



PLAN DU MODULE
TOXICOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT
(ECOTOXICOLOGIE GENERALE)

- I.1. Définitions
- I.2. Objectifs
- I.3. Méthodologie et approches
- I.4. Normes
- I.5. Bioteneurs
- I.6. Bioindicateurs et biomarqueurs
- I.7. Sources de pollution
- I.8. Classification des polluants
- I.9. Règle des trois actions polluantes
- I.10. Pollution des écosystèmes et évaluation
- I.11. Niveaux d'étude des polluants
- I.12. Evaluation environnementale
- I.13. 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. Bioteneurs
 - a. Bioconcentration
 - b. Biomagnification
 - c. Bioaccumulation
 - d. Biodisponibilité
 - e. Pyramides écologiques
6. Bioindicateurs et biomarqueurs
 - a. Bioindicateurs
 - b. Biomarqueurs

7. Sources de pollution

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

8. Classification des polluants

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

9. Règle des trois actions polluantes

- a. Modification des réactions chimiques de base
- b. Compétition avec une fonction chimique essentielle
- c. Déplacement des équilibres dans l'environnement

10. Pollution des écosystèmes et évaluation

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

11. 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

12. Evaluation environnementale

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

13. 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).

c. 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**.



d. 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.

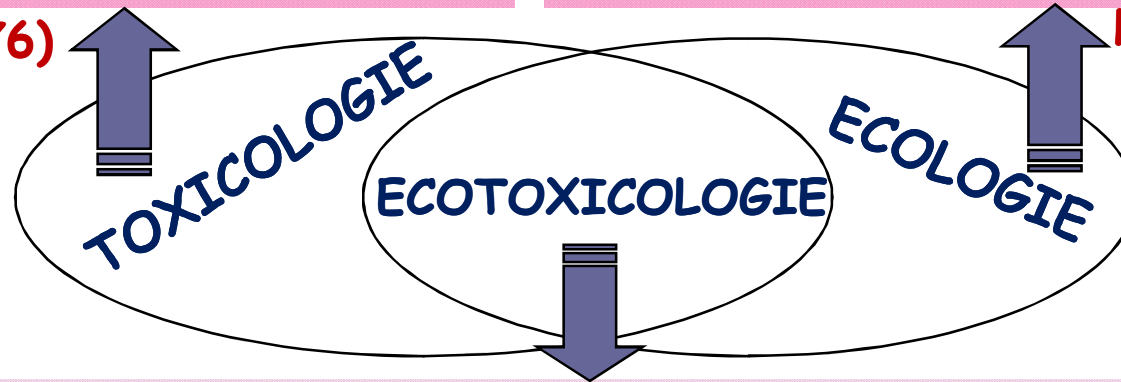
Elle étudie également leur mécanisme d'action et leurs effets sur l'ensemble des êtres vivants qui peuplent la biosphère.

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.

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.

e. Ecologisme

SIMONET (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.

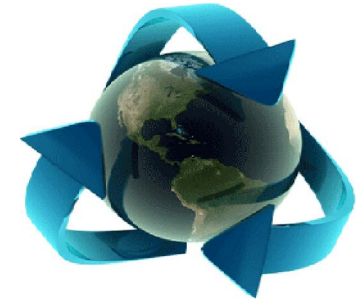
f. Environnique BOUCHE (1996)

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 pollutants**

*** 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 transférés 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 PCB, 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**.

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..)

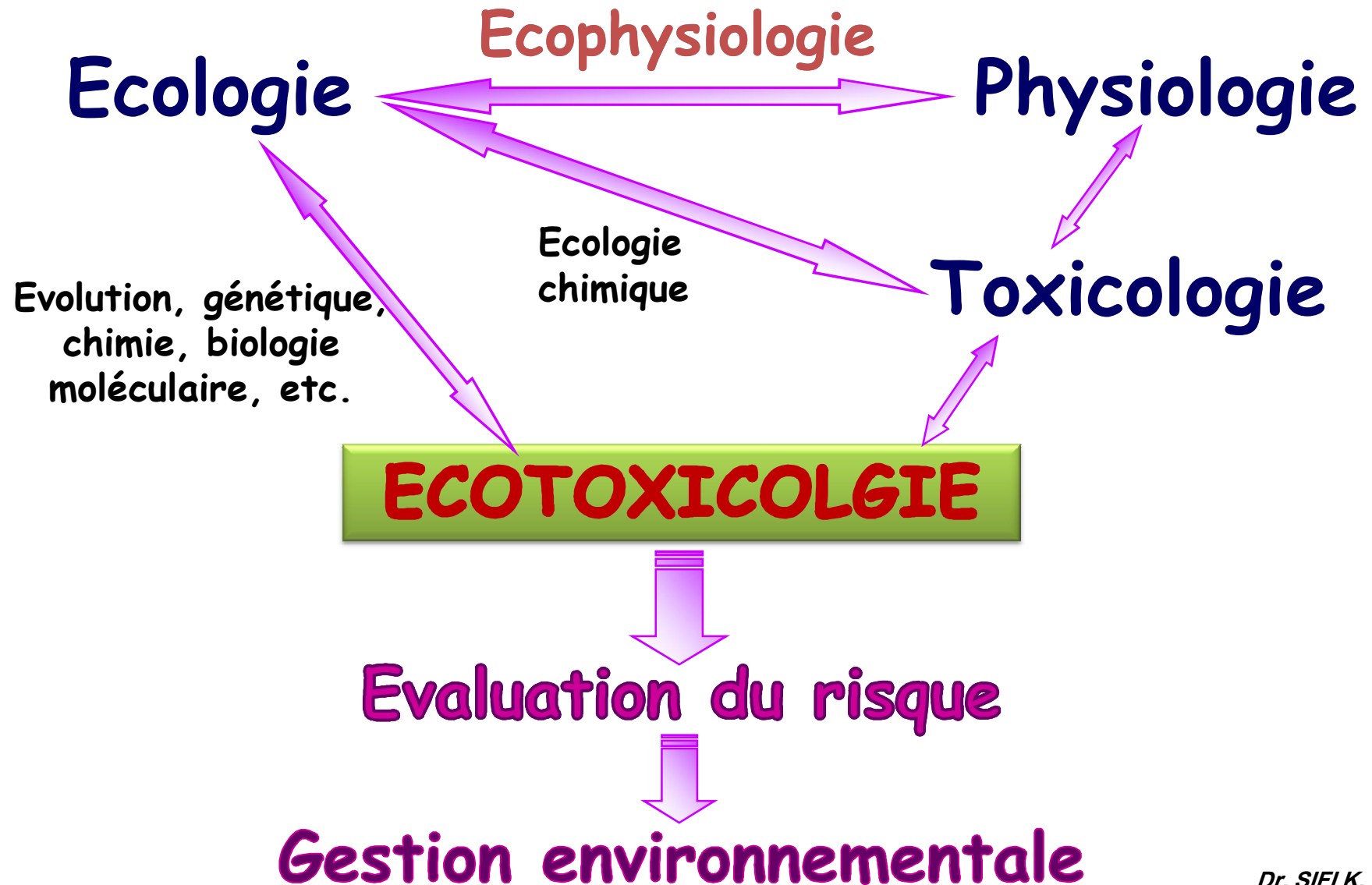
Effet

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.

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'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 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 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.

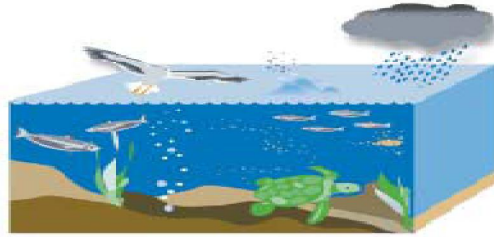
3. Méthodologie et approches

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

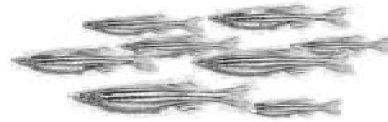
- molécule
- cellule
- organe
- organisme
- population
- biocénose.

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

Ecosystème



Population



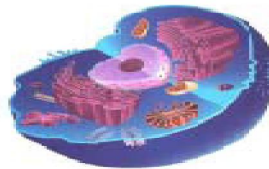
Organisme



Tissulaire



Cellulaire



Moléculaire

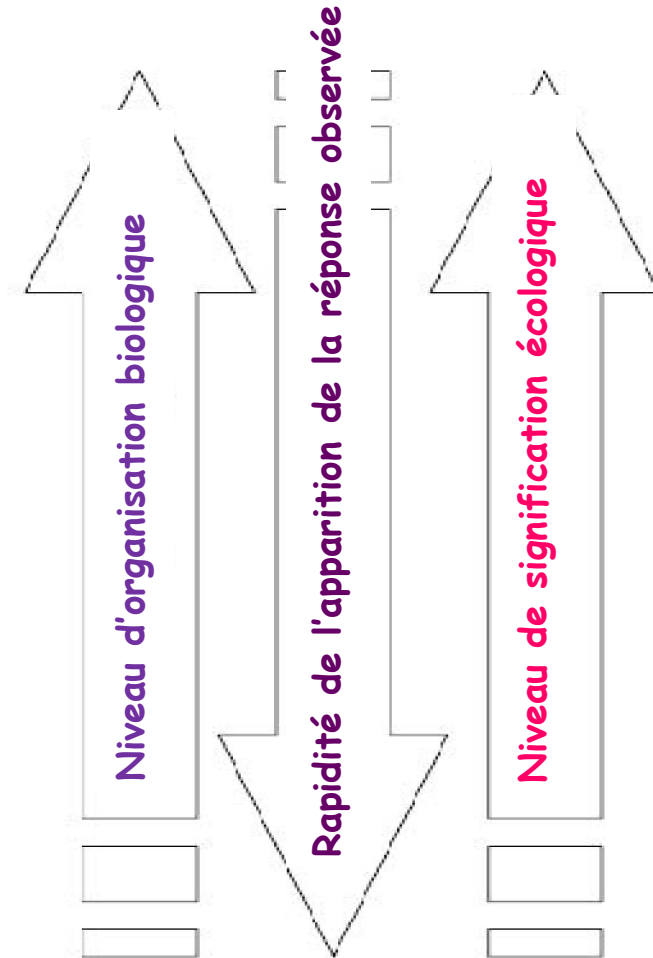


Fig. 1. Représentation graphique de l'ordre séquentiel des réponses à un stress au sein d'un système biologique

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**.

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.

- 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 beaucoup plus 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.

- **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.

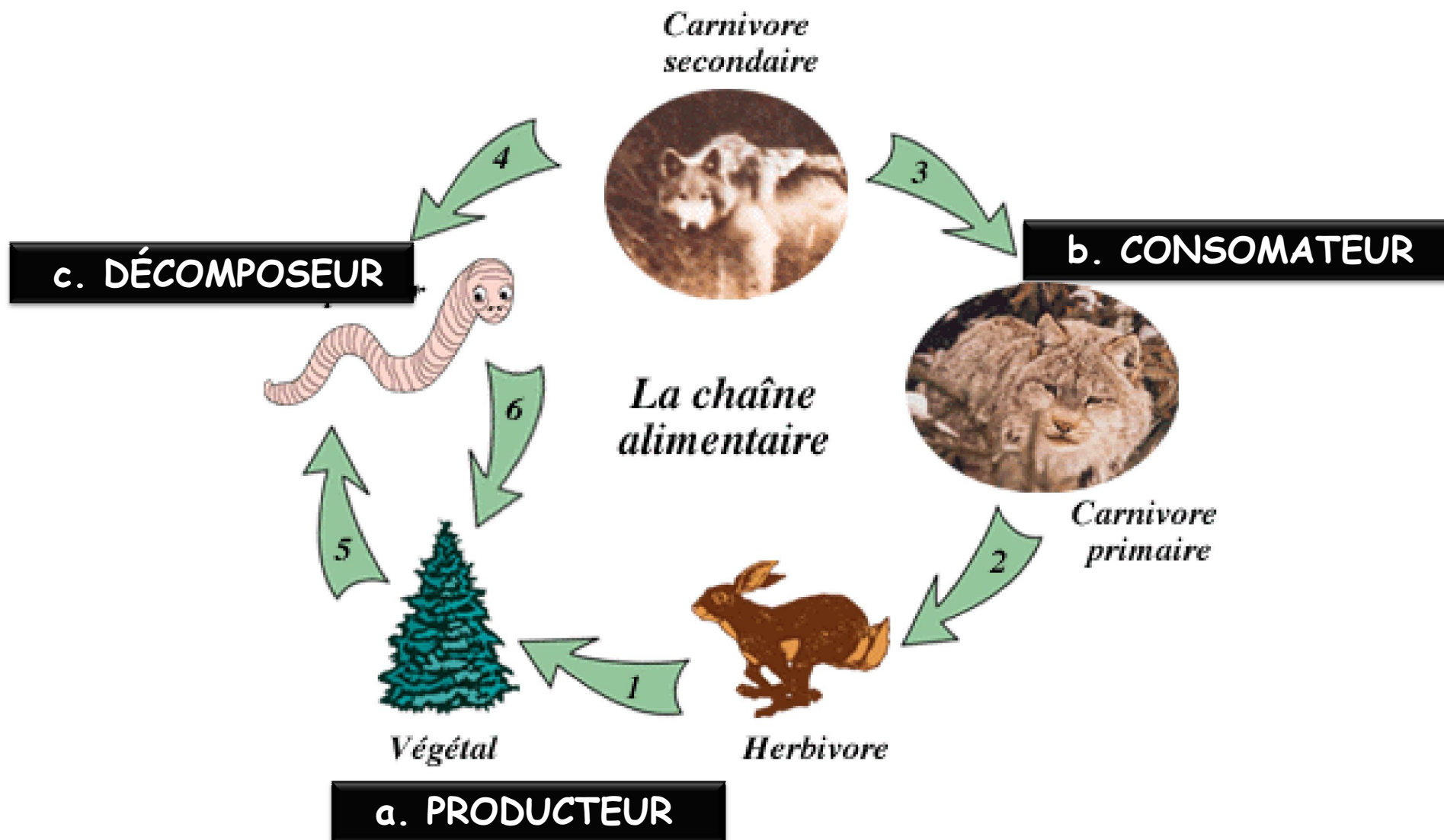


Fig 2. Les différents niveaux trophiques.

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, les champignons, les vers et les insectes 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) = $\frac{\text{Concentration du polluant dans le niveau trophique } n+1}{\text{Concentration du polluant dans le niveau trophique } n}$.

- 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 :

$$Kow \geq 100, \text{ ou } \log P \geq 3.$$

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 $BCF > 100$

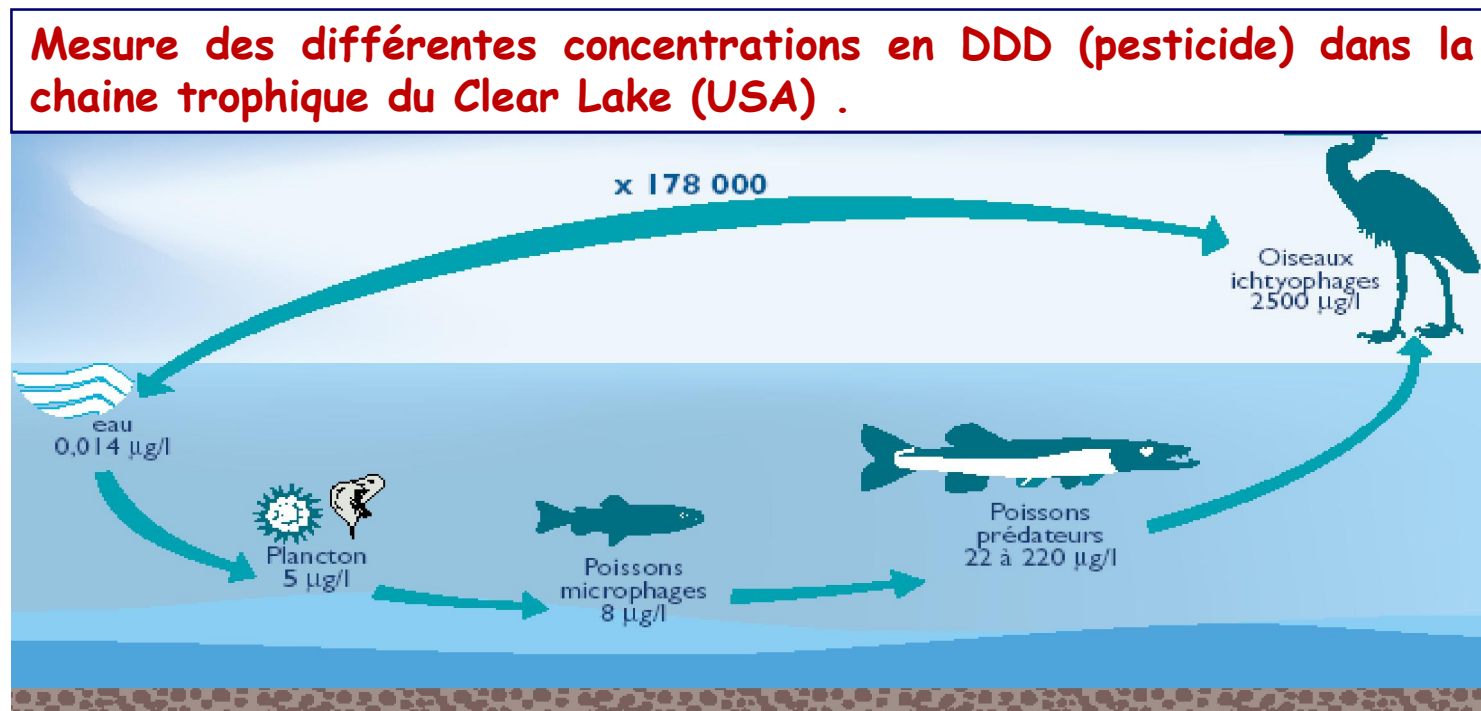


Fig. 3 Phénomène de bioaccumulation et son transfert *via* la chaîne trophique. Concentrations de DDD (insecticide OC) dans la chaîne trophique d'un lac aux USA.

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.

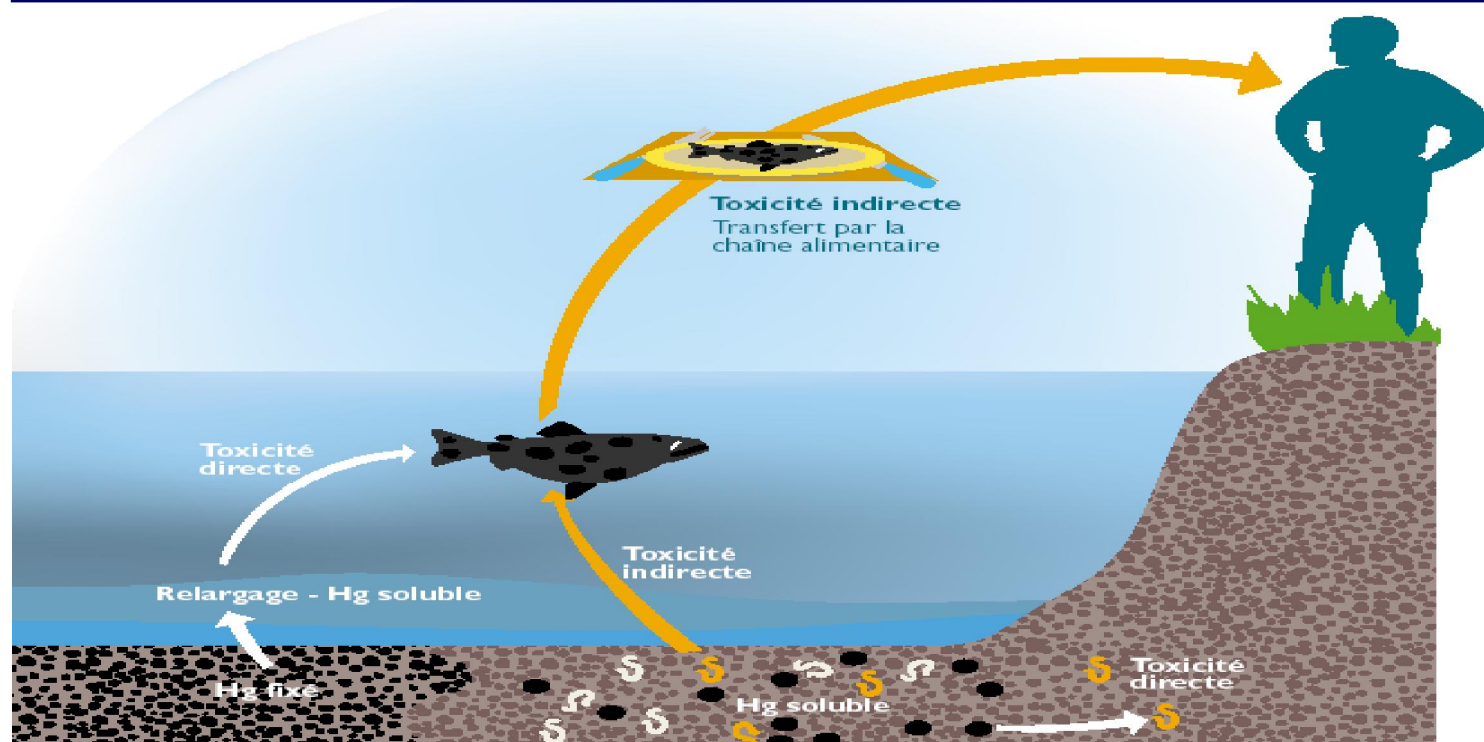


Fig. 4 Rapport entre biodisponibilité et toxicité dans un écosystème aquatique.

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.

Dégradation primaire ou ultime: un risque différent.

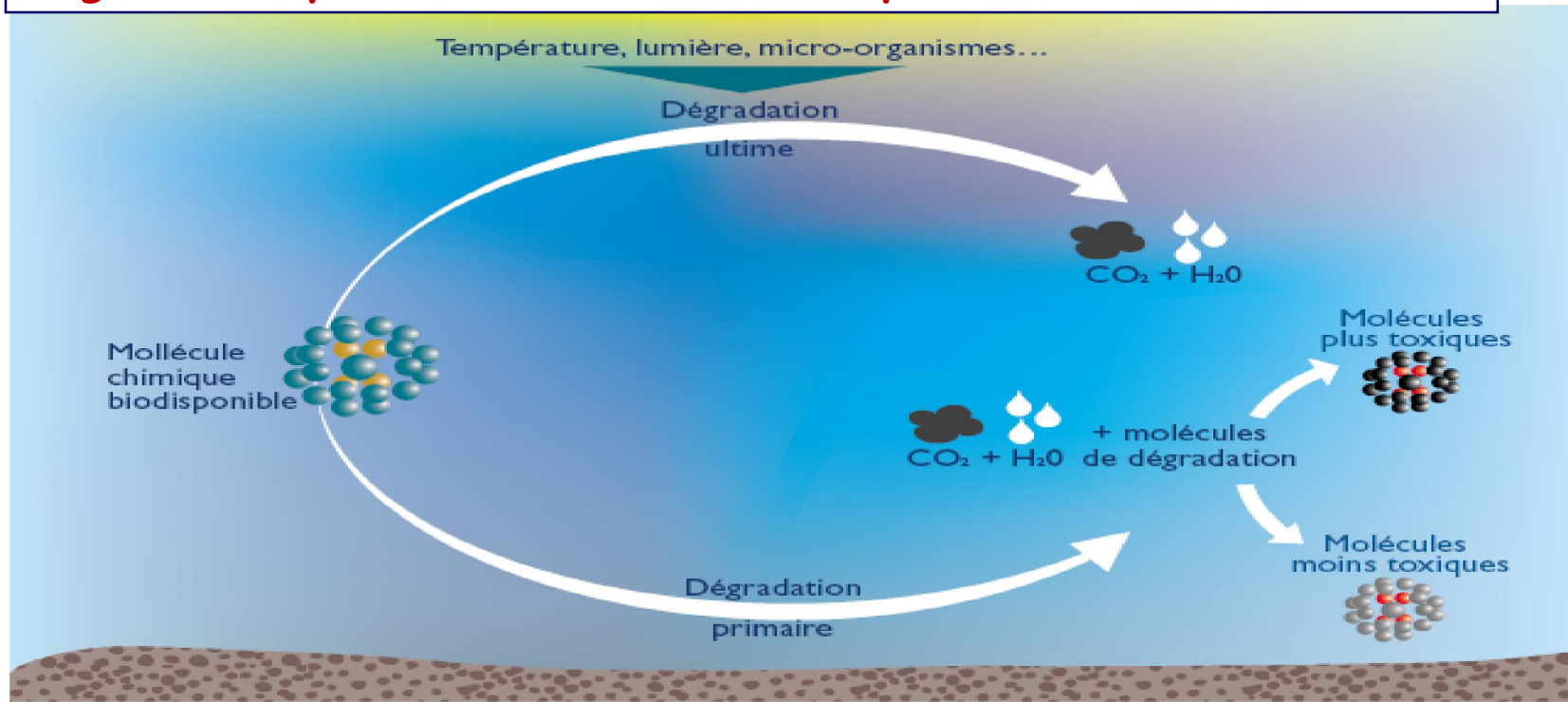


Fig. 5 Biodégradation primaire et biodégradation ultime.

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**.

g. 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**.

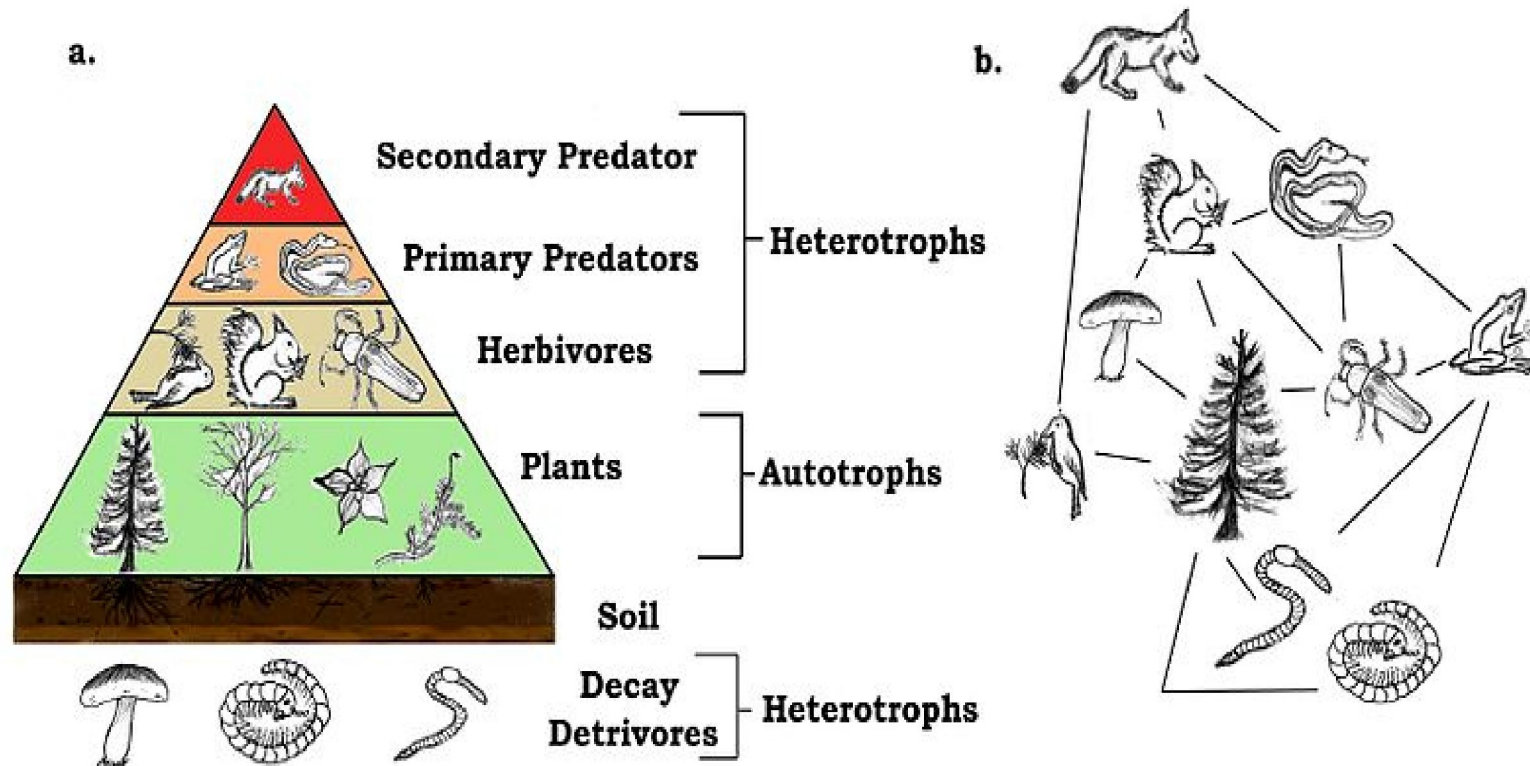


Fig 6. Pyramides écologiques

- **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.

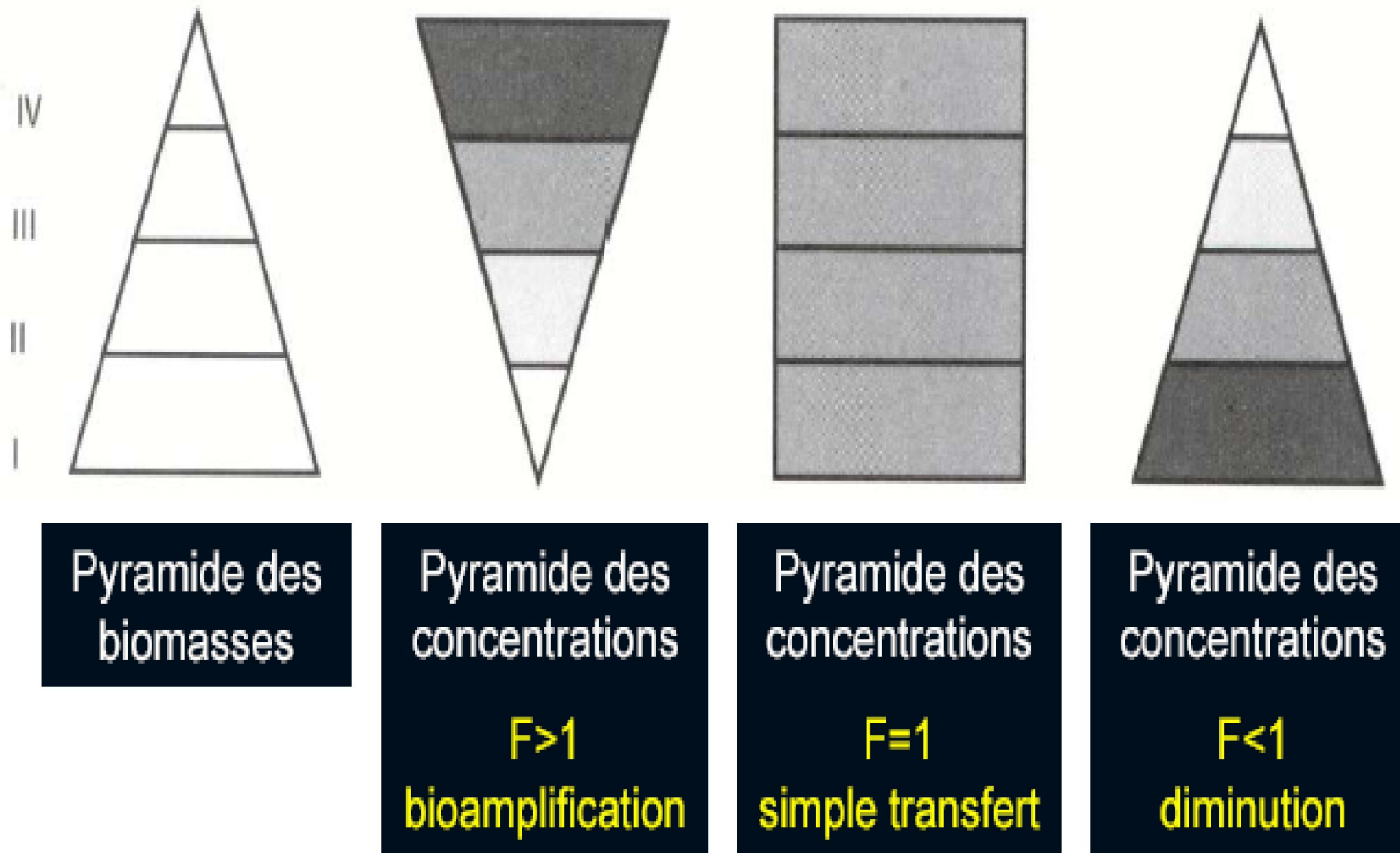
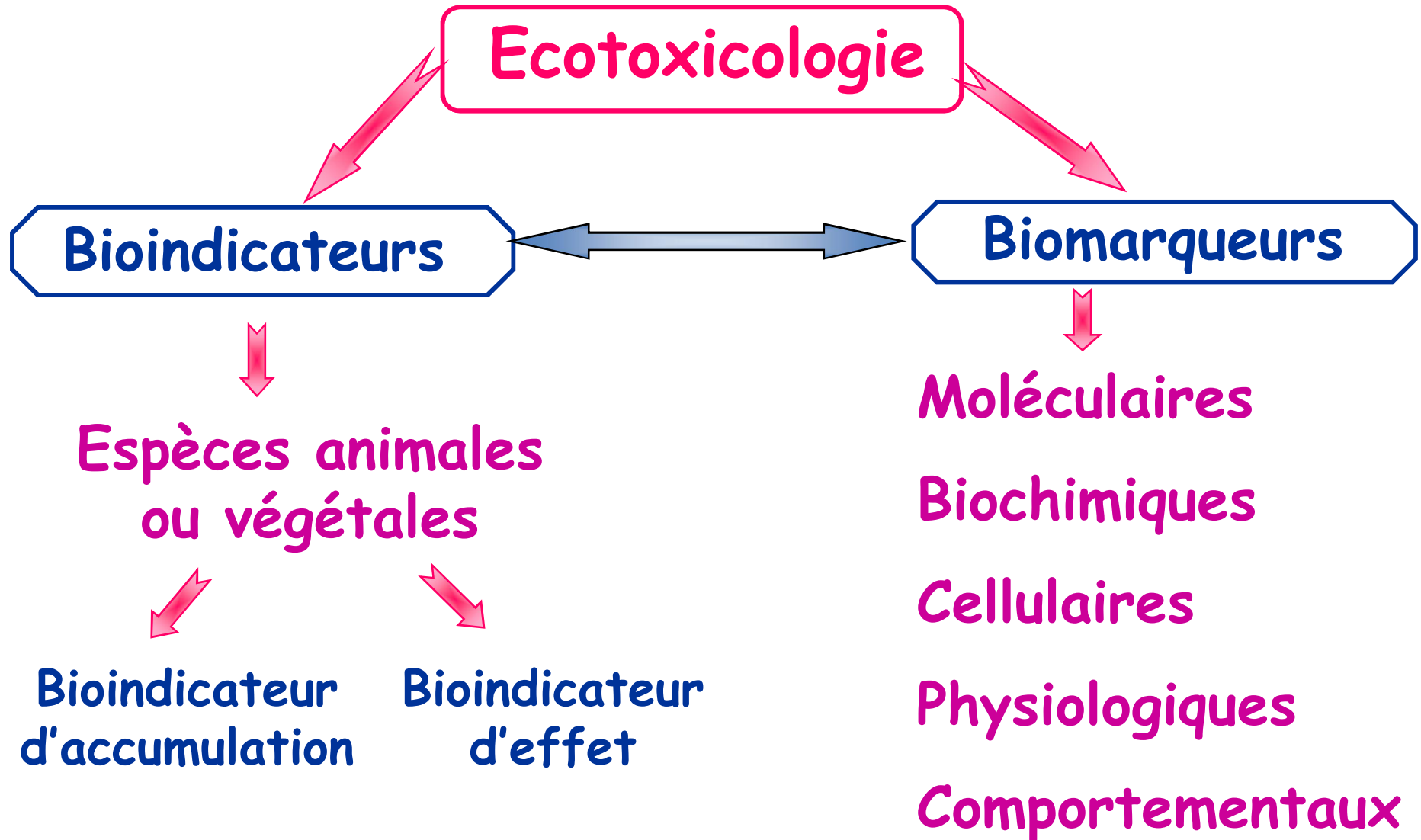


Fig 7. Pyramides des biomasses et des concentrations d'un polluant dans les réseaux trophiques.

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.

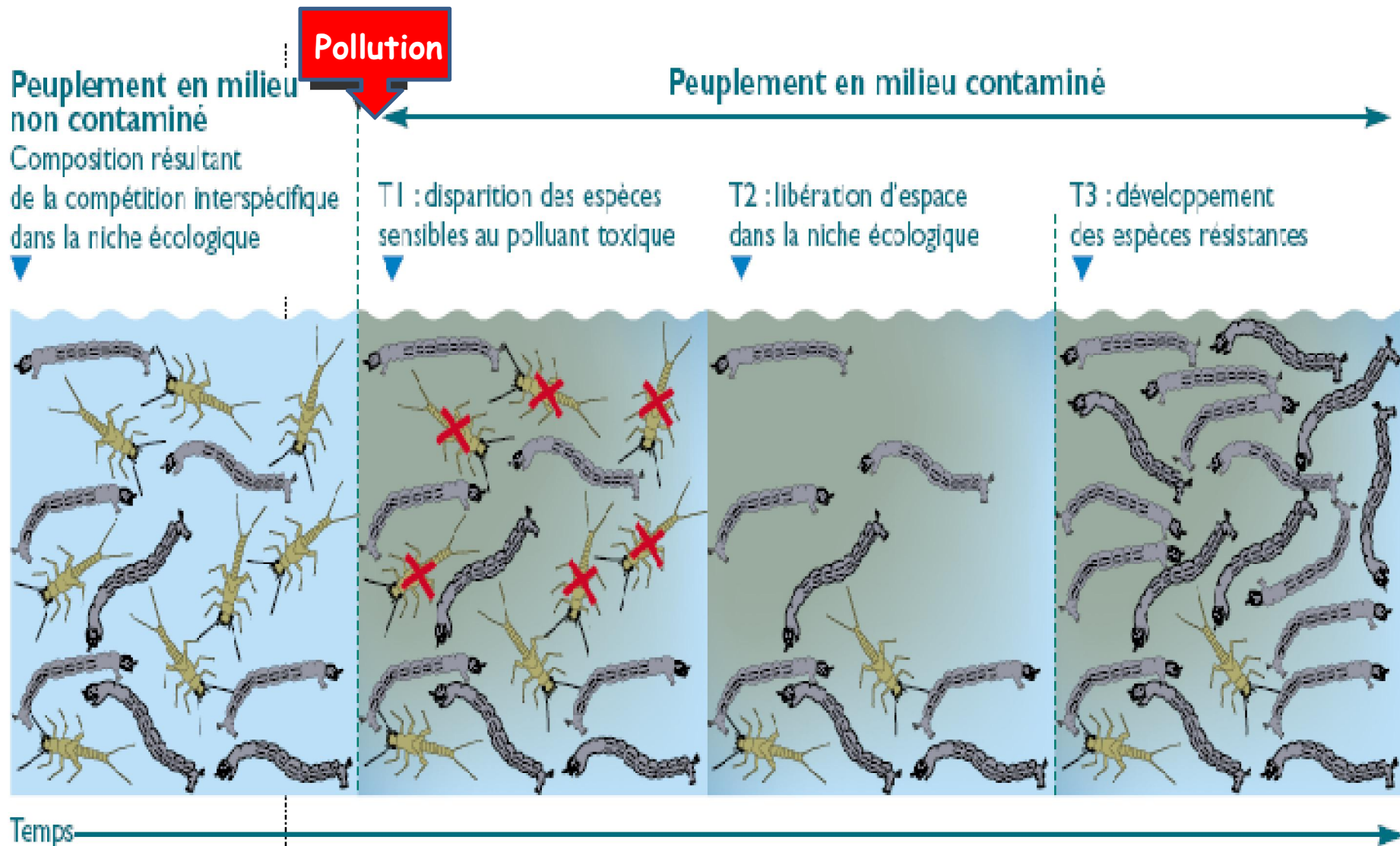


Fig 8. Principe d'un bioindicateur: sélection d'organismes résistant au détriment d'organismes sensibles. Analyse présence/absence

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.
- Pouvoir prendre en compte différents aspects.
- 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.

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 a un polluant.

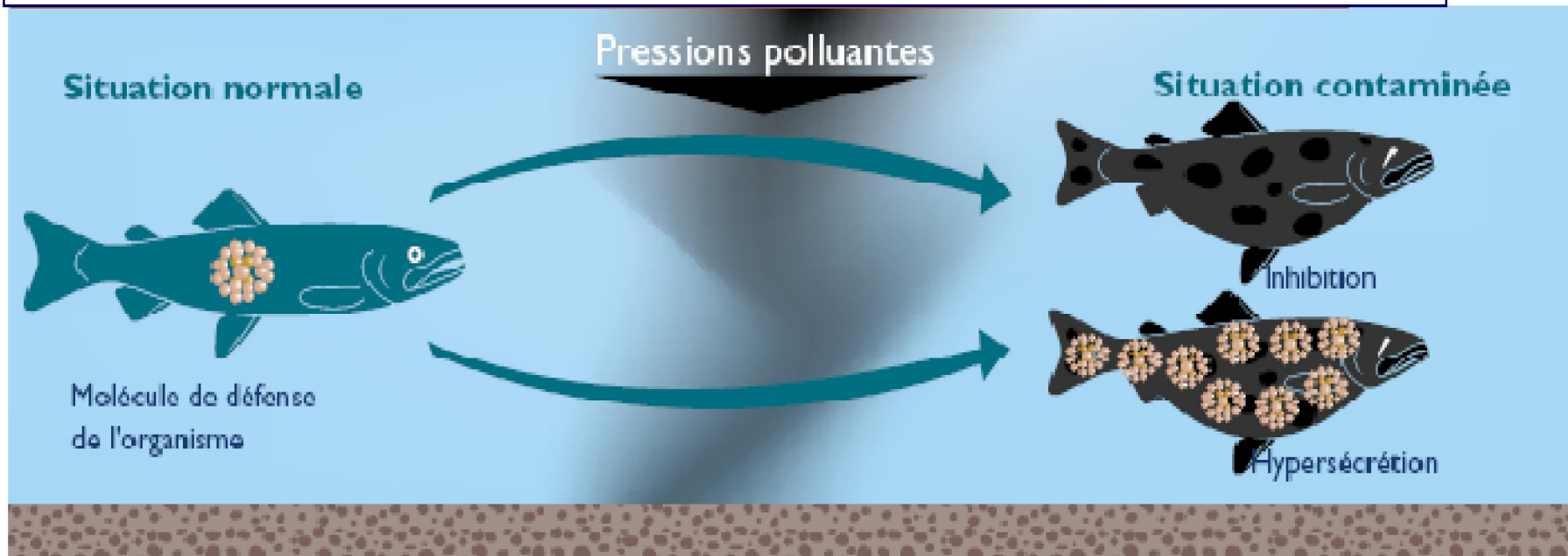


Fig. 9. Principe d'un biomarqueur : inhibition ou induction. *Dr. SIFI K.*

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**.

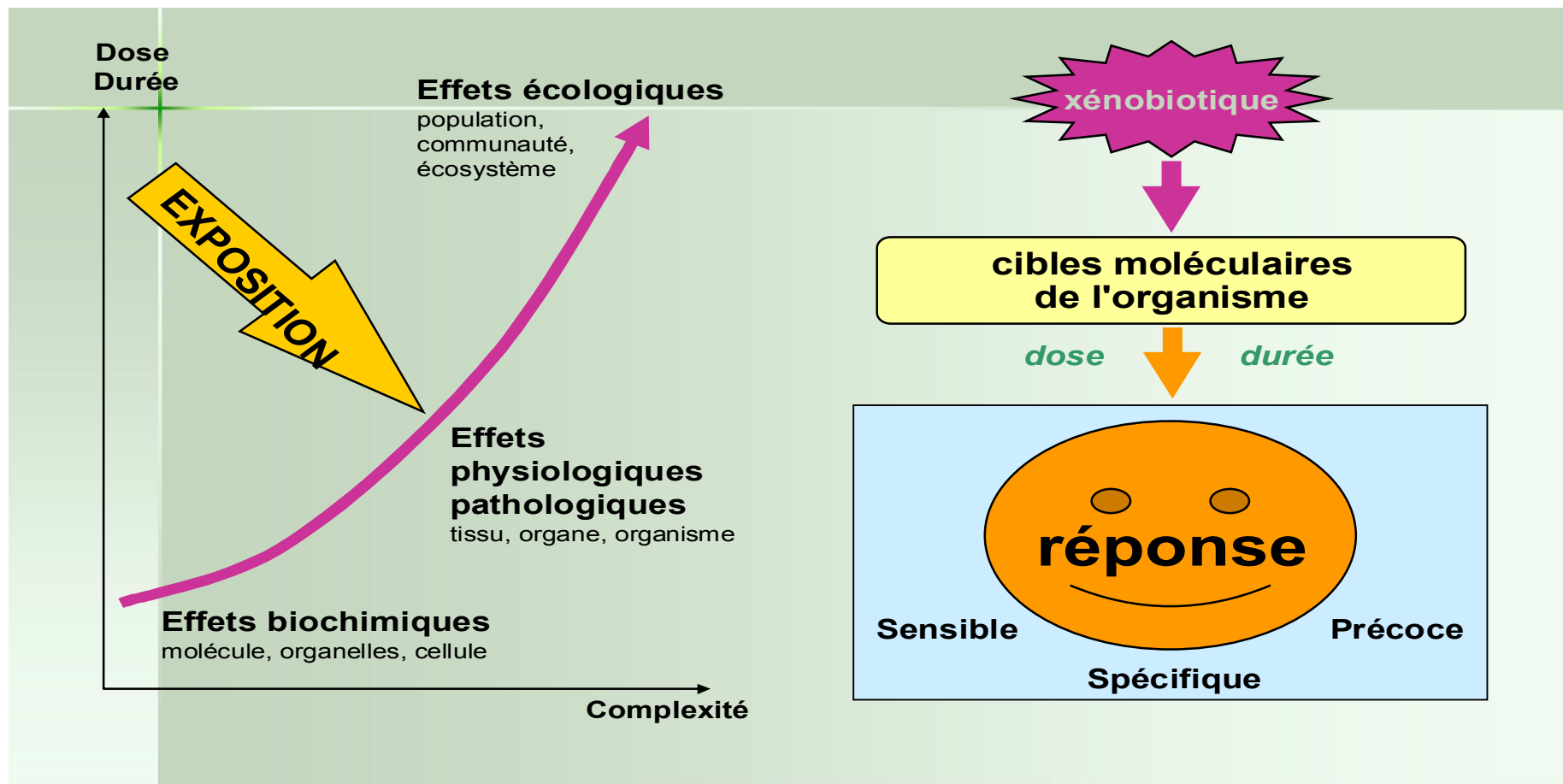


Fig. 10. Caractéristiques d'un biomarqueur

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:

CONTAMINANTS, BIOMARQUEURS ET EFFETS

