

ECOTOXICOLOGIE GENERALE



1. Définitions



a. 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).

b. 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**.



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.

c. Ecotoxicologie

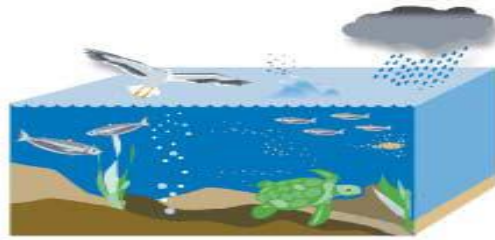
RAMADE (1977)

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.

Ecosystème



Population



Organisme



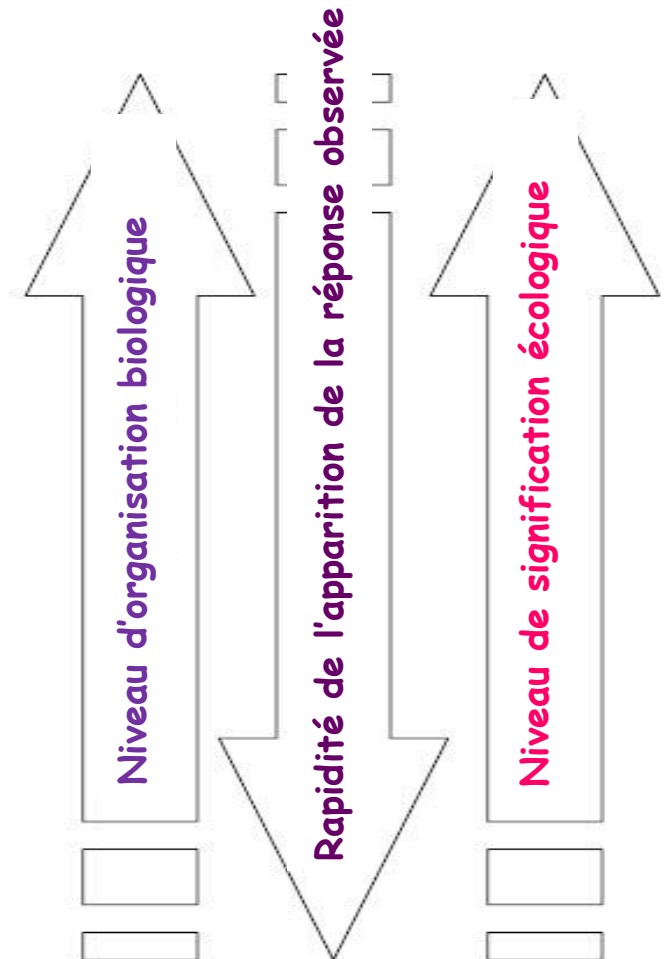
Tissulaire



Cellulaire



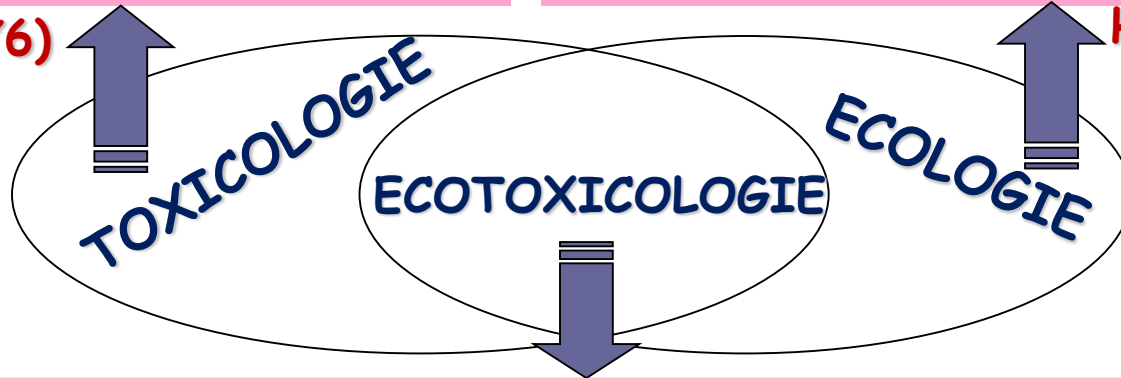
Moléculaire



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

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

TRUHAUT (1976)



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)

Définition de l'écologie, de la toxicologie et de l'écotoxicologie⁸.

d. Ecologisme

SIMONET (1979)



C'est un mouvement social, philosophique et politique.

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

e. Environnique BOUCHE (1996)

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



f. Pollution



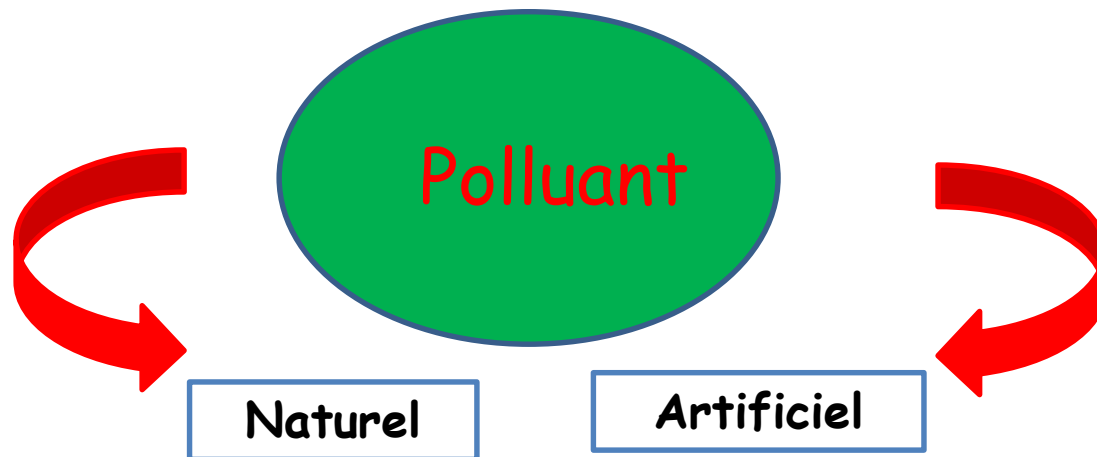
La pollution est une **modification défavorable du milieu naturel** qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de **l'action humaine**, au travers d'effets **directs** ou **indirects**.

Ces effets altèrent:

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

g. Polluant

C'est une substance **naturelle ou artificielle** que l'homme a introduit dans un milieu où elle était absente (ou présente en quantité différente)



- Exemple d'une « substance polluante naturelle » :
le sel

des usines de **dessalement**



des **inconvénients**



gourmande en énergie



le rejet, en mer ou dans le sol



saumures



concentrées au double de la salinité naturelle

- la salinité de l'eau de mer: **37 et 38** grammes par litre (g/l)
- la salinité des saumures peut atteindre les **70 g/l** (Sanchez-Lizaso, 2008).

une augmentation de la salinité des eaux a des **conséquences néfastes** sur la plante à fleurs aquatique **posidonie**, dès **38,4 g/l** (Sanchez-Lizaso, 2008). Or, ces herbiers constituent un écosystème de premier plan en Méditerranée et exercent une **fonction protectrice des littoraux** contre l'érosion marine. Ces herbiers sont le refuge d'un grand nombre d'espèces animales (mollusques, poissons, crustacés, etc.).



- Exemples de « substances polluantes artificielles » (dite d'origine anthropogénique)
 - ❖ Ce sont des substances créées et introduites dans l'environnement par **l'activité humaine**. Les exemples sont **innombrables** :
 - les pesticides
 - les CFC (Chlorofluorocarbones)
 - les PCB (Polychlorobiphényles)

*** Agents pollutants**

*** Agents contaminants**

*** Agents toxiques**



Agents polluants

Définition

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

Origine

- **Agents polluants naturels**
(fumées de volcans, coliformes fécaux transférés du sol 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 PCB, herbicides, chrome issue des Poteau 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**.

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

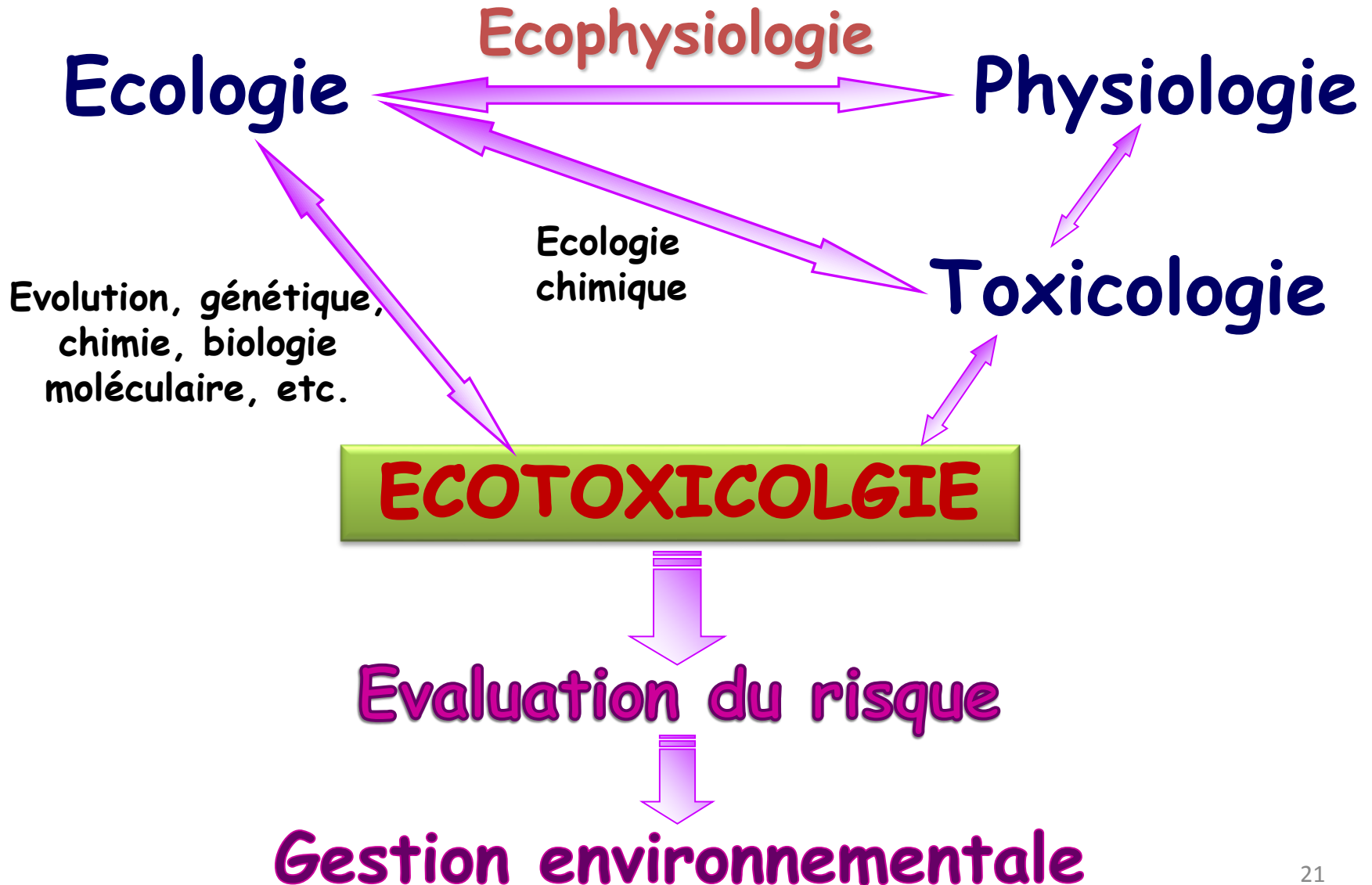
- **Agents toxiques chimiques** (Monoxyde de carbone des gaz d'échappement d'automobiles, métaux lourds).
- **Agents toxiques physiques** (Radioactivité, rayons ultraviolets..)

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.

- 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.

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...).

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**).

L'écotoxicologie a deux objectifs principaux :

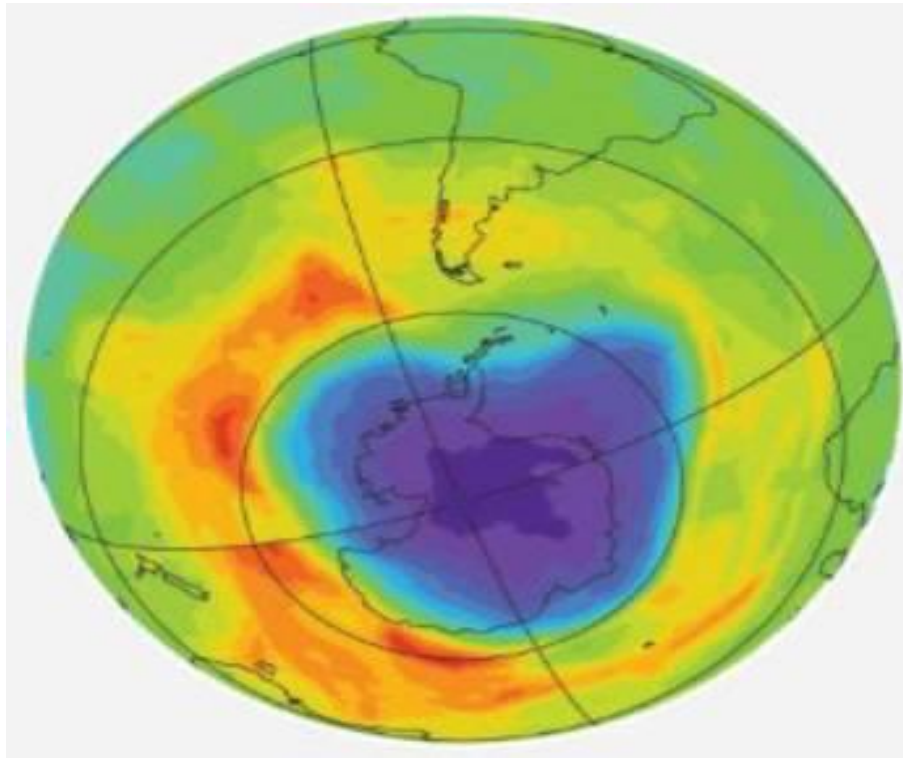
- **Etudier** les processus de **contamination** des milieux.
- **Evaluer** les **effets des polluants** à l'égard de la **structure** et du **fonctionnement** des systèmes naturels.

Elle doit donc étudier les 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.

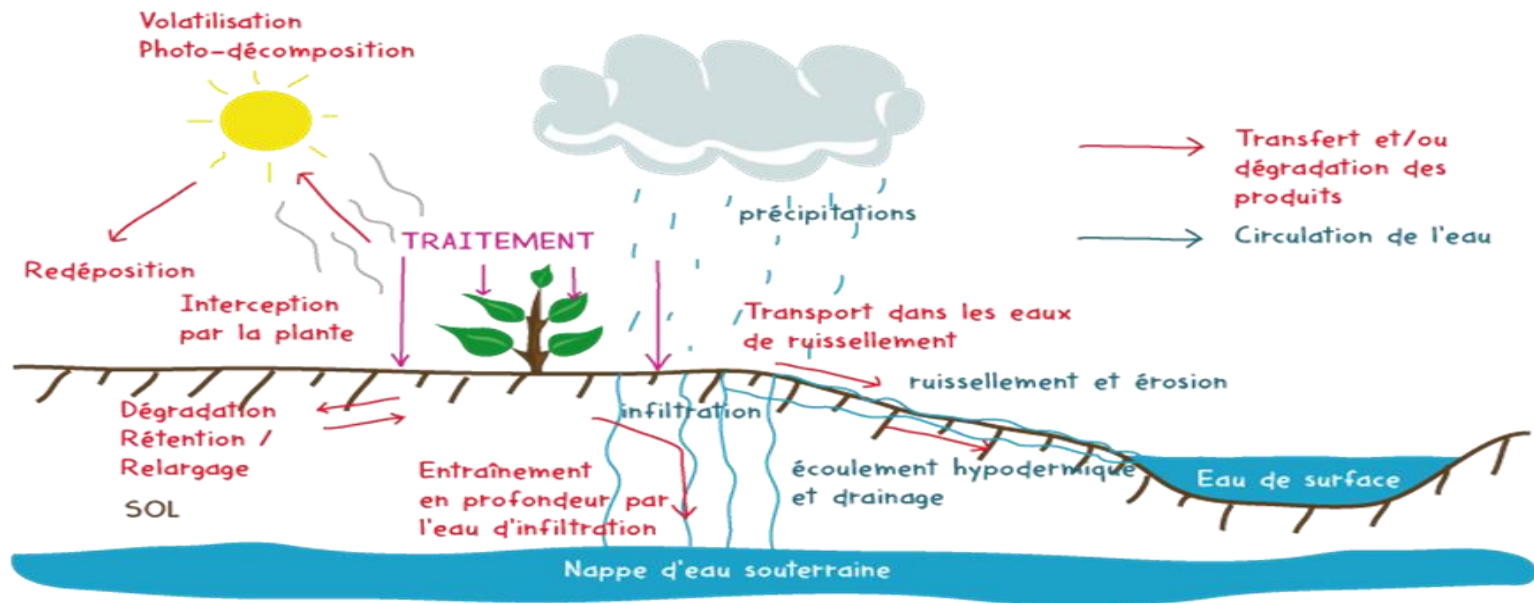
Cependant, l'écotoxicologie à des **contraintes**. Elle se heurte:

- 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.

les modalités de contamination de l'environnement



- Exemple d'un polluant directement introduit dans l'environnement: un pesticide

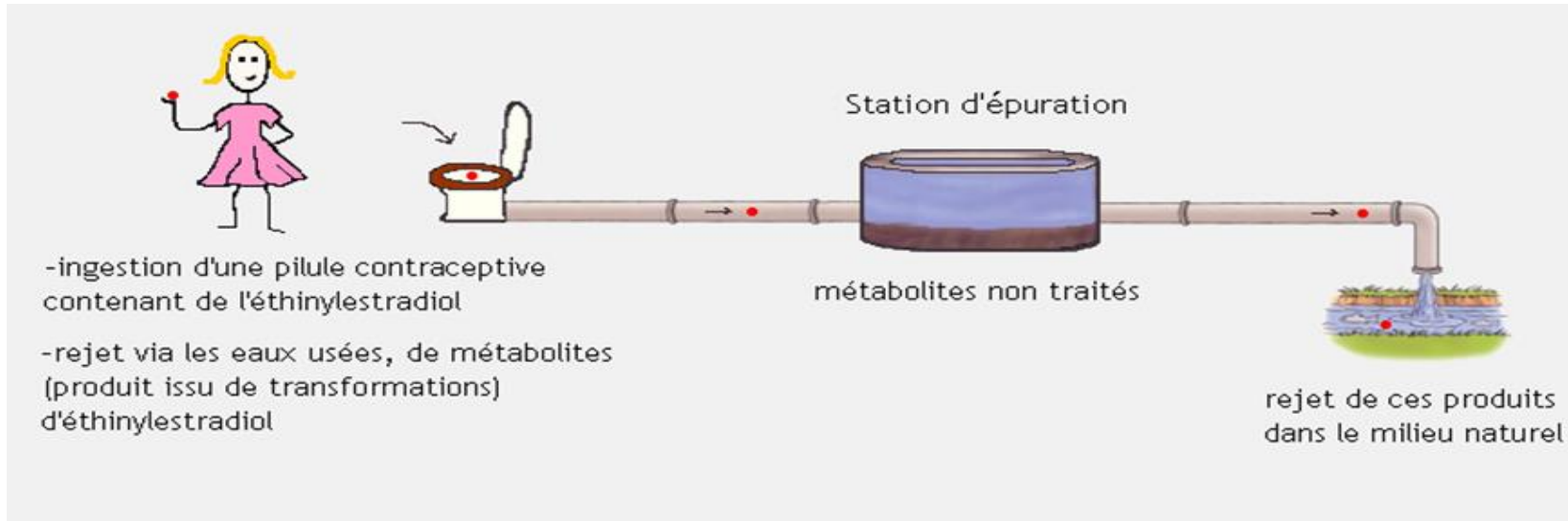


Dispersion dans l'environnement d'un pesticide appliqué sur une plante

Sur ce schéma, on voit que le pesticide se disperse:

- dans **le sol**
- dans **les cours d'eau** (eau de surface) où il est entraîné par ruissellement
- dans les **nappes phréatiques** par infiltration (à cause de la pluie)
- dans **l'air par volatilisation** où il peut être dégradé (photo-décomposition) et/ou redéposé à un autre endroit

- Exemple d'un polluant introduit indirectement dans l'environnement: **l'éthinylestradiol**, hormone de synthèse présente dans la **pilule contraceptive**



perturber la reproduction et les caractères sexuels (poissons mâles féminisés) de la faune aquatique .

❖ Que devient le polluant une fois dans l'Environnement ?

Le polluant se répartit selon ses **propriétés** et selon les **conditions du milieu**, par exemple:

- ✓ un produit **faiblement soluble** dans l'**eau** aura tendance à s'accumuler dans **les sédiments**
- ✓ un produit qui n'est **pas soluble** dans l'**eau** aura tendance à **flotter** en surface (par exemple les hydrocarbures)
- ✓ un polluant **soluble** sera plutôt **réparti** dans l'eau d'une rivière (par exemple le dioxyde de soufre SO_2)

❖ Une fois le polluant dans l'environnement :

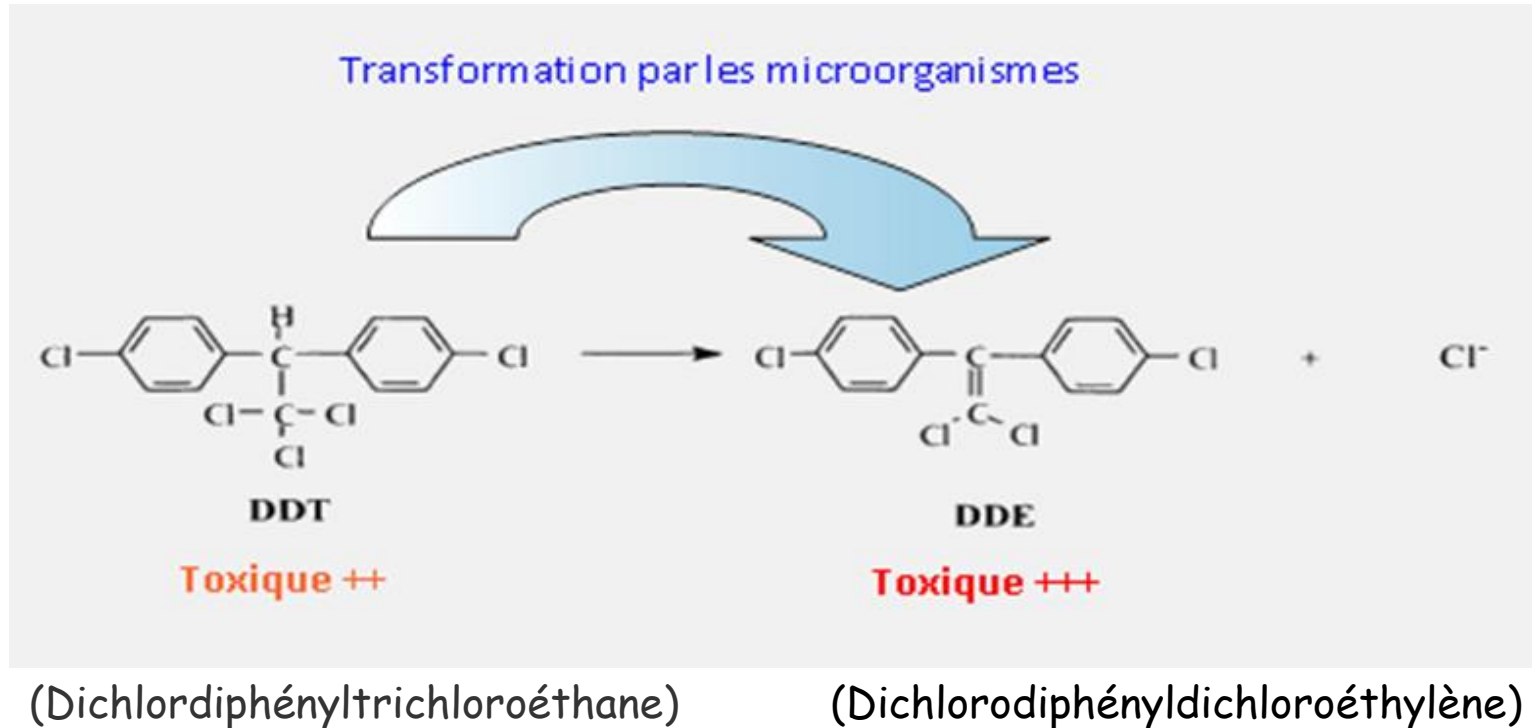
- a. il peut être **rapidement dégradé** ou au contraire **persister dans l'environnement**.
- b. il peut se **transformer** ou se **combinaison** avec d'autres composés et **devenir plus ou moins toxique** que la forme initiale.
- c. il peut être « **piégé** » et **ne pas contaminer** les organismes vivants ou au contraire être « **disponible** » et les **contaminer** : ce concept se nomme la **biodisponibilité**.

a. il peut être rapidement dégradé ou au contraire persister dans l'environnement.

les PCB (Polychlorobiphényles) = **faiblement biodégradables**

- ✓ **l'activité biologique** (notamment les microorganismes) ainsi que la **décomposition chimique** ne **dégrade** que très **lentement** le composé
- ✓ **demi-vie** du PCB = 94 jours à **2700 ans**
- ✓ **demi-vie** du Toluène = 28 jours, il est donc assez **rapidement dégradé** dans l'environnement (Wiedemeier, 1999).

b. il peut se transformer ou se combiner avec d'autres composés et devenir plus ou moins toxique que la forme initiale.



Biodégradation:

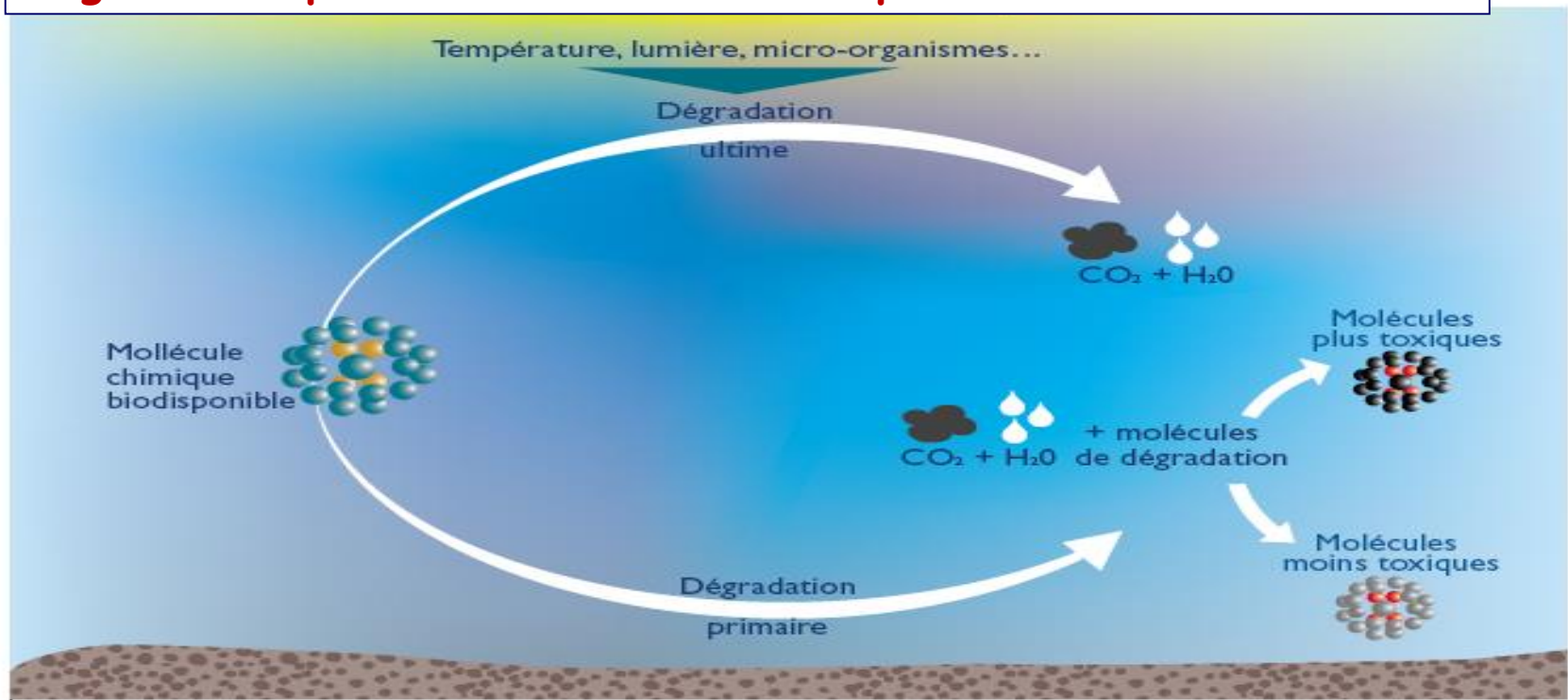
La **biodégradation** est tout processus biologique qui entraîne la **conversion** d'une **substance organique** en **dérivés** chimiquement distincts de la substance initiale.

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 , 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.



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**.

c. il peut être « piégé » et ne pas contaminer les organismes vivants ou au contraire être « disponible » et les contaminer : ce concept se nomme la biodisponibilité.

Ex : un sol contaminé en **métaux lourds**

- ✓ **Quels sont leurs effets sur la faune du sol , ex: vers de terre?**
- si ces métaux ne sont pas **biodisponibles (sol sec)**, c'est à dire **non assimilables** par les organismes vivants. C'est-à-dire que les polluants sont adsorbés (=collés) très fortement à la surface des particules du sol donc il ne représente aucun danger pour la faune du sol
- si ces mêmes polluants sont **dissous** dans l'**eau** présente **entre les particules** du sol, alors ils sont **biodisponibles**, alors il est potentiellement dangereux pour la faune locale.

Adsorption versus Absorption



Absorption



Adsorption



Biodisponibilité:

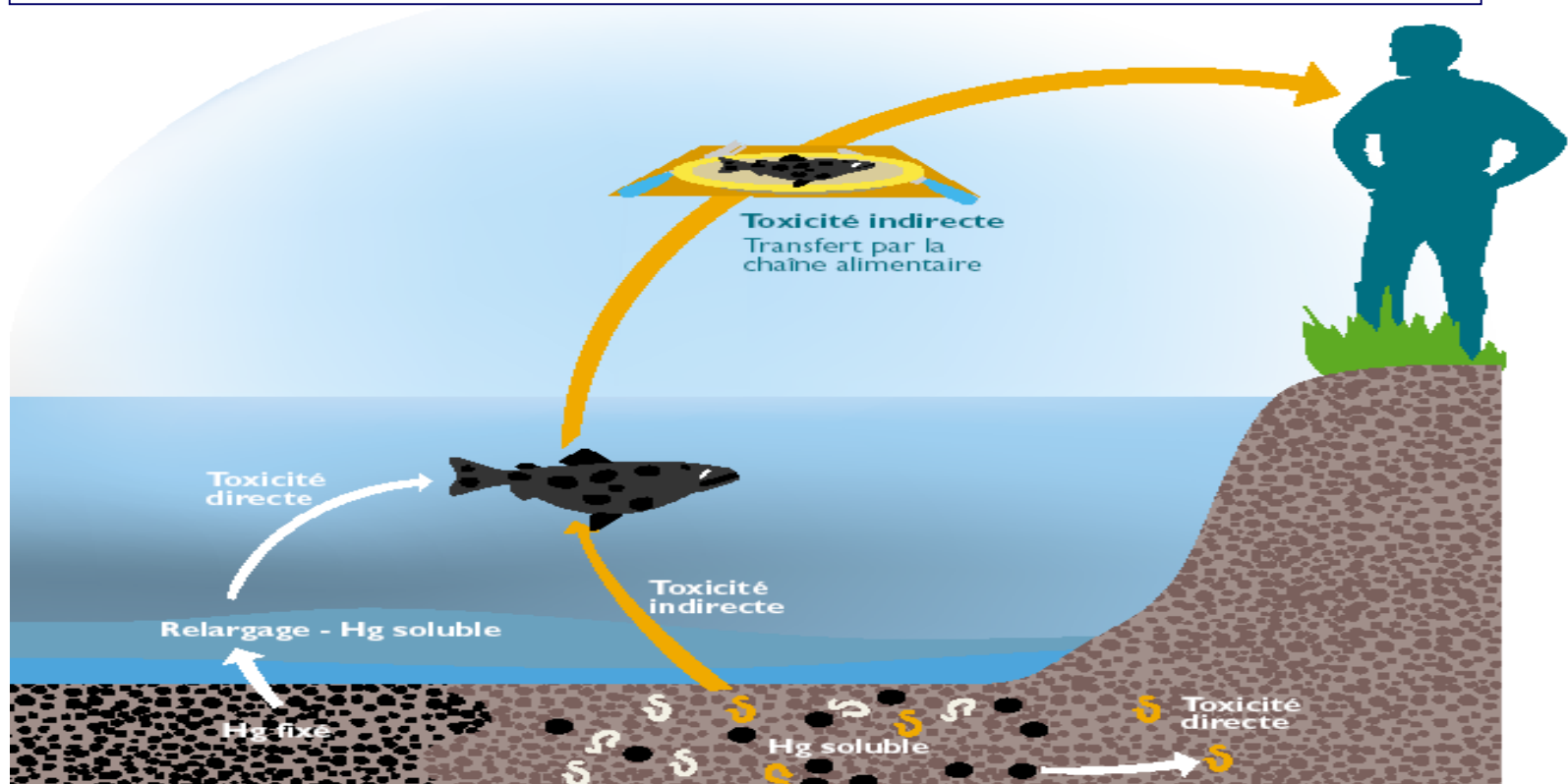
C'est la **propriété** d'un élément ou d'une substance **d'atteindre les membranes cellulaires** des organismes vivants.

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. 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.

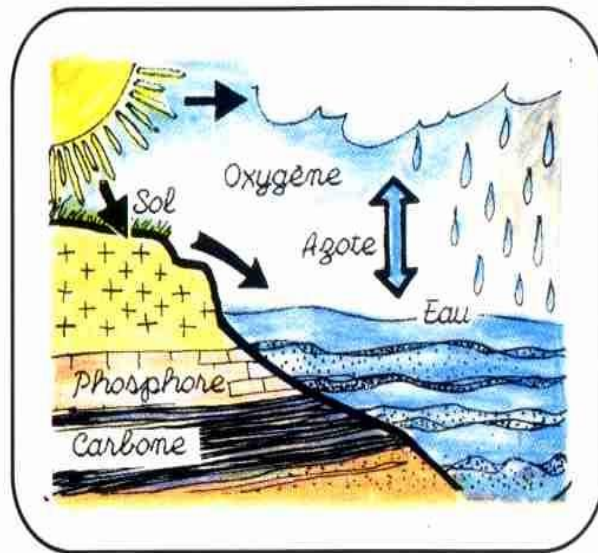
La biodisponibilité, paramètre essentiel de la toxicité.



Rapport entre biodisponibilité et toxicité dans un écosystème aquatique.

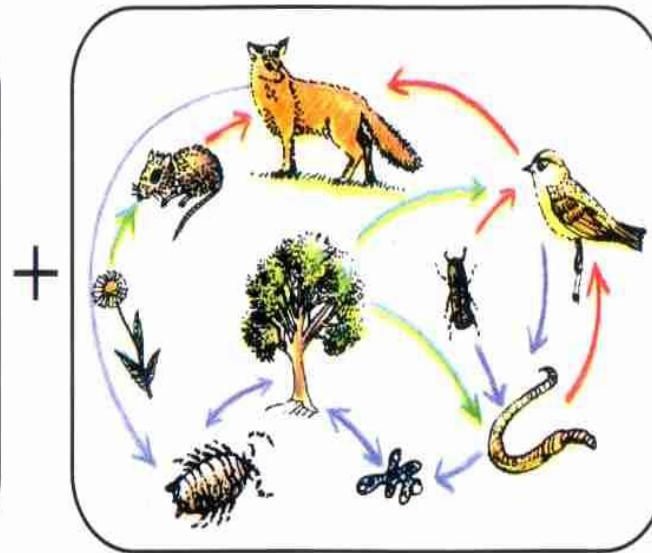
Effets sur les êtres vivants

Une communauté vivante associée à son milieu de vie :



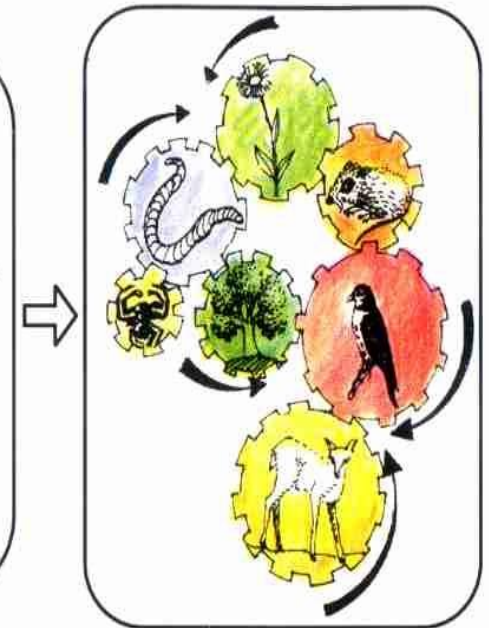
UN BIOTOPE

Une aire géographique de surface ou volume variable, soumise à des conditions dont les dominantes sont homogènes et les ressources suffisantes pour assurer le maintien de la vie.



UNE BIOCÉNOSE

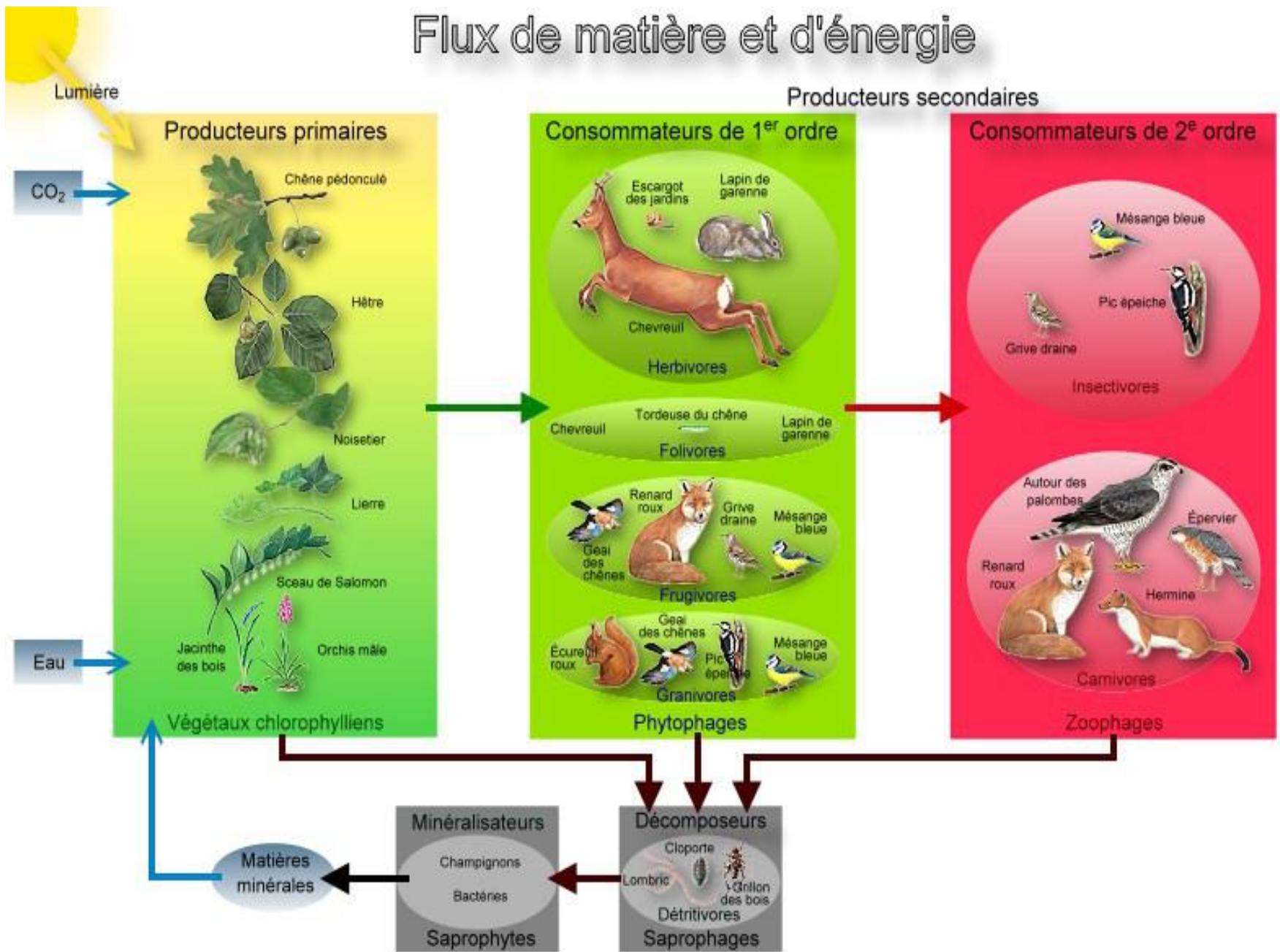
Un peuplement qui se constitue dans des conditions écologiques données et se maintient en équilibre dynamique.



UN ÉCOSYSTÈME

- Une machinerie vivante
- Une unité fonctionnelle de base de la biosphère

Flux de matière et d'énergie



- 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.

*Carnivore
secondaire*



b. CONSOMATEUR

*Carnivore
primaire*

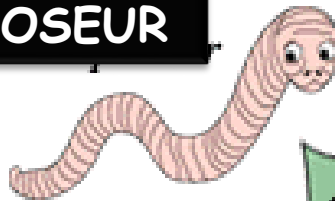
*La chaîne
alimentaire*



Herbivore

Végétal

a. PRODUCTEUR



c. DÉCOMPOSEUR

Les différents niveaux trophiques.

polluant se trouve dans
le milieu naturel

biodisponible



Une fois le polluant **ingéré**, ou encore **respiré** par un organisme, il est susceptible de s'**accumuler** au cours du temps dans les **tissus**. Il peut ainsi s'accumuler de façon très importante au point que les **concentrations** dans l'organisme sont très **supérieures** à celles que l'on trouve dans le **milieu**.



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.

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.

Biomagnification:

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

F_t (Facteur de transfert) = $\frac{\text{Concentration du polluant dans le niveau trophique } n+1}{\text{Concentration du polluant dans le niveau trophique } n}$.

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

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,
 $\log Kow = \log P.$

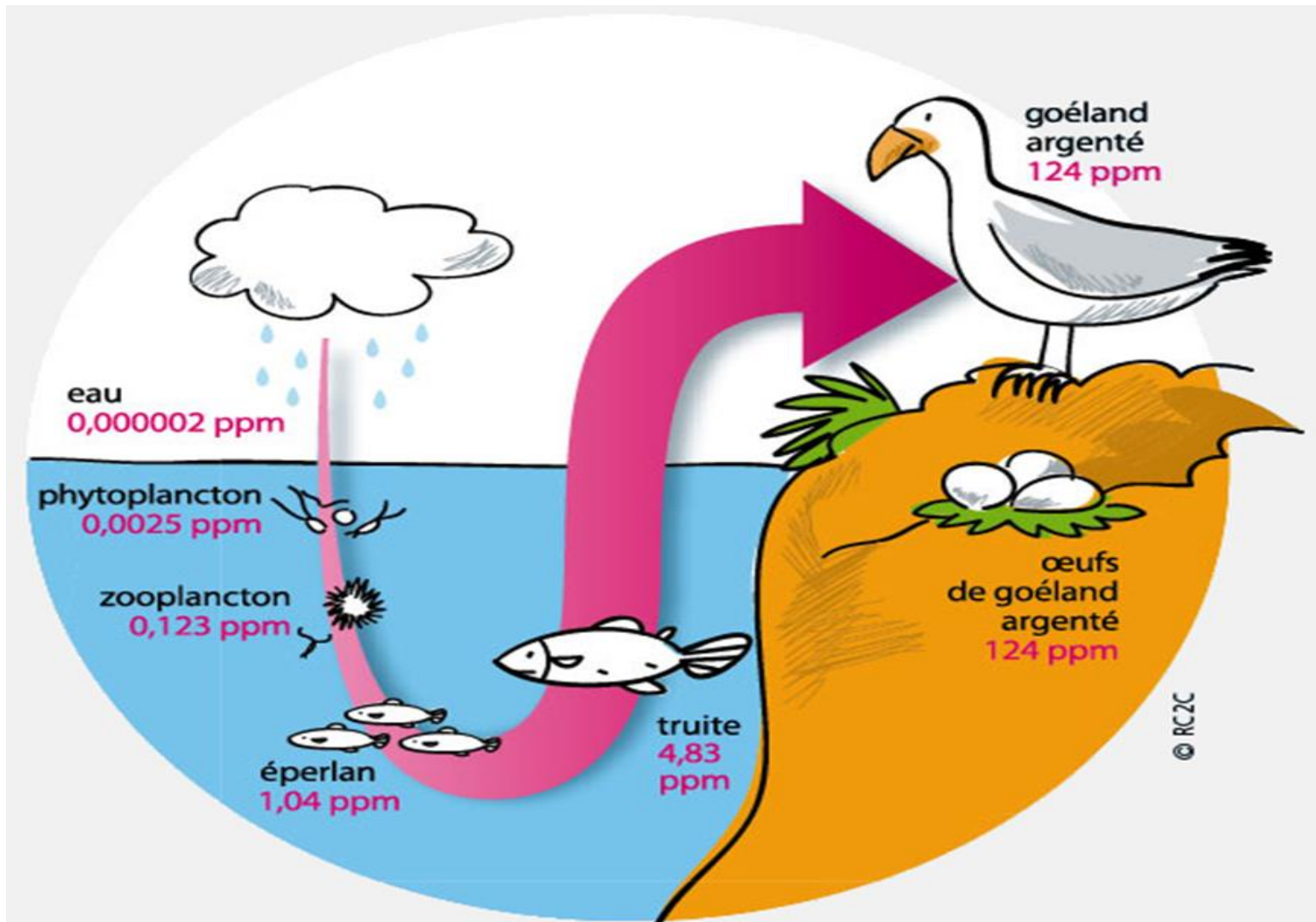
une substance est bioaccumulable si :

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

Ex:

Pentachlorophenol $\log P = 5,12$: bioaccumulable.

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



Processus de bioaccumulation

Effets des polluants sur les écosystèmes

➤ altérer la reproduction des animaux

Ex: le pesticide DDT est à l'origine d'un **amincissement** de la coquille des œufs de Grebes (une espèce d'oiseaux) qui **diminue le succès** de la reproduction avec une mortalité accrue des petits (Hickey, 1968 ; Ratcliffe, 1970 ; Peakall, 1970).



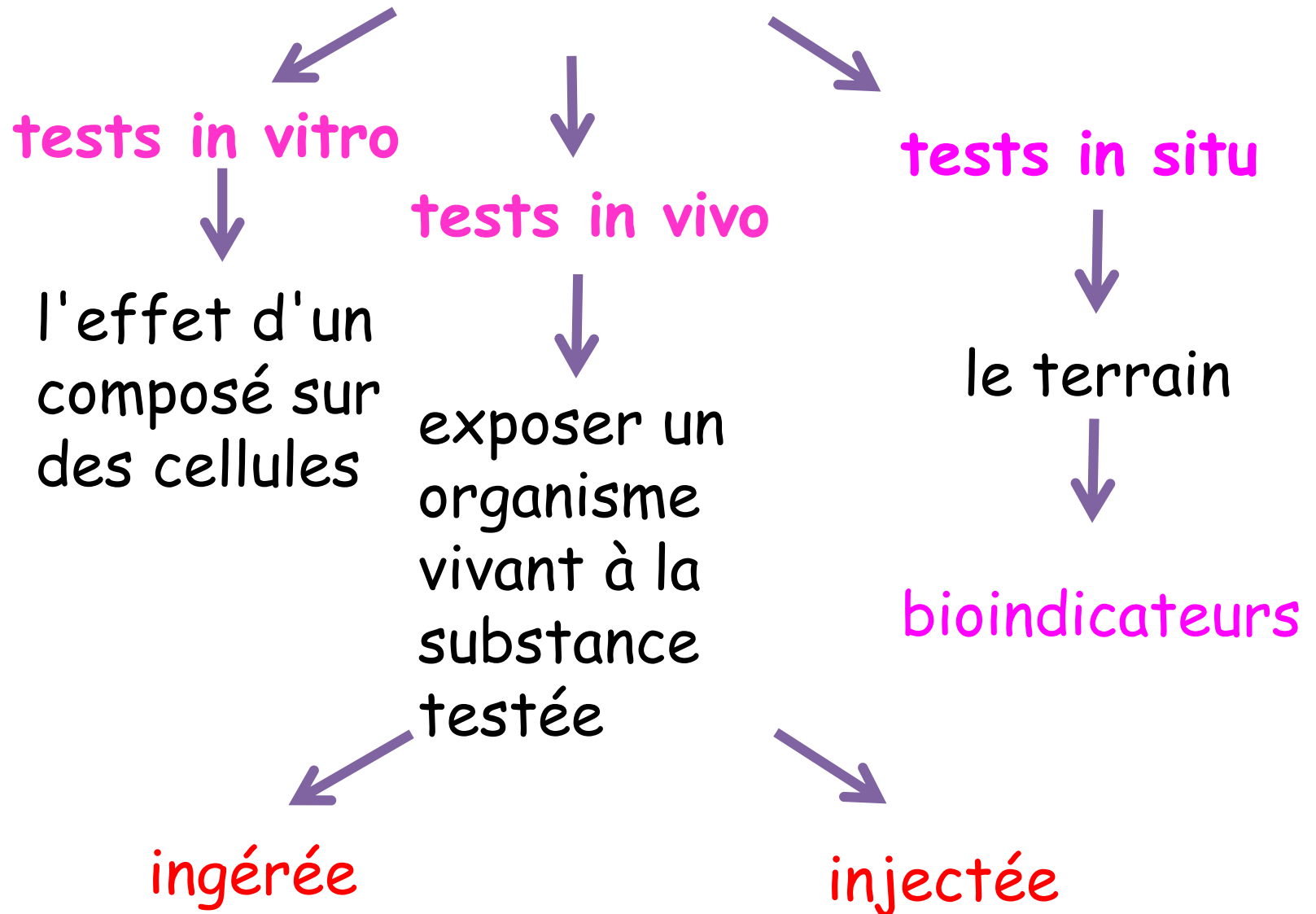
➤ provoquer une augmentation de la mortalité

ex : la **marée noire** où de nombreux oiseaux et **organismes aquatiques périssent**.

➤ modifier les conditions du milieu

Certains **polluants** peuvent par exemple acidifier un cours d'eau. Certaines **espèces** qui ne peuvent vivre dans un **milieu trop acide, disparaissent**.

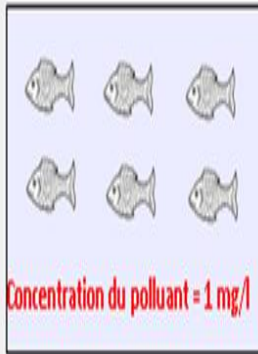
➤ Comment peut-on évaluer ces effets ?



AQUARIUM 1 : TEMOIN

AQUARIUM 2

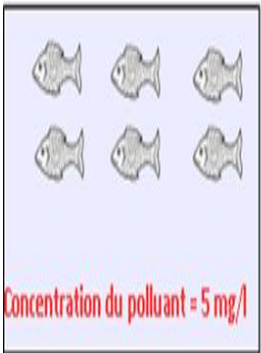
AQUARIUM 3



AQUARIUM 4

AQUARIUM 5

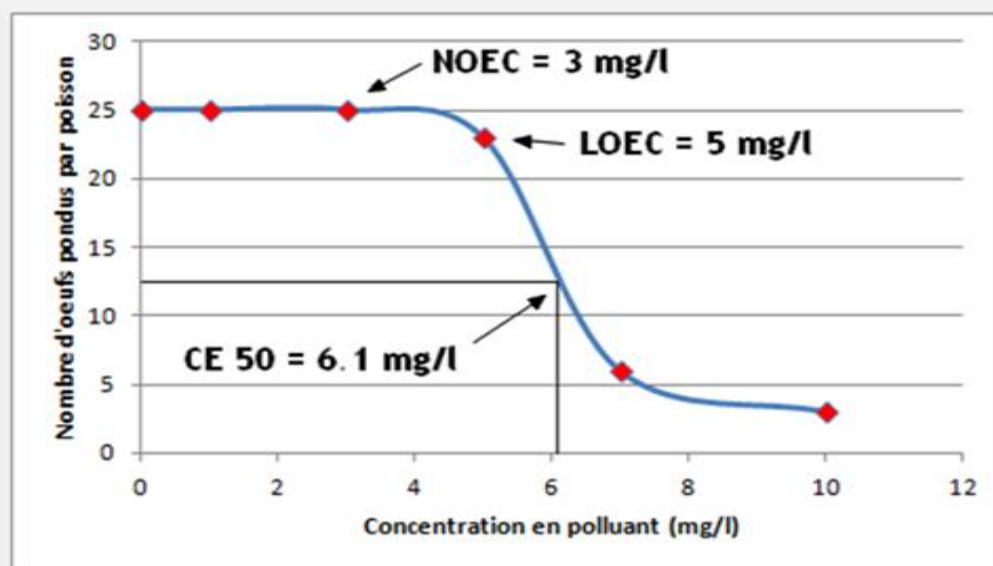
AQUARIUM 6



au bout d'1 mois, les œufs pondus par les poissons et le nombre de décès **seront comptés.**

L'expérience va permettre notamment de **déterminer les valeurs de références d'un test écotoxicologique : la CE50, la NOEC et la LOEC.**

Expérience visant à évaluer les effets d'un polluant sur une espèce de poissons



◆ **Points expérimentaux** : obtenus grâce au comptage du nombre d'oeufs dans les différents aquariums

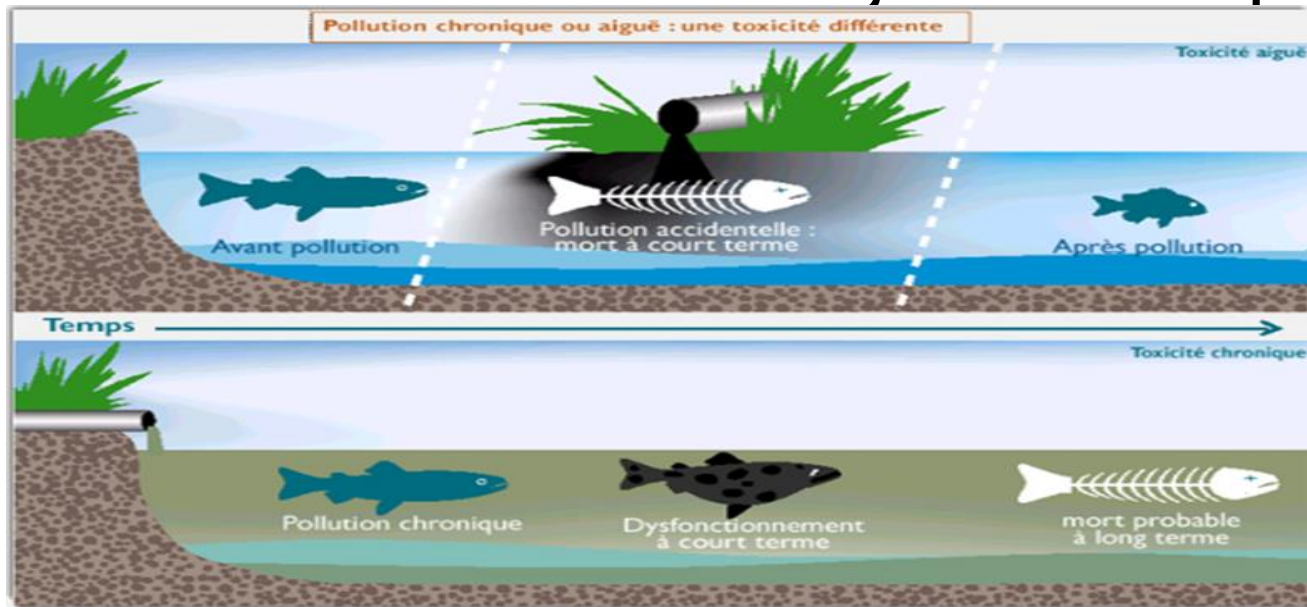
NOEC : No Observed Effect Concentration : c'est la plus forte concentration pour laquelle aucun effet n'a été observé. Ici, on n'a observé aucune diminution du nombre d'oeufs pondus par rapport au témoin.

LOEC : Low Observed Effect Concentration : c'est la plus faible concentration pour laquelle on a observé un effet. Ici, on observe qu'à 5 mg/l de polluant, le nombre d'oeufs a diminué par rapport aux concentrations inférieures et au témoin.

CE₅₀ : Concentration Effective 50% : c'est la concentration qui induit 50% d'effet. Cette CE₅₀ est déterminée grâce à la courbe tracée d'après les points expérimentaux. Ici, l'effet de 50% correspond à une diminution de 50% du nombre d'oeufs pondus : le nombre d'oeufs pondus dans l'aquarium témoin étant de 25, une diminution de 50% correspond à une diminution de 12,5 oeufs. Cette valeur de 12,5 oeufs pondus correspond à une concentration théorique en polluants de 6,1 mg/l : c'est la CE₅₀ dans cette expérience.

Ce test permettra de mettre à jour:

- soit une **toxicité aiguë** du composé testé :
c'est à dire que le produit affecte le poisson en peu de temps,
- soit une **toxicité chronique** du composé testé :
c'est à dire des effets à long terme du produit.



Différence entre toxicité aiguë et chronique

- Si on s'intéresse aux **décès** des poissons, on peut déterminer une **CL50** (Concentration Létale 50%) : la **concentration en polluant qui tue 50% des individus en un temps donné.**
- Ces valeurs de **référence** que sont les **NOEC, LOEC et CE50** sont très utiles car elles permettent de déterminer les **normes de rejet des différents produits potentiellement polluants.**

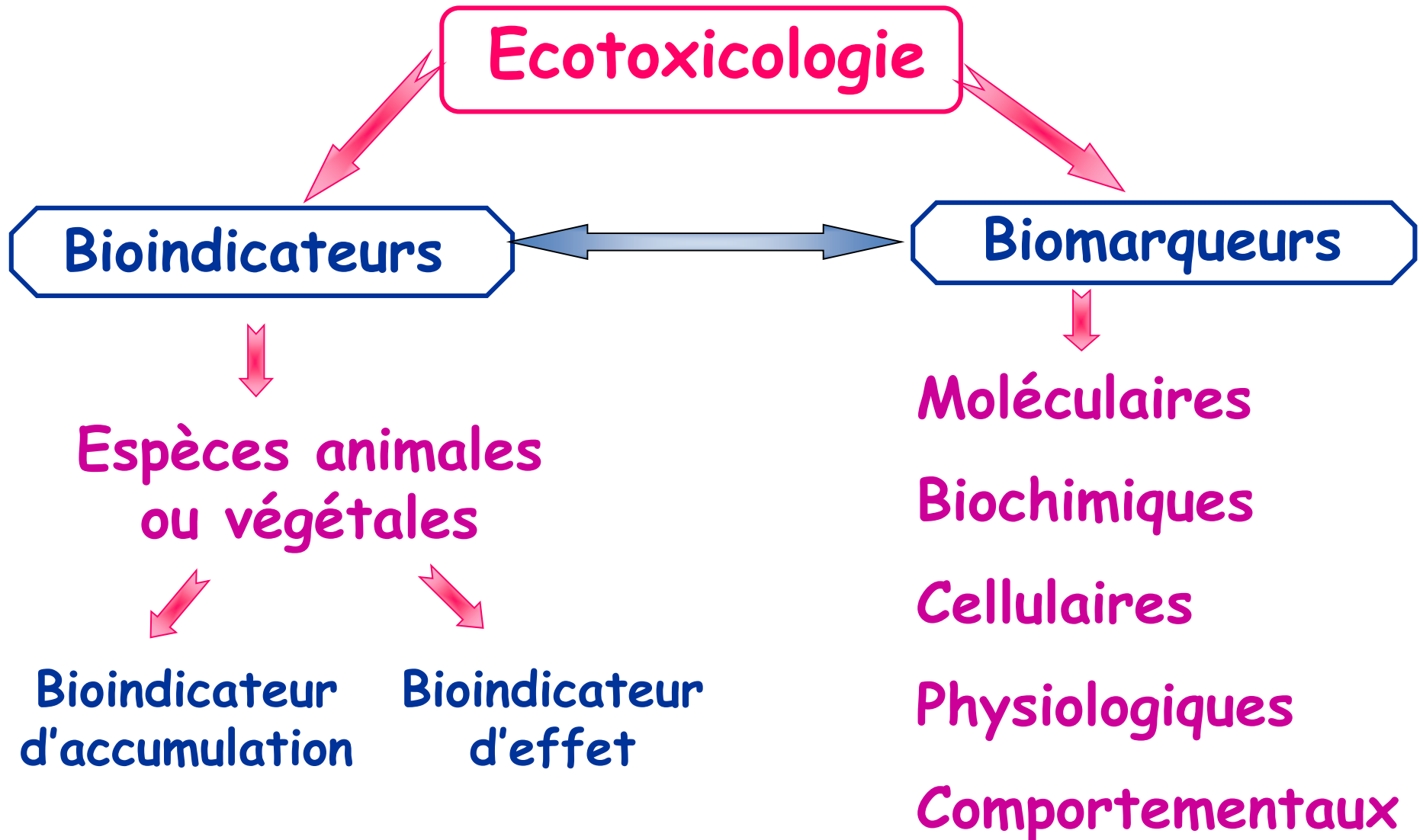
tests in situ

Exemple: on dispose, dans une rivière, une cage contenant des organismes élevés en laboratoire : au bout d'une certaine durée, on récupère la cage contenant les organismes et on analyse ces derniers. On peut également prélever directement des organismes de populations naturelles de la rivière.



Bioindicateurs

Bioindicateurs et biomarqueurs



Bioindicateur:

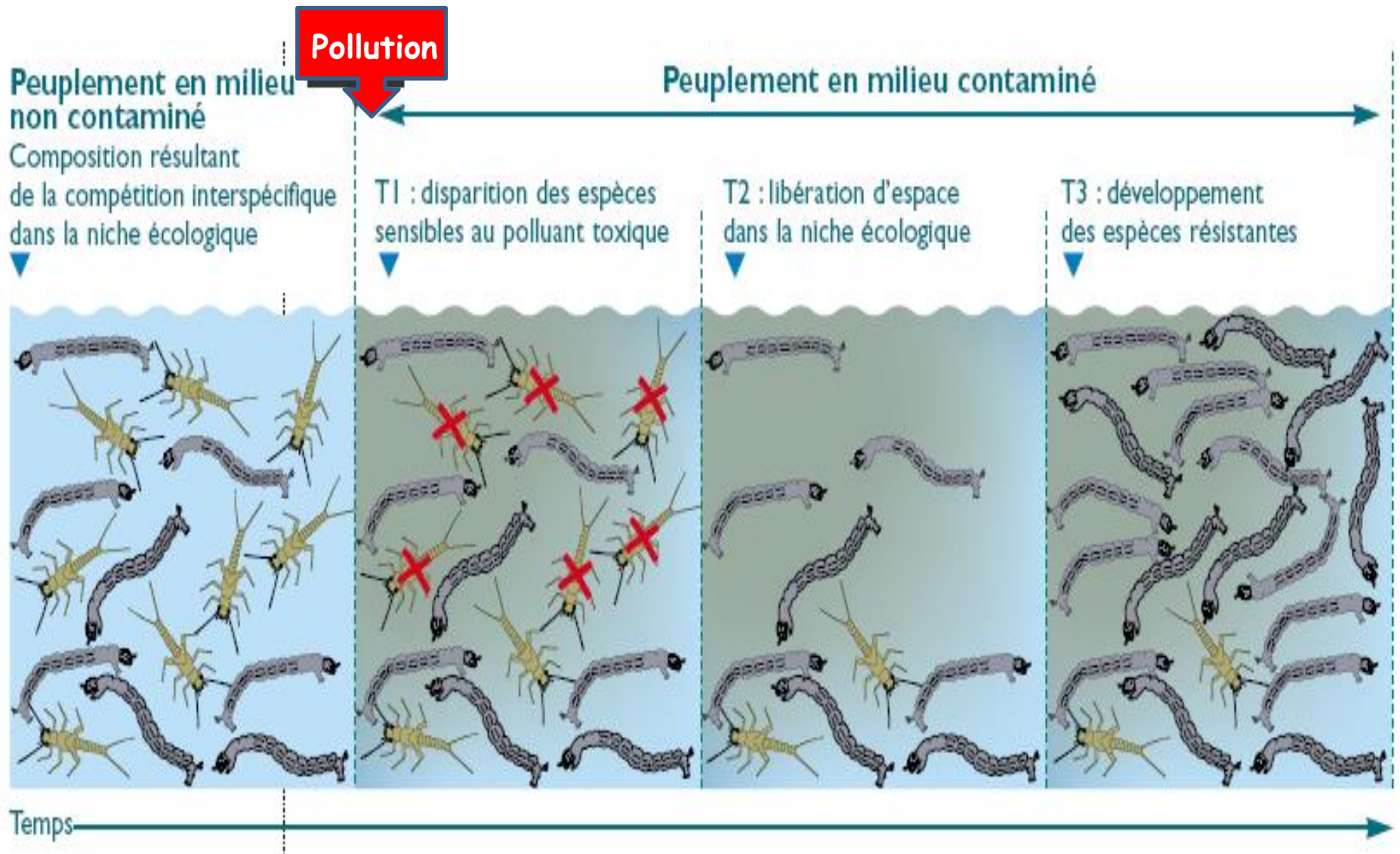
a. **Définition:** Un bioindicateur est une **espèce végétale** ou **animale** dont la présence renseigne sur certaines caractéristiques physico-chimiques ou biologiques de **l'environnement** ou sur l'incidence de certaines pratiques.

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.



Principe d'un bioindicateur: sélection d'organismes résistant 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.

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

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.

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).

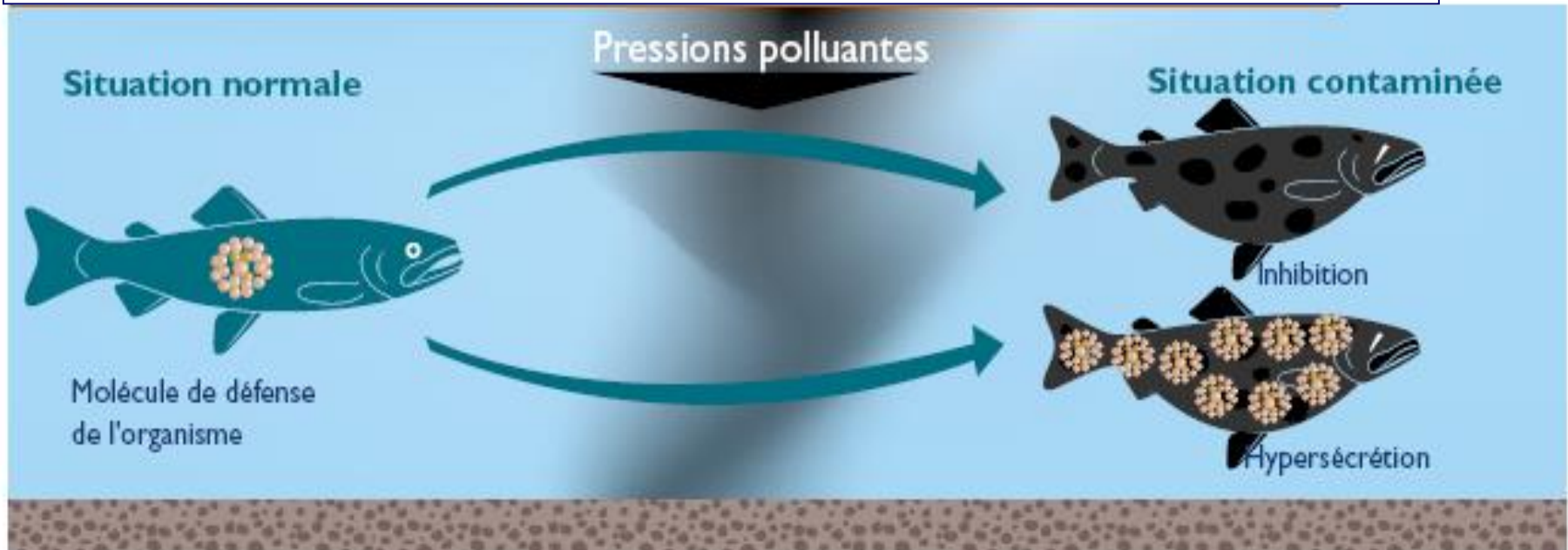
Les biomarqueurs sont mesurés chez des organismes exposés à des conditions de stress liées à la présence de substances polluantes dans l'environnement.

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.



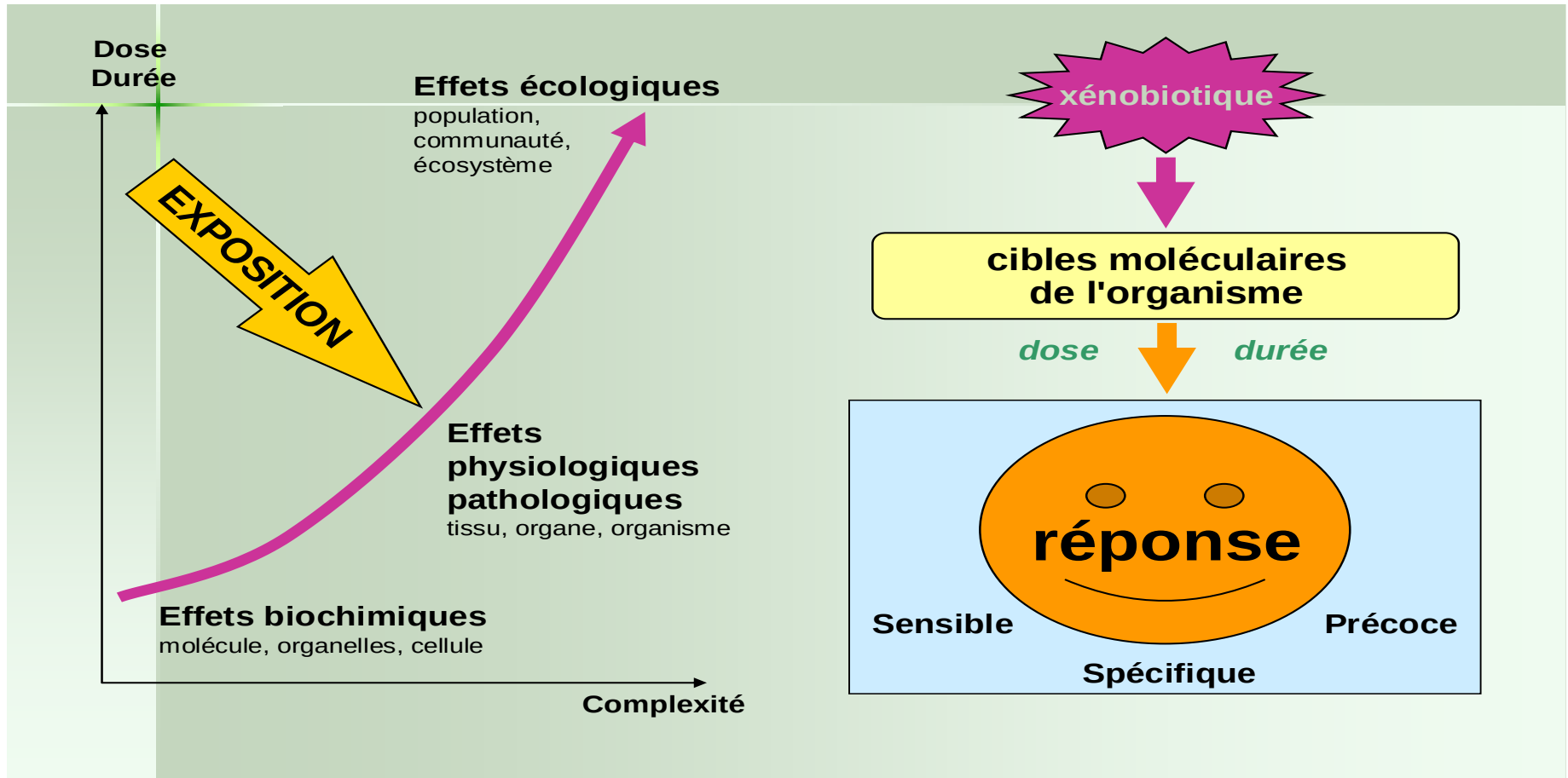
Principe d'un biomarqueur : inhibition ou induction.

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, 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**.



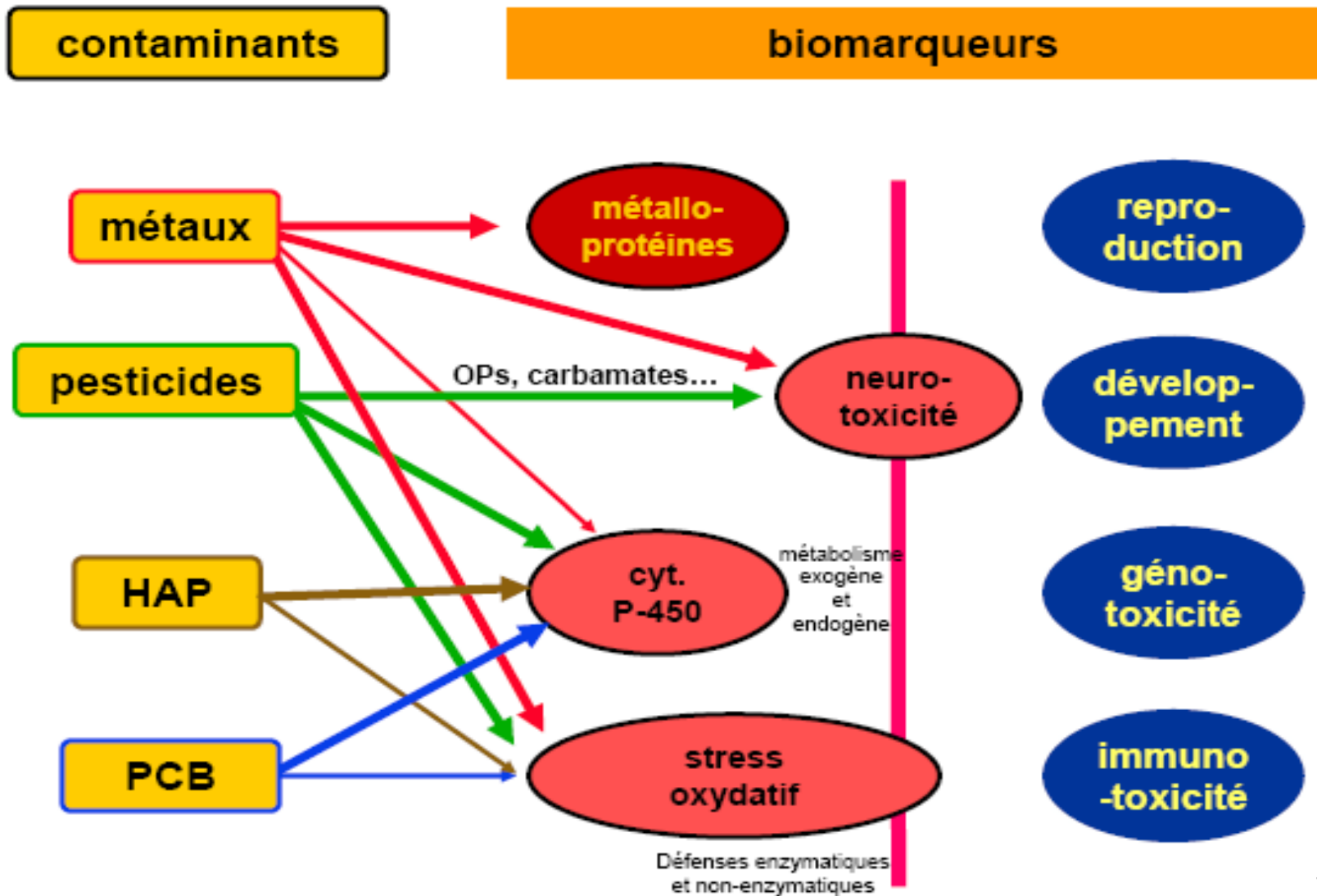
Caractéristiques d'un biomarqueur

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:

CONTAMINANTS, BIOMARQUEURS ET EFFETS



J'observe des écosystèmes !

