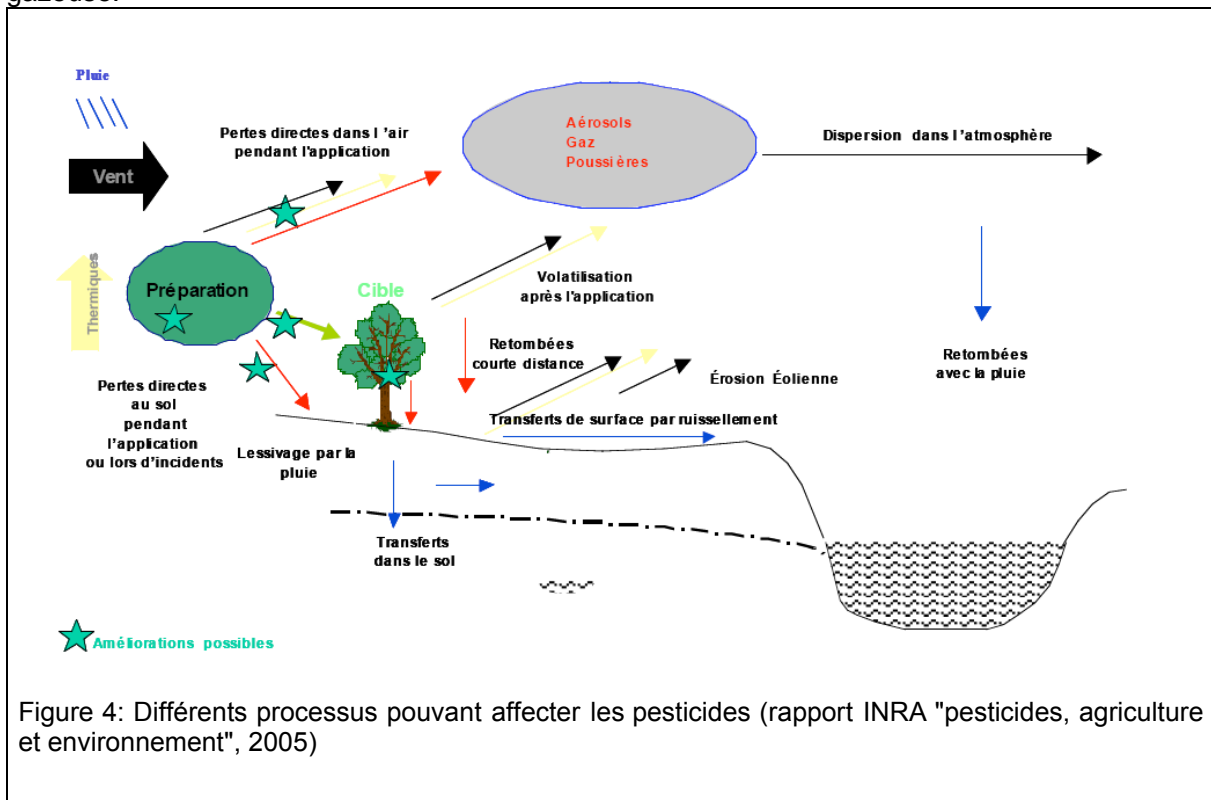


Figure 4: Différents processus pouvant affecter les pesticides (rapport INRA "pesticides, agriculture et environnement", 2005)

On regroupe parfois les pesticides en fonction de la substance active qu'ils contiennent: organochlorés (DDT, lindane...), triazines (atrazine, simazine...), acétamides (acetochlore, alachlore...). L'agriculture française en utiliserait environ 500, entrants dans la composition de plus de 8000 produits commercialisés, dont 2500 régulièrement utilisés. L'évaluation des sources de pesticides est encore un sujet de recherche. Cependant, on estime à l'heure actuelle que l'agriculture représenterait 80% des émissions totales en France, pays qui se situe au premier rang des utilisateurs en Europe, au 3^e rang mondial. Les tonnages de substances actives vendues en France auraient connu un pic à la fin des années 90, ces quantités étant en légère régression depuis (cf. figure 5).

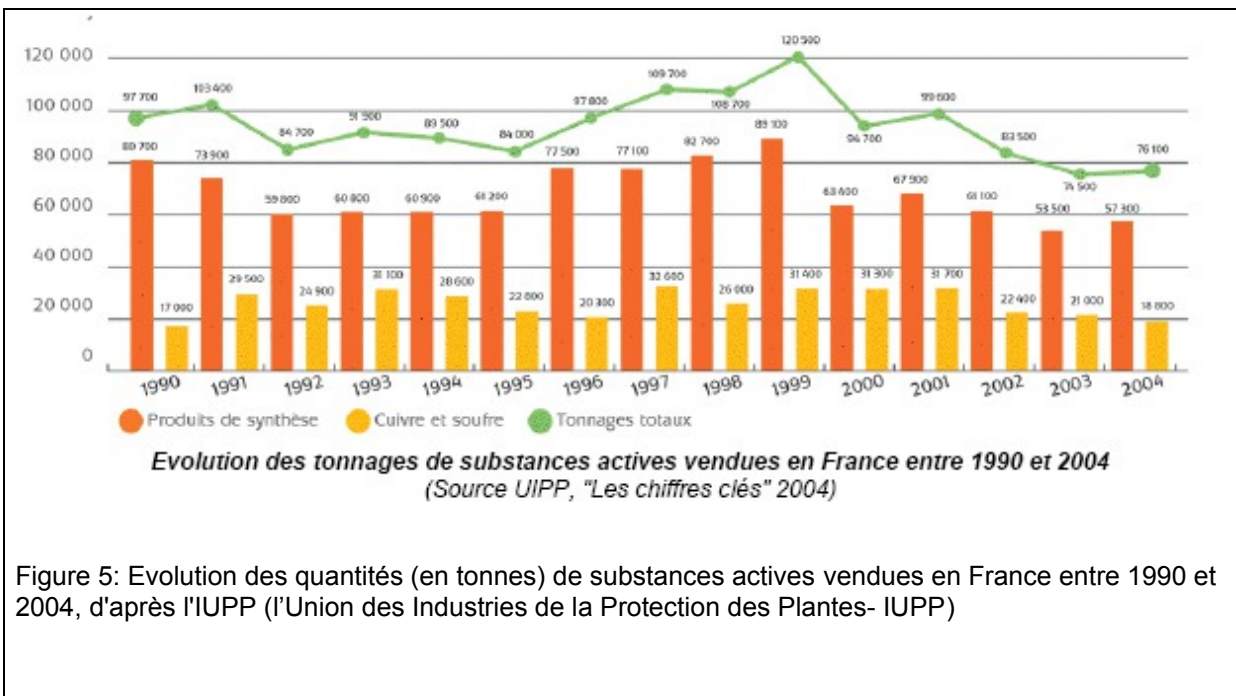
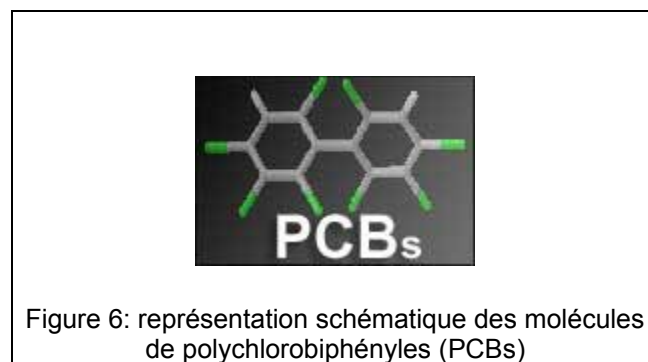


Figure 5: Evolution des quantités (en tonnes) de substances actives vendues en France entre 1990 et 2004, d'après l'UIPP (l'Union des Industries de la Protection des Plantes- UIPP)

La présence de pesticides dans toutes les phases atmosphériques est avérée, avec des concentrations variables dans le temps (caractère saisonnier, en lien avec les périodes d'application) et l'espace (proximité des sources), y compris pour des composés peu volatils. Selon un rapport de l'IFEN, en 2004, les pesticides sont présents dans 96% des points de mesure retenus pour la connaissance générale de la qualité des eaux superficielles, et dans 61% de ceux concernant les eaux souterraines. Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, l'objectif est de réduire de 50 % l'utilisation de pesticides d'ici 2018, via un plan d'actions baptisé "écophyto 2018".

IV.II. PCBs



Les polychlorobiphényles (PCBs) sont un groupe de composés chimiques synthétiques autrefois largement utilisés, principalement dans le matériel électrique, mais qui ont été interdits dans de nombreux pays à la fin des années 70 en raison de leurs impacts sur l'environnement. C'est à cette époque-là que l'apport en PCBs provenant des aliments carnés chez les adultes a atteint un pic, pour ensuite diminuer et atteindre un niveau plus bas dans les années 90 (dans l'air dans l'eau, et dans les sédiments). En raison de leur grande stabilité, les produits sont encore présents dans l'environnement aujourd'hui. On estime ainsi que 10 % des PCBs émis depuis le début de leur synthèse (1929) sont toujours présents dans l'environnement. Les PCB sont utilisés dans de nombreux produits, notamment le matériel électrique, les revêtements de surface, les encres, les adhésifs, les retardateurs de flamme, et les peintures. Les PCBs peuvent par exemple être rejetés dans l'environnement lors de l'incinération ou du stockage en décharge de déchets contenant ces substances. Tous les PCBs sont des substances synthétiques présentant

une structure de base similaire. Ils contiennent des atomes de carbone, d'hydrogène et de chlore. Comme les combinaisons de ces atomes sont multiples, il est possible de former plus de 200 PCBs différents, certains plus nocifs que d'autres. Les PCBs sont généralement très stables, ce qui explique leur persistance dans l'environnement. À haute température, ils peuvent se décomposer pour former des sous-produits dangereux tels que des dioxines. En règle générale, les PCBs ne s'évaporent pas et ne se dissolvent pas facilement dans l'eau. Comme les dioxines, ils sont en revanche très solubles dans les graisses et autres substances similaires, ce qui explique pourquoi les PCBs vont se bioaccumuler et affecter les organismes terrestres et aquatiques situés au sommet de la chaîne alimentaire. Les PCBs ont une forte affinité avec les sols et les sédiments des lacs et des rivières dans lesquels ils peuvent rester très longtemps enfouis avant d'être finalement libérés dans l'eau ou dans l'atmosphère. Les PCBs se décomposent dans l'atmosphère sous l'effet de la lumière du soleil. Le temps de demi-vie (temps nécessaire pour que la moitié de la quantité initialement présente soit décomposée) des PCBs atmosphériques varie de quelques jours à quelques mois. Dans l'eau, les sols et les sédiments, la dégradation des PCBs est plus lente et peut résulter de l'action de la lumière du soleil ou de micro-organismes qui peuvent jouer un rôle important dans les processus d'élimination des PCBs. Logiquement, les concentrations de PCBs dans l'air sont plus basses dans les zones rurales et reculées que dans les zones urbaines et industrielles. De même, les concentrations de PCBs dans l'eau de mer sont souvent plus élevées à proximité de zones industrielles. En règle générale, les concentrations de PCB dans l'air intérieur sont au moins dix fois plus élevées que dans l'air extérieur. On estime que le grand public est exposé à de faibles concentrations de PCBs dans l'atmosphère, seuls les travailleurs intervenants dans les installations d'élimination des PCB pouvant être exposés à de fortes concentrations. Les expositions à travers l'eau potable sont faibles concentrations, et en général inférieures aux limites de détection.

V. Glossaire:

- Chaîne trophique: Une chaîne trophique ou alimentaire est une suite d'êtres vivants de différents niveaux dans laquelle chacun mange des organismes de niveau inférieur dans le but d'acquérir de l'énergie. Le premier maillon d'une chaîne est toujours un organisme autotrophe. Dans les mers et océans, le phytoplancton assure ce rôle. L'humain est souvent le dernier élément de la chaîne : c'est un superprédateur.

- Seveso: La catastrophe de Seveso intervient le 10 juillet 1976. Un nuage contenant de la dioxine s'échappe du réacteur d'une usine chimique et se répand dans la plaine lombarde, en Italie. Quatre communes, dont Seveso, sont touchées. 1 à 5 kg de 2,3,7,8-TCDD, produit plus connu sous le nom de dioxine de Seveso, ont été dispersés dans l'atmosphère.

- I-TEQ: Quantité de toxicité équivalente internationale (I-TEQ, International-Toxicity Equivalent Quantity). Les propriétés cumulatives et toxiques des dioxines sont dépendantes de leur structure chimique en fonction de la position et du nombre d'atomes de chlore dans la structure de base. La potentialité toxique d'une furane donnée (TEF) se calcule par référence au composé le plus toxique (2,3,7,8-TCDD) comme suit:

$$TEF = \frac{\text{Potentialité toxique du composé individuel}}{\text{Potentialité toxique de la 2,3,7,8-TCDD}}$$

La concentration d'un composé toxique peut être convertie en une valeur d'équivalent toxique international (I-TEQ, International toxic equivalent quantity). Le TEQ indique la quantité (exprimée en g, mg, µg, pg...) de 2,3,7,8-TCDD nécessaire pour produire le même effet toxique que celui susceptible d'être induit par le composé étudié à la dose mesurée. On peut donc faire la somme des TEQ de chaque constituant d'un mélange pour estimer sa toxicité globale.

Isomère: En chimie organique, deux isomères sont deux molécules qui possèdent la même formule brute mais qui ont des formules semi-développées ou des formules développées différentes. Ces isomères ont des propriétés physiques, chimiques et biologiques différentes.