République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Universite Echahid Larbi Tebessi –Tebessa-

Faculte Des Sciences Exactes Et Des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département de Biologie Appliquée

# Cours d'**Ecotoxicologie générale**

## Niveau : 1ére Année MASTER

## Spécialité: Biodivérsité et Environnement

**EN LIGNE**

Présentée par : Dr. BOUCHIHA Hanéne

Enseignante-chercheur, Grade : MCA

Département de Biologie Appliquée,

Faculté SE-SNV, Université de Tebessa, Algérie

Courriel : hanene.bouchiha@univ-tebessa.dz

Année universitaire : 2022-2023

## LISTE DES FIGURES


| | |
|---|---|
| **Figure 1 :** L'éco-toxicologie est une science pluridisciplinaire. | **01** |
| **Figure 2 :** Le passage à travers la bicouche lipidique membranaire se fait de façon passive. | **03** |
| **Figure 3:** pesticide peut se disperser très rapidement dans les différents compartiments (air, eau et sol). | **08** |
| **Figure 4 :** Transfert des résidus de médicament | **09** |
| **Figure 5 :** Les voies d'absorption chez l'homme | **23** |
| **Figure 6.** Cheminement d'un produit dans l'organisme (chez l'homme) | **24** |
| **Figure 7:** Bioamplification du DDD dans le réseau trophique depuis le phytoplancton jusqu'au grèbe Fc = 178 500 dans les graisses | **25** |
| **Figure 8:** Bioamplification des PCB dans la chaîne trophique. | **26** |
| **Figure 9 :** Pyramide des concentrations dans les réseaux trophiques. | **26** |
| **Figure 10:** La daphnie | **35** |
| **Figure 11:** les différents types d'études | **37** |
| **Figure 12 : Expérience visant à évaluer les effets d'un polluant sur une espèce de poisson** | **39** |
| **Figure 13:** la détermination des valeurs de référence d'un test écotoxicologique : la CE 50, la NOEC et la LOEC. | **40** |


## LISTE DES TABLRAUX


| | |
|---|---|
| **Tableau 01 :** Estimation à l'échelle biosphérique des sources d'émissions naturelle et anthropogéniques de monoxyde de carbone | 13 |
| **Tableau 2 :** Principaux essais mono spécifiques normalisés. | 36 |

# SOMMAIRE


| | |
|---|---|
| **Chapitre I : Notions de base sur l'écotoxicologie** | |
| 1-Définitions | 1 |
| 1-1-L'éco-toxicologie | 1 |
| 1-2-Notion de danger | 1 |
| 1-3-Notion d'exposition | 1 |
| 1-4-Notion de risque | 2 |
| 1-5-La dégradation et la biodégradation. | 2 |
| 151-La dégradation | 2 |
| 1-5-2-La biodégradation | 2 |
| *la biodégradation primaire | 2 |
| *La biodégradation ultime | 2 |
| 1-6-La bioaccumulation : | 2 |
| 1-6-1-Quelles sont les substances bioaccumulables ? | 3 |
| 1-6-2-Une substance non bioccumulable est-elle pour autant sans danger pour les écosystèmes ? | 3 |
| 2-Connaissance de la pollution toxique | 3 |
| 2-1 La pollution toxique | 3 |
| 2-1-1Le terme polluant : | 4 |
| 2-1-2Le terme nuisances : | 4 |
| 2-1-3Principaux polluants environnementaux | 4 |
| **CHAPITRE II- Introduction à la pollution de l'environnement et à l'écotoxicologie** | |
| 1-Introduction à la pollution de l'environnement et à l'écotoxicologie | 5 |
| 1-1 Classification des pollutions | 5 |
| 1-1-1Selon la nature de l'agent polluant | 5 |
| *Nature physique | 5 |
| ***** Nature chimique | 5 |
| *Nature biologique | 5 |
| 1-1-2- D'un point de vue écologique | 5 |
| * Pollution de l'air | 5 |
| * Pollution des sols | 5 |
| * Pollution de l'eau | 6 |
| • les exploitations agricoles industrielles | 6 |
| 1-1-3- D'un point de vue toxicologique | 6 |
| 2- Les activités humaines sources de pollution de la biosphère | 6 |
| La production d'énergie, cause principale de pollution | 7 |
| 2-2La diversification des polluants chimiques et l'accumulation des déchets | 7 |
| 2-3Pollutions dues à l'agriculture et l'élevage intensif | 7 |
| 3- un polluant directement introduit dans l'environnement (Pesticide) | 8 |
| 4- un polluant introduit indirectement dans l'environnement (Résidu de médicament) | 8 |
| 5-Répartition et devenir des polluants dans l'environnement | 9 |
| 6-Les micropolluants | 9 |
| **CHAPITRE III : Les grands problèmes de pollution** | |
| 1-La pollution atmosphérique | 10 |
| 1-1- Échelles de temps : | 10 |
| Les polluants primaires | 10 |
| Les polluants secondaires | 10 |
| 1-2- Échelles d'espace : | 10 |
| 1-1- Pollution de proximité et à l'échelle locale | 10 |

| | |
|---|---|
| 1-2- Pollution à l'échelle régionale | 10 |
| 1-3- Pollution planétaire qui concerne les deux problèmes identifiés | 11 |
| 2- Les différents types de polluants | 11 |
| 2-1- Les polluants réglementés | 11 |
| A- Les polluants gazeux | 12 |
| 1) Monoxyde de carbone (CO) | 12 |
| 1-1- Les principales sources naturelles de CO | 13 |
| 1-2- Les principales sources technologiques de CO | 14 |
| 1-3- Devenir du monoxyde de carbone atmosphérique | 15 |
| 2- Le dioxyde de soufre (SO2) | 15 |
| 3- Les oxydes d'azote (NOx) | 15 |
| 3-1- Le protoxyde d'azote (N2O) | 15 |
| 3-2- Le dioxyde d'azote (NO2) | 16 |
| 4- Les composés organiques | 16 |
| 4-1-Les composés organiques volatiles – COV | 16 |
| 4-1-1- Les sources de COV | 18 |
| 4-1-2- Les Chlorofluorocarbones (CFC) et Hydrofluorocarbones (HFC) | 18 |
| 5- Les Produits Organiques Persistants (POP) | 19 |
| B- Les polluants particulaires | 19 |
| 1- Les métaux lourds | 19 |
| 1-1-Mercure | 20 |
| 1-2-Plomb | 20 |
| 1-3-Cadmium | 20 |
| 2- Les particules | 20 |
| **CHAPITRE IV- Mécanismes d'action des contaminants** | |
| 1- Biodisponible / non biodisponible | 22 |
| 2-Biodégradabilité : | 22 |
| **3-** Voies d'entrée (ou l'absorption) dans les organismes | 23 |
| 4- Le transport et la distribution (ou la répartition) | 24 |
| *L'excrétion | 24 |
| 5- La bioamplification (ou biomagnification) | 25 |
| **CHAPITRE V : Mesure des effets des contaminants** | |
| 1- Effets aigus (court terme) | 28 |
| 2- Effets chroniques (long terme) | 28 |
| 3-Le synergisme | 28 |
| 4- L'Antagonisme | 28 |
| 5-Effets des contaminations sur les organismes | 29 |
| 5-1-Affectation de la croissance et de la santé d'un organisme | 29 |
| 5-2- Modification du comportement d'individus | 29 |
| 5-3-Augmentation de la mortalité | 29 |
| 6-Effets sur les communautés | 29 |
| 6-1- Déséquilibre d'une population | 29 |
| 7- Effets sur les écosystèmes | 29 |
| 7-1- Modification des conditions du milieu | 29 |
| 8- Indicateurs de contamination | 30 |
| 8-1L'approche chimique | 30 |
| 8-1-1 Avantages | 30 |

| | |
|---|---|
| 8-1-2 Inconvénients | 30 |
| 8-2-L'approche biologique | 30 |
| 9-Les bioindicateurs | 30 |
| 9-1-Caractéristiques d'un indicateur biologique idéal : | 31 |
| 9-2-Facteurs influençant la fiabilité des indicateurs biologiques | 31 |
| 10-Les biomarqueurs | 31 |
| 10-1-Les biomarqueurs d'expositions | 32 |
| 10-2-Les biomarqueurs d'effets | 32 |
| 10-3-Les biomarqueurs de susceptibilités | 32 |
| 10-4- Quelques exemples d'utilisation de biomarqueurs | 32 |
| 10-4-1- Cytochrome P450 | 32 |
| 10-4- 2- Métallothionéines | 32 |
| 10-4-3 Cholinestérases | 33 |
| 11- Les bio-essais | 33 |
| 11-1- Les bioessais ont pour but | 33 |
| 11-2- Quel est l'avantage d'un bioessai par rapport à une analyse chimique classique ? | 33 |
| 11-3- Bio-essais mono- et multispécifiques | 33 |
| **CHAPITRE VI : Objectifs des études écotoxicologiques et les paramètres d'écotoxicité d'une substance** | |
| 1-Tests d écotoxicité | 37 |
| 1-1-organismes aquatiques | 38 |
| 1-2-organismes terrestres | 38 |
| 1-3-d'effet a évalué | 38 |
| 1-3-1une toxicité aigüe | 39 |
| 1-3-2une toxicité chronique | 39 |
| 2Un bon test écotoxicologique doit respecter | 40 |
| 2-1-Relevance | 40 |
| 2-2-Fiabilité | 40 |
| 2-3-Répétabilité | 41 |
| 2-4-Reproductibilité | 41 |
| 2-5-Robustesse | 41 |
| **Références bibliographie** | |

## Chapitre I : Notions de base sur l'écotoxicologie :

• à partir de 1978 intensification des recherches consacrées aux problèmes de pollution des milieux **naturels « Prise en compte de la gravité de polluer les écosystèmes n'est que très récente ».**

### 1-Définitions :

**1-1 L'éco-toxicologie :** c'est l'étude des modalités de **contamination** de l'environnement par les agents **polluants** naturels ou artificiels produits par l'activité humaine ainsi que de leurs **mécanismes d'action** et **effets** sur les êtres vivants qui peuplent la biosphère. C'est une science **pluridisciplinaire**. (Figure ci-dessous).

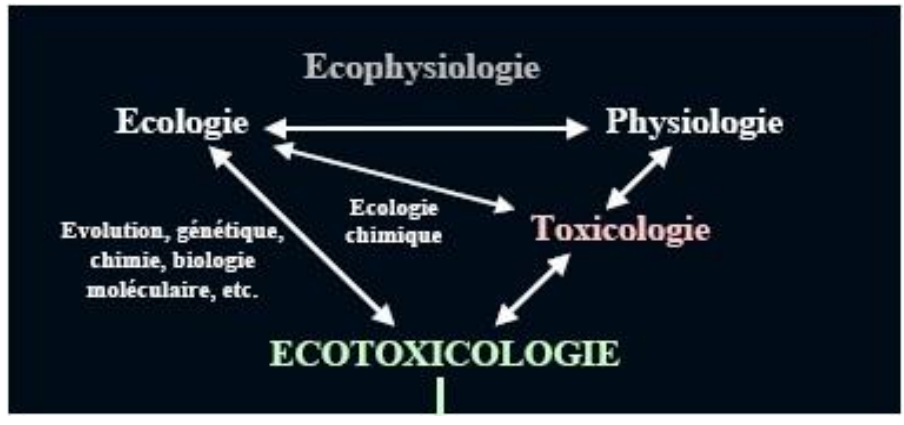



**Figure 1 :** L'éco-toxicologie est une science pluridisciplinaire.

-Elle étudie au sein des écosystèmes les interactions entre les espèces et le milieu et fait appel à l'écologie.

-Elle étudie les effets des polluants sur les organismes vivants et fait appel à la toxicologie. Enfin, elle étudie les polluants et leur dispersion dans le milieu et fait appel à la chimie.

### 1-2 Notion de danger

Appréciation du degré de toxicité des substances. Le caractère nocif des substances pour l'écosystème est apprécié au travers de tests de laboratoires, visant à mesurer leur degré de toxicité pour les organismes vivants (ex. bio-essais). La finalité de ces tests est de mesurer la toxicité des substances dans des conditions comparables et fiables.

### 1-3 Notion d'exposition

Concerne d'une part l'importance des sources de pollutions et d'autre part le niveau de contamination résultant dans les milieux. L'appréciation de l'exposition passe par des analyses chimiques effectuées soit dans les rejets (auto-surveillance), soit directement dans le milieu.

### 1-4 Notion de risque

En croisant l'information du danger d'une substance et de la probabilité d'exposition à cette substance. **«Risque=danger x exposition»**

### 1-5 La dégradation et la biodégradation

Ce sont les principaux facteurs qui régissent le devenir des substances chimiques dans l'environnement.

**1-5-1 La dégradation** désigne toute action physico-chimique aboutissant à la minéralisation plus ou moins complète d'une molécule.

**1-5-1 La biodégradation** est une dégradation biologique effectuée par les êtres vivants (bactéries, champignons…). L'attaque d'une molécule chimique par des micro-organismes a pour aboutissement sa minéralisation et l'obtention de métabolites de faibles poids moléculaires. Deux types de biodégradation sont distingués :

***la biodégradation primaire** qui est une attaque partielle de la molécule. Dans certains cas, elle peut aboutir à l'apparition de métabolites persistants, plus biodisponibles et/ou plus toxiques que la molécule initiale.

***La biodégradation ultime** qui est une dégradation complète conduisant à la formation de dioxyde de carbone, méthane, eau, éléments minéraux. Cette biodégradation, si elle se fait rapidement, conduit à l'élimination du polluant dans le milieu. Une substance qui subit une biodégradation ultime est une substance qui présente moins de risque pour l'environnement qu'une substance qui subit une biodégradation primaire.

### 1-6 La bioaccumulation

est l'accumulation de substances toxiques dans les tissus des organismes vivants et dont les effets toxiques ne se produiront que lorsque leur dose d'effets sera atteinte.

### 1-6-1 Quelles sont les substances bioaccumulables ?

Ce sont notamment les substances lipophiles, c'est à dire les substances qui " aiment " les graisses (voie passive) (voir figure cidessous). C'est le cas par exemple du Bisphénol A, de l'Octylphénol et du Nonylphénol, 3 produits industriels qui sont susceptibles d'avoir des effets sur la reproduction des animaux.

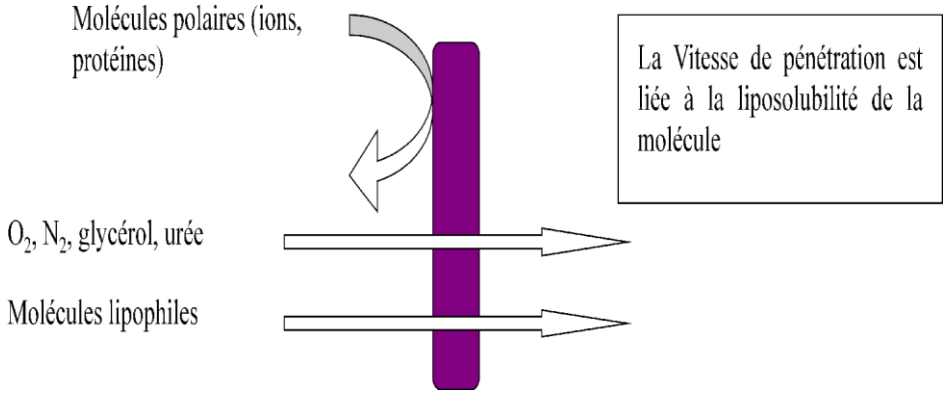



**Figure 2 :** Le passage à travers la bicouche lipidique membranaire se fait de façon passive.

**1-6-2 Une substance non bioccumulable est-elle pour autant sans danger pour les écosystèmes ?** Non ! Ce n'est pas parce qu'un polluant ne se bioaccumule pas qu'il n'est pas dangereux. Par exemple, les HAP (Hydrocarbures Arômatiques Polycycliques) ne se bioaccumulent que très peu et sont très vite éliminés par l'organisme ; ils induisent cependant des effets toxiques importants : on dit qu"' ils frappent et s'en vont ".

## 2-Connaissance de la pollution toxique

### 2-1 La pollution toxique

La pollution est toute modification d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction dans la biosphère de substances chimiques, d'une perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité

des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle.

**NB :** L'effet de la pollution n'est pas nécessairement lié à la libération dans l'environnement de substances toxiques : la **production excessive** de composés naturels impliqués dans les **cycles biogéochimiques** est aussi une grave source de déséquilibre. Ainsi, les quantités de polluants rejetés dans l'atmosphère peuvent être si élevées par rapport aux sources naturelles dans le cas des dérivés gazeux du carbone et de ceux du soufre.

### 2-1-1 Le terme polluant

Un polluant est une **substance naturelle ou artificielle (chimique, biologique ou physique)** introduite dans un milieu où elle était absente ou présente en quantité différente. Et qui au delà d'un certain seuil ou norme, développe des impacts négatifs sur tout ou partie d'un écosystème ou de l'environnement en général.

### 2-1-2 Le terme nuisances

Désigne l'ensemble de facteurs d'origine technique (bruits : circulation; déchets solides : matières plastiques….) ou sociale (encombrement, voisinage...) qui nuisent à la qualité de la vie. A la différence des pollutions, les nuisances ne provoquent pas nécessairement d'effets néfastes sur la santé humaine et sont dépourvues de conséquences écologiques. On parle de nuisances auditives, visuelles ou olfactives

### 2-1-3 Principaux polluants environnementaux

- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- Les Polychlorobiphényle (PCB) ;
- Les Dioxines ;
- Pesticides ;
- Métaux lourds ;
- Plastifiants ;
- Surfactants non ioniques ;
- Dérivés halogénés ;
- Médicaments (PNSE) ; ect…

# CHAPITRE II- Introduction à la pollution de l'environnement et à l'écotoxicologie

## 1-Introduction à la pollution de l'environnement et à l'écotoxicologie

### 1-1 Classification des pollutions

Il existe **différente formes de pollution** : des sols ; de l'eau ; de l'air ; sonore ; par les déchets nucléaires ; lumineuse……

On peut **classer les pollutions** à partir de **nombreux critères**.

#### 1-1-1 Selon la nature de l'agent polluant :

* **Nature physique :** rayonnements ionisants, réchauffement artificiel dû à une source technologique.
* **Nature chimique :** substances minérales, organiques abiotiques ou encore de nature biochimique.

***Nature biologique :** microorganismes pathogènes, populations d'espèces introduites par l'homme.

#### 1-1-2 D'un point de vue écologique

en prenant en considération le milieu **(air, eau, sol),** ou **le compartiment de la biosphère** afférent **(atmosphère, hydrosphère, pédosphère)** dans lequel ils sont émis et sur les biocénoses desquels ils exercent leurs perturbations.

* **Pollution de l'air**

La pollution atmosphérique peut être définie comme la présence d'impuretés dans l'air pouvant provoquer un gène notable pour les personnes et un dommage aux biens. La pollution atmosphérique est donc fortement influencée par le climat et tout particulièrement par le vent, la température, l'humidité et la pression atmosphérique.

* **Pollution des sols**

La pollution du sol peut être diffuse ou locale, d'origine industrielle, agricole (suite à l'utilisation massive d'engrais ou de pesticides qui s'infiltrent dans les sols). Ces pollutions agricoles peuvent avoir plusieurs impacts sur la santé humaine, en touchant des nappes phréatiques d'une part et en contaminant par bioaccumulation les cultures poussant sur ces sols d'autre part.

* **Pollution de l'eau**

La pollution de l'eau peut avoir diverses origines parmi lesquelles

• **les exploitations agricoles industrielles,** qui rejettent divers produits présents dans les engrais (comme des ions nitrates : NO3-) ou les produits phytosanitaires peuvent polluer les nappes phréatiques et entraîner la fermeture de points de captages d'eau potable si leur présence est trop importante**.• l'industrie:** Il s'agit essentiellement de produits chimiques et d'hydrocarbures (dégazage). • **les eaux usées:** C'est un milieu favorable pour la mise en place d'une microfaune bactérienne (développement des bactéries) qui si elles ne sont pas traitées correctement peuvent être une source de pollution de l'eau. La demande chimique et biologique en oxygène (DCO et DBO) seront utiles pour évaluer la teneur de la pollution dans le l'eau.

### 1-1-3 D'un point de vue toxicologique

Considère le milieu ou la manière par laquelle les polluants contaminent les organismes. On distinguera, selon la voie de contamination : chez les végétaux une absorption stomatale, transfoliaire, ou une translocation radiculaire. Chez les animaux on peut distinguer une contamination par inhalation (chez les espèces terrestres), par absorption transbranchiale (chez lez espèces aquatiques), par ingestion (par voie orale) ou encore pénétration transcutanée à la suite du contact de la peau ou du tégument avec le polluant.

**N.B :*** Aucune de ces méthodes de classification n'est vraiment satisfaisante car une même substance peut présenter diverses modalités d'action. Exemple : le mercure libéré dans les sols passera dans l'atmosphère et les eaux, il peut être à la fois ingéré avec les aliments ou inhalé à l'état de vapeur.

## 2- Les activités humaines sources de pollution de la biosphère

De nos jours, les principales sources de pollution de l'environnement proviennent en premier lieu de la production et de l'utilisation des diverses sources d'énergie, puis des activités industrielles et, de façon paradoxale mais néanmoins importante, de l'agriculture.

**2-1 La production d'énergie, cause principale de pollution** Les principaux aéropolluants produits par les combustions sont le S02 et Les NOX dont résultent les pluies acides, les smog photochimiques et les particules solides.

**2-2 La diversification des polluants chimiques et l'accumulation des déchets :** Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, la chimie organique a mis à notre disposition une multitude de nouvelles molécules de synthèse. On estimait dans les années 1990 que 120 milles molécules étaient commercialisés dans le monde et que chaque année étaient mises sur le marché de 500 à 1000 substances chimiques nouvelles. Parmi elles, les matières plastiques, les détersifs, les matériaux isolants ont apporté d'incontestables éléments de confort à la vie quotidienne. L'un des aspects les plus redoutables de la pollution globale par les substances chimiques de synthèse tient en la croissance des rejets de polluants organiques persistants (POPs) tant des les pays industrialisés que dans le tiers monde. Par suite de leur ubiquité et de leur stabilité, ces substances : Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), solvants chlorés, Polychlorobiphényles (PCB), Pesticide organochlorés, dioxines, … se rencontrent de nos jours dans les régions les plus reculés de la biosphère.

**2-3 Pollutions dues à l'agriculture et l'élevage intensif :** Une dernière cause majeur de pollution de la biosphère tient au développent d'un modèle d'agriculture et d'élevage réputés modernes. L'usage en agriculture intensive des pesticides de synthèse (insecticide, fongicide, herbicide) et la fumure minérale par apport de fertilisants azotés, de phosphate et de sels de potasse conduit à des progrès spectaculaire dans le rendement des cultures. En effet, ces produits, en plus des excréments des animaux d'élevage, génèrent une pollution insidieuse des eaux superficielles ou littorales et des nappes phréatiques.

**N.B :*** Les pollutions ne sont pas toujours le fait de l'activité humaine = l'activité anthropique (= les activités domestique + industrielle). Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. **Ex :** pollution de l'eau par érosion (dissolution) des gisements minéraux ou l'air par des irruptions volcaniques

**3- Un polluant directement introduit dans l'environnement (Pesticide)** peut se disperser très rapidement dans le **sol**, les **nappes phréatiques** par infiltration ou dans l'**air** par volatilisation (où il peut être dégradé; on parle de photo-décomposition) et/ou redéposé à un autre endroit dans les **eaux de surface** (rivière, lac, etc.) par ruissellement. (Figure ci-dessous)

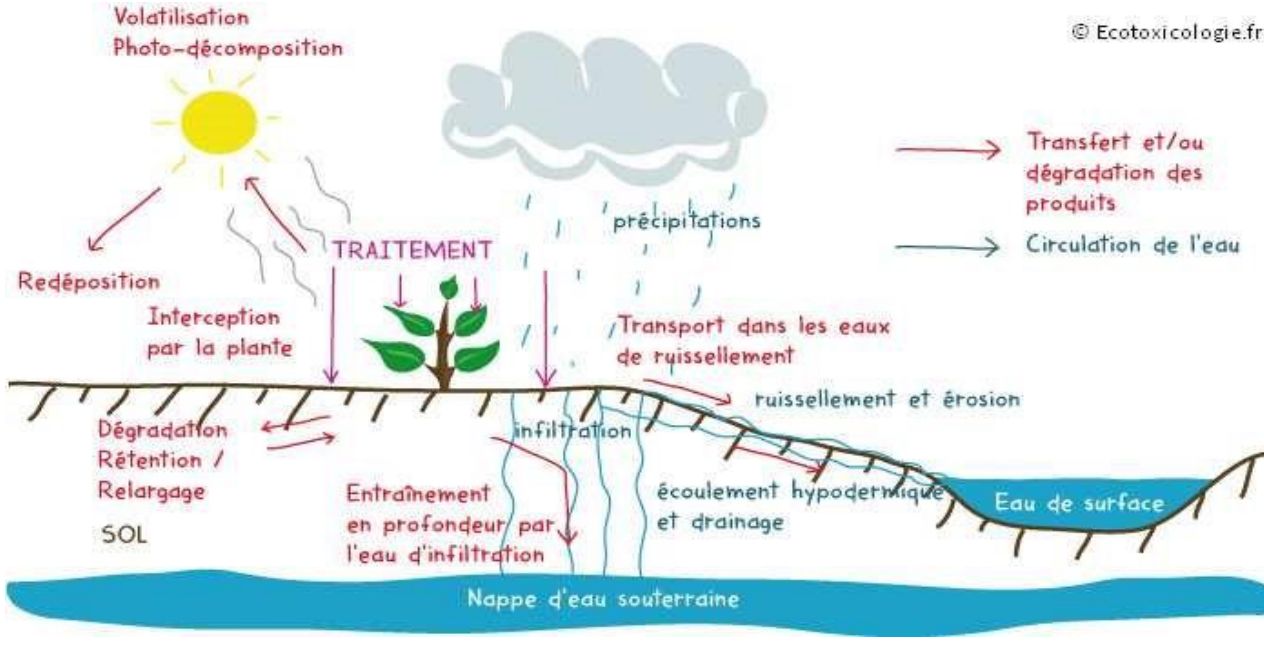



**Figure 3:** pesticide peut se disperser très rapidement dans les différents compartiments (air, eau et sol).

**4- Un polluant introduit indirectement dans l'environnement (Résidu de médicament)** Tous les polluants ne sont pas volontairement et directement introduits dans les milieux naturels comme le sont les pesticides. Par exemple, concernant **les médicaments**, leur consommation par la population représente la principale source de rejet : après administration, le médicament est absorbé, métabolisé (= transformé par le corps), excrété, puis rejeté dans les eaux usées. Le résidu gagne ensuite les stations d'épuration urbaines qui n'en dégradent qu'une partie. Le traitement de ces stations est en effet inégalement efficace pour éliminer ces composés. Finalement, une fraction variable du médicament est rejetée

dans les effluents de stations d'épuration qui sont alors dilués dans les eaux de surface (**Figure 4** ).

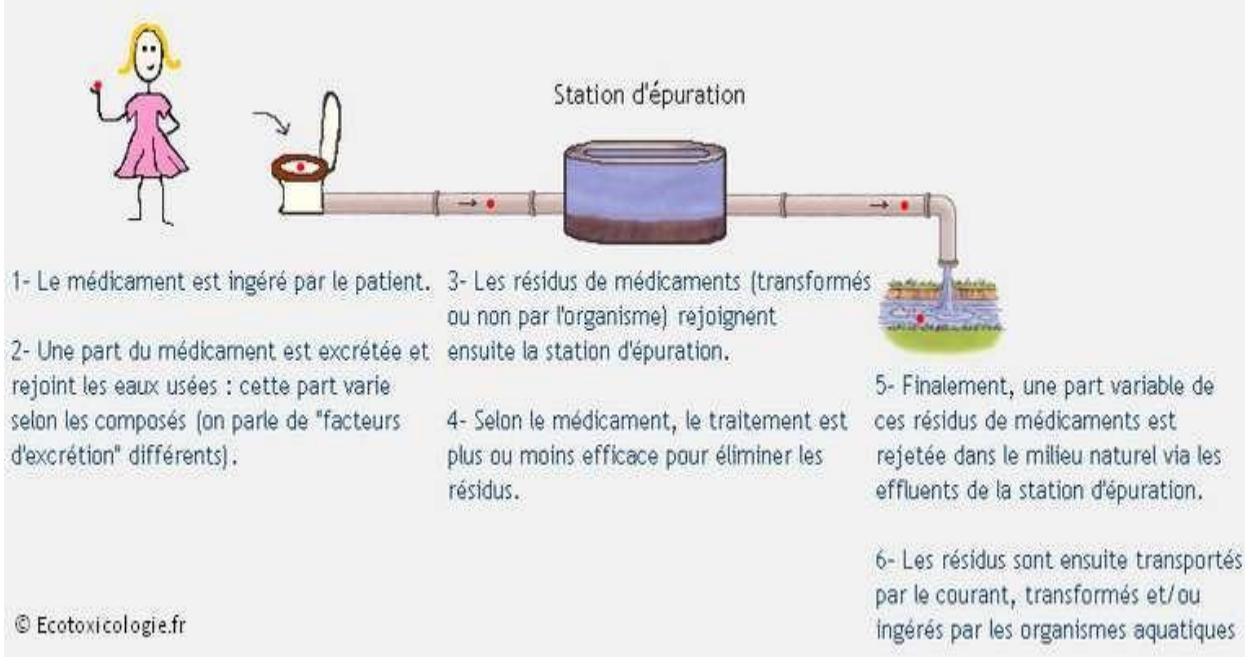



**Figure 4 :** Transfert des résidus de médicament

### 5- Répartition et devenir des polluants 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 a tendance à s'accumuler dans les **sédiments** (ex : les PCB) ou encore à flotter **en surface** (nappe d'hydrocarbures). A l'inverse, un polluant soluble sera plutôt réparti dans **la colonne d'eau** de la rivière (par exemple le dioxyde de soufre SO2).

Que devient le polluant une fois introduit dans le milieu naturel ? Pour le savoir il faut s'attarder sur plusieurs notions fondamentales en écotoxicologie, qui dépendent à la fois des propriétés de la substance polluante et du milieu dans lequel elle a été introduite.

### 6- Les micropolluants

une substance détectable dans l'environnement **à très faible concentration** (microgramme par litre voire nanogramme par litre. Telles que **les plastifiants, détergents, métaux, hydrocarbures, pesticides, cosmétiques ou encore les médicaments.**

## CHAPITRE III : Les grands problèmes de pollution

Avec la civilisation moderne, les quantités de substances rejetées dans l'atmosphère, altérant la composition normale de l'air, n'ont cessé d'augmenter.

### 1-La pollution atmosphérique

peut résulter soit d'une modification quantitative par la hausse de la concentration dans l'air de certains de ses constituants normaux (CO2, NO2, O3), soit d'une modification qualitative due à l'introduction de composés étrangers à ce milieu (radioéléments, substances organiques de synthèse par exemple), soit encore, et c'est le cas général, d'une combinaison de ces deux phénomènes. Les différentes substances ont des durée de vie dans l'atmosphère qui sont extrêmement variables, ce qui explique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles **de temps** et **d'espace très variables.**

### 1-1 Échelles de temps

**Les polluants primaires** sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Par exemple, le CO est un polluant primaire.

**Les polluants secondaires** sont des polluants qui ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Par exemple, l'ozone résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV. Il est possible ainsi, de réaliser un inventaire d'émission pour les polluants primaires, mais pas pour les polluants secondaires.

### 1-2 Échelles d'espace

1-**2-1 Pollution de proximité et à l'échelle locale :** elle concerne les sources d'émission de gaz ou d'autres substances indésirables le plus souvent produits en milieu urbain (industries, chauffage, trafic...). Elle affecte en premier lieu la santé des populations par son action directe à court terme mais exerce aussi une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies : cancer, asthme, maladie cardiovasculaire (exemple fluor),

1-**2-2 Pollution à l'échelle régionale**

elle concerne les zones situées à quelques dizaines de kilomètres (voire des centaines de kilomètres) des sources d'émission de pollution. Elle regroupe souvent sous ce terme les deux phénomènes de pollution que sont les pluies acides et la pollution photochimique

**1-3 Pollution planétaire qui concerne les deux problèmes identifiés :**

- « trou » de la couche d'ozone stratosphérique due essentiellement à l'action des composés halogénés (chlore, brome, iode) libérés par les activités humaines.

- l'augmentation de l'effet de serre liée à la production excessive de certains gaz (CO = monoxyde de carbone, CO2 = dioxyde de carbone, COV = composés organiques volatiles) entraînera de graves changements climatiques (élévation de la température du globe et des modifications climatiques qui ont des conséquences pour la vie terrestre).

**La liste des polluants, les plus couramment évoquées dans les problèmes de pollution atmosphérique est proposée dans ce qui suit est donnée par famille : la notion de famille recouvre soit des caractéristiques physico-chimiques précises (COV, PM..), soit elle correspond à une réglementation particulière, ou encore elles sont parfois regroupées en fonction de leur effet.

## 2- Les différents types de polluants

### 2-1 Les polluants réglementés

Les polluants actuellement réglementés et font l'objet de mesures continues dans l'air réalisées par les associations de surveillance de la qualité de l'air. Ils sont divisés en deux catégories : les polluants en phase gazeuse et les polluants en phase particulaire.

Les gaz représentent 90% de la masse des polluants atmosphériques et les particules les 10% restants. La proportion de ces dernières à tendance à diminuer car les efforts de réduction de la pollution atmosphérique ont prioritairement concerné au cours des vingt dernières années les particules (fumées émises par les usines, les chaufferies et les centrales thermiques, les échappements des moteurs diesels) car elles représentent la fraction la plus visible de la pollution de l'air.

**Les polluants gazeux** – le dioxyde de soufre : $SO_2$ – le monoxyde de carbone : CO – le dioxyde d'azote : $NO_2$ – l'ozone : $O_3$ – le benzène : $C_6H_6$ – COV (composés organiques volatiles)

**Les polluants particulaires** – les particules (PM10 et PM2,5) – les hydrocarbures (Benzo(a)pyrène) – le plomb : Pb – le cadmium : Cd – l'arsenic : As – le nickel : Ni – le mercure : Hg

**A- Les polluants gazeux**

**1) Monoxyde de carbone (CO)**

Est un polluant primaire. C'est un gaz incolore, inodore et plus léger que l'air. Il représente le plus abondant et le plus répandu de tous les polluants atmosphériques présentant une toxicité pour l'Homme. Dans les conditions naturelles, il se rencontre dans l'air à des concentrations très réduites comprises entre 0.005 ppm (v) et 0.2 ppm (v) étant admises pour l'ensemble de la troposphère. Dans les carrefours aux moments d'embouteillage, les valeurs de CO dépassent 100 ppm. Celles-ci excèdent le seuil de nocivité estimé à 50 ppm pour les effets neurotoxiques lors d'expositions prolongées

**1-1 Les principales sources naturelles de CO**

Les incendies de forêts (Le volcanisme), cependant des êtres vivants marins semblent intervenir de façon significative dans la production naturelle de ce gaz. On cite les algues brunes, les méduses du genre Physalia. Ces diverses sources biologiques sont la cause essentielle de la présence de ce gaz à saturation dans les eaux océaniques. L'océan dégage chaque année de l'ordre de 50 millions de tonnes de CO dans l'atmosphère.

**1-2 Les principales sources technologiques de CO**

Proviennent des combustions : combustion des charbons et des fuels, incinération des déchets urbains et émissions des véhicules à moteur (le CO représente jusqu'à 11% des gazes d'échappement de ces automobiles).

**Tableau 01 :** Estimation à l'échelle biosphérique des sources d'émissions naturelles et anthropogéniques de monoxyde de carbone

| Sources | Émissions de monoxyde de carbone (en $10^6$ t par an) | |
|---|---|---|
| | Globales | Tropicales (30° N – 30° S) |
| Technologiques | 440 | – |
| Combustion de la biomasse | 700 | 600 |
| Végétation | 75 | 60 |
| Océan | 50 | 25 |
| Oxydation du $CH_4$ | 600 | 400 |
| Oxydation des Terpènes | 800 | 600 |
| **Total** | **2 665** | **1 585** |

Une autre source biogéochimique importante du CO est l'oxydation abiotique du méthane (CH4). Ce phénomène résulte surtout d'une chaîne de réactions qui prennent lieu essentiellement dans la stratosphère : **$CH_4$ + OH……$CH_3$ + $H_2O$.** A partir du CH3, une cascade de réactions avec des radicaux libres dus à la dissociation de l'eau va ensuite produire le composé CH3O. Ce dernier va être à son tour oxydé en HCHO qui sera transformé en CO par le rayonnement UV selon la réaction : **HCHO + hv ($\lambda$< 360 nm)……..CO +$H_2$**

### 1-3 Devenir du monoxyde de carbone atmosphérique

Il existe des processus biogéochimiques efficaces qui décomposent le CO et le transforment en d'autres composés. La principale voie de neutralisation abiotique du CO tient en son oxydation en gaz carbonique par réaction avec un hydroxyle: **CO + OH……..$CO_2$ + H+** ; Cependant, le rôle des êtres vivants dans l'extraction de ce gaz semble être le facteur le plus important dans le maintien de la constance de sa teneur moyenne dans l'atmosphère. En effet, la flore bactérienne du sol telle que *Bacillus oligocarbophilus* et *bacterium formicum* absorbent efficacement le CO et le transforment en $CO_2$ et/ou en $CH_4$ selon qu'elles disposent ou non d'un donneur d'hydrogène.

La respiration végétale pourrait aussi constituer un processus important d'élimination de ce gaz de l'air. Inoffensif pour les végétaux aux concentrations ordinaires, il interfère cependant avec les réactions de la chaîne respiratoire et il présente une nette phytotoxicité à des taux plus élevés. Malgré la diversité et l'importance des mécanismes biogéochimiques dégradant le CO atmosphériques, ces derniers ne parviennent plus à éliminer entièrement la totalité des

excédants de CO produits par l'action de l'homme. Ainsi on atteste la croissance observée depuis quelques décennies de sa teneur dans l'air estimée à 0.7% par an. Il constitue un poison pour tous les animaux à sang chaud. En cas d'inhalation, il se combine avec l'hémoglobine du sang, s'oppose à l'absorption de l'oxygène et provoque l'asphyxie. Etant inodore, le CO est un poison, qui ne provoque que des symptômes légers de maux de tête, de vomissements, ou de fatigue, suivis d'une perte de connaissance.

## 2) Le dioxyde de soufre ($SO_2$)

Il se rencontre dans l'air à l'état de traces infinitésimales en l'absence de toute source de pollution. On estime que sa concentration moyenne dans la troposphère des zones reculées est comprise entre 0,01 et 0,2 ppb. Le volcanisme en constitue la principale source naturelle ainsi que l'oxydation spontanée de l'hydrogène sulfuré et des sulfures de méthyle et de diméthyle produits par des fermentations en divers biotopes aquatiques. Cependant, depuis de nombreuses décennies, les dégagements de $SO_2$ d'origine technologique en milieu continental excèdent de plus en plus largement ceux provenant de sources naturelles. Les rejets totaux de dérivés gazeux du soufre d'origine anthropogène dans l'atmosphère pouvaient être estimés atteindre à l'échelle globale 100 millions de tonnes par an. La principale cause de pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre réside dans les combustions, plus particulièrement celles liées à l'usage des combustibles fossiles. En effet, ces derniers renferment des teneurs parfois importantes en soufre. Parmi les dérivés pétroliers, le gazole mais surtout les fuels renferment du soufre. Il convient aussi de noter que les incendies de foret et de façon plus générale du couvert végétal introduisent aussi du SO2 dans l'atmosphère. La métallurgie des métaux non ferreux représente la seconde cause de pollution de l'air par le dioxyde de soufre. La première étape de l'extraction du métal consiste à une oxydation de la pyrite; ainsi dans le cas de la pyrite cuivreuse on aura la réaction: $\mathbf{CuS + 3/2O_2 ……..CuO + SO_2}$. Ainsi, une usine qui traite 1 000 tonnes par jour de pyrite cuivreuse rejette quotidiennement dans l'atmosphère 600 t de $SO_2$. Enfin, diverses industries chimiques comme celles de la synthèse de l'acide sulfurique peuvent contaminer l'air en l'absence de mesures adéquates de protection. Le $SO_2$ émis dans l'atmosphère n'y demeure pas indéfiniment car il y subit diverses transformations qui font partie du cycle biogéochimique naturel du soufre dans la biosphère. En présence de lumière ultra-violette, le dioxyde de soufre est transformé en anhydride sulfurique selon la réaction: $\mathbf{SO_2 +}$

**$1/2O_2$…….$SO_3$ + 22 kcal (1)** **$SO_3$ + H2O……$H_2SO_4$ (2)** Par ailleurs, au contact de la vapeur d'eau atmosphérique il se forme de l'acide sulfureux. **$SO_2$+ $H_2O$……$H_2SO_3$+18 kcal (3)** Ultérieurement, l'acide sulfureux forme, instable, se transforme spontanément en acide sulfurique: **$H_2SO_3$+ $1/2O_2$ …….$H_2SO_4$ (4)**. Enfin, un autre type de réaction intervient dans les atmosphères contaminées : **$SO_2$ + $NO_2$ + $H_2O$……$H_2SO_4$ + NO (5)**. Catalysée par la lumière solaire, cette réaction peut s'effectuer à des concentrations en dioxyde de soufre et de peroxyde d'azote aussi basses que 0,5 ppm. Dans un cas comme dans l'autre, l'acide sulfurique forme, très hygroscopique, forme des brouillards responsables de la toxicité des smogs acides qui apparaissent dans les atmosphères urbaines polluées sons climat tempéré froid et humide. Cet acide est aussi la cause majeure du phénomène des précipitations acides qui affecte de nos jours d'immenses surfaces dans l'hémisphère Nord tempéré. En règle générale, l'acidité forte des pluies est due pour 72 % à l'acide sulfurique et à 28 % pour l'acide nitrique.

L'acide sulfurique présent dans l'atmosphère réagit ensuite avec l'ammoniaque et d'autres cations de divers métaux donnant des sulfates solides, souvent solubles dans l'eau qui sont ramenés au sol par les précipitations. Des concentrations importantes en dioxyde de soufre peuvent provoquer de nombreuses pathologies respiratoires. Il peut entraîner des inflammations bronchiques, une altération de la fonction respiratoire, et des symptômes de toux.

### 3-Les oxydes d'azote (NOx)

On compte parmi ces derniers le protoxyde d'azote encore dénommé oxyde nitreux ($N_2O$), Ie monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote $NO_2$.

### 3-1 Le protoxyde d'azote (N2O)

Il représente le plus abondant d'entre eux dans les atmosphères non polluées avec une concentration moyenne de 0,25 ppm (Tableau 1). II s'agit d'un puissant gaz de serre, car son potentiel de réchauffement climatique est 290 fois supérieur à celui du $CO_2$ de sorte que ses dégagements interviennent dans les changements climatiques globaux dus à la pollution atmosphérique par ses rejets. En revanche, en dépit de ses effets neurotropes ce, dernier ne joue pas un rôle majeur dans la pollution atmosphérique urbaine. En effet, sa concentration dans l'air des villes n'est pas significativement modifiée par des sources technologiques. En

réalité, la principale source technologique de $N_2O$ à l'atmosphère est due à la dénitrification des nitrates utilisés à vaste échelle comme engrais chimiques et concerne donc l'espace rural.

### 3-2 Le dioxyde d'azote ($NO_2$)

Ce gaz, encore dénommé peroxyde d'azote, constitue avec le NO, à l'opposé du précédent, l'un des polluants majeurs de l'air et présente une importance fondamentale dans tous les problèmes de pollution atmosphérique. C'est un gaz stable, fortement coloré en jaune, qui réduit beaucoup la visibilité atmosphérique et confère dans la plupart des cas une coloration brunâtre caractéristique aux masses d'air qui recouvrent les zones urbanisées. Par ailleurs, les propriétés physiques particulières de ce gaz, se traduisant par une forte absorption des ultraviolets, provoquent sa dissociation par l'énergie lumineuse absorbée selon la réaction: **$NO_2$ + hv…….NO + $O_2$- + 72 kcal (1).** Il engendrera alors une pollution de l'air dite photochimique car générée par l'exposition aux rayonnements du $NO_2$ et de ces produits de décomposition avec d'autres contenus dans l'air pollué: dioxyde de soufre, oxygène, hydrocarbures. Parmi les diverses substances formées, certaines comme les peroxyacylnitrates (PAN), sont phyto-toxiques et très irritantes pour la conjonctive. La présence de dioxyde d'azote dans l'atmosphère résulte en partie significative d'une réaction secondaire qui s'y effectue de façon spontanée avec le monoxyde d'azote. On constate, en effet, que les gaz d'échappement des automobiles et en général tous ceux produits par combustion à haute température renferment beaucoup de monoxyde que de peroxyde d'azote. Ce dernier se forme pendant la réaction qui a lieu au cours de la phase de dilution dans l'air des gaz brûlés. Celleci a pour équation **: 2 NO + $O_2$…...2$NO_2$ + 28,4 kcal (2)**
Cette réaction a tendance à s'effectuer en sens inverse au-dessus de 600° C ce qui explique la prépondérance du monoxyde d'azote dans les gaz émis par les échappements. Dans les zones urbaines fortement polluées, la concentration du peroxyde d'azote peut dépasser 0,1 ppm. Le dioxyde d'azote ($NO_2$) ne séjourne pas longtemps dans l'atmosphère, trois jours en moyenne. II s'y transforme ensuite en acide nitrique, par oxydation spontanée et contact avec la vapeur d'eau contenue dans l'air, lequel acide nitrique est lui-même ensuite rapidement converti en $NH_4NO_3$, surtout par réaction avec l'ammoniac introduit par l'ammonification naturelle dans l'atmosphère, mais aussi en nitrate de calcium, par réaction avec les particules carbonatées qu'y amène l'érosion des sols. L'ensemble des nitrates ainsi formés par réaction de l'acide nitrique avec les nombreux cations présents dans l'air se rencontre dans les aérosols atmosphériques et est ensuite ramené au sol par les précipitations.

## 4- Les composés organiques

### 4-1Les composés organiques volatiles – COV

Les composés organiques volatils, ou COV sont des composés organiques pouvant facilement se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Leur volatilité leur confère l'aptitude de se propager plus ou moins loin de leur lieu d'émission, entraînant ainsi des impacts directs et indirects sur les animaux et la nature. Ils peuvent être d'origine anthropique (provenant du raffinage, de l'évaporation de solvants organiques, imbrûlés, etc.) ou naturelle (émissions par les plantes ou certaines fermentations). Selon les cas, ils sont plus ou moins lentement biodégradables par les bactéries et champignons, voire par les plantes, ou dégradables par les rayonnements UV ou par l'ozone. Il est fréquent de distinguer séparément le méthane ($CH_4$) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation COVNM (Composés Organiques Volatils Non Méthaniques). Les grandes familles de composés organiques volatiles

– les alcanes (saturés, abondants, par exemple propane)
– les alcènes (liaison doubles, très réactifs)
– les diènes et les terpènes (multiples doubles liaisons)
– les aromatiques mono ou polycycliques (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...)
– les composés oxygénés (aldéhydes, cétones, esters, alcool ...).
– les aromatiques mono ou polycycliques (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...). Parmi les aromatiques, les hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP constituent un groupe particulier en raison de leurs caractéristiques chimiques et toxicologiques (cancerigènes) et ils font l'objet d'une surveillance particulière du fait de leur dangerosité : ces composés sont très nombreux et les plus courants sont : fluoranthène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(a)- pyrène, benzo(ghi)perylène, indeno.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été déclarés des substances toxiques car ils répondent aux critères de persistance, de bioaccumulation et de toxicité définis par divers organismes internationaux. Les HAP proviennent de sources naturelles et

anthropiques. Il s'agit d'un groupe de 100 substances chimiques différentes qui sont produites pendant la combustion incomplète de charbon, de pétrole et de gaz, de bois, de déchets et d'autres substances organiques. On les trouve généralement sous forme de nombreux composés mélangés, dans des matériaux comme la suie.

Les HAP s'introduisent dans l'environnement pendant la phase gazeuse ou agglutinés à des particules, principalement la suie. Dans l'air ambiant, 25 % des HAP adhèrent à des particules et 75 % se présentent sous forme gazeuse. Les feux de forêt, qui libèrent près de 2 000 tonnes de HAP par an, sont sans doute la plus grande source naturelle de HAP.

### 4-1-1 Les sources de COV

Les sources de COV sont très nombreuses, les émissions sont dues à certains procédés industriels impliquants la mise en oeuvre de solvants (chimie de base et chimie fine, parachimie, dégraissage des métaux, application de peinture, imprimerie, colles et adhésifs, caoutchouc, etc...), ou n'impliquant pas de solvants (raffinage du pétrole, utilisation de CFC, production de boissons alcoolisées, de pain, etc.). L'utilisation de combustibles dans des foyers contribue un peu aux émissions mais sans aucune comparaison avec les proportions indiquées pour $SO_2$ et $NO_x$. On retrouve au premier rang des émetteurs les transports (surtout automobiles). On notera également que la biomasse est fortement émettrice (forêts), sans oublier non plus les émissions liées aux produits domestiques (peinture, produits d'entretien, parfums et cosmétiques, journaux, tabac, etc.).

### 4-1-2 Les Chlorofluorocarbones (CFC) et Hydrofluorocarbones (HFC)

Les chlorofluorocarbones ou les CFCs (également connus sous le nom de Fréons) sont nontoxiques, ininflammables et non-cancérogènes. Leur durée de vie dans l'atmosphère varie de 20 à plusieurs centaines d'années. Ils contiennent des atomes de fluor, des atomes de carbone et des atomes de chlore. Les 5 CFCs principaux incluent le CFC-$_{11}$ (trichlorofluorométhane - $CFCl_3$), CFC-$_{12}$ (dichlorodifluorométhane - $CF_2Cl_2$), CFC-$_{113}$ (trichlorotrifluoroéthane - $C_2F_3Cl_3$), CFC-$_{114}$ (dichlorotétrafluoroéthane - $C_2F_4Cl_2$), et CFC-$_{115}$ (chloropentafluoroéthane- $C_2F_5Cl$). Les CFCs sont largement utilisés dans les années 1980 comme liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, comme dissolvants dans les décapants, en particulier pour les cartes électroniques, en tant qu'agents de soufflage

dans la production de mousse (par exemple extincteurs), et comme propulseurs en aérosols. A l'heure actuelle, les CFC ne constituent plus un problème majeur de la pollution atmosphérique. En effet, après la découverte des fameux « trous » dans la couche d'ozone audessus des pôles en 1985, leur usage a été progressivement réduit par le protocole de Montréal 1987, entré en vigueur en 1989, et ratifié par 196 pays. Il fallait stopper la destruction de l'ozone stratosphérique, sans qui, le rayonnement solaire ultra-violet ne serait plus absorbé. Depuis 2010, Les CFC sont totalement interdits, à l'exception de quelques applications bien définies. Depuis les années 1990, ces substances ont été progressivement remplacées par les Hydrofluorocarbones (HFC), moins stables dans l'atmosphère et se décomposant donc plus rapidement.

Les HFC détruisent beaucoup moins la couche d'ozone que les CFC, car ils sont en très grande partie détruits dans l'atmosphère avant d'atteindre l'ozone stratosphérique. Mais la fin d'un problème en a créé un autre qu'il fallait combattre. En effet, les HFC présentent un pouvoir de réchauffement 14 000 fois plus puissant que le $CO_2$

, ce qui en fait des gaz à effet de serre redoutables. Les HFC font désormais l'objet d'une nouvelle interdiction dans le protocole durant le sommet de l'environnement en octobre 2016 à Kigali (Rwanda). Ils sont donc à leur tour progressivement éliminés au profit d'alternatives: hydrocarbures, dioxyde de carbone, ammoniac, eau et hydrofluoroléfines (HFO). La fin des HFC est prévue pour 2050.

## 5- Les Produits Organiques Persistants (POP)

Il existe douze composés organiques toxiques à basse concentration. Ce sont des résidus industriels souvent toxiques, mutagènes et cancerigènes, qui interfèrent avec notre système hormonal et sexuel. La liste la plus communément admise est la suivante : Trichloroéthylène (TRI), Trichloroéthane (TCE), Tetrachloroéthylène (PER), Dioxines et furanes (Diox), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), Polychlorobiphényls (PCB) et Hexachlorobenzène (HCB). Ils sont semi-volatiles et circulent plus ou moins bien dans l'air, en fonction de la température de celui-ci : dans les endroits froids, leur volatilité est réduite et ils se concentrent donc dans les régions tempérées et polaires. Ils sont lipophiles (faible solubilité dans l'eau mais forte dans les graisses), avec attirance forte pour les tissus adipeux où ils se concentrent généralement (forte bioaccumulation). Ils ont également une durée de vie très longue (persistance dans le milieu).

## B- Les polluants particulaires

### 1) Les métaux lourds

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu),Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn). Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre. Néanmoins, on distingue en particulier :

#### 1-1 Mercure

le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique. Le mercure est très sensible à l'acidité du milieu. Il est extrêmement toxique et a des effets sur le système nerveux. La volatilité importante du mercure en fait un polluant important dans les études de pollution transfrontière.

#### 1-2 Plomb

Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère a été le transport car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir antidétonant. De ce fait, il contamine souvent les terrains en bordures d'axes routiers. Depuis l'interdiction du plomb dans les carburants (en 2000, pour la France), les rejets de plomb ont considérablement chuté et les concentrations en plomb sont considérées maintenant comme étant à des niveaux acceptables. L'ingestion de plomb déclenche le saturnisme.

#### 1-3 Cadmium

il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie..). Il a des effets sur le système respiratoire et gastro-intestinaux.

Ces 3 métaux se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments pouvant être utiles. Les premiers sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air, mais aussi pour celle de l'eau et des sols.

**2) Les particules**

Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particules désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans le milieu gazeux. Souvent, les particules sont classées en fonction de leur granulométrie :

**Particules en suspension (TSP) :** masse totale de particules.

**PM10 :** masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10 µm.

**PM2 :** masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2.5 µm.

**PM1.0 :** masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 1 µm.

**Ultrafines :** particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 0.1 µm.

**Nanoparticules :** particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 0.05 ou 0.03 µm.

La composition chimique des particules est également un paramètre très important pour les études de pollutions atmosphériques.

## CHAPITRE IV- Mécanismes d'action des contaminants :

### 1. Biodisponible / non biodisponible

La biodisponibilité d'une substance chimique désigne **sa capacité à interagir avec les organismes vivants**. Cette notion est très importante dans l'évaluation du risque écotoxicologique dont la pertinence repose notamment sur l'aptitude à **prédire quelle sera la fraction contaminante des micropolluants susceptible d'exercer une action toxique sur les organismes.** En effet, en particulier **dans le milieu aquatique,** les mécanismes physiques (transport, diffusion, fixation sur des particules), chimiques (dégradation, liaisons avec d'autres molécules) et biologiques (biodégradation bactérienne, accumulation, digestion, transformation) interagissent et transforment les contaminants qui deviennent plus ou moins accessibles et plus ou moins dangereux.
Ainsi, dans le cas d'une contamination **d'un sol** par **les métaux lourds :**

-si ces derniers sont essentiellement absorbés (=collés) à la surface des particules, ils sont alors faiblement biodisponibles pour la faune du sol, comme les vers de terre ;

-en revanche, si ces mêmes polluants sont dissous dans l'eau présente entre les particules du sol, alors ils sont biodisponibles et potentiellement dangereux pour ces mêmes vers de terre.

A noter que la biodisponibilité dépend à la fois **du polluant, de son devenir dans l'environnement mais aussi de la physiologie de l'organisme exposé** : en clair, la biodisponibilité d'un polluant ne sera pas la même pour une plante, pour un poisson, ou pour une moule, car ces trois organismes ne vivent pas au même endroit et ne se nourrissent pas des mêmes éléments.

### 2-Biodégradabilité

La biodégradabilité est la capacité d'un polluant à être dégradé biologiquement c'est-à-dire par l'action d'organismes biologiques. La biodégradabilité est très variable selon **les conditions du milieu** (température, humidité, pH, etc.) et selon **la nature du composé**. Prenons **trois exemples** : **- Stable ou transformé :** S'il n'est pas biodégradé rapidement, le

polluant peut rester sous sa forme initiale (il est stable) ou bien se transformer en un autre composé appelé **métabolite** ou "produit de dégradation".

En effet, **une fois absorbé par un organisme vivant** (poisson, mollusque, vers de terre, etc.), le polluant peut subir des transformations biologiques appelées **biotransformations**. Ces biotransformations ont pour but de détoxifier les polluants en fabriquant un métabolite moins toxique. Cependant, il peut arriver que ces biotransformations provoquent l'apparition de métabolites plus toxiques que le composé initial (ex : le HAP). Des transformations peuvent également avoir lieu directement **dans le milieu** (eau, air, sol, sédiment, etc.) sous l'effet des conditions physico-chimiques (température, lumière, présence d'autres composés...) et de l'activité microbienne. De même que dans les organismes vivants, le nouveau composé formé peut être plus ou moins toxique que le composé initial. **Par exemple**, le pesticide **DDT** peut se transformer en **DDE** sous l'effet de l'activité microbienne ; or le **DDE** est un composé encore plus toxique que le **DDT**.

**3- Voies d'entrée (ou l'absorption) dans les organismes :** la substance toxique peut agir au point de contact **(effet local)** ou pénétrer dans l'organisme (**effet systémique)** pour provoquer des effets nuisibles. La pénétration **(chez l'homme par exemple)** sera via : **l'ingestion**, **la respiration** et **la diffusion cutanée.** (**Figure 5**)

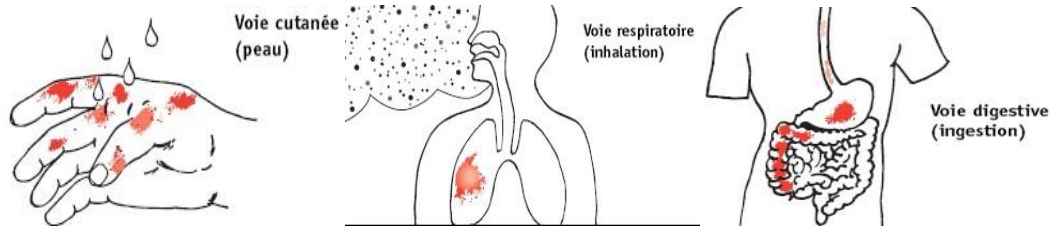



**Figure 5**. Les voies d'absorption chez l'homme

Divers facteurs peuvent influencer le processus d'absorption d'un produit : **sa nature**, **sa solubilité**, **la perméabilité des tissus biologiques** au point de contact, **la durée** et **la fréquence** de l'exposition, etc.

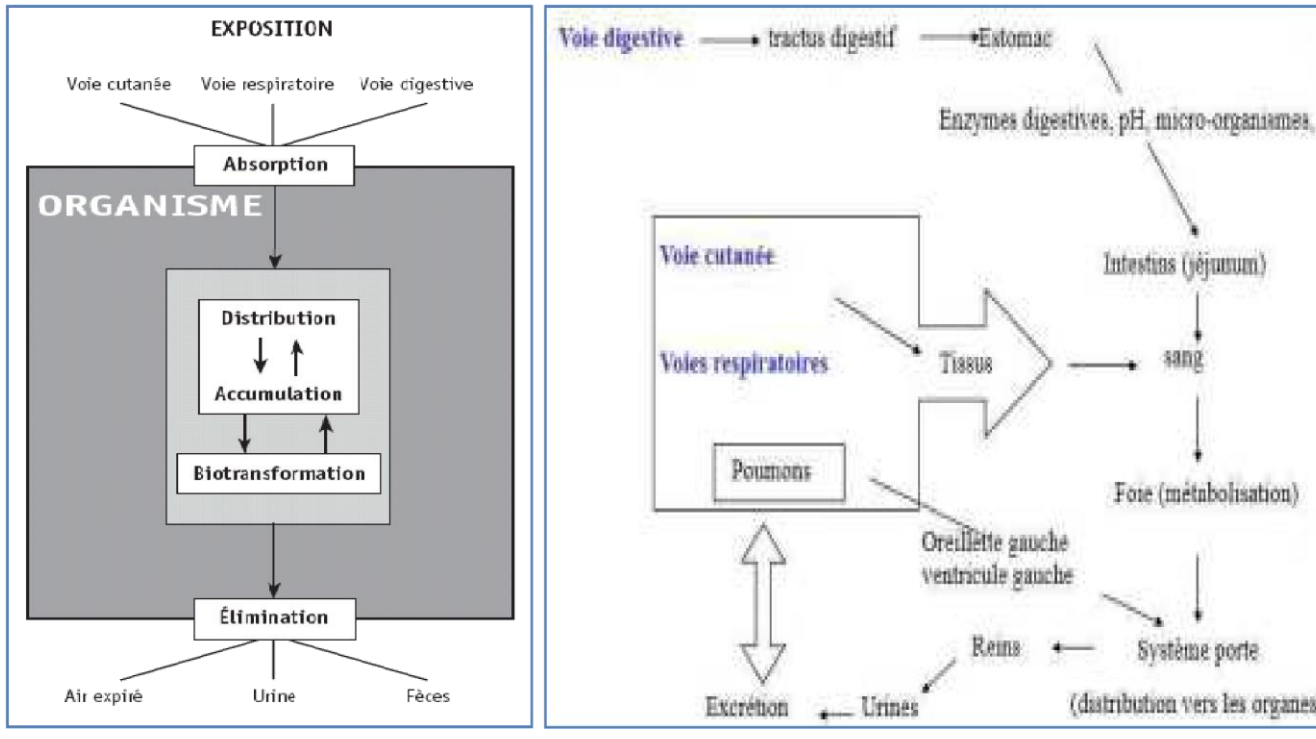



**Figure 6.** Cheminement d'un produit dans l'organisme (chez l'homme)

## 4- Le transport et la distribution (ou la répartition)

Après avoir pénétrer, le produit peut être transporté dans tout l'organisme. C'est ce qu'on appelle la **distribution**. Ils peuvent y rester emmagasinés sans causer d'effets toxiques pendant une période plus ou moins longue. En revanche, ils peuvent causer des effets toxiques dans d'autres tissus ou organes où ils sont présents en quantités moindres. **La nature**, **l'intensité** et **la localisation** de ces perturbations dans l'organisme diffèrent d'un produit à l'autre et dépendent souvent de **la dose**.( **Figure 6**)

### *L'excrétion

Ce processus consiste à rejeter le produit inchangé ou ses métabolites à l'extérieur de l'organisme. L'excrétion (chez l'homme par exemple) peut se faire par voie **rénale** (l'urine), **gastro-intestinale** (les selles), **pulmonaire** (l'air expiré), **cutanée** (la sueur) ou **lactée** (le lait).

*Les effets des polluants peuvent être très divers. En voici quelques **exemples :**

**1-** 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.

**2-** Les métaux lourds (cadmium, zinc, plomb, etc.) peuvent altérer la germination des graines de certains végétaux.

## 5- La bioamplification (ou biomagnification)

Phénomène par lequel un contaminant se retrouve en concentration **plus importante** dans un **organisme** que dans **son alimentation**. Ainsi, dans une chaîne alimentaire, un contaminant qui est **bioamplifié** se retrouve en concentration toujours plus élevée chez l'organisme du maillon **(n+1)** que chez l'organisme du maillon **(n).**

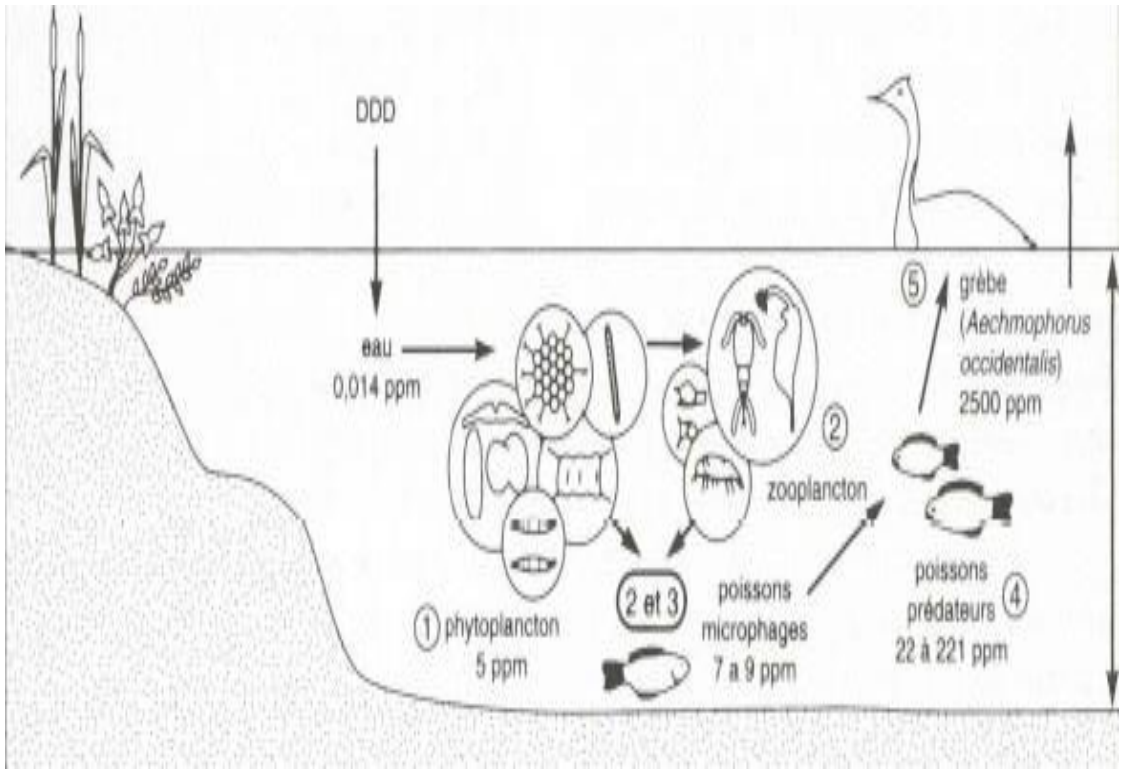



**Figure 7:** Bioamplification du DDD dans le réseau trophique depuis le phytoplancton jusqu'au grèbe Fc = 178 500 dans les graisses

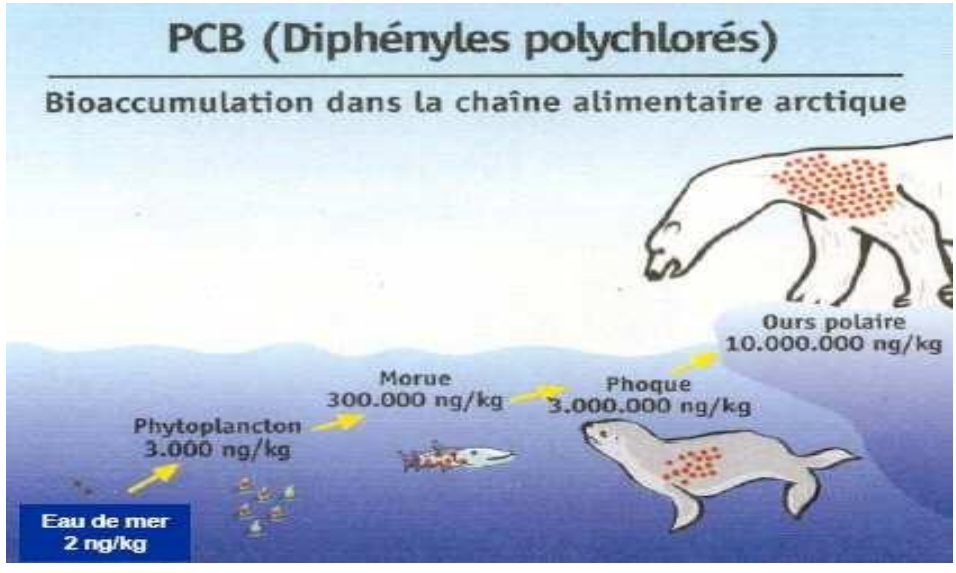



**Figure 8:** Bioamplification des PCB dans la chaîne trophique.

On peut ainsi calculer **un facteur de concentration (Fc)** entre deux maillons de la chaine alimentaire. Réalisons des calculs de facteurs de concentration (Fc) et de bioamplification à partir de l'exemple ci-dessus: Fc *gammare* = (Concentration du polluant dans le gammare) / (Concentration du polluant dans l'eau) Fc *gammare* = 1,12 ppm / 0,00002 ppm = 56 000
Fc *poisson* = 4,83 ppm / 0,00002 ppm = 241 500 Fc *homme* = 124 ppm / 0,00002 ppm = 6 200 000. F**acteur de** concentration *gammare-poisson* = (Concentration polluant dans le poisson) / (Concentration polluant dans le gammare) = 4,83 ppm / 1,12 ppm = 4,3 F**acteur de** concentration *poisson-homme* = 124 ppm / 4,83 ppm = 25,7 **(Figure 7et 8).**

A partir de cet exemple, on comprend aisément comment une substance retrouvée à l'état de **trace** dans les rivières peut être présente **en concentration beaucoup plus élevée** chez les **grands prédateurs** tels que les grands mammifères, certains oiseaux et l'Homme, qui se trouvent au sommet de la chaine alimentaire. **(Figure 9)**

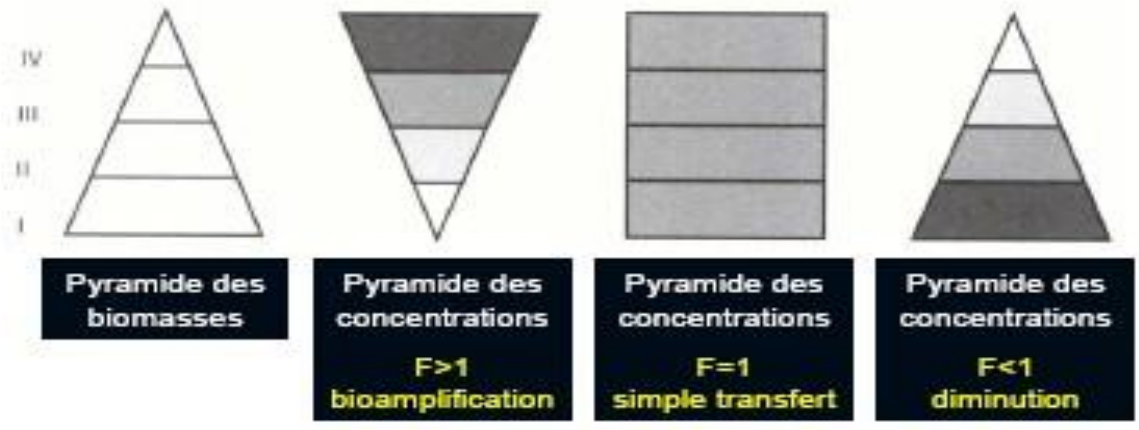



**Figure 9 :** Pyramide des concentrations dans les réseaux trophiques.

**Remarque :** il est possible qu'un contaminant puisse être **bioconcentré (bioaccumulé)** à l'échelle de l'organisme sans qu'il soit nécessairement **bioamplifié** le long des chaînes alimentaires.

## CHAPITRE V : Mesure des effets des contaminants

Si un polluant se trouve dans le milieu naturel et qu'il est biodisponible, il est susceptible d'induire des effets sur les êtres vivants... s'il est toxique à la dose à laquelle il est présent. **Rien n'est poison, tout est poison, seule la dose fait le poison !** Un principe important en toxicologie car il existe toujours une dose pouvant causer un effet nocif. Des doses croissantes résultent généralement en une augmentation de l'intensité et de la diversité des effets toxiques. C'est ce qu'on appelle la relation **dose-effet**. On distingue deux types de toxicité :

### 1- Effets aigus (court terme)

Correspond aux effets néfastes qui se manifestent après une **exposition unique** (ou sur quelques heures/quelques jours) à une **forte concentration** de substance ;
**2- Effets chroniques (long terme)** : Désigne les effets néfastes qui se manifestent après une **exposition répétée**, sur une **longue durée**, à **une faible concentration** de substance.

- L'exposition simultanée à deux ou plusieurs substances toxiques peut modifier l'expression de leur toxicité par suite de l'existence de deux phénomènes opposés: **Synergisme et antagonisme**.

### 3- Le synergisme

Est le phénomène **d'addition** des toxicités lorsqu'un être vivant est simultanément exposé à des quantités déterminées de deux substances.

### 4- L'Antagonisme

On constate que la prise simultanée de deux substances toxiques peut conduire à **une atténuation**, voire une **quasi-disparition** de leur toxicité. **Exemple :** l'absorption simultanée par des rats d'un insecticides organochloré, le chlordane, et d'un barbiturique, l'hexobarbital, provoquait la disparition de l'effet somnifère de ce dernier, une dose causant normalement huit heures de sommeil continu chez les rats n'ayant plus aucune action chez ces derniers…

## 5- Effets des contaminations sur les organismes

### 5-1 Affectation de la croissance et de la santé d'un organisme

**Exemple :** l'ozone est un gaz très phytotoxique par ses effets directs fortement oxydants sur les différents processus physiologiques de la plante (photosynthèse, respiration, etc…). C'est le polluant le plus préoccupant actuellement au niveau de la végétation et des écosystèmes car il entraine des pertes de rendement qui peuvent être de 5 à 10 %, et l'apparition de nécroses foliaires maintenant visibles dans les milieux naturels.

### 5-2 Modification du comportement d'individus

**Exemple :** une étude suédoise a mis en évidence que les résidus d'antidépresseurs présents dans l'eau des rivières altéraient le comportement des perches communes (moindre sociabilité vis à vis des congénères, plus grande activité, appétit plus important, etc.), avec le risque de perturber l'équilibre de l'écosystème dans son ensemble.

**5-3 Augmentation de la mortalité : Exemple** une marée noire entraine la mort de nombreux oiseaux et organismes aquatiques, comme lors du naufrage du pétrolier Amoco Cadiz en 1978 en Bretagne, à cause duquel au moins 20 000 oiseaux et poissons ont été retrouvés morts ou mazoutés.

## 6- Effets sur les communautés

6-1 **Déséquilibre d'une population : Exemple :** de nombreuses études ont mis en évidence un changement de sexe des poissons mâles dû à la présence, dans l'eau, d'un cocktail de polluants se comportant comme des hormones sexuelles (certains pesticides, peintures antifouling pour les coques de bâteaux, pilule contraceptive, etc.)

## 7- Effets sur les écosystèmes

7-1 **Modification des conditions du milieu : Exemple :** *l'acidification des cours d'eau :* provoquée par le SO2 et les NOX émis par la combustion des énergies fossiles, qui entraine une perte de la biodiversité. **Exemple :** le réchauffement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, etc.).

**8- Indicateurs de contamination :** Deux catégories d'indicateurs

-Détection des polluants et quantifications dans les milieux par :

**8-1 L'approche chimique**

- Évaluation des effets des pollutions sur les organismes vivants

a- Sur les individus

b- Sur les populations et/ou les communautés

La détection et quantifications des polluants donnant des informations sur la nature des molécules et leurs concentrations - précision - sensibilité – reproductibilité par l'utilisation des techniques analytiques : HPLC, GC, MS, ELISA, etc…

**Avantages**

- Nombre réduit d'échantillons
- Différentes matrices

**Inconvénients**

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

**8-2 L'approche biologique**

Dès le début du XXe siècle, KOLKWITZ et MARSON ont donné une proposition d'utiliser les communautés aquatiques comme indicateurs de la qualité des eaux de rivières. Aujourd'hui, deux approches complémentaires, basées sur l'étude des organismes vivants :

- Bioindicateurs et indicateurs biologiques.
- Biomarqueurs.

## 9- Les bioindicateurs

Espèces ou groupes d'espèces qui par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie.

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

### 9-1 -Caractéristiques d'un indicateur biologique idéal :

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

### 9-2 Facteurs influençant la fiabilité des indicateurs biologiques

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

## 10- Les biomarqueurs

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

### 10-1 Les biomarqueurs d'expositions

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

### 10-2 Les biomarqueurs d'effets

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

### 10-3 Les biomarqueurs de susceptibilités

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

### 10-4 Quelques exemples d'utilisation de biomarqueurs

L'étude du stress oxydant est récente. Elle a conduit à celle des mécanismes de production **d'oxyradicaux** ainsi que d.'anions **superoxyde** et **peroxyde d'hydrogène**. Le stress oxydant est susceptible d'être provoqué par des polluants. Plusieurs travaux ont montré que des activités antioxydantes sont induites par des polluants organiques (HAP, PCB...) ou des métaux lourds. Le stress oxydant n'est pas toujours lié à la pollution. Il peut être le résultat de facteurs physiologiques (reproduction...) ou environnementaux (climat...) Il se traduit par l'activation de systèmes antioxydants. Lorsque l'induction des enzymes **antioxydantes** est suffisante, elle permet l'adaptation des individus et le retour à la normale alors que leur inhibition est souvent associée à des effets de toxicité.

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

### 10-4-1 Cytochrome P450

Ce sont des enzymes de biotransformation du réticulum endoplasmique lisse. Elles catalysent l'oxydation au niveau de la phase I du métabolisme. En ce qui concerne certains polluants, les activités d'oxydation du cytochrome P450 conduisent normalement à une élimination plus facile des métabolites alors que pour d'autres toxiques les biotransformations aboutissent à des métabolites réactifs parfois plus toxiques que les molécules mères. Parmi les polluants inducteurs du cytochrome P450, nous avons les PCB (polychlorobiphényls), les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) et les dioxines. L'induction de ce biomarqueur peut attester la capacité d'adaptation à court terme des organismes aux fluctuations chimiques du milieu car elle conduit à une métabolisation facilitant l'élimination des polluants

### 10-4-2 Métallothionéines

Ce sont des protéines soufrées capables de fixer des ions métalliques d'où le nom de métallothionéines Les métallothionéines sont induites généralement par les métaux (cadmium, zinc, cuivre, mercure....) Comme nous venons de le voir l'utilisation de ce biomarqueurs est assez délicate ! De plus elle nécessite des techniques analytiques sensibles et fiables. Plusieurs autres méthodes équivalentes ont été utilisées notamment l'analyse quantitative des métaux dans les fractions séparées par chromatographie. Cette méthode est susceptible de renseigner sur les métaux associés. Elle permet aussi l'identification des différentes isoformes de métallothionéines

### 10-4-3 Cholinestérases

Ce sont des enzymes qui hydrolysent les esters de la choline. Les cholinestérases sont donc des estérases. Elles ont été classées selon leur interaction avec les organophosphorés. Les estérases sont impliquées dans les processus de détoxication. Ces enzymes sont inhibées par les insecticides et les carbamates L'inhibition par les organochlorés est généralement irréversible et peut entraîner la neuropathie retardée (paralysie progressive). Aalors que celle

causée par les carbamates est souvent réversible et elle n'est pas à l'origine de paralysie progressive

## 11- Les bio-essais

Un essai biologique, ou bio-essai, dans le cadre de la normalisation biologique et de la méthode expérimentale scientifique, est un test impliquant l'utilisation de plantes ou d'animaux vivants ou de tissus ou cellules pour déterminer l'effet biologique ou la toxicité d'une substance. Cette substance peut être ingérée (la substance est ajoutée dans la nourriture), injectée directement dans l'animal, inhalée (c'est à dire respirée) ou encore se trouver dans le milieu de vie de l'organisme (par exemple dans l'eau d'un aquarium). Par exemple, cela peut consister à disposer plusieurs aquariums contenant des poissons et de l'eau avec différentes quantités d'un polluant. Un des aquariums ne contient pas de polluant : c'est le témoin qui sert de référence pour détecter d'éventuels effets du polluant.

11- **Les bioessais ont pour but**

- **d'évaluer la dangerosité d'une ou plusieurs substances :** ce peut être un polluant que l'on trouve dans les milieux naturels (ex : un pesticide) ou un nouveau produit industriel dont on souhaite connaitre les effets potentiels sur l'environnement (ex : un conservateur de produits cosmétiques)

- **d'évaluer la qualité d'un milieu :** par exemple, si un sol a été pollué aux métaux lourds à cause d'une usine, on souhaite savoir si la pollution de ce sol est dangereuse pour la faune qui y vit (vers de terre etc.)

- **de comprendre les mécanismes d'action d'un polluant :** étude de la bioaccumulation d'une substance (= faculté à s'accumuler dans les tissus d'un organisme), compréhension des phénomènes de toxicité du polluant, etc.

**11-2 Quel est l'avantage d'un bioessai par rapport à une analyse chimique classique ?**
Une analyse chimique donne les concentrations de différents polluants dans un échantillon : par exemple, elle pourra dire qu'une rivière a une teneur de 0.2µg/l en DDT (un pesticide). Par contre, elle ne pourra pas dire si le DDT est biodisponible, c'est-à-dire, s'il est assimilable par les organismes vivants, et si ce polluant peut les affecter. A l'inverse, en

réalisant un **test daphnie (Figure 10),** on met en contact un échantillon de l'eau de la rivière avec des organismes et on observe la toxicité sur le crustacé.

De plus, **quels polluants analyser lors d'une analyse chimique** ? On peut en oublier ou au contraire en analyser certains qui ne sont pas présents, ce qui coûte cher. Au contraire, lors d'un test écotoxicologique peu importe le polluant, seul l'effet est évalué.



**Figure 10:** La daphnie

**11- 3 Bio-essais mono- et multispécifiques**

En écotoxicologie, on se base sur des points finaux **létaux** et **sublétaux** pour classer les essais. Ils sont généralement conçus pour mesurer la concentration d'exposition létale pour 50% de la population (CL50) ou pour montrer un effet sublétal la « concentration efficace (CE50) ». La croissance, la reproduction, le comportement ou divers indices biochimiques, physiologiques et moléculaires sont notamment étudiés.

L'intérêt de ces derniers paramètres est toutefois encore très discuté. La mortalité est une des premières mesures de la toxicité d'un produit, mais les écotoxicologues considèrent toujours que c'est une estimation qui doit être complétée par des mesures d'effets sublétaux.

Par ailleurs, les expériences réalisées ont permis la mise au point d'essais monospécifiques et d'essais multispécifiques qui fournissent au niveau écosystémique des aperçus différents sur le devenir et les effets des polluants.

Les essais monospécifiques sont de loin les plus courants pour mesurer les effets, ceci pour des raisons historiques et parce qu'ils sont plus faciles à réaliser et à interpréter que les

essais à des niveaux supérieurs d'organisations. Le tableau cidessous fournit la listes des principaux essais monospécifiques normalisés les plus utilisés.

**Tableau 2 :** Principaux essais mono spécifiques normalisés.

| Référence | Titre |
|---|---|
| NF EN ISO 7346-1 Mars 1998 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité aiguë** létale de substances vis-à-vis d'un poisson d'eau douce (***Brachydanio rerio*** Hamilton-buchanan (teleostei, cyprinidae)) – Partie 1 : **méthode statique** |
| NF EN ISO 7346-2 Mars 1998 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité aiguë** létale de substances vis-à-vis d'un poisson d'eau douce (***Brachydanio rerio*** Hamilton-buchanan (teleostei, cyprinidae)) – Partie 1 : **méthode semi-statique** |
| NF EN ISO 7346-3 Mars 1998 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité aiguë** létale de substances vis-à-vis d'un poisson d'eau douce (***Brachydanio rerio*** Hamilton-buchanan (teleostei, cyprinidae)) – Partie 1 : **méthode avec renouvellement continu** |
| NF T90-377 Décembre 2000 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité chronique** vis-à-vis de ***Brachionus calyciflorus*** en **48 h** – Essai d'inhibition de la croissance de la population |
| NF EN ISO 6341 Mai 1996 | Qualité de l'eau – Détermination de la mobilité de ***Daphnia magna Strauss*** (*cladocera, crustacea*) – Essai de **toxicité aiguë** |
| NT T90-378 Décembre 2000 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité chronique** vis-à-vis de ***Daphnia magna Strauss*** en **7 jours** – Essai de simplifié d'inhibition de la croissance de la population |
| ISO 10706 :2000 Avril 2000 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité à long terme** vis-à-vis de ***Daphnia magna Strauss*** (*cladocera, crustacea*) |
| NF T90-376 Décembre 2000 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité chronique** vis-à-vis de ***Ceriodaphnia dubia*** en **7 jours** – Essai de simplifié d'inhibition de la croissance de la population |
| NF T90-375 Décembre 1998 | Qualité de l'eau – Détermination de la **toxicité chronique** des eaux par inhibition de la croissance de l'algue d'eau douce ***Pseudokirchneriella subcapitata*** (*Selenastrum capricornutum*) |
| NF EN 28692 Mai 1993 | Qualité de l'eau – Essai d'inhibition de la croissance des **algues d'eau douce** avec *Scenedesmus subspicatus* et *Selenastrum capricornutum* |
| NF EN ISO 10253 Avril 1998 | Qualité de l'eau – Essai d'inhibition de la croissance des **algues marines** avec *Skeletonema costatum* et *Phaeodactylum tricornutum* |
| NF EN ISO 11348-3 Février 1999 | Qualité de l'eau – Détermination de l'effet inhibiteur d'échantillons d'eau sur la luminescence de ***Vibrio fischeri*** (Essai de bactéries luminescentes. Partie 3 : Méthode utilisant des bactéries lyophilisées |

## CHAPITRE VI : Objectifs des études écotoxicologiques et les paramètres d'écotoxicité d'une substance :

L'écotoxicologie consiste d'une part à étudier le comportement d'une substance toxique dans un milieu naturel donné, et d'autre part à étudier les effets de cette substance sur les organismes vivants, à tous les niveaux d'organisation biologique du vivant. L'évaluation de la toxicité s'appuie sur des études qualitatives (non mesurables) ou quantitatives (mesurables) adéquates. Il existe plusieurs types d'études qui nous permettent d'évaluer les effets d'un toxique. On peut les classer dans quatre catégories: **(Figure 11)**

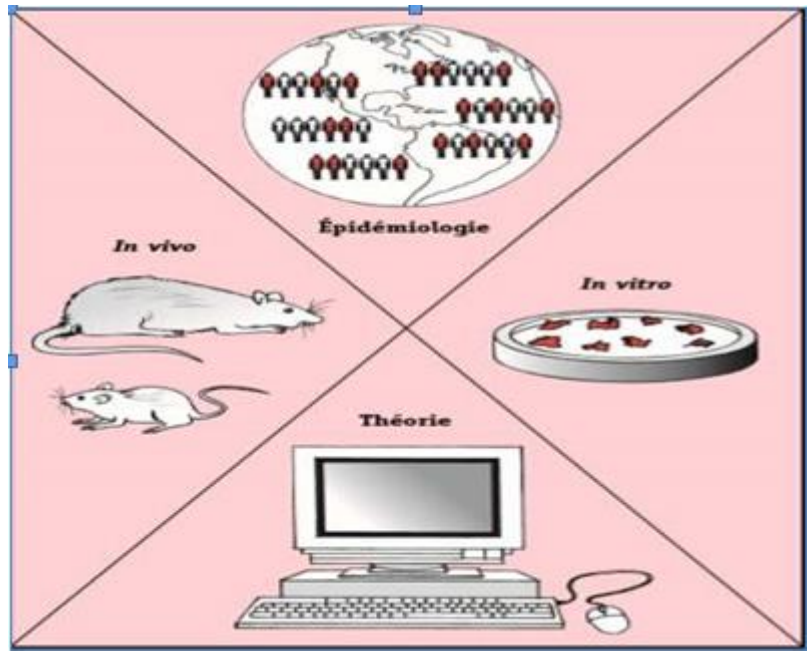



**Figure 11:** les différents types d'études

### 1-Tests d écotoxicité

il existe 3 études complémentaires **(Laboratoire, terrain et modélisation)** et reposent s**ur l'exposition**

de cellules (bioessais *in vitro),*

d'organismes entiers (bioessais *in vivo*) ou

de communautés *(mésocosmes*)..

- **à des contaminants** (une substance, un mélange de substances ou bien un échantillon d'eau, de sol ou de sédiments par exemple)...

-**en conditions contrôlées** : température, taux d'oxygène, salinité, nourriture, lumière, etc. Pendant les essais d'écotoxicité. Plusieurs espèces sont couramment utilisées lors de tests toxicologiques en raison d'un certain nombre de caractéristiques : facilité de manipulation, facilité d'élevage en laboratoire, sensibilité à certains types de polluants, représentativité d'une famille d'êtres vivants (les poissons, les mollusques, etc.).

-Il existe différentes catégories de tests permettant d'évaluer la toxicité des polluants vis-à-vis des **différents compartiments des écosystèmes** :

- Parmi les espèces les plus utilisées en écotoxicologie, on peut citer:

**1-1 organismes aquatiques**

la daphnie, le gammare, le gastéropode *Potamopyrgus antipodarum*, le poisson zèbre, l'algue d'eau douce *Pseudokirchneriella subcapitata*, le chironome, etc.

**1-2 organismes terrestres**

le ver de terre *Eisenia fetida*, l'abeille, etc.

- Il existe une multitude **d'effet a évalué:**

- Evaluer la dangerosité d'une ou plusieurs substances : Ex : un pesticide ou un nouveau produit industriel dont ex : un conservateur de produits cosmétiques

- Evaluer la qualité d'un milieu : par exemple, si un sol a été pollué aux métaux lourds à cause d'une usine, on souhaite savoir si la pollution de ce sol est dangereuse pour la faune qui y vit (vers de terre etc.)

- Comprendre les mécanismes d'action d'un polluant : étude de la bioaccumulation d'une substance (= faculté à s'accumuler dans les tissus d'un organisme), compréhension des phénomène de toxicité du polluant, etc.

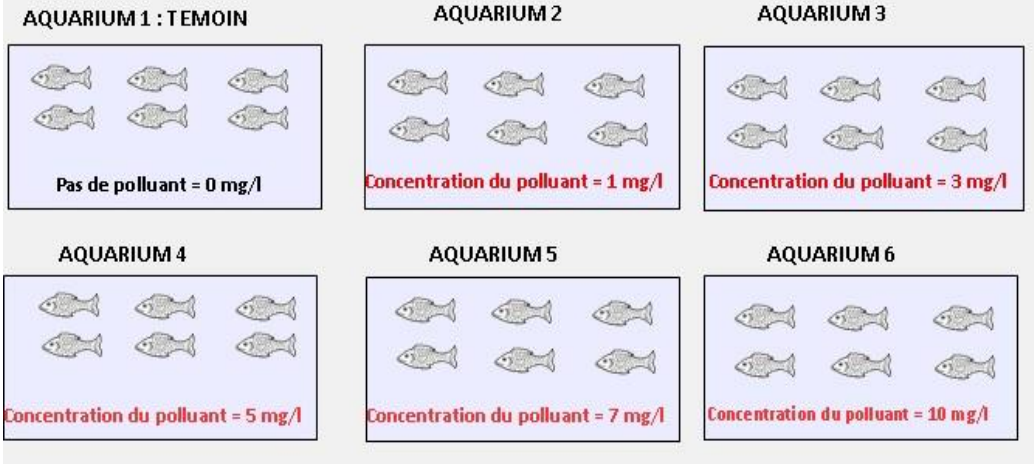



**Figure 12 : Expérience visant à évaluer les effets d'un polluant sur une espèce de poisson**

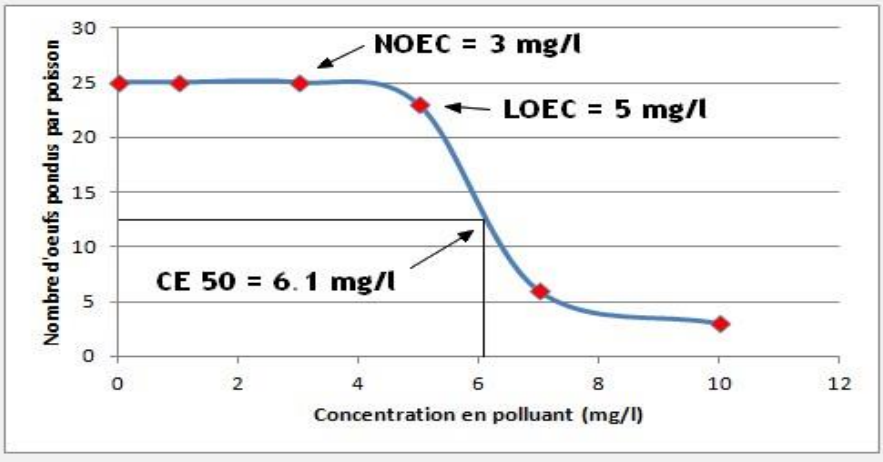
-Ce test peut permettre de révéler **:**

- **une toxicité aigüe** du composé testé : c'est à dire une toxicité à court terme.
- **une toxicité chronique** du composé testé : c'est à dire des effets à long terme du produit.

Il est important de noter que la notion de toxicité aigüe ou chronique est relative à la durée de vie de l'organisme testé. Ainsi, une durée de test de 14 jours chez le ver de terre et de 24h chez la daphnie correspondent tout deux à une évaluation de la toxicité aigüe.

-Dans notre exemple, nous allons prendre le cas d'une **toxicité chronique**

au bout d' 1 mois, les oeufs pondus par les poissons et le nombre de décès seront comptés. Le schéma ci-dessous permet de comprendre comment une expérience peut permettre la détermination des valeurs de référence d'un test écotoxicologique : la CE 50, la NOEC et la LOEC.




◆ **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.

**$CE_{50}$** : Concentration Effective 50% : c'est la concentration qui induit 50% d'effet. Cette $CE_{50}$ est determinée 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 $CE_{50}$ dans cette expérience.

**Figure 13:** la détermination des valeurs de référence d'un test écotoxicologique : la CE 50, la NOEC et la LOEC.

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

## 2- Un bon test écotoxicologique doit respecter

**2-1 Relevance :** ce qui signifie réalisme, pertinence, représentativité. L'organisme vivant choisi pour le test doit être représentatif du milieu évalué : ex un ver de terre représente bien les organismes du sol puisqu'il est très présent et très important dans la " vie d'un sol "

**2-2 Fiabilité :** Une méthode fiable peut être utilisée à n'importe quel moment.

**2-3 Répétabilité :** Lorsque le test est répété, il doit donner des résultats qui varient peu.

**2-4 Reproductibilité :** Si différents laboratoires à travers le monde réalisent le test sur une même substance, ils doivent trouver des résultats voisins.

**2-5 Robustesse :** Une méthode robuste est susceptible d'être utilisée par n'importe quel technicien moyennement entraîné ou formé.

## Références bibliographie :

1-Forbes V.E. et Forbes T.L., 1997 -Ecotoxicologie Théorie et applications.INRA Editions, Paris, 256p.

2-Kime D., 1998 -Endocrine disruption in fish. Sheffield University Press, UK.

3-Lagadic L., Caquet T., Amiard J-C. et Ramade F., 1998 Utilisation debiomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement. Lavoisier Tech & Doc, Paris, 320p.

4-Ramade F., 1982. Elements d'ecologie, écologie appliquée.McGraw-Hill, paris, 452p.

5-Ramade F., 1992 -Précis d'écotoxicologie. Collection d'écologie 22, Masson, Paris, 300p.

6-Ramade F., 2000 -Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Les polluants de l'environnement à l'homme. Ediscience International, Paris, 690p.

7-Zelikoff, J.T. (Ed), 1997 -Ecotoxicology: responses, biomarkers and risk assessment. OECD, Paris.