

Ecotoxicologie générale

Dr. Benradia Hamida

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 :

La répartition des flux d'énergie

Les niveaux de radiation

La constitution physico-chimique du **milieu naturel** et **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 ou encore 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).

c. Toxicologie

TRUHAUT, (1976)

C'est la discipline qui étudie les substances toxiques (ou 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.

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 de leurs effets sur l'ensemble des êtres vivants qui peuplent la biosphère.

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 (1977)

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

c. 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.

e. Ecologisme



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

f. Environnique



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

permettant l'évaluation environnementale des objets bio-physico-chimiques d'études y compris nos actes.

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**.

g. Intégrologie

BOUCHE (1996).

L'intégrologie est à la fois **sociale** et **concrète** :

- **Sociale** : la société pourra juger de telle ou telle pratique en terme de risque/intérêt à un moment et en un lieu donné.

- **Concrète** : elle porte sur des variables bio-physico-chimiques du réel et relatives aux objets constitutifs des villes et campagnes, des usines et champs avec le réel et la société.

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

Nature

- Agents contaminants chimiques (métaux lourds en excès, organochlorés, pesticides synthétiques...).
- Agents contaminants microbiologiques (bactéries fécales, salmonelles pathogènes).

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...).

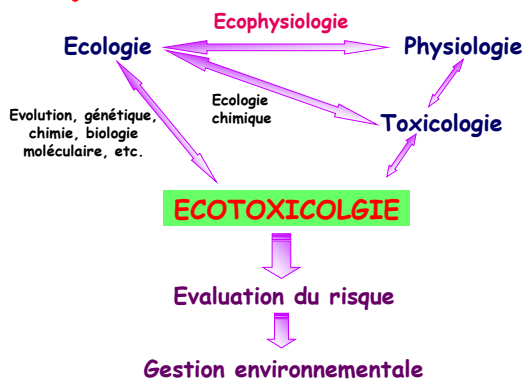
Nature

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

- 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

2. Objectifs



L'évaluation des effets de la pollution est l'objet 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).

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**) mais également des organismes tests en plein champ (**tests d'écotoxicité**).

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.

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

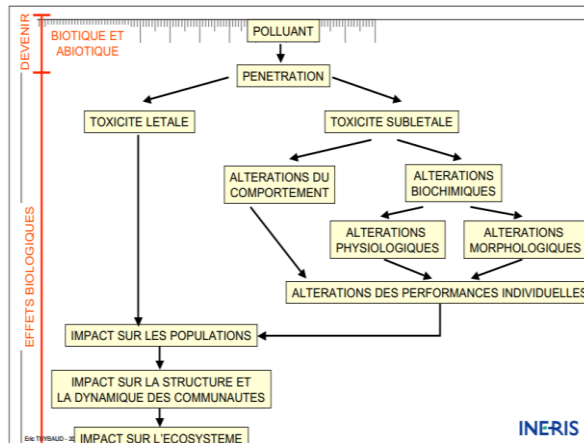
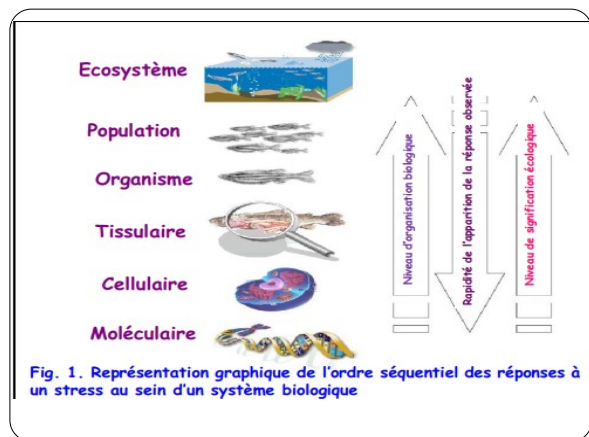
- à une très grande **complexité** liée à la diversité des **constituants de l'écosphère**.
- aux **variations spatio-temporelles** des facteurs écologiques.
- à la **diversité** qualitative et quantitative des **contaminants**.
- aux innombrables **mécanismes d'adaptation** mis en œuvre par les organismes.

3. Méthodologie et approches

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

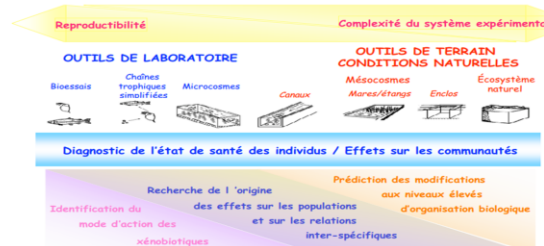
- La molécule,
- La cellule,
- L'organe,
- L'organisme,
- La population,
- La biocénose.

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 et par 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**.

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



3. Méthodologie et approches (suite)

Trois 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); ces 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-saxone 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'agrégation**.

4. Normes (suite)

- **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.

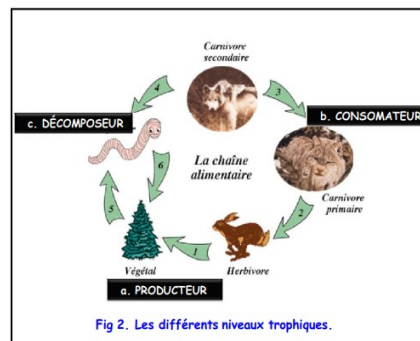
- **DMT (Dose Maximale Tolérable)**: Dose maximale d'un polluant que peut tolérer un être humain sans induire des effets nocifs. Cette notion implique le concept de rapport bénéfice/risque. La dose maximale tolérable est établie en fonction d'un seuil économiquement rentable à ne pas dépasser et du danger 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. 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) = $\frac{\text{Concentration du polluant dans l'organisme}}{\text{Concentration du polluant dans le milieu}}$

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, $\log Kow = \log P$. Il est généralement considéré qu'une substance est bioaccumulable si : $Kow \geq 100$, ou $\log P \geq 3$.

Exemples :

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

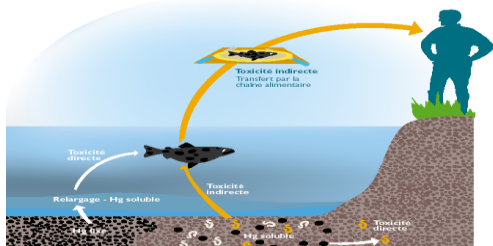
e. Biodisponibilité:

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



Rapport entre biodisponibilité et toxicité dans un écosystème aquatique.

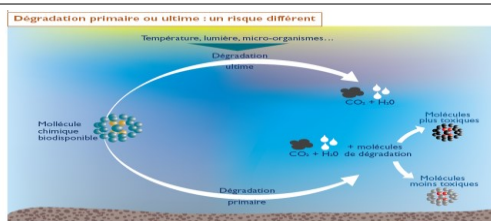
f. Biodégradation:

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**.

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_2 , méthane, eau, éléments minéraux. Cette biodégradation, si elle se fait rapidement, conduit à l'élimination du polluant dans le milieu.



Biodégradation primaire et biodégradation ultime.

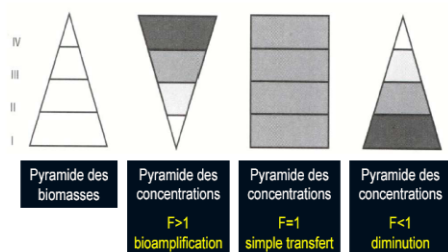
Le **potentiel de biodégradation** d'un produit chimique peut être estimé par le **rapport** entre la **demi-vie** (le temps nécessaire pour réduire la quantité de produit à 50% de sa valeur initiale) et le **temps de résidence**.

Les substances qui ont des rapports **>7** sont considérées comme virtuellement **non-biodégradables**.

g. Pyramides écologiques:

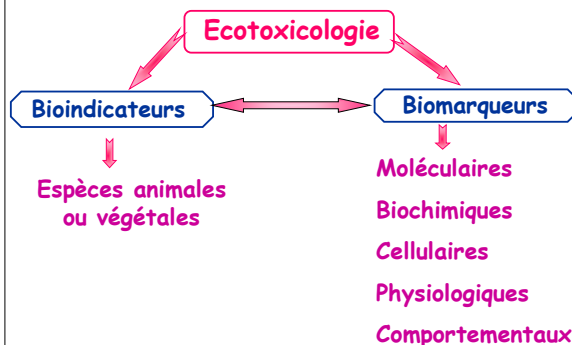
- **Pyramide des nombres** : Le nombre d'individus de chaque niveau trophique.
- **Pyramide de la biomasse** : La biomasse est la **masse totale** de la **matière organique** et des **êtres vivants** subsistant dans une région donnée. La pyramide de la biomasse est la masse de chaque niveau trophique 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.



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

6. Bioindicateurs et biomarqueurs



6.1. Bioindicateur :

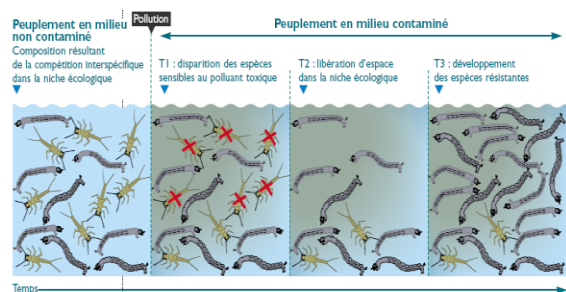
a. **Définition** : Un bioindicateur est une **espèce végétale** ou **animale** dont la présence renseigne sur certaines caractéristiques physico-chimiques ou biologiques de **l'environnement** ou sur l'incidence de certaines pratiques.

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 .

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

En effet, 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.



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

b. 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.
- Présenter des qualités de mesure.
- Echantillonnage facile, efficace et peu cher.
- Élevage possible en laboratoire

c. 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.

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).

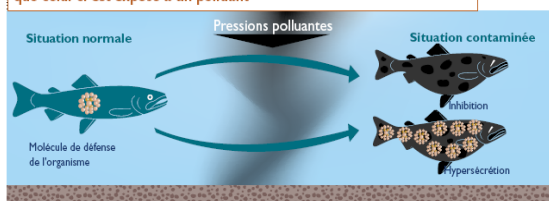
Les **biomarqueurs** sont **mesurés** chez des **organismes exposés** à des conditions de **stress** liées à la **présence** de **substances polluantes** dans l'environnement.

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

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 à un polluant



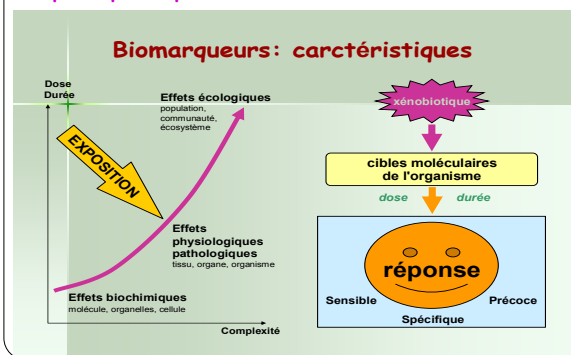
Principe d'un biomarqueur : inhibition ou induction.

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 quelconque, 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.

c. Caractéristiques :

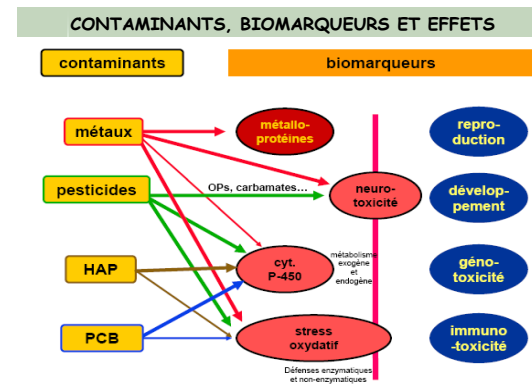
La réponse du biomarqueur doit être **sensible**, **spécifique** et **précoce**.



c. Caractéristiques (suite):

- 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

Effluents, cheminées et déversement accidentels.

- Identifiables et pondérables
- 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 élevés que celle des sources ponctuelles

La proportion de la contamination en provenance des sources **diffuses** s'avère souvent **plus élevés** 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 SO₂.



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.

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**



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 (SO_2 , SO_3) en acide sulfurique (H_2SO_4)
- des oxydes d'azote (NO , NO_2) en acide nitrique (HNO_3) (pH des pluies acides $< 2,5$); rejet des gaz propulseurs des aérosols (CFC Chlorofluorocarbure) et impact sur la couche d'ozone.

8. Classification des polluants

a. Critères et classification

La nature des polluants est extrêmement **variée**.

Les polluants sont **disséminés dans tous les compartiments**: hydrosphère, atmosphère, lithosphère, biosphère.

Plusieurs critères sont à l'origine de la **classification des polluants** : **nature** ou l'**état**, la **taille** ou l'**abondance**.

La classification la plus usitée est celle de Ramade (1977) qui distingue :

- des polluants **physiques** (radiations ionisantes, pollution thermiques, nucléaires).
- des polluants **chimiques** (hydrocarbures, matières plastiques, pesticides, nitrates, phosphates, métaux lourds, fluores...).
- des polluants **biologiques** (matières organiques mortes, agents pathogènes...).

Tableau 2 : Classification des polluants et leur présence dans les différents compartiments ou écosystèmes.

Nature des polluants	Compartiment ou Ecosystèmes			
	atmosphérique	continentaux	limniques	marins
Polluants physiques				
Radiations ionisantes	+	+	+	+
Pollution thermique	+	+	+	+
Polluants chimiques				
Hydrocarbures	+	+	+	+
Plastiques	+	+	+	+
Pesticides	+	+	+	+
Détergents	+	+	+	+
Composés divers de synthèse	+	+	+	+
Dérivés du Soufre	+	+	+	+
Nitrates		+	+	+
Phosphates			+	+
Métaux lourds	+	+	+	+
Fluorures	+	+		
Particules minérales	+	+		
Polluants biologiques				
Matières organiques			+	+
Microorganismes	+	+	+	+

b. Classification des polluants

Une seconde classification est basée sur l'abondance naturelle

- des **éléments traces** (68 éléments dont la concentration individuelle est inférieure à 0,1% avec un total de 0,6% de la masse de la croûte terrestre)
- des **éléments majeurs** (12 éléments intervenant pour un total de 99,4%) dans la croûte terrestre.

Selon ces critères BOUCHE (2005) classe les substances toxiques en :

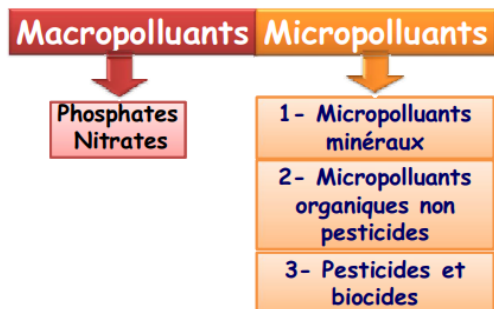
- **Mégapolluants** lorsque la substance considérée constitue environ 1% ou plus du sol/sédiment (masse sèche). C'est le cas de la matière organique morte qui peut en certains cas (absence d'oxygène être à l'origine d'effets toxiques par l'asphyxie résultant de sa décomposition).

- **Macropolluants**, lorsque la substance considérée représente quelques **ppm** (mg/kg) du substrat analysé. C'est le cas des métaux lourds ou de l'ammoniaque.

- **Micropolluants**, lorsqu'ils représentent quelques **ppb** (µg/kg) du substrat. C'est le cas des **PCBs** (PolyChloroDiphényl), **HAPs** (Hydrocarbures aromatiques polycycliques), dioxines, pesticides.

- **Génotoxiques**, lorsque chaque molécule a des effets délétères comme le cas des adduits se fixant sur l'ADN et induisant des dysfonctionnements cellulaires (cancers, tératogenèse).

Une **troisième** classification simplifiée subdivise schématiquement, les polluants en **deux** grands groupes:



1- Micropolluants minéraux:

- Éléments traces métalliques,
- Silice, Silicates, Amiante,
- fluorocarbène (gaz propulseur des aérosols nocif pour la couche d'ozone).

2-Micropolluants organiques non pesticides:

- Hydrocarbures aromatiques polycycliques et hétérocycliques.
- Paraffines chlorées.
- Aromatiques halogénés.
- Aromatiques halogénés avec oxygène.
- Aromatiques volatils.
- Amines aromatiques.

3-Pesticides et biocides:

- Organo-halogénés aliphatiques (lindane).
- Acides phénoxyacétiques (2,4 D).
- Cyclodiènes (Aldrine).
- Triazines.
- Carbamates (Carbaryl).
- Organo-phosphates (malathion).
- Organo-mercuriels.
- Benzoylurées.
- Benzoylhydrazine.

c. Différences entre les macropolluants et les micropolluants:

Les micropolluants se distinguent des autres polluants par les caractéristiques suivantes:

- les **sources** des micropolluants sont le plus souvent diffuses et difficilement contrôlables.
- leur faible concentration dans les déchets (gazeux, liquides ou solides) rend leur **élimination** difficile et leur **analyse** délicate et nécessitant un ensemble de techniques particulières.
- ils **pénètrent** facilement dans l'organisme.

- ils entraînent des **perturbations** des écosystèmes ou des **troubles métaboliques** (par modification des réactions biochimiques de base telles le cycle de Krebs ou par compétition au niveau d'une fonction essentielle) chez les organismes pour des **doses très faibles**, généralement <1 ppm (1 mg/kg).
- ils sont souvent peu **biodégradables**, s'accumulent dans l'environnement et leurs produits de dégradation peuvent être aussi dangereux que les molécules mères.

9. Règle des trois actions polluantes:

a. Liaison aux constituants chimiques des organismes au moyen d'un groupement chimique simple:

Une substance est polluante lorsqu'elle est étrangère au milieu naturel mais qu'elle peut se lier aux constituants chimiques des organismes au moyen d'un **groupement chimique** simple. Ainsi, sa nature étrangère au milieu **modifie les réactions biochimiques de base**.

Si le mercure métallique présente un certain danger:

- **troubles du métabolisme**
- **déséquilibre** au niveau des **écosystèmes** terrestres et aquatiques

ce sont surtout :

- les **sels de mercure** (chlorure de mercure = HgCl_2)
- les dérivés **organo-mercuriels** (**Méthyl-mercure** = CH_3Hg^+) qui sont les plus à craindre pour la santé et l'environnement.

- Le mercure fait partie d'une famille de pesticides **organo-mercuriels** très efficaces dans la **protection des semences** contre divers **parasites** (bactéries, champignons, insectes).
- Exemple: le méthyl-mercure ou le nitrate de méthyl-mercure (la liaison électrovalente leur confère une **hydrosolubilité** donc une entrée facile dans le milieu aquatique tandis que le **radical méthyl** leur permet de **s'insérer dans les cycles biochimiques**).
- Beaucoup de micropolluants agissent selon ce type de mécanisme.

b. Caractéristiques réactionnelles et structurales du polluant semblables à celles des fonctions chimiques constitutives des organismes:

Il y a alors **compétition**. Ex: l'inhibiteur de l'**AChE**. Cette enzyme inactive un médiateur chimique l'**acétylcholine** qui est libéré dans l'intervalle synaptique et se fixe sur les plaques motrices du muscle provoquant l'apparition d'un potentiel d'action responsable des contractions musculaires.

A défaut d'enzymes inactivant ce médiateur chimique, il s'établit un **blocage** de la **synapse** et une **contraction continue** des muscles aboutissant à un **état tétanique**.

Les insecticides organophosphorés (malathion, les esters phosphoriques de synthèse) sont de puissants inhibiteurs des acétylcholinestérases.

Ils agissent en se fixant de façon irréversible sur les **sites actifs de l'enzyme**. Dès lors, l'**acétylcholine** s'accumule dans les synapses provoquant une **stimulation constante des muscles** entraînant une **paralysie tétanique**.

Les insecticides organophosphorés sont encore utilisés. Ils présentent une toxicité aiguë très élevée provoquant des **troubles profonds du système nerveux** suite à un **blocage des acétylcholinestérases**

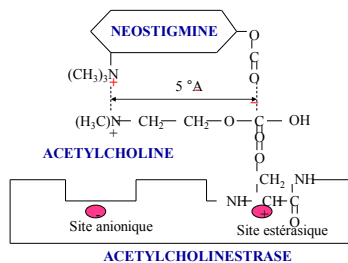
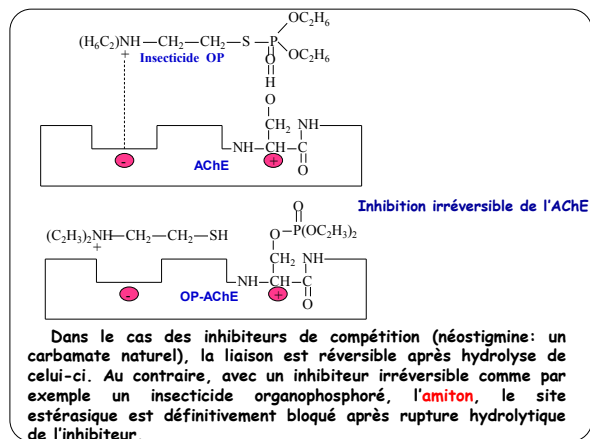


Figure 1. Mode d'action des toxiques anticholinestérasiques.

Les deux sites actifs de l'acétylcholinestérase sont séparés par une distance de **5 Å**. La même distance sépare le **groupe ammonium quaternaire** du **groupe carboxyle** dans le substrat de cet enzyme, l'**acétylcholine**. Tous les inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (comme néostigmine: carbamate) possèdent également deux groupements électropositif et électro négatif séparés par une distance de **5 Å** ce qui permet leur captation parfaite avec les sites anioniques et estérasiques de l'enzyme.



c. Déplacement des équilibres dans l'environnement par les polluants

Le polluant est un composé naturel et un élément essentiel, tel le phosphore ou le zinc par exemple, dont la présence dans l'environnement en concentration élevée déplace les équilibres.

Exemple: Le phénomène d'eutrophisation.



Lorsque les nutriments comme les phosphates ou les nitrates provenant des amendements agricoles ou des détergents, sont présents en quantités très importantes dans l'environnement aquatique, il peut y avoir un **développement excessif des producteurs**, ce qui va entraîner une consommation accrue d'oxygène.

Ce phénomène particulier de pollution est bien connu; il s'agit de l'**eutrophisation**

8. Pollution des écosystèmes et évaluation

a. Nocivité du polluant:

Elle dépend de plusieurs facteurs :

1. Nature chimique du polluant

2. Caractéristiques du milieu

3. Organisme

1. Nature chimique du polluant

2. Caractéristiques du milieu

Dans le cas du **mercure**:

- Les **facteurs de contamination** (les dérivés organiques ou inorganiques du mercure, les niveaux de concentrations...)
- Les **facteurs abiotiques** (pH, chlorure)

ont une influence importante dans le degré d'accessibilité du métal à la zone hydrophobe intra-lipidique et au flux transmembranaires.

3. Organisme

L'organisme cible:

La membrane biologique: Le polluant doit franchir la membrane biologique ou se fixer sur celle-ci.

L'action des membranes biologique est en effet double.

1/ **Contrôler** le passage de l'extérieur vers l'intérieur de l'élément en bloquant, ralentissant ou accélérant l'absorption.

2/ **Fixer** préférentiellement certains polluants de façon transitoire ou définitive en provoquant des **atteintes structurales** ou **fonctionnelles** souvent extrêmes pour la vie de la cellule.

b. Effet des polluants:

L'effet du polluant au niveau de l'organisme dépend du **rôle physiologique** rempli par la **cellule**, le **tissu** ou l'**organe** altéré par le polluant.

Ceci implique l'importance des études de la **localisation du polluant** dans l'**organisme**.

Selon la **réponse des organes** aux phases de contamination et de décontamination, on peut distinguer :

- Les **organes** receveurs et les organes donneurs.
- Les **voies** préférentielles d'entrée et de sortie des polluants.
- Les **processus** cumulatifs ou limitatifs (cumulatifs se concentre dans l'organisme tout au long de son existence, cas du Cd et Hg chez les mammifères).

La **bioaccumulation** au niveau de l'organisme sera tributaire de nombreux facteurs et en premier lieu :

- de la **nature** de l'élément métallique qu'il ait un rôle biologique ou non et qu'il soit réguler ou non par l'organisme.
- de **facteurs biotiques** comme le stade vital, l'âge, le sexe et l'état physiologique.
- de **facteurs abiotiques** comme le degré de pollution, la saison (facteurs climatiques).

Chez les organismes aquatiques, la **pénétration des polluants** (dont les métaux) peut se faire

- soit **directement** par l'eau (pénétration branchiale, cutanée...)
- soit par **l'intermédiaire de la nourriture**.

La part respective des deux voies aura des conséquences sur :

- l'**organotropisme**.
- l'**élimination** (mécanisme de détoxification, métalloprotéines)
- la **spéciation chimique** du polluant (biodisponibilité et toxicité).

L'exposition chronique à des doses sub-létales peut induire une **tolérance** à ce polluant.

Plusieurs **hypothèses** ont été avancées concernant l'acquisition de la tolérance.

Les mécanismes responsables de cette tolérance sont liés:

- a. aux relations entre l'acclimatation de certaines espèces animales aux métaux et la présence dans leur organisme de métallothionéines (ou autres métalloprotéines) ou l'augmentation de la synthèse de cette protéine.
- b. à la redistribution du polluant au sein de l'organisme correspondant à un stockage au niveau de sites biochimiques moins sensibles.
- c. à la variation des capacités d'absorption et/ou d'excrétion.

c. Evaluation des effets:

Le développement de l'industrie a entraîné une contamination de l'environnement par une quantité et une diversité croissante de substances toxiques

- d'origine industrielle (métaux lourds)
- d'origine agricole (fertilisants ou pesticides).

Les effets des polluants sont souvent peu décelables rendant ainsi leur évaluation difficile.

Trois modes d'absorption du toxique dans l'organisme :

- la voie respiratoire (toxicité par inhalation).
- la voie trans-tégumentaire (toxicité percutanée ou par contact).
- la voie orale (toxicité par ingestion ou per os).

La toxicité de ces produits s'exerce à différents niveaux de l'écosystème:

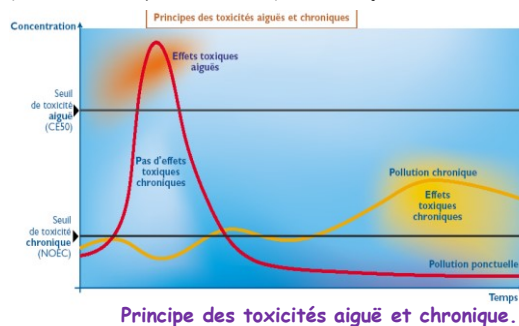
- soit sur les proies des animaux Vertébrés et/ou Invertébrés.
- soit sur les constituants de leurs habitats (herbicides).
- soit sur la faune elle-même (réduction de la fertilité et augmentation de la mortalité).

Plusieurs types d'effets sont induits par une contamination:

- **Effets immédiats de mortalité** (toxicité aiguë) sont difficiles à constater surtout quand il s'agit de fortes doses de polluants absorbées en une ou plusieurs fois.
- **Effets sub-létaux** (toxicité sub-létale) observés chez une population contaminée qui présente une proportion significative d'individus survivants bien que tous les individus manifestent des troubles métaboliques.
- **Effets à long terme** (toxicité chronique) sont plus importants et se manifestent à des doses plus faibles.

Exemple : **le toluène**

- Seuil de toxicité aiguë = 6,3 mg/l (tests effectués sur poissons, *Oncorhynchus kisutch*, pendant 96 heures).
- Seuil de toxicité chronique = 1,4 mg/l (tests effectués sur poissons, *Oncorhynchus kisutch*, pendant 40 jours).



Relations de causalité

Etablir les conditions expérimentales assurant la relation de causalité entre la **présence d'un toxique** et les **effets induits**

- d'une manière intentionnelle (expérimentation provoquée)
- d'une manière non intentionnelle (expérimentation accidentelle).

5 principaux critères d'évaluation en épidémiologie:

- **La spécificité:** Description des signes pathologiques associés à la pathologie.
- **La force du lien entre les variables:** Les statistiques permettent une validité à la relation entre l'intensité des symptômes et les teneurs en toxique.
- **La relation d'ordre temporelle:** La causalité n'est démontré que si la cause précède l'effet.
- **La reproductibilité:** La relation cause-effet peut être retrouvée (équipes et époques différentes, protocoles variés).
- **La cohérence:** Identification d'un mécanisme plausible sur la cause responsable des effets observés.

Démarche d'évaluation du risque écotoxicologique vise à répondre aux questions suivantes:

- D'où viennent les substances toxiques?
- Quelles sont les concentrations de ces substances toxiques en des lieux et à des moments précis dans des composantes abiotiques (eau, air, sol) et biologiques d'un environnement et quelle est leur durée de vie ?
- Quels sont les différents effets néfastes de ces substances toxiques? Ces dernières représentent-elles des dangers ?
- Qui est exposé à ces dangers? A quel endroit et pendant combien de temps y est-on exposé ?
- Quels sont les risques associés à ces substances toxiques ?

Démarche d'évaluation du risque écotoxicologique

