

Pourquoi surveiller la qualité de l'environnement ?

Les perturbations de l'environnement remontent aux premières civilisations, à partir du XIX^{ème} siècle :
accentuation du processus

- Prise en compte de la gravité de polluer les écosystèmes

Apparition des contaminations à grande échelle

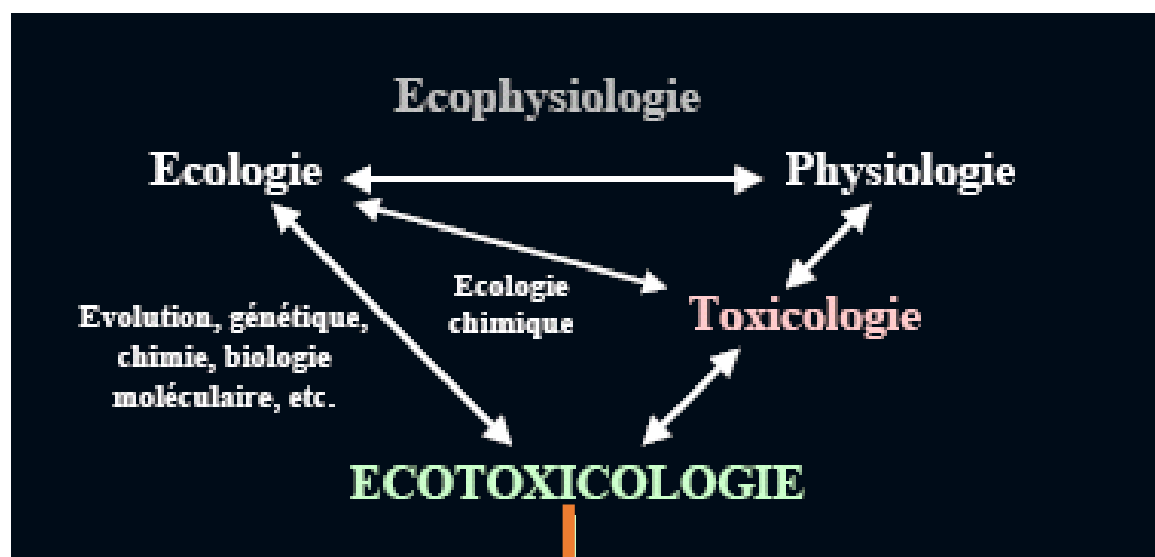
-Mercure, Cadmium, DDT, pétrole (1962-1979)....

- à partir de 1978 intensification des recherches consacrées aux problèmes de pollution des milieux naturels

**« Prise en compte de la gravité de polluer les écosystèmes n'est que
très récente ».**

ECOTOXICOLOGIE

Par définition, c'est une science pluridisciplinaire. Elle étudie au sein des écosystèmes les interactions entre les espèces et le milieu et fait appel à l'écologie. Elle étudie les effets des polluants sur les organismes vivants et fait appel à la toxicologie. Enfin, elle étudie les polluants et leur dispersion dans le milieu et fait appel à la chimie.



Évaluation de la qualité des milieux

Évaluation du risque

Gestion environnement

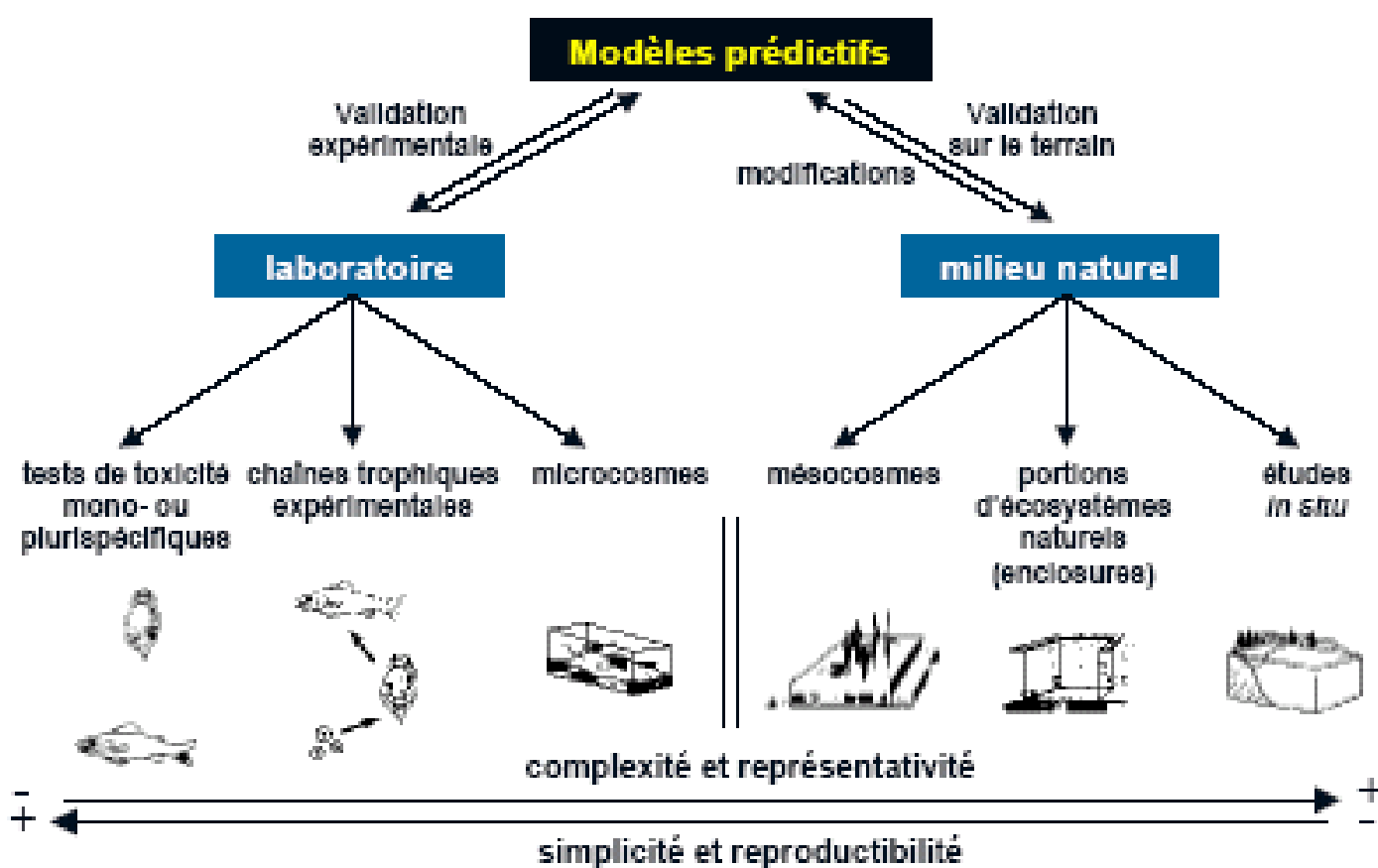
Spécificité de l'écotoxicologie

Etude des effets directs (ou indirects) et différés des polluants toxiques sur les individus les populations et les biocénoses

Champ et finalité de l'écotoxicologie

- Etude des polluants directement ou indirectement toxiques, excluant d'importantes catégories dont les effets écologiques ne résultent pas de phénomène de toxicité (pollution par les gaz à effet de serre, pollution thermique des eaux).
- Prévion des impacts potentiel de la pollution d'un écosystème donné ou d'une fraction de l'écosystème, individu, population communauté, par un produit chimique nouveau ou par un effluent complexe d'origine industrielle.

Les outils de l'écotoxicologie



Qu'est ce qu'un polluant ?

- Selon Moriarty (1983), le terme polluant se rapporte aux substances présentes dans l'environnement, en partie à cause des activités humaines et qui ont des effets délétères sur les organismes vivants.
- Selon Bang (1980), la pollution est essentiellement un jugement de valeur sur ce que chacun souhaite trouver dans l'environnement ; ce jugement étant ou non étayé par des données scientifiques et implique toujours un choix.

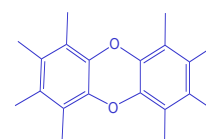
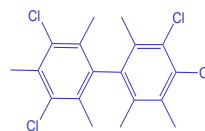
Principaux polluants environnementaux

- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- Les Polychlorobiphényle (PCB)
- Les Dioxines

COURS : ECOTOXICOLOGIE

- Pesticides
- Métaux lourds
- Plastifiants
- Surfactants non ioniques
- Dérivés halogénés
- Médicaments (PNSE)

L3 toxicologie



Le monitoring des polluants

Définition du monitoring : action de recherche et/ou de contrôle dont l'objet est de suivre dans le temps les changements éventuels des principales caractéristiques environnementales, biologiques et écologiques propres à une zone ou à un type d'habitat déterminés

Triple finalité du monitoring des polluants

1. Étudier les concentrations et la répartition des polluants dans l'environnement
2. Évaluer les effets de ces polluants, aux concentrations détectées, sur les populations et les écosystèmes exposés
3. Fixer le niveau maximum de rejet au site des sources d'émission des polluants pour s'assurer que les normes de qualité de l'environnement définies en (1) et (2) ne soient pas dépassées

Comment surveiller la qualité de l'environnement ?

Deux catégories d'indicateurs

-Détection des polluants et quantifications dans les milieux physiques et biologiques : Chimie

-Évaluation des effets des pollutions sur les organismes vivants

a- Sur les individus

b- Sur les populations et/ou les communautés

L'approche chimique

Détection et quantifications des polluants

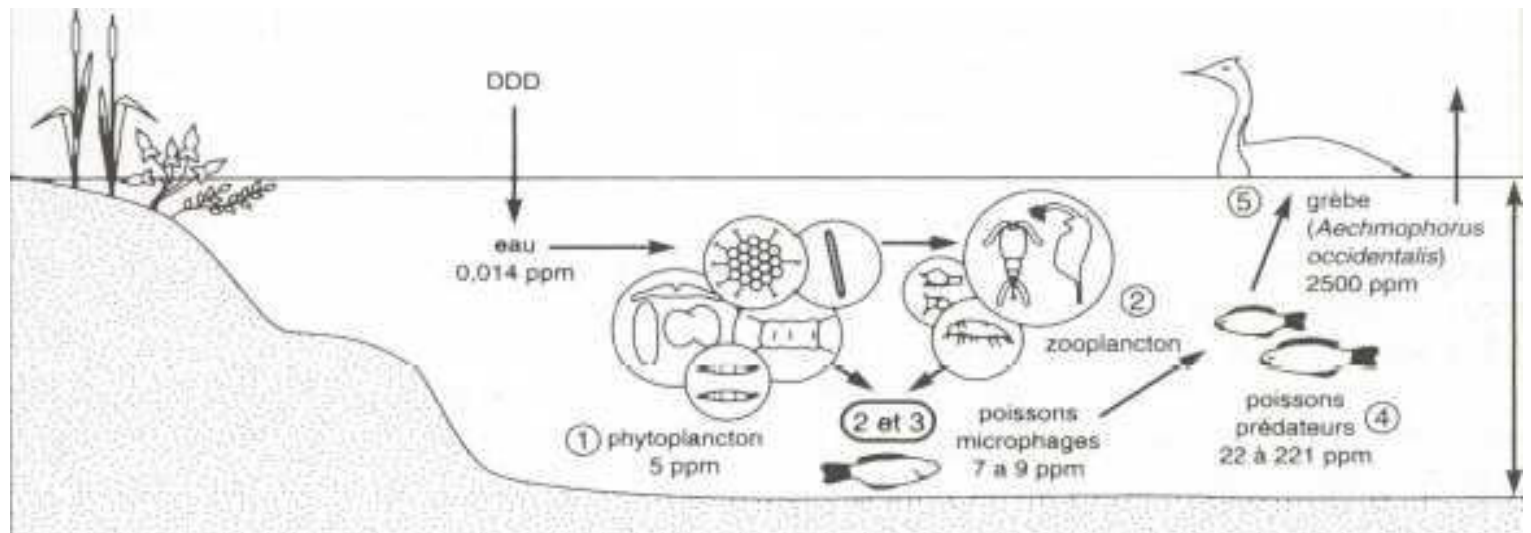
Utilisation de techniques analytiques donnant des informations sur la nature des molécules et leurs concentrations

- précision - sensibilité - reproductibilité

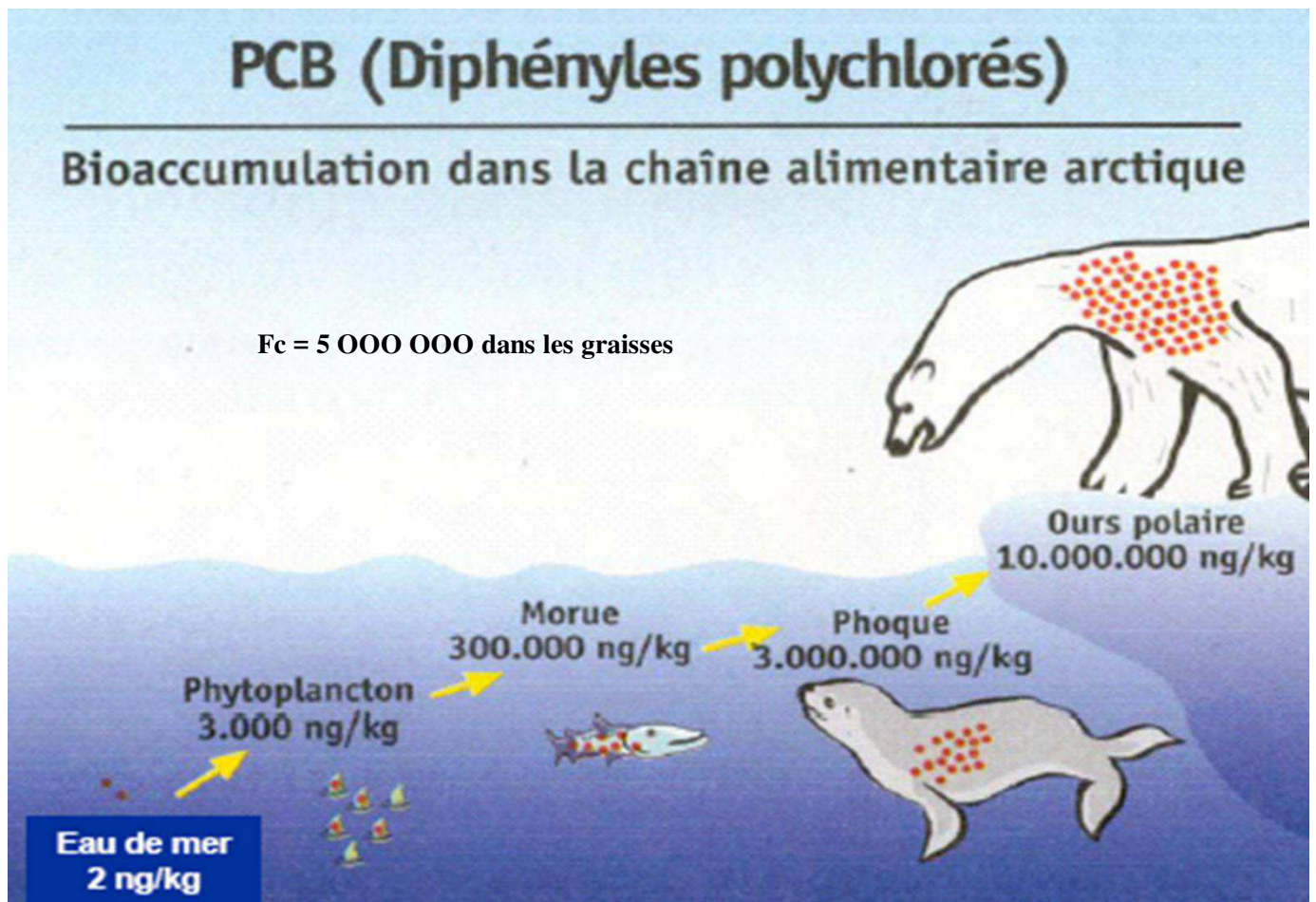
Bioamplification du DDD dans le réseau trophique de Clear Lake (USA)

- Lac de Californie
- Prolifération d'un moucheron (*Chaoborus astictopus*)
- Pulvérisation régulière de DDD entre 1949 et 1957

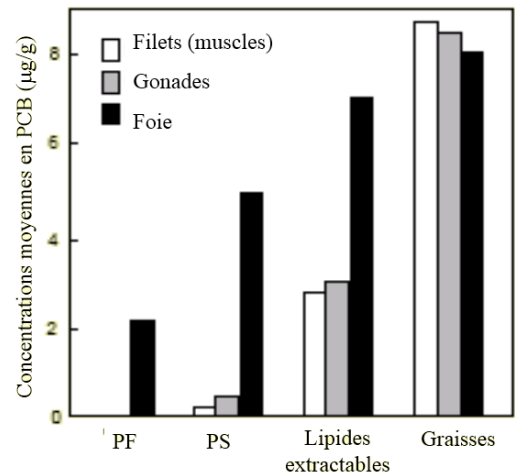
- Accumulation de DDD dans la chaîne trophique lacustre depuis le phytoplancton jusqu'au grèbe Fc = 178 500 dans les graisses



Bioamplification des PCB dans la chaîne trophique arctique



Concentrations moyennes en PCB dans divers organes de morue *Gadus morhua* calculées sur la base du poids frais, du poids sec, des lipides extractibles et des graisses



Bioaccumulation :

Somme des absorptions d'un polluant par voie directe et alimentaire par les espèces animales aquatiques ou terrestres

Bioconcentration :

Accroissement direct de concentration d'un polluant lorsqu'il passe de l'eau dans un organisme aquatique, de l'air ou des sols dans les plantes terrestres par pénétration Trans foliaire et/ou Trans radiculaire et dans les animaux terrestres par inhalation.

Bioamplification :

Phénomène par lequel une substance naturelle ou un contaminant présent dans un biotope connaît un accroissement de sa concentration au fur et à mesure qu'il circule vers les maillons supérieurs d'un réseau trophique.

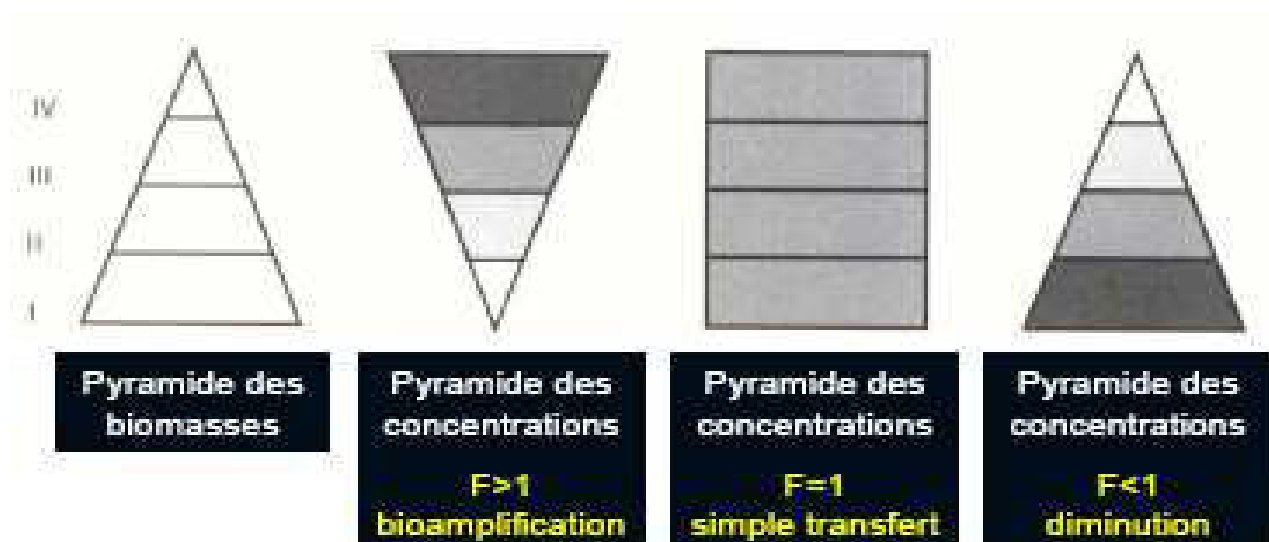
- **Facteur de concentration** : rapport de la concentration d'un polluant dans un organisme à sa concentration dans le biotope.

$$F_c = [\text{substance}]_{\text{organisme}} / [\text{substance}]_{\text{eau ou sol}}$$

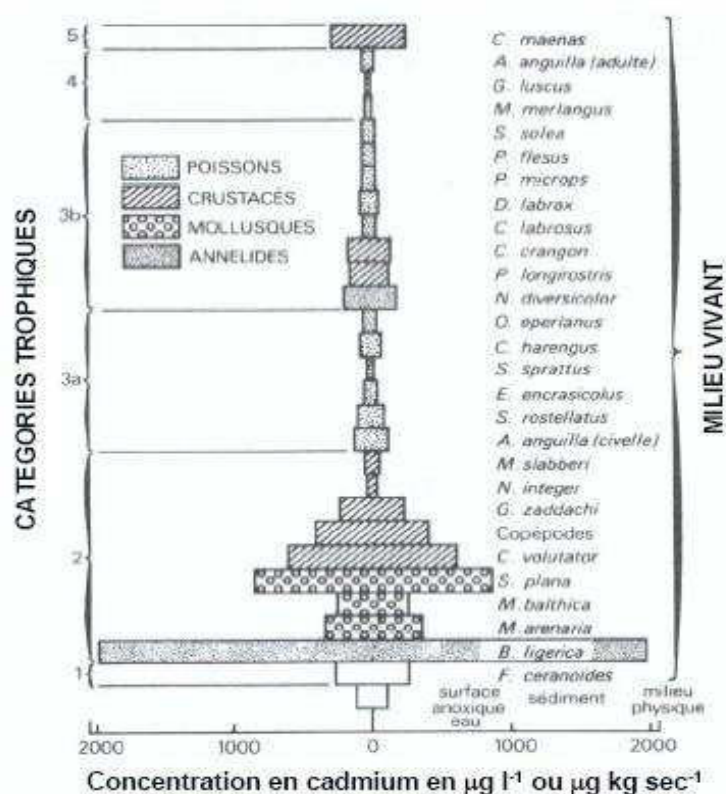
- **Facteur de transfert** : rapport de la concentration d'un polluant dans un organisme à sa concentration dans le biotope (>1 lors de bioamplification)

$$F_T = [\text{substance}]_{\text{organisme}} / [\text{substance}]_{\text{organisme niveau inférieur}}$$

Pyramide des concentrations dans les réseaux trophiques



Contaminations des réseaux trophiques marins par le cadmium



Séquestration - élimination :

Animaux :

- Séquestration : tissus adipeux, dents, cheveux, ongles, cornes, etc..
- Élimination : urines, fécès, transpiration, poumons, lait.

Plantes : notion de « Green liver »

- Séquestration : vacuoles, lignine,
- Élimination : transpiration

L'approche chimique :

Détection des polluants et quantifications

Utilisation de techniques analytiques : HPLC, GC, MS, ELISA, etc...

Avantages

- Nombre réduit d'échantillons
- Différentes matrices

Inconvénients

- Aucune technique ne peut doser tout les polluants à la fois.
- Problème de seuil de détection.
- Certains produits sont dégradés ou transformés : modification de la bio-disponibilité et de l'effet des molécules.
- Ne tiens pas compte de l'interaction entre molécules.

L'approche biologique :

Dès le début du XXe siècle, **KOLKWITZ et MARSON (Int. Rev. Hydrobiol. 1909) : proposition d'utiliser les communautés aquatiques comme indicateurs de la qualité des eaux de rivières.**

Aujourd'hui, deux approches complémentaires, basées sur l'étude des organismes vivants :

- Bioindicateurs et indicateurs biologiques.
- Biomarqueurs.

Bioindicateurs :

Espèces ou groupes d'espèces qui par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie :(Exemple IBD T. Debenest)

Exemple : l'indice biologique global normalisé (IBGN) :

- **Domaines d'application :**

- Évaluation de la qualité générale d'un cours d'eau
- détection de pollutions
- Classification des cours d'eau

- **Principe :**

Étude de la macrofaune benthique : identification et quantification des espèces en fonction de leur sensibilité aux polluants.

Indice biologique global normalisé :

Avantages

- Outil intégratif
- Permet de déterminer la santé d'un milieu à l'échelle d'un 'écosystème'

Inconvénients

- Difficulté d'application à tous les milieux
- Ne renseigne pas sur la nature des polluants
- Influencé par des facteurs extrinsèques

Indicateurs biologiques :

- Espèces ou groupes d'espèces dont les propriétés biologiques (mode de vie, physiologie) sont utilisées pour déterminer les niveaux de contamination d'un biotope

Caractéristiques d'un indicateur biologique idéal :

- Tous les individus de l'espèce bioindicatrice devraient présenter une corrélation identique et simple entre leur teneur en la substance polluante et la concentration moyenne de cette dernière dans le biotope ou l'alimentation, quelles que soient la localisation et les conditions environnementales
- L'espèce devrait être capable d'accumuler le polluant sans être tuée ni même que sa reproduction en soit perturbée par les niveaux maximum de polluants observés dans l'environnement
- L'espèce devrait être sédentaire afin d'être sûr que les concentrations trouvées soient bien en rapport avec la localisation géographique considérée
- L'espèce devrait être abondante dans la région étudiée et si possible devrait avoir une distribution géographique étendue pour favoriser les comparaisons entre zones distinctes
- Les espèces à forte longévité sont préférables car elles permettent un échantillonnage sur plusieurs classes d'âges si nécessaire. Elles permettent l'exposition à un contaminant pendant de longues périodes

- L'espèce devrait être de taille suffisante pour fournir des tissus en quantité importante pour analyse, voire pour permettre des analyses dans des organes spécifiques
- L'espèce devrait être facile à échantillonner et suffisamment résistante pour être amenée en laboratoire afin d'effectuer des études de décontamination

Facteurs influençant la fiabilité des indicateurs biologiques :

Facteurs intrinsèques (propres aux caractéristiques de l'espèce bioindicatrice et des individus qui la composent) et facteurs extrinsèques (environnementaux)

1. Les facteurs intrinsèques :

- les taux d'accumulation et d'excrétion
- l'état écophysiologique des individus
- l'interférence entre polluants dans leurs effets toxicologiques sur l'espèce considérée

1.1. Les taux d'accumulation et d'excrétion

Importance du rapport entre taux d'accumulation (T_a) et taux d'excrétion (T_e)

Si $T_a \gg T_e$: $[\text{polluant}]_{\text{organisme}} \gg [\text{polluant}]_{\text{biotope}}$

- indication des taux maxima atteints par le polluant dans le biotope

Si $T_a = T_e$: $[\text{polluant}]_{\text{organisme}} = [\text{polluant}]_{\text{biotope}}$

- indication des taux réellement présents dans le biotope, avec fluctuations similaires à celles observées dans l'environnement
- Rapport variable selon l'espèce bioindicatrice et les caractéristiques de la substance polluante
Organochlorés (Lindane ou DDT) très persistants : $T_a \gg T_e$
Organophosphorés (Fentrothion) peu persistants : $T_a = T_e$

1.2 Les conditions physiologiques des individus de l'espèce indicatrice

Variations de T_a en fonction des conditions écophysiologiques des organismes considérés

- Variation de la prise alimentaire
- Variation du statut reproducteur (maturation ou repos sexuel)
- Variation saisonnière du métabolisme et de la composition biochimique de différents organes
- Augmentation avec l'âge et la taille des individus d'une espèce donnée



Nécessité d'effectuer des prélèvements d'individus dans un même site à différents moments d'un cycle annuel

1.3. Interactions physiotoxicologiques des polluants

a- En règle générale, peu de modifications des taux de bioaccumulation suite à la coexistence de plusieurs contaminants dans un biotope donné

b- Parfois, biais causé suite à des effets de potentialisation ou d'antagonisme entre toxiques

- potentialisation : poissons (Cu, Cd)
- antagonisme : contamination des poissons aux organochlorés

c- Mécanismes influençant l'absorption et le relargage des micropolluants en interaction

- réduction ou augmentation de l'absorption suite à la formation de complexes entre polluants
- modifications physiologiques induites par un des xénobiotiques présents
- variation de la perméabilité des membranes, modifiant la pénétration des polluants
- inhibition ou stimulation du système enzymatique de détoxification (MFO)

Nécessité d'évaluer les interactions éventuelles entre polluants lors de la mise en place d'une étude

2. Les facteurs extrinsèques :

- La température
- Les précipitations (en particulier chez les végétaux)
- Le pH des eaux et des sols
- La salinité

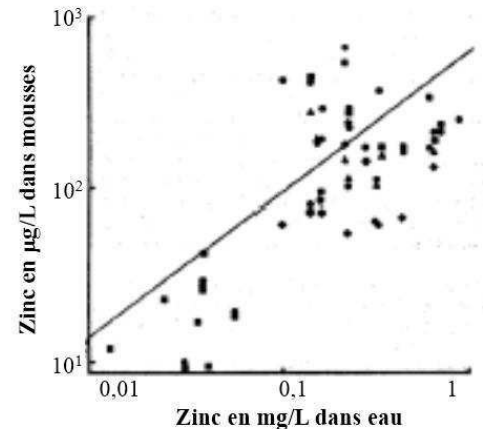
Utilisation des indicateurs biologiques

En milieu aquatique

• Les macrophytes aquatiques

• Forte aptitude des algues, bryophytes, phanérogames amphibies ou hydrophytiques à concentrer dans leurs tissus des éléments minéraux et organiques

Corrélation entre la concentration en zinc dans l'eau d'une rivière et son accumulation à l'extrémité de pousses de 3 espèces de mousses aquatiques du genre *Fontinalis*, *Amblystegium* et *Rynchostegium*



Les mollusques lamellibranches :

a- Excellents indicateurs de contamination des eaux continentales et marines, grâce à leur aptitude à la bioaccumulation

b- Caractéristiques favorables à leur emploi comme bioindicateurs

- caractère sédentaire (organismes sessiles)
- cycle vital long (plusieurs mois à plusieurs années)
- échantillonnage qualitatif et quantitatif aisé (taxonomie connue)
- métabolisme connu

c- En milieu continental, bivalves de grande tailles à régime microphage filtreur (*Unio*, *Anodonta*, *Dreissena*)

d- En milieu marin

- Moules (*Mytilus edulis* et *M. galloprovincialis*) et huîtres (*Crassostrea virginica* et *C. gigas*)
- Mise en place d'un vaste programme de monitoring de la pollution littorale du Pacifique et de l'Atlantique (IFREMER...)

• Les Poissons

Bioaccumulation importante chez les espèces prédatrices ou super-prédatrices (10^5 à 10^6 fois la concentration de l'eau en certains contaminants minéraux ou organiques)

Utilisation à vaste échelle comme indicateurs en milieux continental et marin (monitoring des PCB et des organochlorés aux USA, des métaux lourds en Scandinavie)

En eau douce : études très nombreuses sur la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) et le vairon (*Pimephales promel*)

- Importance de la chaîne alimentaire des poissons et du mode de vie
- Importance de la concentration du polluant dans l'eau et les sédiments
- Importance du temps d'exposition dans le phénomène de bioaccumulation

En milieu terrestre

• Les lichens

• Forte aptitude des lichens à bioaccumuler des contaminants présents dans l'atmosphère, essentielle source de nutriments

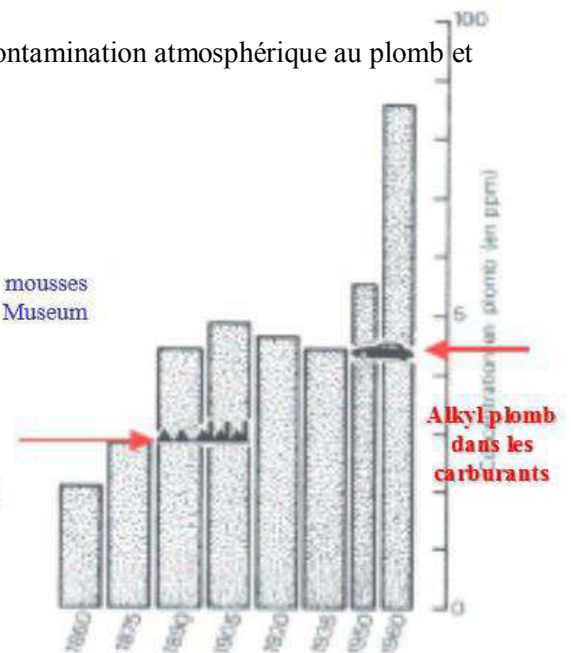
- Corrélation entre teneur en soufre des lichens et distance des sources d'émissions industrielles
- Absorption de soufre >> couverture des besoins nutritifs (absence de régulation de l'absorption)
- Bon indicateur de contamination en métaux radioactifs ou toxiques (Pb)
 - augmentation des teneurs en Pb dans les lichens poussant aux abords des autoroutes

• Les mousses

- Excellents bioindicateurs de pollution atmosphérique (étude de la contamination atmosphérique au plomb et aux organochlorés)

Concentration en plomb dans les mousses conservées dans les herbiers du Museum d'Uppsala

Essor industriel



Distribution de composés organohalogénés selon la latitude en fonction de leur concentration dans la biomasse végétale

Insecticide	Pourcentage persistant après 14 ans
Aldrine	40
Chlordane	41
Heptachlore	16
HCH	10
Pourcentage persistant après 17 ans	
DDT	39

Bioindicateurs utilisés :

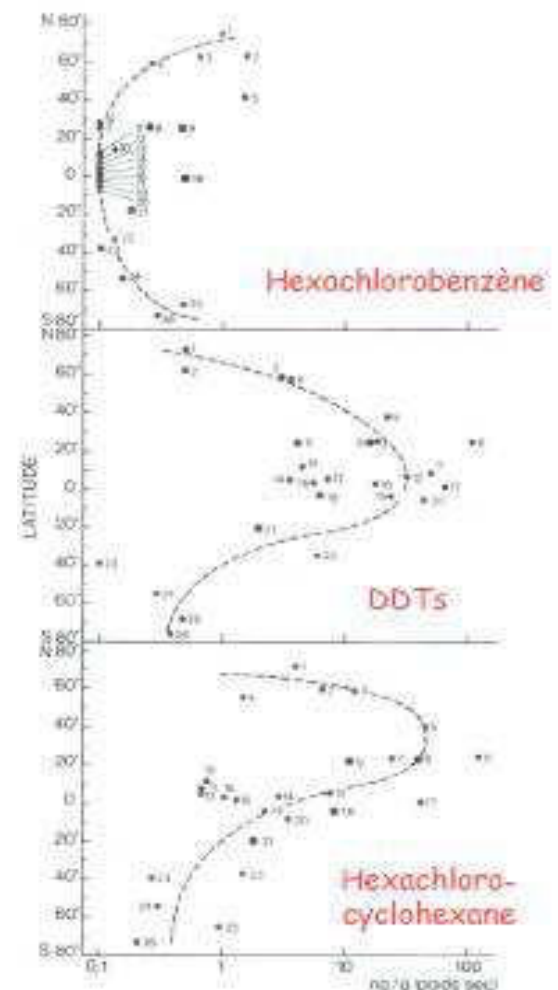
- feuilles de manguiers en pays tropicaux
- lichens et mousses en zones tempérée et subpolaire

Stations 1-26 échantillonnées depuis le Spitzberg (1) jusqu'à l'île Kay dans l'Antarctique (26)

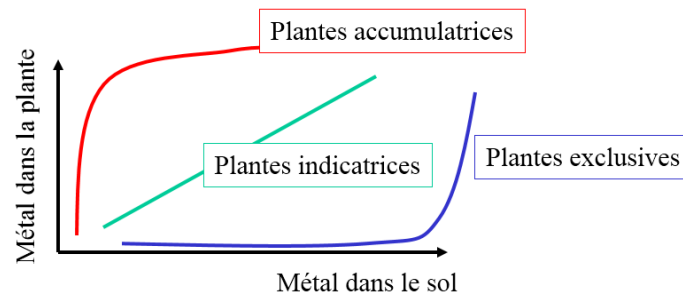
• Les phanérogames

- Plantes à bulbes ou à tubercules : excellents bioindicateurs de la contamination des sols
- carottes : épiderme et parenchyme racinaire riches en terpènes
- arachides : tubercules riches en lipides

Bioaccumulation d'organochlorés, HAP, PCB



- Accumulation de métaux (Ni, Cu, Cr, Cd, Pb...) par certaines phanérogames, permettant la détection de concentration anormale en ces éléments dans les sols



• Les invertébrés terrestres

- Les annélides oligochètes : animaux dont l'écophysiologie les conduit à ingérer chaque jour, 3 fois leur poids corporel en matière organique morte mélangée au sol
- utilisation d'*Eisenia* comme espèce de référence proposée par l'OCDE pour tester la contamination des sols en tout produit chimique nouveau
- forte bioconcentration des organochlorés par *Lombricus terrestris*
- Les oniscoïdes : crustacés isopodes (cloportes) considérés comme de bons indicateurs des contaminations en métaux lourds (Cd, Pb)

• Les vertébrés terrestres

Les oiseaux

Aptitude à accumuler des substances toxiques dans le plumage

- Détermination de la contamination des flamands roses et des aigrettes de Camargue par le Cd et le Zn
- Utilisation des plumes d'oiseaux en Suède pour évaluer la contamination de l'espace rural

Les mammifères

- Utilisation des bois des cervidés pour le monitoring de la pollution par les métaux lourds dans les écosystèmes forestiers
- Concentration en Cd, Cr, Pb nettement supérieure dans les bois de chevreuils prélevés dans les forêts de Silésie (Pologne) polluées par les centrales thermiques et la sidérurgie que dans ceux prélevés dans les parcs naturels non pollués

Biomarqueurs

Un biomarqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant (Lagadic 1997).

Biomarqueurs d'expositions

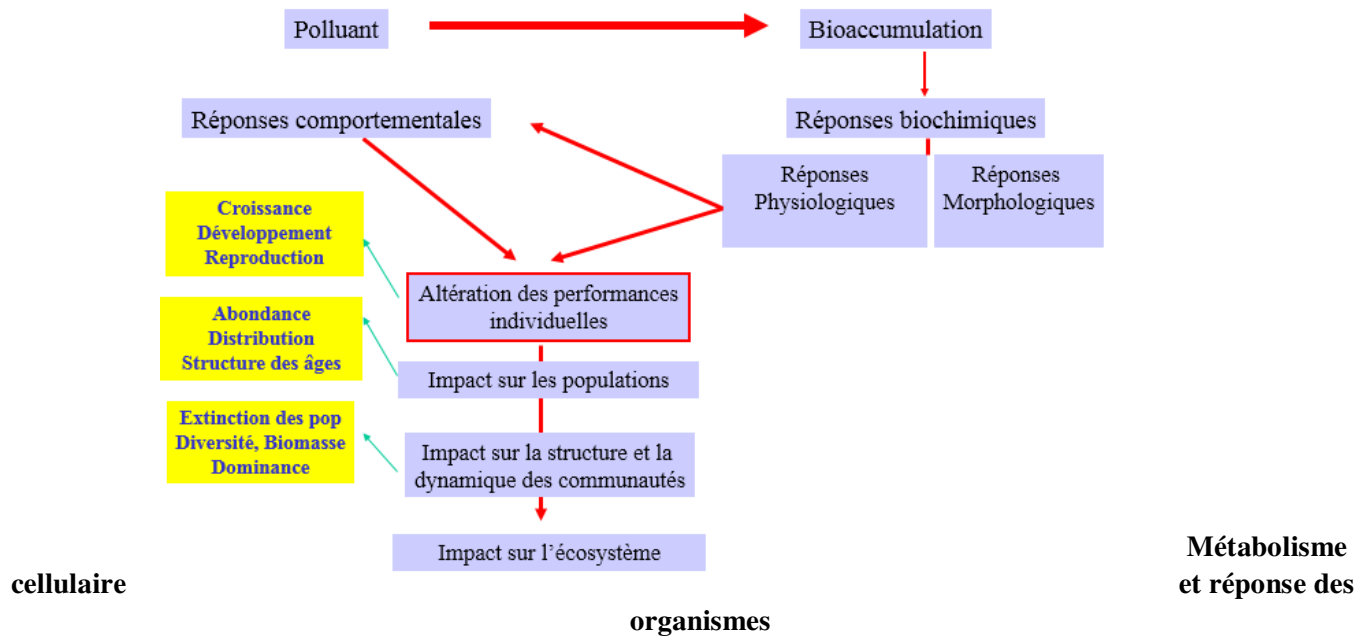
Ils indiquent que le polluant présent dans le milieu a pénétré dans l'organisme. Les biomarqueurs d'expositions sont les résultats de l'interaction du polluant avec des molécules biologiques dans les tissus et les liquides corporels.

Biomarqueurs d'effets

Ces biomarqueurs permettent de montrer que le xénobiotique est entré dans l'organisme, et qu'après distribution dans les différents organes ou tissus, il a exercé un effet toxique ou non, sur une cible critique. La réponse de l'organisme regroupe des paramètres moléculaires, biochimiques, histologiques, cellulaires, immunologiques, et physiologiques.

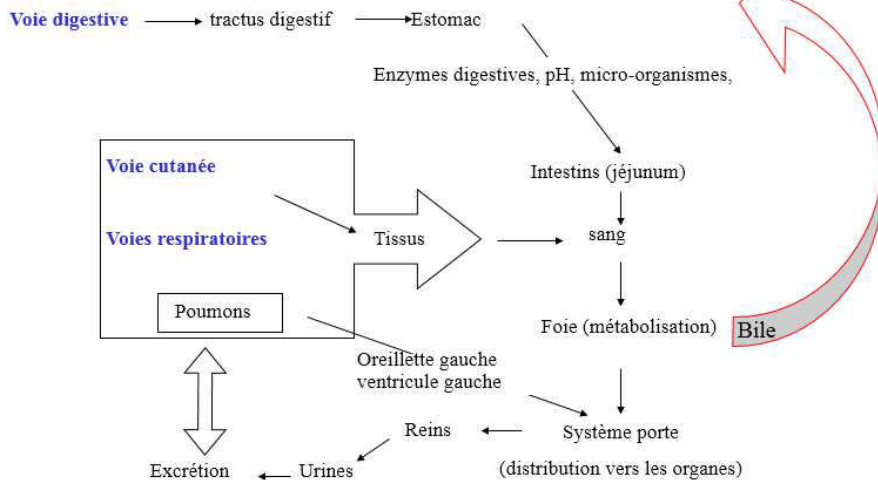
Ces biomarqueurs sont liés aux variations d'origine génétique de la réponse d'un organisme à la contamination par un polluant.

Effets d'un polluant selon le niveau d'organisation biologique



1- aspects toxico-cinétiques

a- Principales voies d'absorption



b- Le transport :

Une fois dans l'organisme, le toxique va être transporté par le sang ou la lymphe et distribué dans les autres parties de l'organisme.

Il peut être véhiculé sous forme de molécule liée à l'albumine.

Les caractéristiques chimiques des substances et des tissus sont à l'origine de l'affinité de certaines substances pour de certains organes ou tissus

Organes ou Tissus cibles

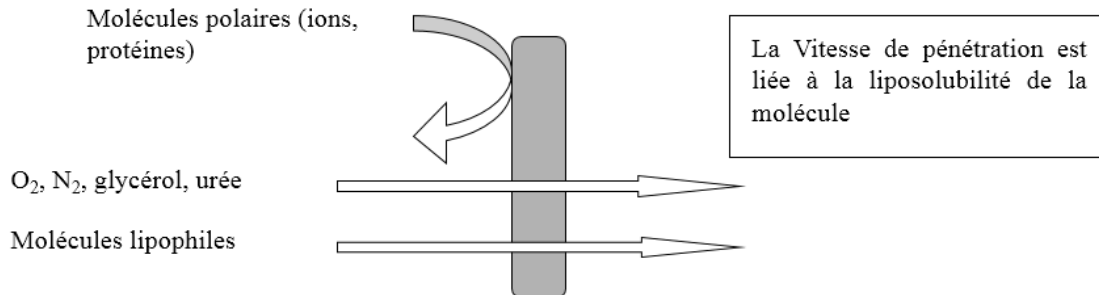
Ex : Mercure (foie, rein, rate, intestin, muscle)
 Cadmium (reins et os)
 Plomb (cerveau et os)
 Les plus lipophiles se retrouvent dans les tissus adipeux et stockés

c- Phénomènes de pénétration cellulaire

L'endocytose : encerclement du matériel à transporter par une invagination de la membrane plasmique

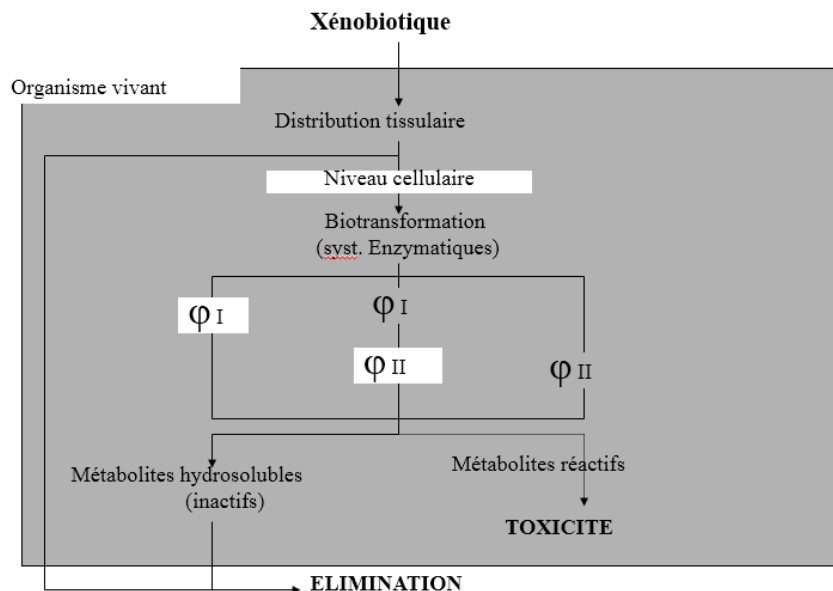
- Pinocytose
- Phagocytose

Diffusion passive : le passage à travers la bicouche lipidique se fait de façon passive. La mb plasmique constitue une barrière.



Diffusion facilitée : le passage à travers la membrane s'effectue avec l'énergie apportée par les gradients ioniques, le passage des molécules se faisant à travers les structures protéiques

d- Biotransformation : métabolisation



Les estérases :

Les cholinestérases biomarqueurs de neurotoxicité

Deux types d'estérase

Estérases de Type A (hydrolysent les OPs): Paraoxonases sérum mammalien

Estérases de Type B (hydrolysent ou inhibées par les OPs): carboxylestérases et cholinestérases

Carboxylestérases : détoxification des pyréthrénoïdes et de certain OPs

cholinestérases : AChE, BuChE et NTE (neuropathy target esterase)

-Très forte sensibilité aux Carbamates et OrganoPhosphorés (0,1 à 1 mg/L)

-Largement appliqué à l'identification des effets en milieu aquatique

-Peu de corrélation avec les données chimiques (+150 molécules différentes)

2- Mutagenèse - Carcinogénèse - Tératogénèse

Ces molécules menacent directement la survie des individus et des espèces.

Forte relation entre mutagène et carcinogène : Connell *et al*, 1999

Sur 1750 carcinogènes, 90% sont mutagènes

Sur 108 non carcinogènes, 13% sont mutagènes

Molécule	Type de cancer	Source	Voie d'entrée
aflatoxines	foie	céréales	orale
amiante	poumon, plèvre	matériaux de construction	inhalation, peau, orale
nitrosamines	nez, pharynx	poissons, cigarette	orale, inhalation
benzo(a)pyrene	peau, foie	cigarette, combustions	orale, inhalation, peau

Dommages primaires :

- pontages inter et intra brins
- cassures double ou simple brin
- échanges de chromatides
- formation de bases alkylées ou acéthylées
- Adduits à l'ADN

Tératogenèse :

La plupart des substances tératogènes entraînant l'apparition de malformations congénitales agissent à un certain seuil de concentration.

- induction de mort cellulaire sélective
- altérer la biosynthèse de métabolites
- ralentir la croissance



Malformations

Le caractère tératogène d'une substance est fortement dépendant du stade de développement de l'embryon

Utilisation des biomarqueurs en milieu naturel

Avantage :

- évaluation de l'état de santé des bioindicateurs
 - estimation des chances de reproduction
 - image dynamique des variations des quantités de polluants biodisponibles (molécules mères et produits de dégradation)
 - exposition à des composés à métabolisation rapide
- . Evaluation intégrée dans le temps et l'espace des polluants biodisponibles, en termes de présence mais aussi d'effets sur les populations animales, végétales ou microbiennes.

Inconvénients :

Interférence avec d'autres facteurs de l'environnement :

- caractéristiques physico-chimiques du milieu
 - relations interindividuelles et/ou interspécifiques
 - particularités génétiques des espèces
 - interactions entre polluants
- . Problème de choix de sites naturels de référence bien caractérisés (physico-chimie et biologie)
- . Références relatives (sites de niveaux de contamination différents, organismes en conditions contrôlées)

FB/ Domaine SNV : Biologie, Agronomie, Science Alimentaire, Ecologie

Les biomarqueurs étant nombreux, nous en avons choisi quelques-uns parmi les plus utilisés de nos jours.

Cytochrome P450 Action et Effet

Ce sont des enzymes de biotransformation du réticulum endoplasmique lisse. Elles catalysent l'oxydation au niveau de la phase I du métabolisme. En ce qui concerne certains polluants, les activités d'oxydation du cytochrome P450 conduisent normalement à une élimination plus facile des métabolites alors que pour d'autres toxiques les biotransformations aboutissent à des métabolites réactifs parfois plus toxiques que les molécules mères. Il intervient aussi dans le métabolisme de composés endogènes (hormones, vitamines, acide gras, acides biliaires...).

Parmi les polluants inducteurs du cytochrome P450, nous avons les PCB (polychlorobiphényles), les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) et les dioxines.

L'induction de ce biomarqueur peut attester la capacité d'adaptation à court terme des organismes aux fluctuations chimiques du milieu car elle conduit à une métabolisation facilitant l'élimination des polluants

Métallothionéines

Ce sont des protéines soufrées capables de fixer des ions métalliques d'où le nom de métallothionéines

Les métallothionéines sont induites généralement par les métaux (cadmium, zinc, cuivre, mercure....)

Comme nous venons de le voir l'utilisation de ce biomarqueurs est assez délicate ! De plus elle nécessite des techniques analytiques sensibles et fiables.

Plusieurs autres méthodes équivalentes ont été utilisées notamment l'analyse quantitative des métaux dans les fractions séparées par chromatographie. Cette méthode est susceptible de renseigner sur les métaux associés. Elle permet aussi l'identification des différentes isoformes de métallothionéines

Stress oxydant

Induction et Effet

L'étude du stress oxydant est récente. Elle a conduit à celle des mécanismes de production d'oxyradicaux ainsi que d'anions superoxyde et peroxyde d'hydrogène. Les réactions conduisant à cette production, ont été observées au niveau du réticulum endoplasmique du foie chez les poissons et aussi au niveau des lysosomes de la glande digestive chez les mollusques bivalves

Le stress oxydant est susceptible d'être provoqué par des polluants, des variations environnementales ainsi que des facteurs endogènes notamment des taux élevés en acide gras polyinsaturés et teneurs élevées en oxygène

Plusieurs travaux ont montré que des activités antioxydantes sont induites par des polluants organiques (HAP, PCB...) ou des métaux lourds

Le stress oxydant n'est pas toujours lié à la pollution. Il peut être le résultat de facteurs physiologiques (reproduction...) ou environnementaux (climat...)

Il se traduit par l'activation de systèmes antioxydants. Lorsque l'induction des enzymes antioxydantes est suffisante, elle permet l'adaptation des individus et le retour à la normale alors que leur inhibition est souvent associée à des effets de toxicité

Cholinestérases

Mode d'action et inhibition

Ce sont des enzymes qui hydrolysent les esters de la choline. Les cholinestérases sont donc des estérases. Elles ont été classées selon leur interaction avec les organophosphorés.

Les estérases sont impliquées dans les processus de détoxification et la détoxification de la cocaïne ferait intervenir en particulier la butylcholinestérase.

Ces enzymes sont inhibées par les insecticides et les carbamates

L'inhibition par les organochlorés est généralement irréversible et peut entraîner la neuropathie retardée (paralysie progressive). Ce phénomène a été décrit chez les oiseaux, alors que celle causée par les carbamates est souvent réversible et elle n'est pas à l'origine de paralysie progressive

ORGANOPHOSPHORÉS ET CARBAMATES

L'immense majorité des pesticides sont des composés utilisés principalement en agriculture dans le but d'éliminer des mauvaises herbes (herbicides) et de lutter contre les insectes nuisibles (insecticides) ou le développement de champignons pathogènes (fongicides). Ils sont également utilisés pour le désherbage des voies de communication

(voies de chemin de fer, routes et autoroutes, pistes d'aéroport, etc.) et pour la protection d'ouvrages en bois ainsi que des matières textiles.

L'utilisation de molécules issues de la chimie est la raison essentielle de l'augmentation de la production agricole dans la plupart des pays

Les produits phytosanitaires peuvent être des molécules minérales ou des molécules issues de la synthèse organique.

Les composés les plus utilisés appartiennent aux familles des triazines, des phénylurées, des organophosphorés (OPs), des carbamates (Cs), des pyréthriinoïdes et, dans une moindre proportion depuis les mesures d'interdiction qui ont été prises à leur encontre, des organochlorés (CCs).

S'il est admis que les cours d'eau sont la voie principale de contamination des réservoirs d'eaux douces et de l'océan, la dispersion et le transfert des OPs par voie atmosphérique sont loin d'être négligeables, compte tenu de la forte pression de vapeur de ces produits et des techniques d'épandage utilisées

leur persistance dans l'environnement est aussi très variable. Les temps de demi-vie sont fonction de nombreux paramètres environnementaux où le pH et la température du milieu, de même que l'exposition à la lumière, jouent un rôle majeur. Selon le mode d'utilisation de l'insecticide, traitement des parties aériennes des cultures ou traitement des sols, la persistance est sensiblement différente

Les carbarnates (Cs) sont apparus vers la fin des années 1940. D'abord d'usage insecticide, puis fongicide, les Cs furent utilisés aussi à des fins herbicides. Forts d'une cinquantaine de molécules actives, les Cs sont en constante progression de fabrication et d'usage un tant qu'insecticides

le biomarqueur est un outil qui permet de détecter et d'estimer rapidement la distribution de substances potentiellement toxiques dans le milieu et que la spécificité de la réponse de certains biomarqueurs à un groupe de polluants déterminés, restreint le coût des analyses de la surveillance de la qualité du milieu. De plus cette détection couvre pratiquement tous les types de pollution chimique mais elle est surtout utile dans le cas de rejets clandestins ou diffus. Cependant l'utilisation de cet outil présente certaines difficultés et plusieurs conditions. Parmi ces dernières nous avons:

Une parfaite connaissance et une compréhension de la variabilité naturelle,

une compréhension totale des mécanismes d'action et des phénomènes de biodisponibilité et de métabolisation des contaminants ainsi que des biomarqueurs eux-même,

une quantification de la réponse biomarqueurs simple, répétitive, fiable et précise permettant ainsi celle de l'exposition ou de l'effet des xénobiotiques;

une sensibilité du biomarqueurs vis à vis des polluants inducteurs.

Les biomarqueurs remplissent aisément ces conditions au niveau du laboratoire et des écosystèmes contrôlés. Les difficultés résident plutôt au niveau des populations, des communautés et des écosystèmes naturels où l'évaluation des effets et des risques, est difficile vu la complexité du milieu. Les effets combinés de synergie et/ou d'antagonisme, entre les substances toxiques elles-même et avec les substances naturelles du milieu, sont un bel exemple ainsi que les mécanismes d'adaptation et de compensation. Cependant un plan d'échantillonnage qui prend en compte le choix des espèces utilisées (ubiquité, sédentarité, adaptation...) et les caractéristiques biologiques des individus échantillonnés (sexe, âge, taille, état physiologique...), peut contribuer à aplanir certaines difficultés.