

CHAPITRE 02 : IMPACT DES PESTICIDES SUR LES ECOSYSTEMES

1. IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

En plus de tuer l'espèce visée (insecte, champignon, les plante indésirable...), les effets des pesticides sur l'environnement sont nombreux. Les substances et/ou les molécules issues de leur dégradation sont susceptibles de se trouver dans différents partie de l'environnement (l'air, le sol, les eaux, les sédiments, ainsi que dans les aliments) .

Elles présentent, par leur migration entre ces compartiments de l'environnement, des dangers plus ou moins importants pour l'homme et les écosystèmes, avec un impact à court ou à long terme.

Les phénomènes de transfert qui affectent les produits phytosanitaires sont complexes et les réactions possibles des écosystèmes à leur présence sont largement méconnues .

La figure suivante présente les différentes interactions qui peuvent avoir lieu entre les pesticides et les écosystèmes.

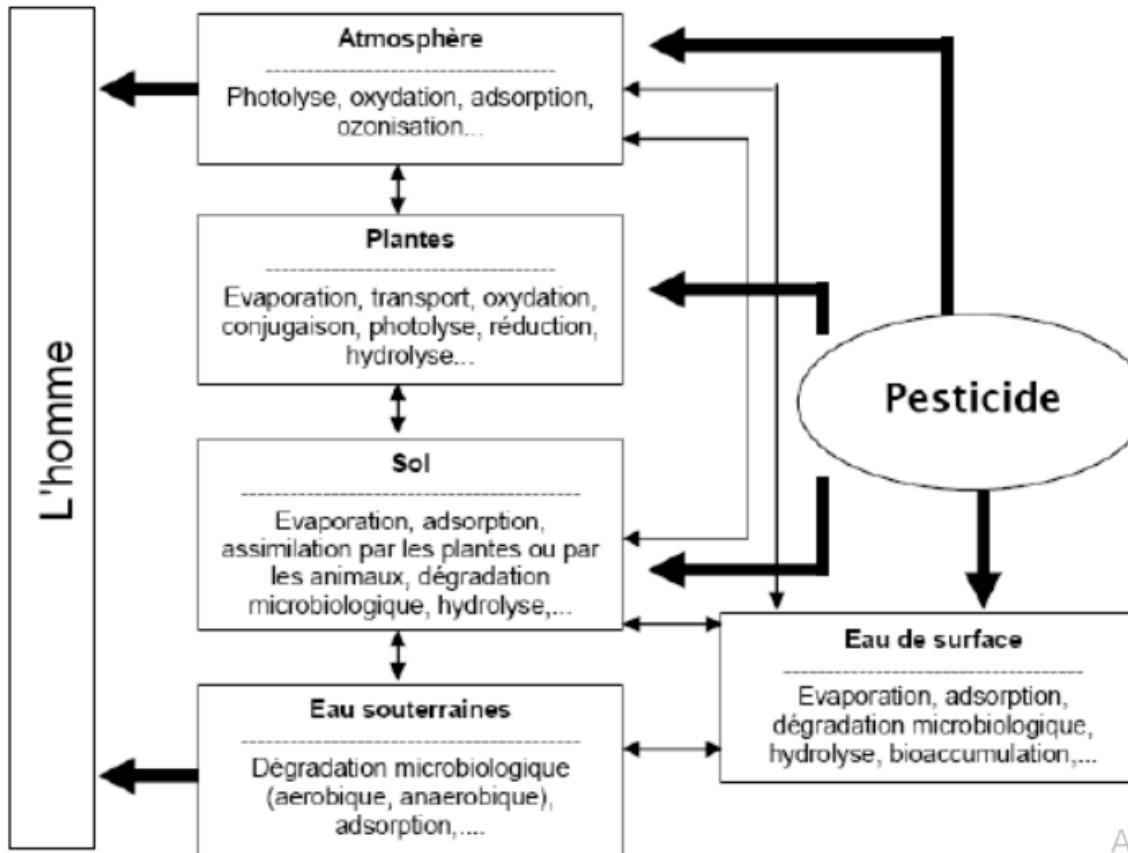


Figure : interaction entre pesticides et écosystème

Le transport des pesticides est gouverné par quatre facteurs majeurs:

- ✓ Les propriétés chimiques du produit ; la solubilité dans l'eau, l'ionisation, la volatilité, la persistance dans le milieu, la présence de groupes réactionnels...etc.
- ✓ Les propriétés du sol : structure, type et quantité des argiles, pourcentage de matière organique, pH, taux d'humidité, faune et flore, etc.
- ✓ Les conditions et le type d'application : taux d'application, surface traitée, nature de la cible, nature de la formation, moment d'application, etc.
- ✓ Les conditions climatiques et hydrogéologiques : intensité et fréquence de la pluie température du sol, profondeur de la nappe, etc.

A. IMPACT DES PESTICIDES SUR LA QUALITE D'EAU :

La dispersion des pesticides dans les eaux peut engendrer des nuisances aussi bien au niveau de leur potabilisation que de leurs richesses écologiques.

Cette pollution diffuse est liée à l'entrainement de ces produits par transfert en surface ou en profondeur des eaux d'irrigation et des pluies vers les fleuves, les lacs, les nappes phréatiques ou encore les mers et les océans.

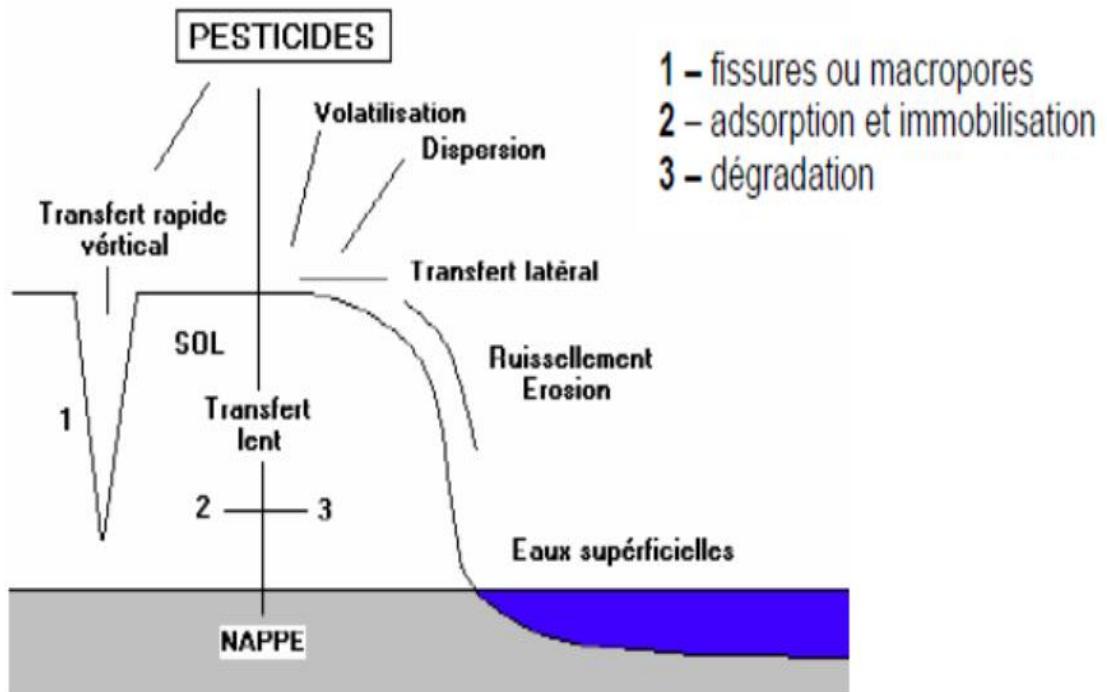
Ce phénomène de transport dépend en grande partie des conditions climatiques, des caractéristiques du produit, de la topographie et des pratiques culturales.

1. Transfert horizontal : Ce phénomène se traduit par entraînement des produits par ruissellement soit sous forme dissoute soit fixée aux particules du sol. Pour les événements pluvieux intervenants justes après l'application, les pertes peuvent dépasser 2% de la quantité appliquée.

Généralement, ce mode de transfert intervient dès que la pluviométrie dépasse la capacité d'adsorption des sols .

2. Transfert vertical : Les modalités du transfert vertical de l'eau sont très complexes du fait de l'extrême variabilité et l'hétérogénéité des sols. Pour un sol argileux, la vitesse de la filtration est très faible alors que la perméabilité des sols à structure grossière est trop importante. Le lessivage des pesticides est en fonction de leur stabilité et dépend en grand partie de la présence des fissures et d'irrégularités dans le terrain.

La figure suivante résume les différents aspects du transfert des pesticides vers les eaux.



3. Dégradation chimique dans l'eau :

Quel que soit leur mode d'utilisation, la plupart des pesticides employés atteignent les eaux de surfaces et souterraines.

Ces molécules peuvent ensuite être soumises à des réactions d'hydrolyse ou d'oxydoréduction qui sont en fonction de leur persistance. Les produits très peu solubles dans l'eau ou qui se trouvent en suspension, résistent beaucoup plus aux phénomènes de dégradation en milieux aqueux.

Le tableau suivant montre la persistance dans l'eau de 10 catégories de pesticides.

Famille des pesticides	Persistance dans l'eau
Organochloré	2 à 5 ans
Dérivés de l'urée	4 à 10 mois
Acide benzoïques	3 à 12 mois
Amides	2 à 10 mois
Toluidines	6 mois
Nitriles	4 mois
Carbamates	2 à 8 semaines
Acides aliphatiques	3 à 10 semaines
organophosphorés	7 à 84 jours
triazines	3 à 18 mois

Les organochlorés très peu solubles dans l'eau ont une stabilité chimique très importante. Ils sont d'autant plus stables que le nombre d'atomes de chlore fixés est élevé

B. IMPACT SUR L'ATMOSPHERE

En générale, les pertes des pesticides par les processus de volatilisation est le plus important, c'est un processus dominant le contrôle de la dispersion de certains produits phytosanitaires dans l'environnement, des études ont montré que les pertes par volatilisation peuvent atteindre 80 à 90% de la quantité appliquée.

La volatilisation :

C'est l'une des causes principales de fuites de pesticides hors de la zone cible, notamment quand les traitements visent la surface du sol ou celle des végétaux. Ces pertes 36 dépassent souvent en importance celles dues à la dégradation chimique, au ruissellement et à la lixiviation , le transport et le dépôt aérien sont les principaux responsables de la dispersion des pesticides sur la terre .

Les pertes par volatilisation, maximales après une application faite sur un sol ou sur du feuillage humides , sont considérablement réduites par l'incorporation du pesticide au sol ; elles dépendent alors des remontées à la surface des résidus chimiques par diffusion ou par mouvements de convection de l'eau du sol.

La constante de Henry H, rapport de la tension de vapeur à la solubilité dans l'eau, rend mieux compte du taux de volatilisation d'une substance que sa seule pression de vapeur .

C. Contamination l'eau :

Les pesticides et leurs résidus se retrouvent dans les eaux de surfaces (cours d'eau et étendues d'eau) ainsi que dans les eaux souterraines et marines .

La pollution des eaux souterraines due aux pesticides est un problème mondial. Une fois que les eaux souterraines sont polluées par des produits chimiques toxiques, la contamination peut prendre plusieurs années pour se dissiper ou être nettoyée. Le nettoyage peut également être très coûteux et complexe .

Les eaux de surface destinées à la consommation ne contenaient que faibles concentrations des pesticides, rien ne semble indiquer que ces concentrations puissent présenter un danger significatif pour la santé.

Les pesticides trouvés dans l'eau potable sont particulièrement préoccupants, car ils pourraient avoir des effets sur la santé et causé des maladies graves tel que le cancer et les maladies génétiques héréditaires.

Un grand nombre d'insecticides et quelques herbicides et fongicides, peuvent avoir un effet毒ique pour les organismes aquatiques, et peut avoir un effet nuisible sur le milieu naturel . La commercialisation du poisson contaminé, peut également représenter une menace pour la santé humaine.

D . Effet des pesticides sur les espèces

- De nombreux pesticides sont toxiques pour les insectes bénéfiques, les oiseaux, les mammifères, les amphibiens et les poissons. L'empoisonnement de la faune sauvage dépend de la toxicité du pesticide, la quantité appliquée, la fréquence, le moment et la méthode de pulvérisation .
- Les animaux peuvent être intoxiqués par contact lors du traitement aérien, ou bien par ingestion. Les semences traitées par exemple, sont dangereuses pour la faune granivore et peuvent provoquer des mortalités importantes chez les populations d'oiseaux .
- La faune est exposée aux pesticides en mangeant des aliments ou de l'eau contaminés, en respirant les vapeurs des pesticides ou par l'absorption de ces derniers à travers leur peau. Les prédateurs peuvent être empoisonnés en mangeant des animaux qui ont été exposés aux pesticides.
- Beaucoup d'insecticides affectent le système nerveux des animaux sauvages, ce qui peut interférer avec leur capacité à survivre ou à se reproduire .
- Les pesticides peuvent passer à travers le placenta ou affecter les œufs des oiseaux ou des reptiles, ce qui cause des affaiblissements ou des défauts qui apparaissent plus tard dans la vie. Les herbicides, utilisés pour tuer les mauvaises herbes, affectent les plantes qui sont importantes pour la survie de la faune.
- Les poissons, les amphibiens et les insectes aquatiques sont spécialement susceptibles à la contamination de l'eau par les pesticides

- Les impacts précis des pesticides sur les populations de phytoplancton sont inconnus, mais parce qu'ils sont conçus pour tuer les plantes, les herbicides ont les impacts les plus importants, en outre, certains insecticides sont toxiques pour les plantes aquatiques .
 - Les fongicides à base de cuivre sont hautement toxiques pour les organismes aquatiques, car le risque d'accumulation du cuivre dans les poissons et certains autres organismes aquatiques peut être élevé. Alors que Les insecticides chlorpyrifos et endosulfan ont la capacité de causer de sérieux préjudices aux amphibiens, à des concentrations présentes dans l'environnement inférieures aux conditions normales d'utilisation .
-
- Les populations d'oiseaux sont directement touchées par empoisonnement aux organophosphorés ou aux insecticides carbamates et aux rodenticides anticoagulant. L'intoxication sublétale des oiseaux par les organophosphorés peut provoquer des changements néfastes dans leur comportement. • Les herbicides à large spectre menacent des espèces d'oiseaux rares et en danger en réduisant l'abondance des mauvaises herbes (mangées par les oiseaux) et des insectes abrités par ces mauvaises herbes. Les insecticides réduisent le nombre d'insectes, qui sont une source de nourriture importante pour les oiseaux.
 - Les rodenticides anticoagulant empoisonnent souvent indirectement les mammifères prédateurs et les rapaces. • Les herbicides peuvent provoquer des changements de végétation et d'habitat qui menacent les mammifères, et les insecticides peuvent réduire la disponibilité des insectes, importante source de nourriture.
 - L'empoisonnement de la faune sauvage dépend de la toxicité d'un pesticide et de ses autres propriétés (par exemple, les pesticides solubles dans l'eau peuvent polluer les eaux de surface), de la quantité appliquée, de la fréquence, du moment et de la méthode de pulvérisation (par exemple, la pulvérisation fine a tendance à être emportée par le vent), du climat, de la structure de la végétation et du type de sol. Les insecticides, rodenticides, fongicides (pour le traitement des semences) et les herbicides, encore plus toxiques, menacent la faune sauvage qui y est exposée. Durant ces 40 dernières années, l'utilisation des très toxiques carbamates et organophosphorés a fortement augmenté. les organochlorés tels que l'endosulfan, fortement persistants dans l'environnement, sont encore utilisés à

grande échelle. Comme le changement d'habitat, l'empoisonnement aux pesticides peut provoquer le déclin majeur d'une population qui menacera les espèces rares.

- Les pesticides utilisés en agriculture peuvent réduire l'abondance des mauvaises herbes et insectes, qui sont une source importante de nourriture pour de nombreuses espèces. Les herbicides peuvent changer les habitats en altérant la structure de la végétation, et finalement conduire au déclin de la population. Les fongicides ont également permis aux agriculteurs de ne plus avoir recours aux ‘cultures secondaires’ telles que l’herbe ou les racines. Cela a conduit au déclin de certaines mauvaises herbes des terres arables.
- Les pesticides affectent la faune sauvage directement et indirectement via les sources d’alimentation et les habitats.
 - L’empoisonnement de la faune sauvage par des insecticides, rodenticides, fongicides (sur les semences traitées) et herbicides très toxiques peuvent provoquer le déclin majeur d’une population.
 - Les pesticides accumulés le long de la chaîne alimentaire, particulièrement les perturbateurs endocriniens, présentent un risque à long-terme pour les mammifères, les oiseaux, les amphibiens et les poissons.
 - Les insecticides et herbicides à large spectre réduisent les sources de nourriture pour les oiseaux et les mammifères. Cela peut amener à un déclin substantiel des populations d’espèces rares.
 - En altérant la structure de la végétation, les herbicides peuvent rendre les habitats inappropriés pour certaines espèces. Cela menace les insectes, les oiseaux des zones agricoles et les mammifères.

Les abeilles assurent une pollinisation essentielle. Les abeilles mellifères subissent la pression des acariens parasites, des maladies virales, de la perte d’habitat et des pesticides. Les pratiques agricoles intensives, la perte d’habitat et les produits agrochimiques sont considérés comme étant parmi les principales menaces environnementales pesant sur les abeilles mellifères et sauvages d’Europe. La politique agricole doit réduire ces pressions pour s’assurer de l’existence de populations de pollinisateurs adéquates

- Les pesticides hautement toxiques pour les abeilles, bourdons et autres insectes bénéfiques sont : les carbamates (ex. : aldicarbe, benomyl, carbofurane, methiocarbe), les organophosphorés (chlorpyrifos, diazinon, dimethoate, fenitrothion), les pyréthroïdes (ex. : cyfluthrine, cyhalothrine) et les néonicotinoïdes (ex. : imidaclopride, thiamethoxam, clothianidine).
- Récemment, le clothianidine utilisé dans les traitements de semences a causé un empoisonnement très étendu d'abeilles. Les résidus d'imidaclopride dans les plantes peuvent altérer de façon néfaste le comportement des abeilles.

Les pesticides touchant les amphibiens et les espèces aquatiques

- Les insecticides et les herbicides présents dans les eaux de surface (arrivés par dérive au vent des pulvérisations ou ruissellement) peuvent altérer la composition des espèces des communautés aquatiques et affecter les poissons et les invertébrés.
 - Les insecticides (organophosphorés, carbamates) ont des effets toxiques sur le système nerveux des amphibiens qui peuvent altérer leur comportement. Les herbicides (par exemple, l'atrazine) peuvent affaiblir le système immunitaire des têtards de grenouilles, ce qui peut rendre les amphibiens encore plus sensibles aux parasites néfastes comme les nématodes. Les effets indirects peuvent être fatals.
 - Les urées substituées (herbicides) telles que le diuron contaminent fréquemment les eaux de surface et les eaux souterraines. Les fongicides à base de cuivre sont hautement toxiques pour les poissons et ont la capacité de s'accumuler.

Les effets des pesticides sur les communautés de plantes :

Certains herbicides sont hautement toxiques pour les plantes à des doses très faibles, par exemple : les sulfonylurées, les sulfamides et l'imidazolinone. Le tribenuron-methyl a affecté la croissance des algues et l'activité des micro-algues à des concentrations très faibles. Dans une étude sur les effets des herbicides sulfonylurées sur le phytoplancton, il a été conclu que ces herbicides

présentent un danger potentiel pour les systèmes aquatiques, même à de faibles concentrations dans l'environnement. Les sulfonylurées ont remplacé les autres herbicides qui sont plus toxiques pour les animaux. Dans la culture de pommes de terre, le sulfometuron-methyl a provoqué des pertes majeures de rendement, même lorsqu'il est utilisé à des taux inférieurs aux doses recommandées . Les experts ont averti que l'usage largement répandu des sulfonylurées « pourrait avoir un impact dévastateur sur la productivité des cultures non ciblées et la constitution des communautés naturelles de plantes et de la chaîne alimentaire de la faune sauvage » . L'hexazinone est un triazine persistant avec une forte lixivabilité

La pression croissante de l'agriculture sur les habitats et la biodiversité :

L'usage des pesticides (particulièrement des herbicides) et des engrains chimiques a augmenté de manière radicale ces 60 dernières années. Dans les pays industrialisés, les pratiques agricoles ont fondamentalement changé. A travers le monde, on estime que les êtres humains utilisent environ 20% de la production primaire nette (matière organique des plantes produite par photosynthèse).

- Les modifications de l'habitat et de la biodiversité ont été dues à la fois au changement climatique et à l'usage croissant des ressources animales et végétales par les individus.
- L'apport massif de pesticides a été un élément clef de l'intensification de l'agriculture. Ceci est étroitement lié aux évolutions des pratiques agricoles et à la destruction ou perte d'habitat. • Entre 1990 et 2006, la surface totale traitée aux pesticides a augmenté de 30% au Royaume-Uni, et la surface traitée aux herbicides de 38%
- Dans les habitats des zones agricoles, le déclin des populations est survenu pour à peu près la moitié des plantes, un tiers des insectes et 4/5 des espèces d'oiseaux .

Les pesticides diminuent-ils la fertilité du sol ?

Qu'est-ce que la fertilité du sol ? Un sol fertile fournit les nutriments nécessaires pour promouvoir la croissance des plantes, constitue l'habitat d'une communauté active et diverse d'organismes, et présente une structure qui est caractéristique du lieu et qui permet la décomposition continue des résidus organiques

En Afrique du Sud, l'activité de nourrissage des organismes du sol était plus importante dans les sols des vignobles biologiques que dans ceux des sites traités conventionnellement . Le nombre de vers de terre était 1,3 à 3,2 fois supérieur dans les parcelles biologiques comparé aux parcelles conventionnelles, et la longueur des racines de plantes colonisées par la mycorhize était 40 % plus élevé dans les systèmes biologiques que dans les conventionnels (Mäder et al 2002). Le triclopyr, un herbicide, a provoqué une réduction majeure de la croissance de la mycorhize sur des niveaux de sols surélevés.

Les herbicides sulfonylurées metsulfuron et, dans une moindre mesure, chlorsulfuron, sont à l'origine d'une réduction de la croissance des bactéries de sol pseudomonas.

En tests de laboratoire, une combinaison de deux herbicides sulfonylurées, bensulfuronmethyl (B) et metsulfuron-methyl, ont causé une réduction considérable de la biomasse microbienne de sol sur les 15 premiers jours.

Dans les communautés bactériennes de sol, le bromoxynile (un herbicide au nitrile) a provoqué des changements majeurs dans la composition et la diversité des espèces. Le bromoxynile a inhibé la croissance des bactéries capables de dégrader les produits chimiques dans le sol

Le captane (un fongicide) et l'herbicide glyphosate ont également causé un changement parmi les espèces des communautés bactériennes de sol.

Certains insecticides organophosphorés (le dimethoate par exemple) peuvent réduire l'activité et la biomasse des micro-organismes de sol, tandis que d'autres (comme le fosthiazate) peuvent en fait conduire à une augmentation de la biomasse microbienne . La façon dont les pesticides affectent la fertilité du sol sur le long-terme n'est pas très bien comprise, cela dépendant de nombreux facteurs. • Les pesticides affectent les vers de terre, la mycorhize symbiotique et d'autres organismes de sol.

- La composition et l'activité des communautés bactériennes peuvent être modifiées par les pesticides

LA BIODISPONIBILITÉ ET LE PASSAGE DES POLLUANTS DANS L'ORGANISME :

La biodisponibilité désigne « la fraction de produit chimique présent dans le milieu environnemental qui est disponible pour être accumulée par les organismes » (G. M. Rand, P. G. Wells et L. S. Mc Carthy. 1995. Introduction to Aquatic Toxicology. Effects, environmental fate and risk assesment., London, pp. 3-67: Taylor and Francis) Une fraction significative de polluant chimique introduit dans le milieu pourra être transférée dans le compartiment biologique et ainsi circuler dans les réseaux trophiques.

Les principales voies d'entrée du polluant dans les organismes sont les suivantes :

- Respiratoire - Transtégumentaire (ou cutanée) - Trophique (alimentation, très importante)

Les polluants, après incorporation via les différentes voies d'entrée, vont se retrouver dans la circulation sanguine dans un premier temps. Il faut que ces molécules soit un minimum hydrosoluble afin de pouvoir se déplacer dans les divers milieux biologiques qui sont

majoritairement aqueux. Ces contaminants (xénobiotiques = corps étrangers à l'organisme) vont devoir passer différentes barrières afin d'arriver à leurs sites récepteurs sensibles = organes cibles

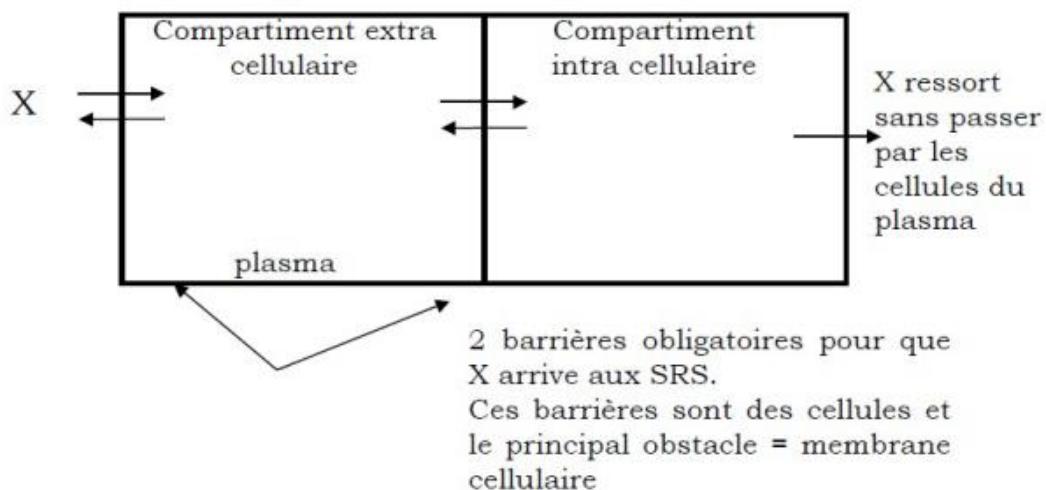


Figure : barrières à franchir pour les polluant.

Après absorption à travers les membranes, les polluants se retrouvent dans la circulation sanguine ou un équivalent. Il va se retrouver sous deux formes, une forme libre, qui correspond à la fraction du xénobiotique hydrosoluble dans la phase aqueuse du sang, et une forme liée, qui est le résultat de la fixation d'une partie lipophile du polluant à des constituants plasmatiques.

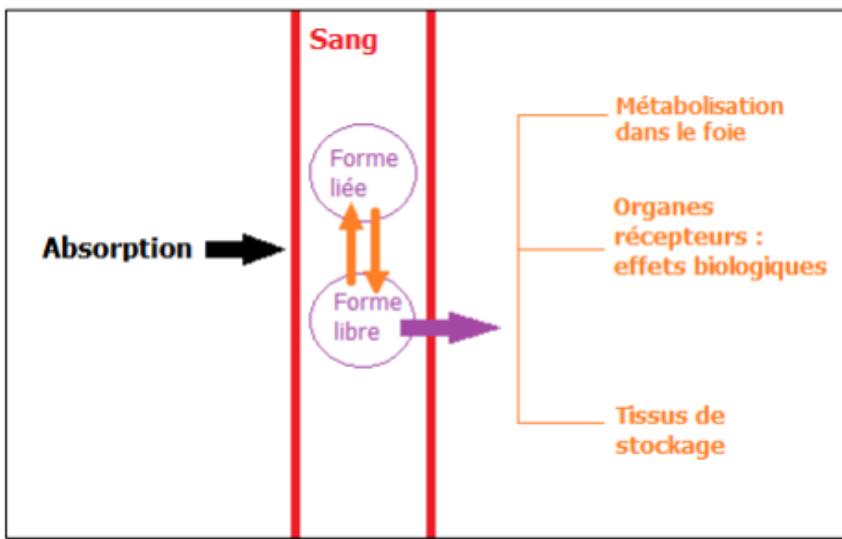
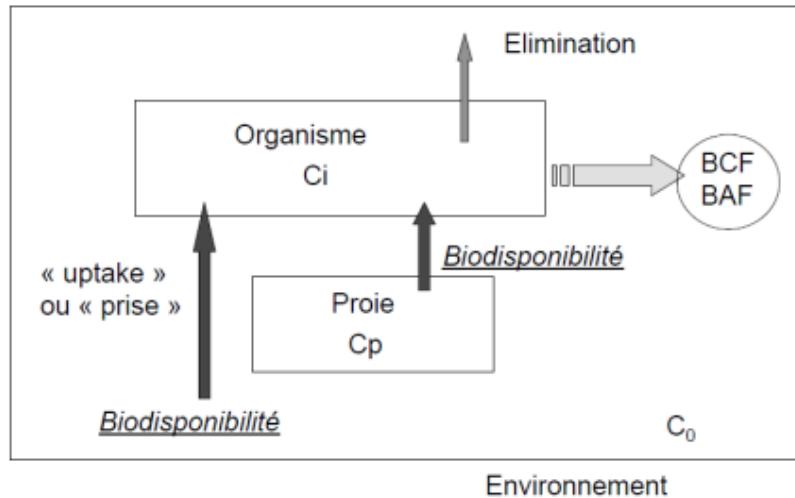


Figure : distribution polluant dans l'organisme

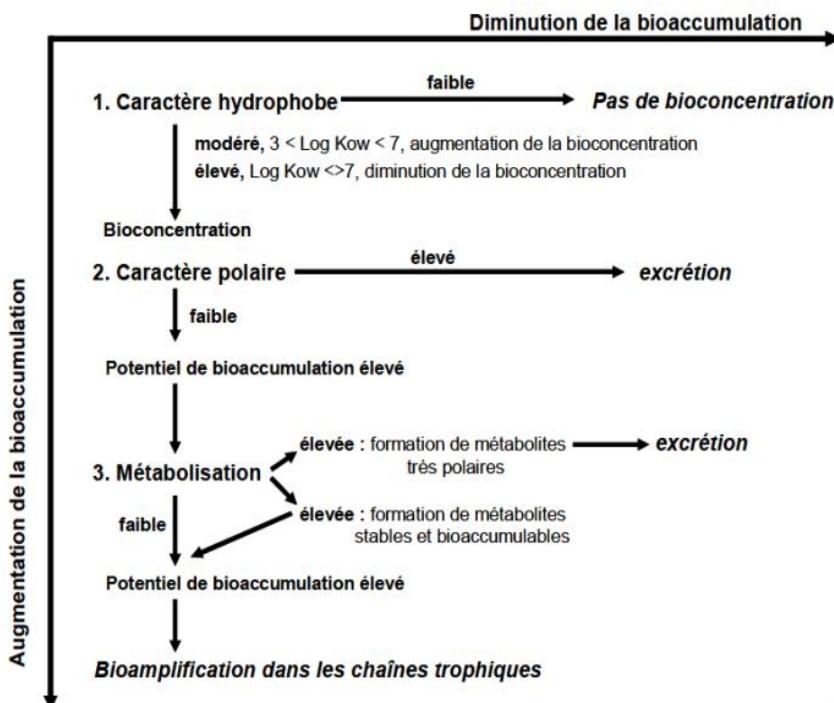
Les polluants, selon leurs natures, vont subir des actions différentes dans l'organisme

- Métabolisation par le foie : transformation du polluant par divers mécanismes pour en faire soit une molécule plus hydrosoluble et donc plus éliminable par l'organisme, soit une molécule plus毒ique pour l'organisme.
- Stockage dans différents tissus : graisses
- Fixation à des récepteurs présents sur les organes cibles : effets toxiques ou biologiques
- Excrétion : élimination du polluant par l'organisme

LA BIOACCUMULATION DES POLLUANTS : Lorsque les polluants sont entrés dans les organismes, par adsorption ou incorporation, ils vont avoir tendance à se bioaccumuler. Au fil du temps, les concentrations de ces substances présentes dans l'organisme deviennent plus élevées que dans son environnement immédiat. Cette bioaccumulation peut être quantifiée par le calcul du facteur de concentration (FC). Ce facteur est égal à la concentration du polluant dans une matrice biologique divisé par la concentration du contaminant dans le milieu « source ».



Légendes : BCF = bioconcentration factor = C_i/C_0 ; BAF = bioaccumulation factor = C_i/C_p La bioaccumulation est influencée par les caractéristiques physico-chimiques de la substance absorbée.

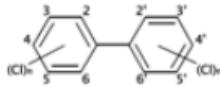


Plusieurs facteurs extrinsèques et intrinsèques affectent la bioaccumulation : - Niveau d'absorption de la substance - Mode d'absorption de la substance - Vitesse d'élimination de la substance - Mode

de transformation de la substance dans l'organisme - Capacité de dissolution complète de la substance dans l'eau - Reproduction et migration vers les zones contaminées - Teneur en gras de l'organisme (les contaminants s'accumulent en adhérant aux tissus adipeux) - Âge de l'organisme (plus l'organisme est âgé, plus il a le temps d'accumuler des contaminants) - Autres facteurs environnementaux, biologiques et physiques. Les contaminants qui s'accumulent dans les végétaux, les poissons et autres animaux au cours du temps vont également traverser la chaîne alimentaire puisqu'ils ne sont pas toujours excrétés par l'organisme et qu'ils s'emmagasinent dans différents organes. Ce processus est désigné par le terme de « bioamplification » ou « bioaccumulation ».

LA BIOAMPLIFICATION : La bioamplification est donc l'accumulation d'une substance le long d'une chaîne trophique. Ce phénomène n'est cependant pas général : il est fréquent pour les polluants organiques (comme par exemple les Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et les Polychlorobiphényles (PCB)) mais exceptionnel pour les polluants métalliques.

Biomagnification



Exemples de teneurs en PCB dans la mer du nord et les organismes y vivant:

	Teneur (en mg/kg)
Eau de mer	0,000 002
Sédiments	0,01
Animaux invertébrés	7,8
Phytoplancton	8,4
Zooplancton	10,3
Poissons	19
Oiseaux de mer	110
Mammifères marins	160

PCB: polychlorobiphényle

Figure 9 : Bioamplification des PCB dans une chaîne trophique

Les deux figures précédentes montrent des exemples de bioamplification de différents polluants. Il y a bien une augmentation de la concentration en polluant à chaque maillon de la chaîne trophique.