

# TOXICOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT

## PLAN DU MODULE



- I.1. Définitions
- I.2. Objectifs
- I.3. Méthodologie et approches
- I.4. Normes
- I.5. Réglementation sur les produits phytosanitaires
- I.6. Bioteneurs
- I.7. Bioindicateurs et biomarqueurs
- I.8. Sources de pollution
- I.9. Classification des polluants
- I.10. Règle des trois actions polluantes
- I.11. Pollution des écosystèmes et évaluation
- I.12. Niveaux d'étude des polluants
- I.13. Evaluation environnementale
- I.14. Développement durable

### 1. Définitions

### 2. Objectifs

### 3. Méthodologie et approches

### 4. Normes

- a. ADI (Acceptable Daily Intake)
- b. TLV (Threshold Limit Value)
- c. Dose Maximale Tolérable
- e. MRFC (maximum recommended field concentration)

### 5. Réglementation sur les produits phytosanitaires

- a. AMM
- b. DJA
- c. NOAEL
- d. NAEO
- c. DARf
- d. LMR

### 6. Bioteneurs

- a. Chaîne trophique
- b. Bioconcentration
- c. Biomagnification
- d. Bioaccumulation
- e. Biodisponibilité
- f. Biodisponibilité environnementale
- g. biodégradation
- h. Pyramides écologiques (nombre, biomasse, énergie, concentrations)

### 7. Bioindicateurs et biomarqueurs

- a. Bioindicateurs
- b. Biomarqueurs

### 8. Sources de pollution

- a. Production d'énergie
- b. Activités industrielles
- c. Diversification de l'industrie chimique
- d. Agriculture
- e. Pollutions anthropiques

### 9. Classification des polluants

- a. Critères et classification
- b. Différences entre les macropolluants et les micropolluants

### 10. Règle des trois actions polluantes

- a. Liaison aux constituants chimiques des organismes au moyen d'un groupement chimique simple
- b. Caractéristiques réactionnelles et structurales du polluant semblables à celles des fonctions chimiques constitutives des organismes
- c. Déplacement par le polluant des équilibres dans l'environnement

### 11. Pollution des écosystèmes et évaluation

- a. Nocivité du polluant
- b. Effet des polluants
- c. Evaluation des effets

### 12. Niveaux d'étude des polluants

- a. Le niveau biochimique et cellulaire
- b. Le niveau des organismes
- c. Le niveau des populations
- d. Le niveau des écosystèmes naturels
- e. Le niveau des écosystèmes contrôlés

### 13. Evaluation environnementale

- a. Définition
- b. Critères
- c. Diagnostics
- d. Evaluation du risque environnementale

### 14. Développement durable

- a. Historique
- b. Définition
- c. Concepts

# 1. Définitions



## a. Pollution



La pollution est une **modification défavorable du milieu naturel** qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de **l'action humaine**, au travers d'effets **directs** ou **indirects**.

Ces effets altèrent:

- les critères de répartition des flux d'**énergie**,
- des niveaux de **radiation**,
- de la constitution physico-chimique du **milieu naturel**
- de l'abondance des **espèces vivantes**.

## a. Pollution

Ces modifications peuvent affecter l'homme **directement** ou au travers des **ressources agricoles, hydrauliques** et autres produits **biologiques**.

Elles peuvent aussi l'affecter en altérant:

- les **objets physiques** qu'il possède
- les possibilités **récréatives** du milieu
- en **enlaidissant** la nature.



## b. Ecologie



C'est la science globale des **relations des organismes** avec leur **monde extérieur** environnant dans lequel sont incluses au sens large, toutes les **conditions d'existence** (**HAECKEL, 1866**).

Etude des relations (ou interactions) entre les organismes entre eux (**biocénose**) et avec leur environnement (**biotope** ou **milieu** ou **habitat**).

- **Ecosystème** : biocénose (peuplement ou communauté) + biotope (espace qu'habite un peuplement) + interactions.
- **Biosphère** : région de la planète où la vie est possible en permanence et qui renferme l'ensemble des êtres vivants. Elle est subdivisée grossièrement en 3 compartiments:
  1. **la lithosphère** (couches les plus superficielles de l'écorce terrestre),
  2. **l'hydrosphère** (ensemble des eaux présentes dans les couches superficielles de la planète et à sa surface, eaux liquides et solides),
  3. **l'atmosphère** (enveloppe externe gazeuse de la planète).

## c. Ecotoxicologie

**RAMADE (1971)**

La science qui étudie les **modalités de contamination de l'environnement** par des **agents polluants naturels** ou **artificiels** produits par l'activité humaine.

Elle étudie également leur **mécanisme d'action** et leurs **effets** sur l'ensemble des **êtres vivants** qui peuplent la biosphère.

## d. Ecotoxicologie

RAMADE (1977)

La science qui étudie les **interactions** et les **effets *in situ*** de **contaminants** sur les **êtres vivants** (végétaux, animaux) à différents niveaux

- organismes
- populations
- peuplements
- communautés

Ainsi que le **devenir de ces substances** dans les écosystèmes.

## d. Toxicologie

TRUHAUT, (1976)

C'est la discipline qui étudie les substances **toxiques** (poisons) qui provoquent des **altérations biologiques** menant à la **mort** si les perturbations physiologiques sont intenses.

La toxicologie est à la fois **descriptive** et **explicative**.

Elle évalue la **toxicité** (tests) et précise les **mécanismes**.



La discipline qui étudie les substances toxiques qui provoquent des **altérations** ou des **perturbations** des **fonctions** menant à terme à la **mort**.

TRUHAUT (1976)

La science des **relations** des **organismes** avec leur **monde extérieur** environnant dans lequel nous incluons au sens large, toutes les **conditions d'existence**.

HAECKEL (1866)



C'est la science qui étudie les **modalités de contamination** de l'environnement par des agents **polluants naturels** ou **artificiels** produits par l'activité humaine ainsi que leur **mécanisme d'action** et leurs **effets** sur l'ensemble des **êtres vivants** qui peuplent la **biosphère**.

RAMADE (1971)

Figure 1. Définition de l'écologie, de la toxicologie et de l'écotoxicologie

## e. Ecologisme

SIMONNET (1979)



C'est un **mouvement social**, **philosophique** et **politique**.

C'est également un **courant de pensées** et **d'action** qui pose la question du **rapport** entre **la nature** et **la société** dans un siècle où l'homme dénaturé, enfermé dans son rôle social, est la **première victime** des **dysfonctionnements** dans ce rapport

**Mouvement** en **faveur** de la protection de **l'environnement naturel**, notamment contre les **différentes formes de pollution industrielle**.

## f. Environnique BOUCHE (1996)

C'est l'ensemble des **approches techniques** qui gèrent les **connaissances bio-physico-chimiques**



## g. Intégrologie BOUCHE (1996).



C'est une technique de **gestion des savoirs** applicables aux systèmes complexes étudiés par **l'écologie** et pratiqués par **l'environnique**.

Elle est définie comme la **science de l'intégration globale des connaissances** produites par les diverses spécialités étudiant le réel.

Son objet est la **gestion de la connaissance exhaustive, pertinente et explicite**.

### \* Agents polluants

### \* Agents contaminants

### \* Agents toxiques



## Agents polluants

### Définition

Agents qui exercent des influences perturbatrices sur l'environnement (Ramade, 1992).

### Origine

- **Agents polluants naturels** (lave, fumés de volcans, coliformes fécaux transféré du sols vers des eaux marines...).
- **Agents polluants artificiels** (insecticides agricoles...).

### Nature

- **Agents polluants chimiques** (pesticides, oxyde d'azote émis par les automobiles...)
- **Agents polluants physiques** (rayons ultraviolet...).
- **Agents polluants biologiques** (bactéries de biodégradations).

### Effet

pollution soit "une perturbation de l'équilibre naturel de l'environnement" (Ramade, 1992). Un équilibre naturel peut se développer après le retrait du polluants

## Agents contaminants

### Définition

Agents qui ont des **teneurs élevées** par rapport aux teneurs naturelles normales (Francis, 1994).

### Origine

- **Agents naturels contaminants** (métaux, mercure méthylés...).

- **Agents artificiels contaminants** (biphényles polychlorés BPC, chrome issu des poteaux électriques...).

### Nature

- **Agents chimiques contaminants** (métaux lourds en excès, organochlorés, pesticides synthétiques...).

- **Agents microbiologiques contaminants** (bactéries fécales, salmonelles pathogènes).

### Effet

contamination soit un **déséquilibre des teneurs naturelles** (Francis, 1994) et sa réversibilité se révèle souvent **lente**.

- Tout agent toxique est un contaminant et un polluant.
- Tout polluant ou tout contaminant n'est pas nécessairement toxique, car la toxicité exige une teneur excessive.
- Les agents **polluants, contaminants et toxiques** ont en commun le même effet général un **déséquilibre dans l'environnement**.

Critères	Classification par ordre croissant
Nombre de composés	Agents toxiques < contaminants < polluants
Déséquilibre provoqué	Polluants < contaminants < agents toxiques

## Agents toxiques

### Définition

Agent qui à cause de leurs **teneurs excessives** occasionnent des **effets néfastes** dans des organismes biologiques (Klaassen *et al.* 1986).

### Origine

- **Agents toxiques naturels** (Cd et Pb en concentration excessives, nicotine de la cigarette, haute dose de caféine).

- **Agents toxiques artificiels** (insecticides organophosphates mal utilisés...).

### Nature

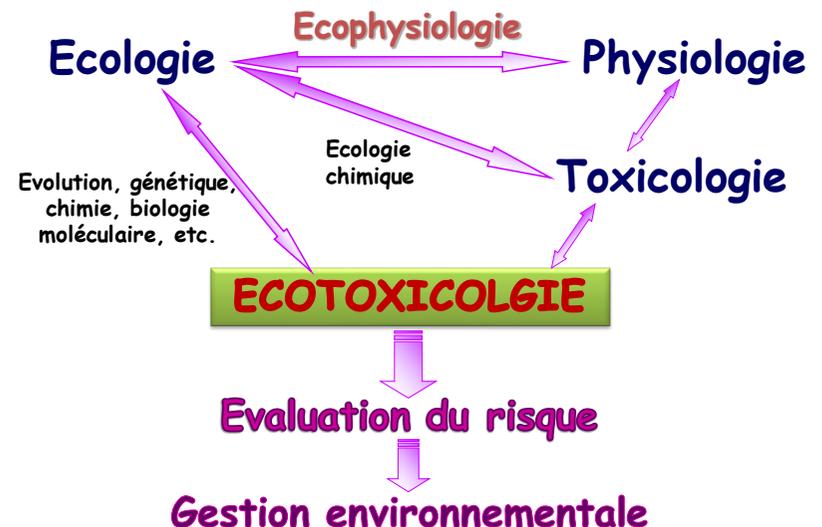
- **Agents toxiques chimiques** (Monoxyde de carbone des gaz d'échappement d'automobiles, métaux lourds).

- **Agents toxiques physiques** (Radioactivité, rayons ultraviolets...).

### Effet

Toxicité soit "**un ensemble variable d'effet néfaste**" (Klaassen *et al.* 1986), elle est lentement réversible sauf dans des cas extrêmes tels que mortalités, anomalies du développement embryonnaire ou neurotoxicité du cerveau

## 2. Objectifs



L'évaluation des effets de la pollution est l'objectif de l'écotoxicologie qui étudie les dommages occasionnés aux écosystèmes en général et aux biocénoses en particulier, par les polluants physiques et/ou chimiques.

En plus de l'étude de l'impact des polluants sur les écosystèmes, l'écotoxicologie examine les relations entre les polluants et le milieu (telles que les voies de transfert ou de cheminement des polluants dans les écosystèmes, la biodégradation et la bioaccumulation des polluants, etc...).

L'écotoxicologie a deux objectifs principaux :

- Etudier les processus de contamination des milieux.
- Evaluer les effets des polluants à l'égard de la structure et du fonctionnement des systèmes naturels.

Elle doit donc dépasser les simples constats de niveaux de pollution et de toxicité pour appréhender les mécanismes responsables de la bioaccumulation et des transferts des contaminants au sein des systèmes biologiques ainsi que les processus entraînant les effets sub-létaux.

Elle utilise des techniques propres à la toxicologie qui étudie plus spécifiquement la toxicité en laboratoire d'une substance sur des organismes tests représentatifs de:

- l'espèce humaine (tests de toxicité)
- organismes tests en plein champ (tests d'écotoxicité).

Cependant, l'écotoxicologie a des contraintes. Elle se heurte:

- à une très grande complexité liée à la diversité des constituants de l'écosphère
- aux variations spatio-temporelles des facteurs écologiques.
- à la diversité qualitative et quantitative des contaminants.
- aux nombreux mécanismes d'adaptation mis en œuvre par les organismes.

### 3. Méthodologie et approches

Les **objectifs** de l'écotoxicologie impliquent une **analyse à différents niveaux d'intégration** de la molécule à la biocénose:

- molécule
- cellule
- organe
- organisme
- population
- biocénose.

Ainsi que d'apprécier l'influence des facteurs biotiques, abiotiques et de contamination.

Les **méthodologies** développées en écotoxicologie peuvent être distinguées par:

- les différentes **dimensions** qui les caractérisent
- leur **représentativité** à l'égard des phénomènes naturels depuis les tests monospécifiques jusqu'aux études de terrain en passant par les expériences de laboratoire à l'aide de modèles écotoxicologiques, comme les **chaînes trophiques**, les **écosystèmes expérimentaux** et par les **expériences en nature**.

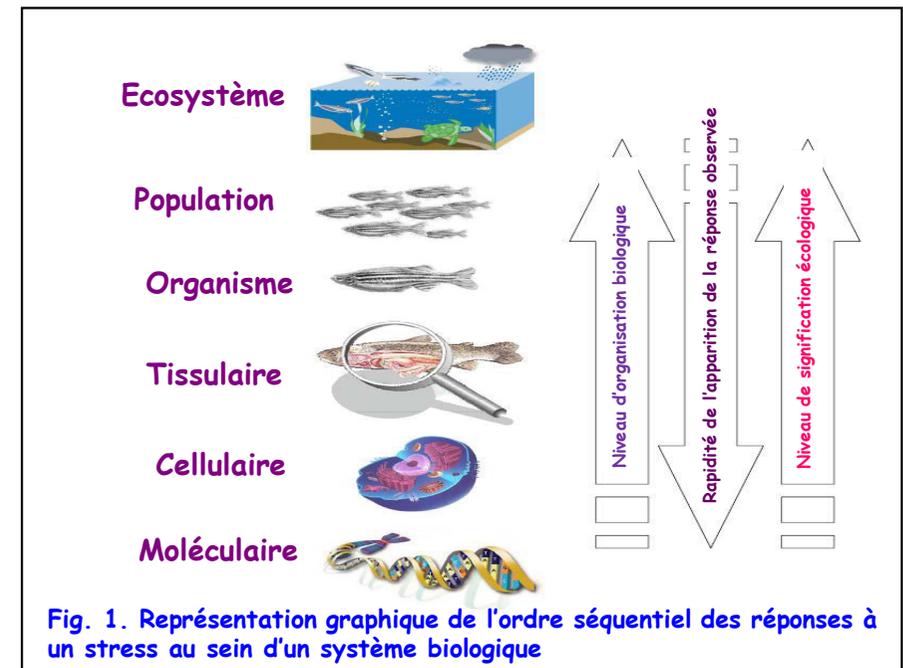


Fig. 1. Représentation graphique de l'ordre séquentiel des réponses à un stress au sein d'un système biologique

Chacune d'elles implique un degré de **réductionnisme** plus au moins important, associé à un niveau de **compréhension des mécanismes** étudiés et à un **risque d'extrapolation**.

Une approche rationnelle des problèmes écotoxicologiques tient compte de la **complémentarité** de ces diverses approches; les **études in situ** constituant le référentiel pour les recherches élaborés à l'échelle du laboratoire.

### 3. Méthodologie et approches

- Approche **réductionniste**: étude physio-toxicologique des effets des polluants sur des organes ou modèles cibles (propre à la toxicologie).
- Approche **holistique**: étude des mécanismes de contamination des milieux (transferts, transformations, impact sur biocénoses).
- Approche **intégrative et comparative** (chaîne trophique, bioaccumulation).

Les deux dernières approches concernent l'**écotoxicologie**.

### 4. Normes

Définition des **doses maximales** dites **admissibles** pour les principaux contaminants de l'environnement (inoffensives pour notre espèce, même en cas d'exposition ininterrompue pendant toute une vie).

Ces normes sont d'origine anglo-saxonne et désignées par leur abréviations en anglais. Elles ne s'appliquent qu'aux **produits industriels et agricoles** ayant fait l'objet d'un **test de toxicité** et d'une **demande d'agrément**.

### 4. Normes

- **ADI (Acceptable Daily Intake)**: Quantité de polluant à laquelle peut être soumis quotidiennement un être humain **sans induire des effets nocifs**. Elle est établie à partir d'expériences réalisées sur rat (la dose obtenue sur rat est divisée par 100 pour obtenir l'ADI concernant l'homme).
- **TLV (Threshold Limit Value)**: Concentration maximale de polluant admissible dans l'air des lieux de travail pour une **exposition de 8 heures maximum par jour**.

- **DMT (Dose Maximale Tolérable)**: Dose maximale d'un polluant que peut tolérer un être humain sans induire des effets nocifs. Cette notion implique le concept de rapport bénéfice/risque. La dose maximale tolérable est établie en fonction d'un seuil économiquement rentable à ne pas dépasser et du danger que les polluants fabriqués présentent pour la santé publique.
- **MRFC (Maximum Recommended Field Concentration)**: C'est la concentration maximale recommandée par le fabricant pour un traitement en plein champ.

## 5. Réglementation sur les produits phytosanitaires

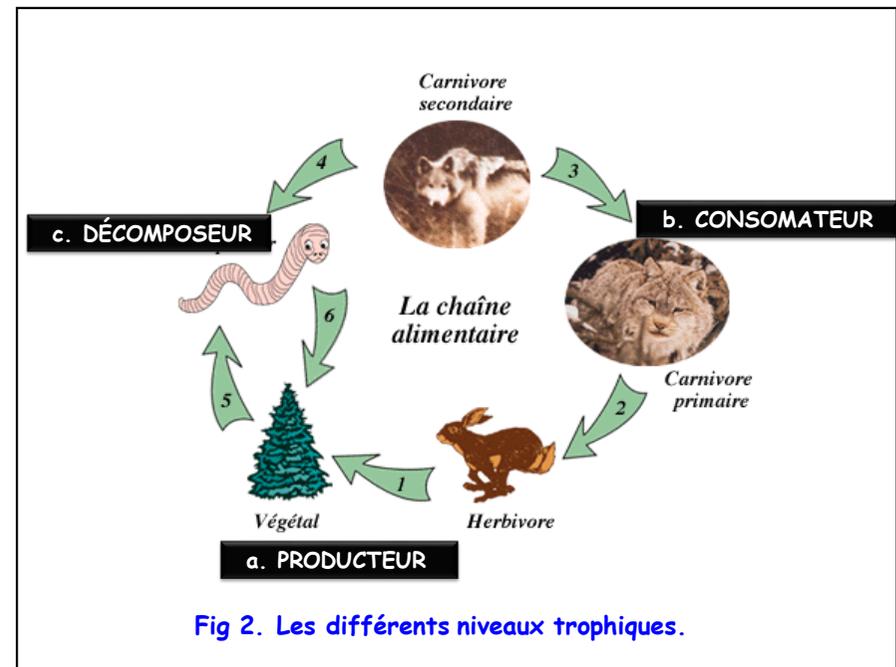
- Les autorités ont mis en place l'**autorisation de mise sur le marché (AMM)** pour l'usage des produits phytosanitaires. Elle est délivrée pour un produit phytosanitaire et pour un ou plusieurs usage(s) précis.
- Un **usage précis** correspond à une **culture**, un **mode de traitement**, un **ravageur**, une **dose** à employer et les **conditions d'application**.

- Avant d'obtenir une AMM, l'entreprise doit fournir un **dossier d'évaluation** des risques toxicologiques et écotoxicologiques à l'INPV qui comporte une évaluation des risques pour les utilisateurs du produit phytosanitaire avec:
    - 1/ **la dose journalière admissible (DJA)** obtenue à partir de la dose nommée NOAEL (no observable adverse effect level) correspondant à la quantité de produits qui peut être consommée chaque jour sans conséquences sur la santé humaine,
    - 2/ **le niveau acceptable d'exposition de l'opérateur (NAEO)**
    - 3/ **la dose aiguë de référence (DARf)**.
- Si le produit phytosanitaire est destiné à la conservation de denrées alimentaires, une **limite maximale de résidus du produit (LMR)** est à fournir.

## 6. Bioteneurs

### a. Chaîne trophique

- **Une chaîne alimentaire:** est une suite d'**êtres vivants** reliés par une **relation alimentaire et énergétique**. Chaque **organisme** constitue un **maillon** de la chaîne alimentaire. Il y a échange d'énergie de l'un à l'autre des organismes mais également des pertes. Les chaînes alimentaires font partie d'un réseau alimentaire qui décrit le cycle de la matière (matière - chaîne alimentaire - matière-décomposeurs).
- **Un niveau trophique:** est le **rang** qu'occupe un être vivant dans une chaîne alimentaire. Chaque **maillon** de la chaîne constitue un **niveau trophique**.



a. Les producteurs: qui sont les végétaux autotrophes.

b. Les consommateurs: qui sont les animaux hétérotrophes:

- les consommateurs de premier ordre (les herbivores qui mangent d'autres végétaux),
- les consommateurs de second ordre les carnivores ou prédateurs qui mangent les herbivores)
- Les consommateurs de troisième ordre (les carnivores qui mangent d'autres carnivores).

c. Les décomposeurs: qui sont les bactéries et les champignons, qui dégradent la matière organique des cadavres et redonnent aux plantes les sels minéraux indispensables à la photosynthèse.

b. Bioconcentration:

C'est la capacité qu'a un organisme de stocker une substance à une concentration supérieure à celle de l'eau ou de la nourriture.

BCF (facteur de bioconcentration) =  
Concentration du polluant dans  
l'organisme / concentration du polluant dans le  
milieu.

c. Biomagnification:

Elle désigne une accumulation progressive d'une substance via la chaîne alimentaire (Ft).

Ft (Facteur de transfert) = Concentration du polluant dans le niveau trophique n+1 /  
Concentration du polluant dans le niveau trophique n.

- Ft > 1 bioamplification
- Ft = 1 simple transfert
- Ft < 1 diminution de la concentration.

d. Bioaccumulation:

Certains polluants peuvent devenir toxique en s'accumulant dans certains organes par petites doses jusqu'à l'apparition d'effets nocifs pour l'organisme.

La bioaccumulation est un terme qui englobe biomagnification et bioconcentration.

La bioaccumulation résulte d'un phénomène de transfert et d'amplification biologique de la pollution à travers les biocénoses contaminées.

La **bioaccumulation** s'appuie sur le **coefficient de partage octanol/eau ou KOW** qui mesure le degré de lipophilie (ou d'hydrophobie) d'une substance, c'est-à-dire une estimation du partage de la substance entre l'eau et les graisses des tissus pour **prédire la capacité d'un polluant de s'accumuler dans les graisses**.

Le Kow est souvent exprimé par son logarithme,  $\log Kow = \log P$ .

une substance est bioaccumulable si :

$Kow \geq 100$ , ou  $\log P \geq 3$ .

Ex:

Pentachlorophenol  $\log P = 5,12$  : bioaccumulable.  
Chloroforme  $\log P = 1,97$  : non bioaccumulable.

La bioaccumulation est appréhendée indirectement par la relation:  $BCF = KOW \times \text{Concentration}$  de la substance dans les lipides.

La substance est alors **bioaccumulable** si  $BCF > 100$

Mesure des différentes concentrations en DDD (pesticide) dans la chaîne trophique du Clear Lake (USA) .

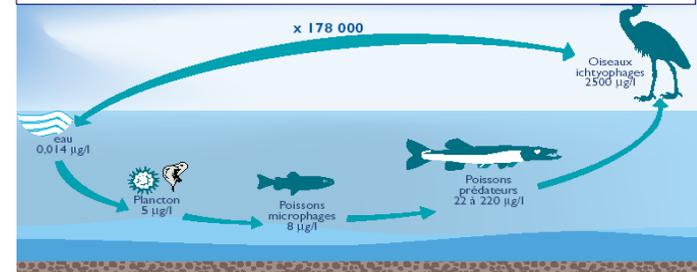
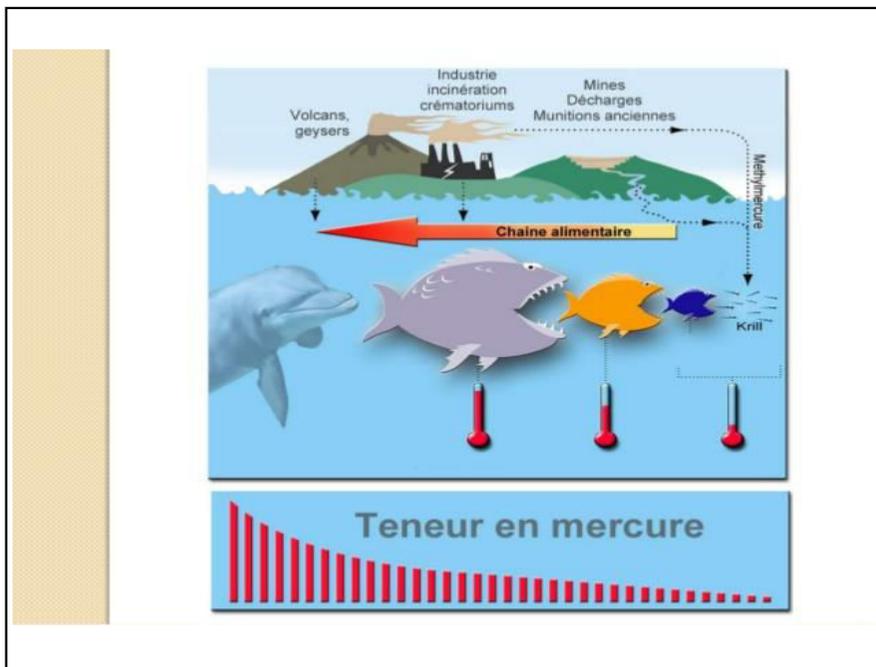


Fig. 3 Phénomène de bioaccumulation et son transfert *via* la chaîne trophique. Concentrations de DDD (insecticide OC) dans la chaîne trophique d'un lac aux USA.



### e. Biodisponibilité:

C'est la **propriété** d'un élément ou d'une substance **d'atteindre les membranes cellulaires** des organismes vivants.

Il s'agit d'un des paramètres essentiels de la toxicité car un **changement de la biodisponibilité** d'un polluant équivaut à un **changement de toxicité**.

Un **polluant**, dans un compartiment, peut-être à la fois **toxique et non toxique** pour un organisme en raison de sa **biodisponibilité** ou non.

**Exemple :** le mercure (Hg) fixé dans les sédiments est sous cette forme, non toxique pour les organismes qui vivent dans les sédiments car non biodisponible. L'Hg qui se trouve en solution dans les sédiments est, à l'inverse, toxique pour les organismes des sédiments car biodisponible pour ceux-ci et son relargage dans l'eau augmente son risque toxique par transfert indirect via la chaîne alimentaire.

La biodisponibilité, paramètre essentiel de la toxicité.

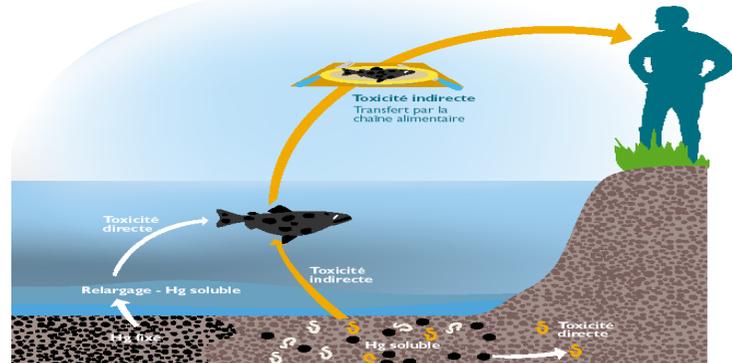


Fig. 4 Rapport entre biodisponibilité et toxicité dans un écosystème aquatique.

## g. Biodégradation:

La **biodégradation** est tout processus biologique qui entraîne la **conversion** d'une **substance organique** en **dérivés** ultimes **organiques** et **inorganiques** chimiquement distincts de la substance initiale (Shimps *et al.*, 1990).

La **biodégradation** est une dégradation biologique effectuée par des **micro-organismes** (bactéries, champignons...). Elle est due à l'abondance et à la variété des micro-organismes dans le milieu considéré. L'**attaque** d'une molécule chimique par des **micro-organismes** a pour aboutissement sa **minéralisation** et l'obtention de **métabolites** de faibles poids moléculaires **facile à éliminer**.

## f. Biodisponibilité environnementale:

Ensemble des processus physiologiques qui régissent l'absorption des polluants.

### - Disponibilité environnementale :

Ensemble des processus physico-chimiques qui conditionnent la partition du polluant entre les phases solide et liquide du sol.

Deux types de **biodégradation** sont distingués :

- La **biodégradation primaire (biotransformation)**: a été définie comme la **perte de l'identité chimique** du **produit initial**. C'est une attaque **partielle** de la molécule, aboutit à l'apparition de **métabolites persistants**, moins ou plus toxiques que la molécule initiale.
- La **biodégradation ultime (minéralisation)**: **dégradation complète** conduisant à la formation de CO<sub>2</sub>, méthane, eau, éléments minéraux. Cette biodégradation, si elle se fait rapidement, conduit à l'**élimination du polluant** dans le milieu.

**Dégradation primaire ou ultime: un risque différent.**

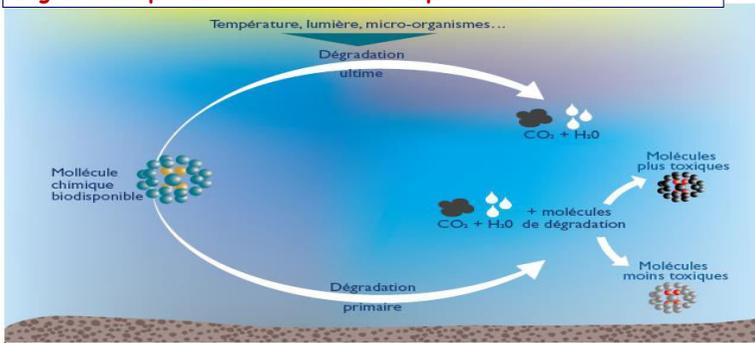


Fig. 5 Biodégradation primaire et biodégradation ultime.

Le **potentiel de biodégradation** d'un produit chimique peut être estimé par le **rapport** entre la **demi-vie** (le temps nécessaire pour réduire la quantité de produit à 50% de sa valeur initiale) et le **temps de résidence**. Les substances qui ont des rapports **>7** sont considérées comme virtuellement **non-biodégradables**.

**h. Pyramides écologiques:**

La **pyramide écologique** est une forme de **représentation graphique** pour indiquer des rapports entre **différentes catégories d'espèces** correspondant à différents **niveaux trophiques**.

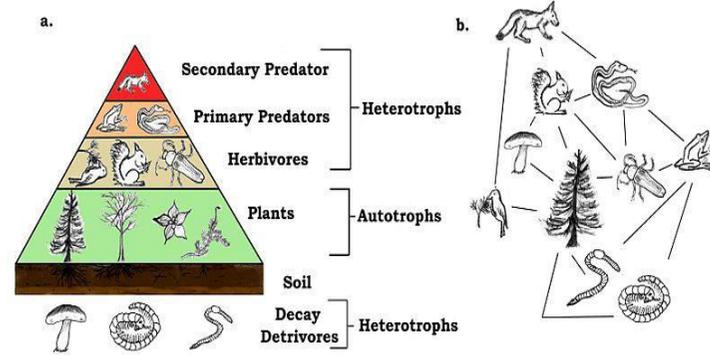


Fig 6. Pyramides écologiques

- **Pyramide des nombres:** Le nombre d'individus de chaque niveau trophique.
- **Pyramide de la biomasse:** La biomasse est la **masse totale** de la **matière organique** et des **êtres vivants** subsistant dans une région donnée. La pyramide de la biomasse est la masse de chaque niveau trophique par unité de surface (g/mètre carré).
- **Pyramide des énergies:** c'est la **quantité d'énergie disponible** à chaque **niveau trophique**. Elle est exprimée en Joules. Sur le 100% d'énergie disponible d'un niveau trophique, un taux de 10% en moyenne est converti en biomasse dans le niveau suivant. C'est ce qu'on appelle **rendement** ou **efficacité écologique**.
- **Pyramide des concentrations:** exprime la **concentration d'un xénobiotique** dans les différents niveaux trophiques.

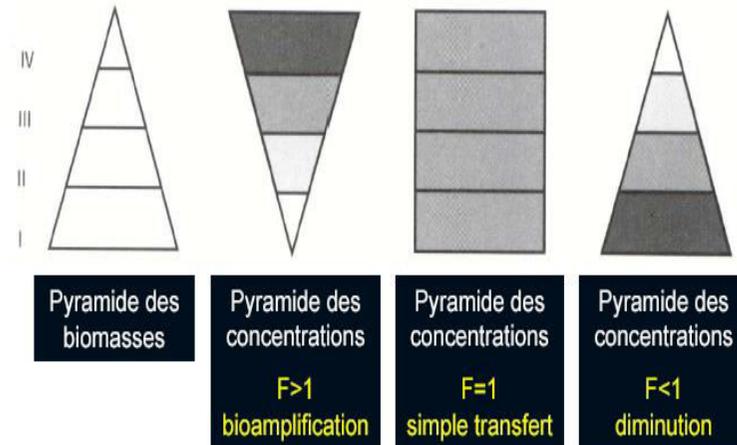
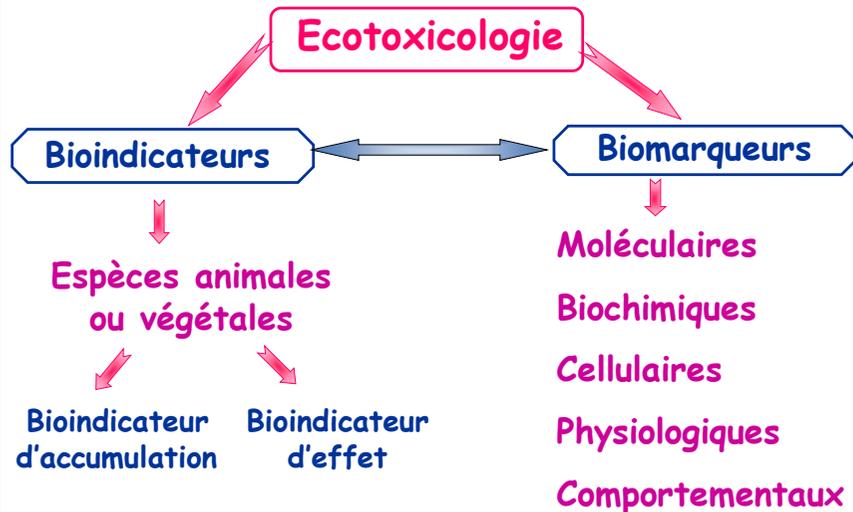


Fig 7. Pyramides des biomasses et des concentrations d'un polluant dans les réseaux trophiques.

## 6. Bioindicateurs et biomarqueurs



### 6.1. Bioindicateur:

a. **Définition:** Un bioindicateur est une **espèce végétale** ou **animale** dont la présence renseigne sur certaines caractéristiques physico-chimiques ou biologiques de **l'environnement** ou sur l'incidence de certaines pratiques.

Les **effets** sont observables au niveau de **l'individu** et/ou la **population** et se traduisent par des altérations morphologiques, comportementales, tissulaires, physiologiques, biochimiques, moléculaires,....etc (biomarqueurs).

L'utilisation de **bioindicateurs** repose sur le principe de **sélection** des **organismes résistants** (tolérants) aux pollutions au détriment des **organismes sensibles**.

Les individus ou les **espèces sensibles** vont **disparaître** sous la pression du polluant (**mort** ou **fuite**), laissant la possibilité aux **espèces résistantes** de se **développer** davantage.

Ce phénomène c'est l'analyse des **présences/absences**. Une espèce bioindicatrice traduit la contamination du milieu par son abondance ou son absence.

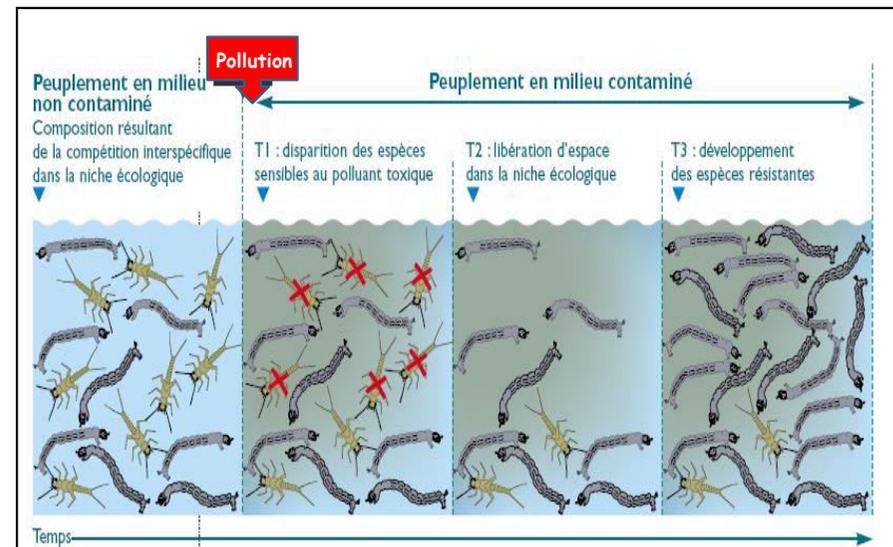


Fig 8. Principe d'un bioindicateur: sélection d'organismes résistants au détriment d'organismes sensibles. Analyse présence/absence

#### b. Types :

- **bioindicateur d'accumulation**: qui **accumule** une ou plusieurs substances issues de son environnement permettant ainsi d'évaluer son exposition.
- **bioindicateur d'effet**: qui permet de révéler des **effets** spécifiques ou non lors de l'exposition à une ou plusieurs substances issues de son environnement.

#### d. Utilisations :

- Déceler les **changements** dans l'environnement naturel.
- Surveiller la **présence de pollution** et ses **effets** sur l'écosystème et l'organisme.
- Suivre les **progrès du nettoyage** de l'environnement.

#### c. Caractéristiques :

- Être connu scientifiquement (ubiquiste, abondant et sédentaire).
- Être lié ou corrélé à des fonctions de l'écosystème.
- Intégrer des propriétés ou des processus physiques, chimiques et biologiques.
- Pouvoir prendre en compte différents aspects.
- Présenter des qualités de mesure.
- Echantillonnage facile, efficace et peu cher.
- Élevage possible en laboratoire

### 6.2. Biomarqueurs :

- a. **Définition**: 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 *et al.*, 1997).

Les **biomarqueurs** sont **mesurés** chez des **organismes exposés** à des conditions de **stress** liées à la présence de **substances polluantes** dans l'environnement.

Ils représentent la **réponse biologique initiale** des organismes face à des **perturbations** ou des **contaminations du milieu** dans lequel ils vivent.

### b. Types :

- **Biomarqueurs d'exposition:** substance **exogène** ou son **métabolite**, ou le **produit d'une interaction** entre un agent **xénobiotique** et une **molécule** ou une **cellule-cible**, qui est mesurée dans un compartiment à l'intérieur d'un organisme.
- **Biomarqueurs d'effet:** **altération biochimique, physiologique** ou d'un autre type qui peut être mesurée à l'intérieur d'un organisme et qui, suivant son ampleur, peut être reconnue comme un trouble de la santé ou une maladie, établie ou potentielle.
- **Biomarqueurs de sensibilité:** indiquent l'existence d'une **sensibilité différente au toxique** dans une partie de la population.

L'**inhibition** ou l'**induction** des biomarqueurs sont de bons **outils écotoxicologiques** pour:

- Évaluer l'**exposition**
- Évaluer les **effets** potentiels des **xénobiotiques** sur l'organisme.

Principe d'un biomarqueur: sa concentration dans l'organisme reflète que celui-ci est exposé a un polluant.

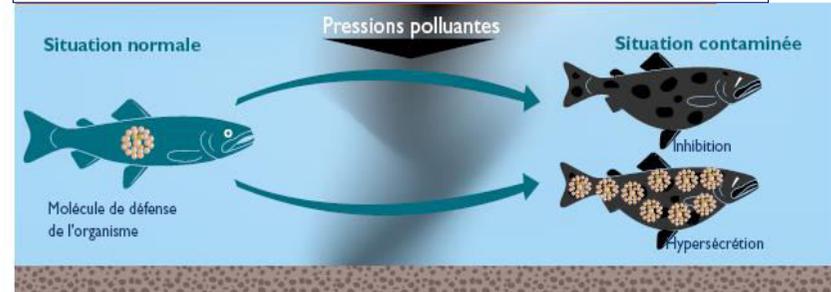


Fig. 9. Principe d'un biomarqueur : inhibition ou induction.

### \* Biomarqueurs

Depuis les années 80

Biomarqueurs d'exposition

Biomarqueurs d'effet

Biomarqueurs de sensibilité

Définition plus récente

Biomarqueurs de défense ou d'adaptation

Biomarqueurs de dommage ou d'effet

Réaction de défense de l'organisme exposé à un contaminant.

Modification directe et néfaste causée par un contaminant à un organisme.

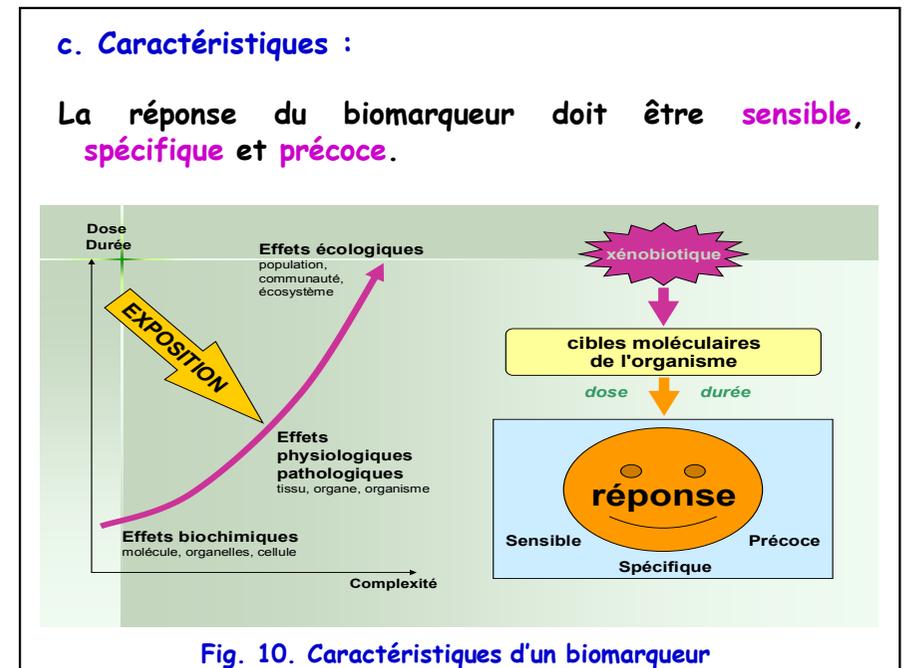
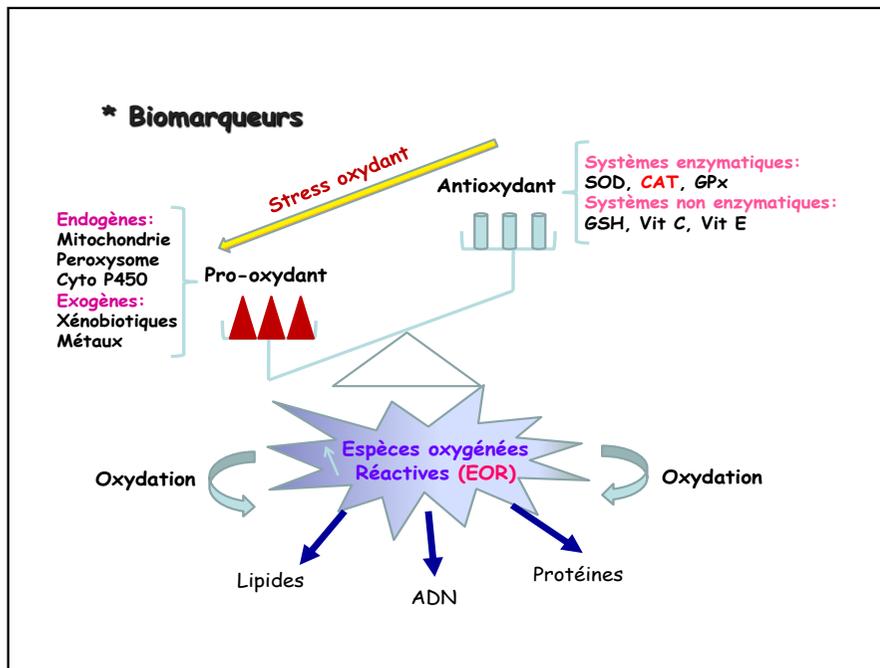
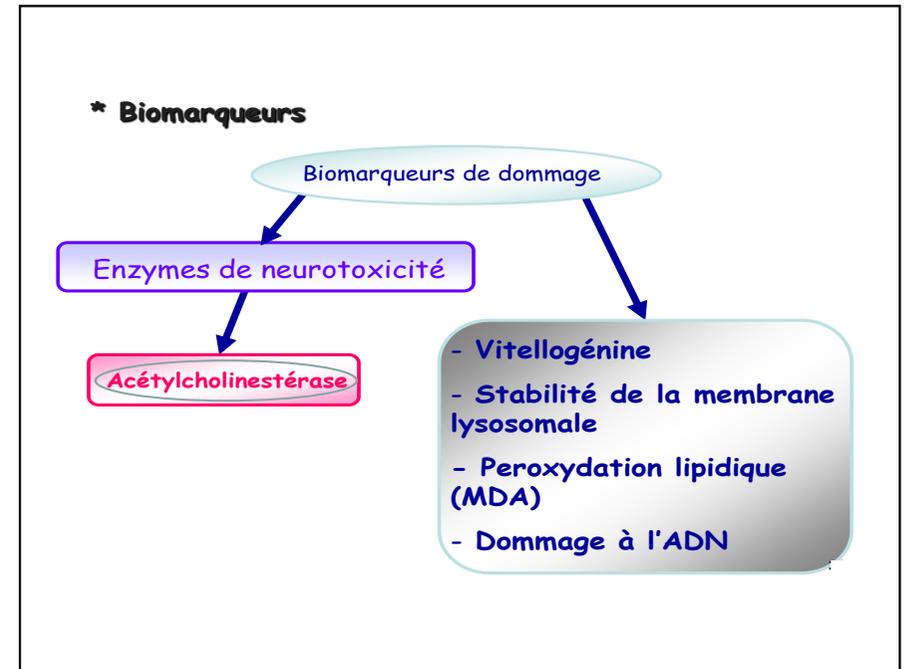
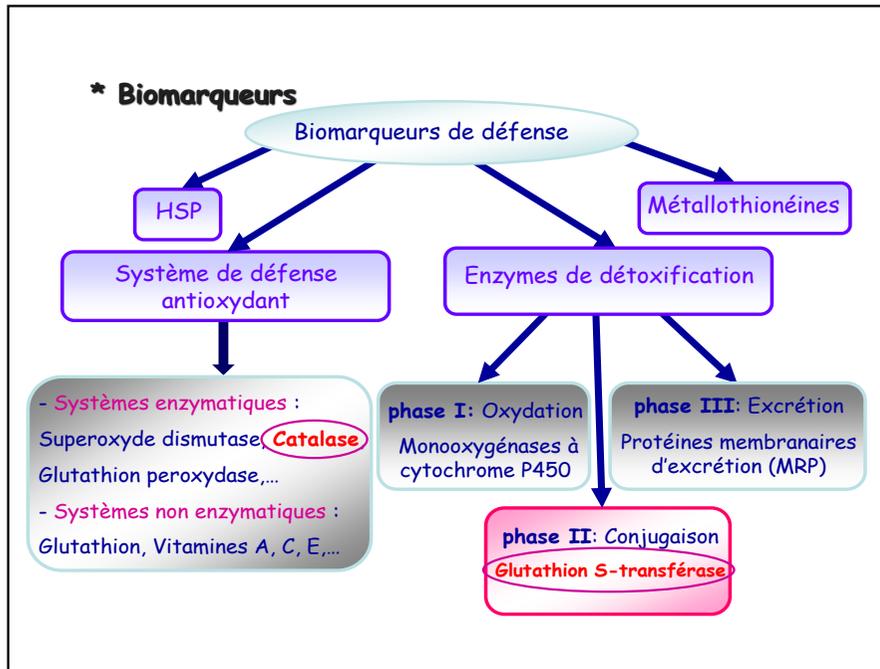
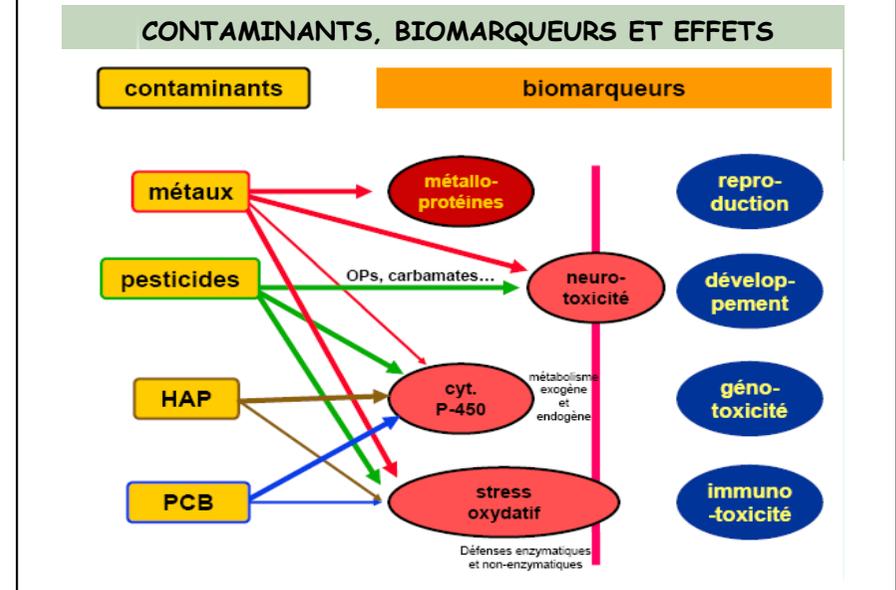


Fig. 10. Caractéristiques d'un biomarqueur

### c. Caractéristiques :

- Leur **sensibilité** et leur **spécificité** vis-à-vis d'un type de pollution ou de stress doivent être connues.
- Leur mesure doit être **reproductible** dans le temps, sur le court et/ou le long terme.
- Ils doivent être **communs** aux individus d'une même population, et la variabilité au sein d'un groupe témoin ou exposé doit être connue.
- Les méthodes de leur **dosage** doivent tenir compte de divers facteurs d'**applicabilité** en laboratoire et sur terrain tels que la facilité d'échantillonnage et de conservation et le coût des analyses.
- Ils doivent avoir un pouvoir **prédictif** des effets à des niveaux biologiques supérieurs (croissance, reproduction, population...) et éventuellement prédire les risques pour l'homme.

### d. Utilisations:



## 7. Sources de pollution

### SOURCES D'AGENTS TOXIQUES

#### 1. Ponctuelles

Rejets d'agents toxiques qui ont lieu à des points précis

Ex: Effluents, cheminées et déversement accidentels.

- Identifiables
- Dispersion modélisables
- Minorité des cas

#### 2. Diffuses

Nombreuses et se produisent à des fréquences irrégulières et peu prévisible

Ex: HAP (52% feux des forêts 20% poêles à bois 10% vieilles alumineries 0,1% cigarettes).

- Estimables
- Brouillard pour la dispersion
- Majorité des cas

La proportion de la contamination en provenance des sources diffuses s'avère souvent plus élevée que celle des sources ponctuelles

Sources  **multiples** : matières toxiques provenant de sources diffuses et source ponctuelles.

La multiplicité des sources diffuses et ponctuelles des contaminants  **complique**  l'inventaire de ces sources.

a- **Production d'énergie:** utilisation et gaspillage de ressources non renouvelables avec comme **conséquences de l'extraction** et de la **combustion du pétrole:**

- marées noires,
- pollution continentale et littorale,
- développement du transport routier,
- contamination diffuse de l'air,
- effet de photo-oxydants produits par les gaz d'échappement sur la végétation,
- chauffage urbain,
- augmentation du dioxyde de soufre  $SO_2$ .



Les substances plastiques renferment souvent des **stabilisants** et autres **agents plastifiants** dont la toxicité est mal évaluée.

Rôle important dans la contamination de l'environnement par:

- les **PCB** (PolyChloroDiphényl),
- le **DDT** (Dichloro-Diphényl-Trichloro-éthane)
- le **Cadmium**



b- **Activités industrielles:** émissions de



- **Composés minéraux:** Métaux et métalloïdes: mercure, plomb, cadmium, arsenic
- **Composés organiques:** aldéhydes, phénols, pesticides, fluorures, chlorés
- **Matières plastiques:** polyéthylène, polystyrènes, polyuréthane.

c- **Diversification de l'industrie chimique:**

1000 substances nouvelles/an dont la **nocivité** et la **toxicité** sont souvent très mal connues.

d- **Agriculture :**  
engrais, pesticides.



## e- Pollutions anthropiques (chimiques):



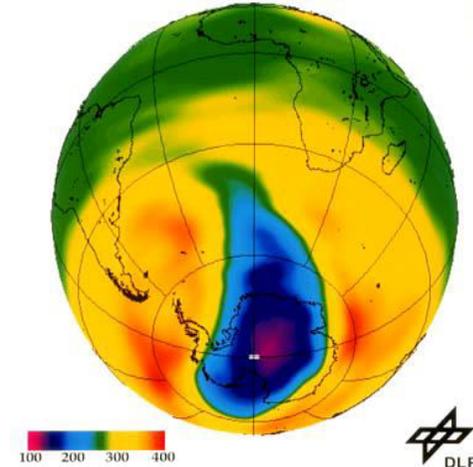
perturbent les équilibres globaux avec réchauffement climatique; pluies acides de la transformation:

- des oxydes de soufre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) en acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- des oxydes d'azote ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) en acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) (pH des pluies acides  $< 2,5$ ); rejet des gaz propulseurs des aérosols (CFC Chlorofluorocarbure) et impact sur la couche d'ozone.

## e- Pollutions anthropiques (chimiques):

Total Column Ozone  
ERS-2 GOME

1-Day Composite  
21.Oct.1996



- Certains composés de synthèse n'ont pas besoin d'être toxiques pour poser des problèmes environnementaux:

\* **les CFCs**  
(chlorofluorocarbones) persistants et volatiles, utilisés comme propulseurs, aérosols provoquent le délabrement de l'ozone ( $\text{O}_3$ ) stratosphérique.