

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun - Tiaret -
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Domaine Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Polycopié

Destiné aux étudiants de

1^{ère} année master

Cours d'écotoxicologie

Elaboré par : Dr. SENOUCI Hayet

Octobre 2022

Contenu de la matière:

I- Pollution de la biosphère (eau, sol, atmosphère)

1. Concepts et définitions
2. Causes et importance de la pollution de la biosphère
 - 2.1. La pollution de la biosphère
 - 2.2. Les types de pollution
 - 2.3. Pollution provoquée par les substances
 - 2.4. Causes de pollution
3. Classification des polluants
 - 3.1. Selon la nature des polluants
 - 3.2. Selon la cible de polluant de l'environnement
 - 3.3. Selon leur cible interne dans l'organisme
 - 3.4. Selon le compartiment de l'environnement qui l'affecte
 - 3.5. Selon le mode d'action de polluants
 - 3.6. Selon la durabilité des effets des polluants sur les êtres vivants
 - 3.7. Selon leurs tailles d'importance
4. Mécanismes de dispersion et de circulation des polluants
5. Impacte de la pollution sur l'environnement
 - 5.1. Changements climatiques et leur conséquences : Effet de serre, inondation, sécheresse accrue
 - 5.2. Evènement météorologique extrême le Smog
 - 5.3. Monté de niveau de mer (fonte de glacier)
 - 5.4. Diminution de la biodiversité sauvage
 - 5.5. Dégradation et disparition des écosystèmes rares
 - 5.6. Apparition de maladie et d'épidémies (pandémie)

II- Notion de toxicité et ses implications écologiques

1. Concepts et définitions
2. Problèmes écologiques particuliers à l'écotoxicologie.
 - 2.1. Toxicité aiguë et toxicité chronique
 - 2.2. Les effets des polluants
3. Relation dose-réponse en écotoxicologie.
 - 3.1. La dose
 - 3.2. L'effet
 - 3.3. Les doses toxiques

III- Influences des facteurs écologiques sur la manifestation de la toxicité

1. Quels facteurs peuvent influencer les effets toxiques ?
 - 1.1. La toxicité
 - 1.2. L'individu
 - 1.3. L'environnement
2. Comment évaluer un effet toxique ?
 - 2.1. La toxicité aiguë (à court terme)
 - 2.2. La toxicité chronique

IV- Méthodes analytiques de la détection des polluants

1. Comment mesure-t-on la pollution toxique ?
 - 1.1. Les différentes matrices à analyser
2. Comment mesure-t-on les effets ?
 - 2.1. Différents niveaux d'observation possibles

I. La pollution de la biosphère

1. Concepts et définitions

1.1. Pollution

La pollution désigne l'introduction directe ou indirecte de substances dans l'air, l'eau ou le sol, susceptible de porter atteinte à la santé humaine et des écosystèmes. La pollution est donc une dégradation d'un milieu naturel par des substances introduites.

1.2. Polluer

Polluer c'est salir, profaner ou dégrader.

1.3. Polluant

Toute substance naturelle ou d'origine anthropique que l'homme introduit dans un biotope donné, dont elle était absente ou encore dont il modifie ou augmente la teneur lorsqu'elle y spontanément présente.

Ex : - le CO₂ est un gaz naturel et essentiel à la photosynthèse mais lorsqu'il dépasse certain gaz il devient une substance toxique qui participe à la dégradation de la couche d'ozone.

-le DDT est une substance de synthèse fabriquée par l'homme pour l'utilisé comme pesticide dans l'agriculture ; cette substance est polluante pour l'environnement.

1.4. Environnement

L'ensemble des éléments biotiques et abiotiques qui entoure un individu ou une espèce et dont certains contribue directement à subvenir à ses besoin (cadre de vie d'un individu).

1.5. Ecosystème

Système formé par un milieu physique nommé biotope et par l'ensemble des êtres vivants ou espèces nommé biocénose, qui y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent.

1.6. Biosphère

La biosphère est considéré comme l'écosystème ultime c'est-à-dire l'ensemble des écosystèmes constitue la biosphère.

La biosphère se subdivise en 03 constituants : l'atmosphère (air), la lithosphère (sol) et l'hydrosphère (eau). Les trois éléments constituent les compartiments essentiels touchés par la pollution.

1.7. Ecologie

Une science qui étudie les relations des êtres vivant avec leur environnement et avec les autres êtres vivants.

2. Causes et importance de la pollution de la biosphère

2.1. La pollution de la biosphère

La pollution de la biosphère touche l'espace vitale de la planète, c'est-à-dire les zones peuplées par des êtres vivants quelque soient leurs nature : animaux, végétaux, microorganismes.

2.2. Les types de pollution

Les pollutions de l'environnement peuvent être devisées en :

- pollutions provoqué par les substances
- pollutions d'origine physiques
- pollutions créées par la consommation de l'espace vitale

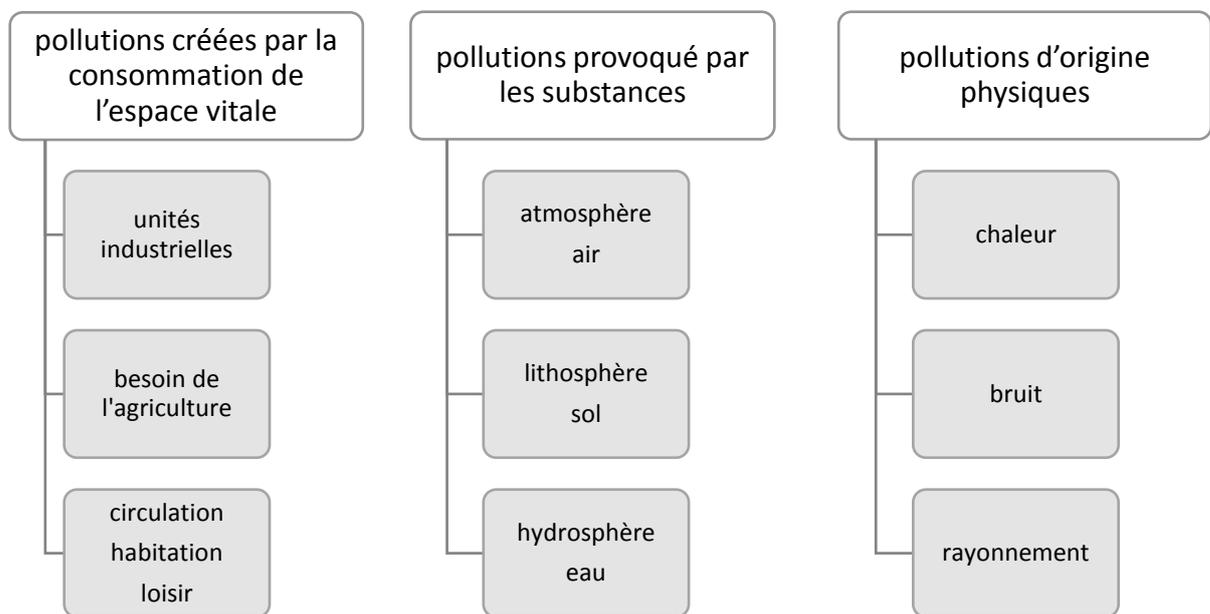


Figure 01 : systématiques des pollutions de l'environnement

2.2.3. Pollution provoqué par les substances

2.2.3.1. La pollution atmosphérique ou de l'air :

Constitue une pollution atmosphérique «l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les échanges climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives».

La pollution de l'air, provoquée par des polluants dits atmosphériques : rejet de pots d'échappement, des usines...

2.2.3.2. La pollution des eaux

Les êtres vivants puisent dans leurs milieux, des substrats (des produits qui leurs servent de nourriture et /ou de source d'énergie...), ils s'en servent pour se nourrir, se développer, se multiplier, se déplacer. Ces êtres vivants sont des micro-organismes, des plantes, des animaux, des insectes, ...des hommes.

Les conditions physico-chimiques qui sont générées dans ce milieu vont permettre à chaque espèce de se trouver une place pour se reproduire et se développer. Tout cet ensemble, va vivre dans un équilibre ou l'un, génère de la nourriture pour l'autre, ou sert de nourriture à... l'autre.

Cet équilibre peut être perturbé par l'introduction d'un produit exogène (c'est à dire issu de l'extérieur) que l'on nommera la « matière polluante » car elle va modifier cet équilibre du milieu récepteur en modifiant les caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques du milieu. La pollution de l'eau qui peut résulter de la contamination des eaux usées, des rejets de produits (les produits phytosanitaires, ceux présents dans les engrais, les hydrocarbures...)

2.2.3.3. La pollution des sols

Les sols pollués représentent une part importante de "l'héritage" toxique laissé par les générations précédentes notamment sur les anciens sites industriels L'évaluation des risques liés à ces sols pollués montre dans certains cas que les toxiques sont présents sous forme biodisponible et peuvent entraîner des pathologies chez les personnes qui consommeraient des légumes cultivés sur ces sites ou bien qui seraient soumis à des émanations de gaz libérés par ces sols. Le sol lui-même est un écosystème qui abrite une faune et une flore diversifiée subissant de façon directe l'impact des toxiques présents. (Vindimian, 2001).

La pollution du sol souvent d'origine industrielle ou agricole : utilisation d'engrais, de pesticides ...

les pollutions de l'environnement par des substances peuvent être différenciées selon la manière dont elles sont répandues géographiquement. On dit qu'elles sont globales –indépendamment du milieu ou elles se trouvent- quand on on peut les observer partout dans le monde. Elles sont désignées comme régionales quand elles sont éloignées de leur sources de seulement environ 1000 km, et par pollution locales lorsqu'elles atteignent environ 100 Km

Ponctuelle

0,1 Km

locale

100 Km

Régionale

1000 Km

globale

2.3. Causes de pollution

On peut diviser les grandes causes de la pollution en deux : naturelles et anthropiques générées par l'homme, ce dernier est la plus pesante sur le plan conséquence sur l'environnement et intensité de pollution.

2.3.1. Causes naturelles

- Eruption volcaniques.
- Tsunamis.
- Pluies acides.
- Incendies naturelles.
- Tornades.
- Zones de marais.

2.3.2 Causes anthropiques

- L'activité agricole (utilisation des pesticides et des engrais chimiques).
- La production industrielle.
- Production et utilisation des énergies fossiles.
- L'urbanisation.
- Le transport et le transfert des biens, des services et des humains.

Les sources de pollution en connues un changement permanent à travers le temps ces causes anthropiques sont guidées par le progrès de la vie humaine.

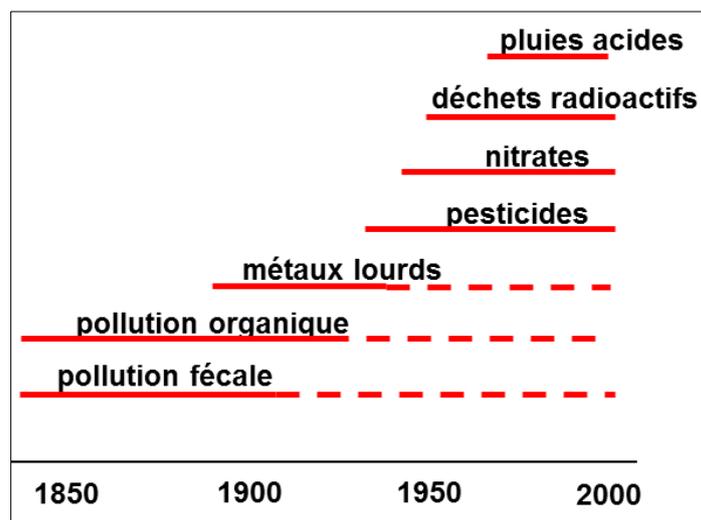


Figure 02 : historique des types mondiales de pollution de la période allant de 1850-2000.

3. Classification des polluants

La classification des polluants se fait selon plusieurs critères :

3.1. Selon la nature des polluants (chimique, organique, physique, biologique).

Tableau 01: présentation de la nature de quelques polluants.

Polluant	Nature de polluant
Engrais chimique, Hcl, métaux lourds...	chimique
HAP ,PCB...	organique
Rayon x, Chaleur, bruit...	physique
Bactérie, virus, protistes...	biologique

3.2. Selon la cible de polluant de l'environnement :

Ex : Un polluant qui se trouve dans l'environnement va affecter d'une façon directe ou indirecte un organisme vivant quelques soit une plante, un animal, un champignon... Ces organismes constituent une cible pour ce polluant.

3.3. Selon leur cible interne dans l'organisme :

Ex : le méthyl-mercure est un polluant qui affecte le système nerveux chez les mammifères on dit que le méthyl-mercure est **neurotoxique**.

3.4. Selon le compartiment de l'environnement qui l'affecte :

Le polluant est de type atmosphérique, lithosphérique ou hydrosphérique ou plusieurs à la fois.

Tableau 02 : quelques polluants et le compartiment de présence dans l'environnement

polluant	air	eau	sol
NO _x (les oxydes nitreux)	X		
CO ₂ (dioxyde de carbone)	X		
O ₃ (ozone)	X		
PCB (Polychlorobéphenil)	X		X
Nitrate (NO ₃ ⁻)		X	
Pesticides (DDT)		X	X
Métaux lourds Cd, Mg	X	X	X

3.5. Selon le mode d'action de polluants : effet directe ou indirecte

Ex : l'effet de CO sur le système respiratoire après ingestion est directe une asphyxie et conduit à la mort.

L'effet des métaux lourds sur une plante est indirecte conduit à une mutation génétique ou une stérilité chez la deuxième génération.

3.6. Selon la durabilité des effets des polluants sur les êtres vivant : effet aigue ou chronique.

3.7. Selon leurs tailles d'importance : macro polluant visible à l'œil nue ou micropolluant remarquée par microscopes.

Explication :

3.7.1. Macropolluant : sont des molécules de grande taille par rapport aux micropolluants, mesurés en mg de contaminant par Kg de matière (mg/Kg) ;de l'ordre de $1/10^6$ nommé aussi ppm (partie par million). Se devise en 03 catégories :

- Les matières en suspension (MES). **Ex** :les matières ramenées par l'érosion, les eaux résiduaires urbaines.
- Les matières organiques. **Ex** : matières organique ou issue d'une matière organique.
- Les nutriment. **Ex** : utilisés pour la fertilisation résumé en NPK.

3.7.2. Micropolluant :ce terme désigne un composéorganique minérale ou biologique dont les effets sont toxiques à très faible concentration. Se devise en 02 catégories :

- Les particules grossières : le diamètre des particules est de l'ordre de 2,5 à 10 μm .
- Les particules fines : le diamètre des particules est inférieur à2,5 μm
- Les particules ultrafines : le diamètre des particules est inférieur à 100 nm (nanomètre).

L'ordre de mesure est le μg de polluant par Kg de matière ($\mu\text{g}/\text{Kg}$) de l'ordre de $1/10^9$ nommé ppb (partie par billion).

Remarque :

Les particules dont le diamètre est inférieur ou égal à 10 μm sont appelées particule en suspension PMS ou PS ou Ps, de plusieurs ordres :

Ègalement connnues sous le nom de particules ou fumées noires, le terme désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans les milieux gazeux.la granulométrie des (Ps) fait l'objet de leur classification :

PM 10 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm

PM 2.5 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2.5 μm

PM 1.0 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 1 μm

Ultrafines : particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à $0.1 \mu\text{m}$

Nanoparticules : particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 0.05 ou $0.03 \mu\text{m}$

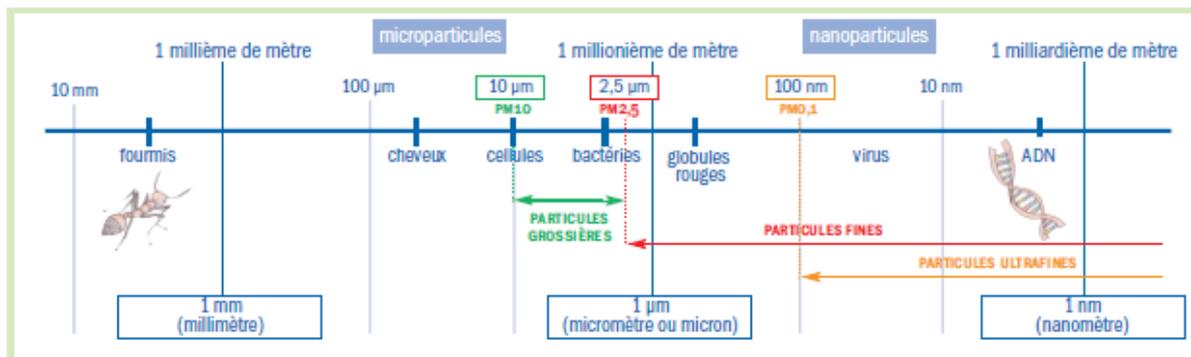


Figure 03 : diamètres des microparticules et nanoparticules.

4. Mécanismes de dispersion et de circulation des polluants

Le transport des substances définit leur changement de lieu dans l'environnement, on parle de dispersion (mobilité) qui est la tendance des produits chimiques de se propager dans d'autres domaines de l'environnement depuis l'endroit où ils ont été appliqués ou utilisés pour la première fois.

La distance jusqu'à laquelle les substances sont transportées dépend de leurs propriétés physiques (pression de vapeur, point d'ébullition et de fusion, solubilité dans l'eau, capacité d'être adsorbé, tension superficielle...)

La rapidité de transport réalisée dans un compartiment a une influence sur la distance. Les substances sont transportées avant tout par l'atmosphère et par le cycle de l'eau (nappe phréatique incluse) ; mais aussi les organismes qui changent de lieu et les activités des êtres humains apportent leur contribution au phénomène de transport (par contre le sol n'a pas d'action de transport).

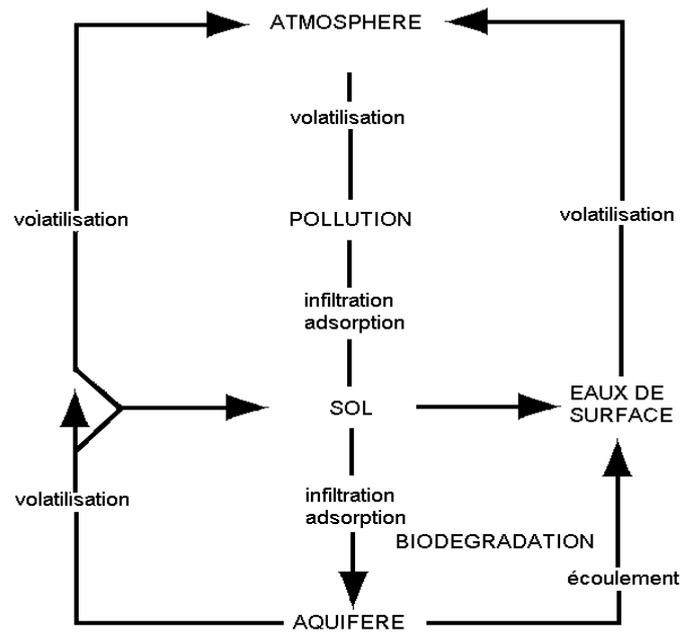


Figure 04 : Comportement du polluant dans son environnement

5. Impacte de la pollution sur l'environnement

5.1. Changements climatiques et leur conséquences : Effet de serre, inondation, sécheresse accrue

Les changements climatiques pourraient avoir des conséquences fonctionnelles majeures. L'acidification des océans associée à l'augmentation de leur teneur en gaz carbonique dissout pourrait affecter leur capacité de stockage du carbone. Associée aux augmentations de la température, en région tempérée : on constate une augmentation de la durée de la période de croissance de la végétation de l'ordre de 03 à 04 jours par décennie. Le réchauffement climatique devrait entraîner un déplacement de la distribution des espèces, des changements phénologiques ce qui perturbe le fonctionnement des écosystèmes.

Les modifications des cycles biogéochimiques affectent la diversité et le fonctionnement des écosystèmes à travers l'eutrophisation des habitats, les changements climatiques ou l'aridité.

Les conséquences des changements climatiques peuvent se résumer aux points suivants :

- La température du globe pourrait augmenter de 2 à 4°C à la fin du siècle.
- Une modification de l'intensité et la répartition précipitations.
- L'accroissement du taux du CO₂ agit directement sur la photosynthèse avec une augmentation de 20 à 30 %, un allongement des saisons de végétation ;

- La température moyenne de l'eau augmente.
- Déplacement de l'aire de distribution de nombreuses espèces vers les hautes latitudes.
- Réduction des aire de distribution des espèces ce qui conduit à des problèmes d'extinction.

5.2. Evènement météorologique extrême le Smog

Le smog, de l'anglais smoke, fumée et fog, brouillard, est un nuage de pollution atmosphérique constitué de particules issues de la combustion (centrale au charbon, gaz d'échappement) et d'ozone troposphérique.

Par conséquent, le smog se forme au dessus des villes où l'activité automobile ou industrielle est importante, plus particulièrement par temps ensoleillé, quand les ultra-violets oxydent les particules atmosphériques et forment de l'ozone.

Le mot smog est apparu en 1905, alors que le phénomène accablait Londres, à l'époque de la révolution industrielle.

5.3. Monté de niveau de mer (fente de glacier)

Selon la communauté scientifique internationale, le réchauffement climatique causé par l'homme est la principale cause de la fonte des calottes glaciaires et de la régression des glaciers dans le monde.

5.4. Diminution de la biodiversité sauvage

On estime que 108 espèces d'oiseaux et 90 espèces de mammifères sont éteintes depuis l'an 1600.

Les taux d'extinction estimés dans le groupe des mammifères et oiseaux pour les quatre derniers siècles doublent tous les cents ans depuis l'année 1600 et sont actuellement 100 à 1 000 fois supérieures aux taux moyen observé par les paléontologues lors de la période géologiques normale, hors crise massive d'extinction. La majorité des espèces disparus habite des îles.

5.5. Dégradation et disparition des écosystèmes rares

Un homme moderne possède des moyens techniques développés, il peut faire disparaître les espèces et les écosystèmes et transformer complètement des régions entières.

Pour la production des biens et des services l'homme modifie la structure et le fonctionnement des écosystèmes. Ce changement se résume dans les points suivant :

- Recule des surfaces boisées : extension de l'agriculture et des paysages.
- Recule des forêts linéaires liées au remembrement et urbanisation.

- Les résineux ont gagné du terrain (accroissement de l'acidité du sol, sensible aux maladies et aux pollutions)
- Recrudescence des phénomènes d'érosion due au surpâturage, déforestation, intensification des cultures.
- La salinisation : conséquences de l'irrigation mal contrôlée.
- Le tassement du sol résultant de l'utilisation des machines agricoles trop lourdes ou piétinement trop important par les animaux.
- Le traitement chimique et l'utilisation des produits phytosanitaires.
- La fragmentation des habitats.

5.6. Apparition de maladie et d'épidémies (pandémie)

Les infections virales et bactériennes ont longtemps constitué la principale cause de mortalités pour l'homme « la grippe espagnole », « épidémie de peste »...etc.

Avec le progrès de l'hygiène et la vaccination le taux de mortalité a régressé de manière considérable.

Une maladie émergente : une maladie dont l'incidence réelle augmente de manière significative, dans une population donnée d'une région donnée par rapport de la situation habituelle de cette maladie. Nouvelle germe bactérienne ou parasitaire.

II. Notion de toxicité et ses implications écologiques :

1. Concepts et définitions

1.1.Toxicologie :

C'est une discipline scientifique qui étudie les toxiques, leurs propriétés, leurs devenir dans l'environnement et les organismes vivants, leurs modes d'action, leur recherche dans les différents milieux et la recherche des moyens préventifs et curatifs afin de combattre leur nocivité.

1.2.Ecotoxicologie :

Est une science qui étudie l'impact de la pollution sur les écosystèmes, la relation entre les polluants (chimiques, organiques et physiques) et les êtres vivants. Autrement dit, elle s'intéresse à la fois à l'écologie et à la toxicologie.

1.3.Agent toxique :

Substances naturelles ou de synthèse, que l'homme introduit dans un biotope donné et dont elles étaient absentes, ou encore dont il modifie et augmente les teneurs lorsqu'elles sont spontanément présentes. Ces substances présentent une nocivité pour les êtres vivants en provoquant des effets néfastes sur les organismes affectés en perturbant des fonctionnements biologiques et pouvant entraîner la mort. »

1.4. Xénobiotique : Substance chimique, biologique, physique exogène introduites dans l'organisme vivant.

2. Problèmes pathologiques particulier à l'écotoxicologue

Si un polluant se trouve dans le milieu naturel et qu'il est biodisponible, c'est à dire assimilable par les organismes, 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”**.

2. 1. Toxicité aiguë et toxicité chronique

La toxicité est la propriété intrinsèque d'une substance susceptible de provoquer des effets biologiques néfastes à un organisme vivant qui y est exposé. En toxicologie et en écotoxicologie, on distingue deux types de toxicité .

2. 1. 1. La toxicité aiguë (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. 1. 2. la toxicité chronique (long terme) désigne les effets néfastes qui se manifestent après une exposition répétée, sur une longue durée, à une faible concentration de substance.

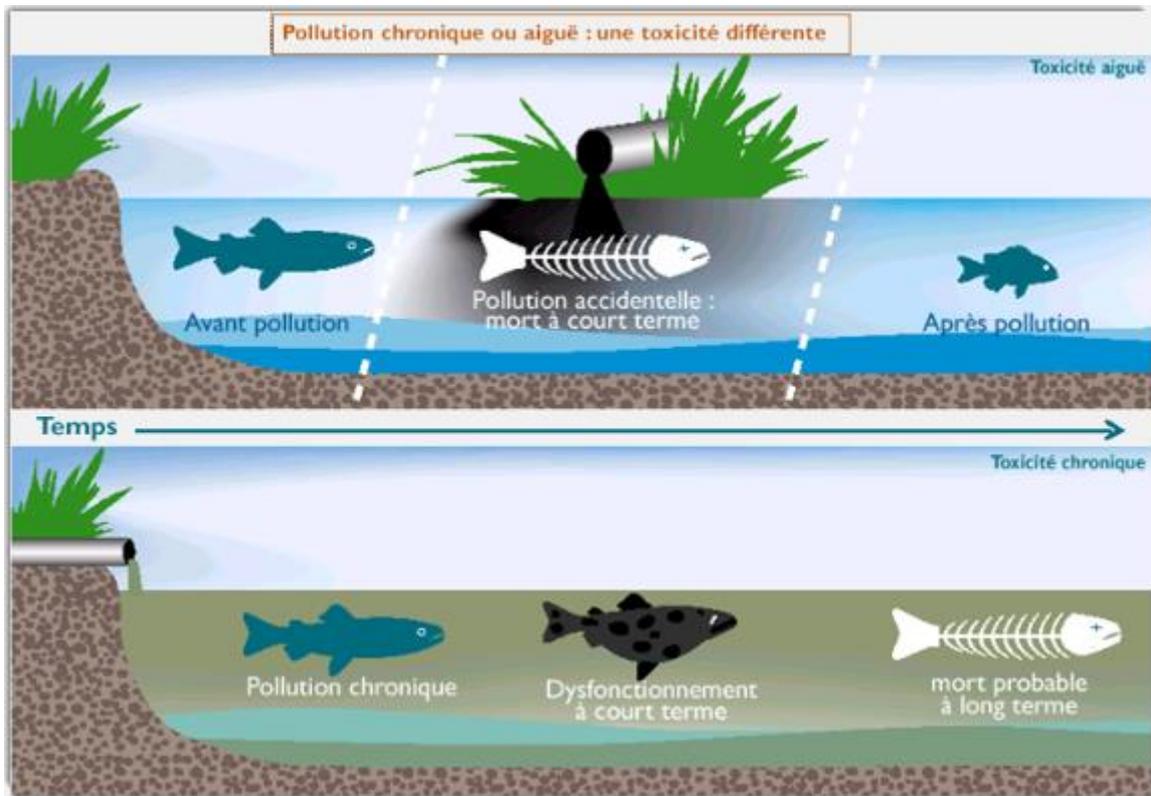


Figure 05 : toxicité aiguë et toxicité chronique.

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

2.2. 1. Altération de la capacité de reproduction des animaux et végétaux

Exemple 1 : le pesticide DDT est à l'origine d'un amincissement de la coquille des œufs de grèbes (une espèce d'oiseaux) qui diminue le succès de la reproduction avec une mortalité accrue des petits.

Exemple 2 : les métaux lourds (cadmium, zinc, plomb, etc.) peuvent altérer la germination des graines de certains végétaux.

2.2. 2. Affectation de la croissance et de la santé d'un organisme

Exemple : l'ozone (O_3) 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 entraîne des pertes de rendement qui peuvent être de 5 à 10 %, et l'apparition de nécroses foliaires maintenant visibles dans les milieux naturels (Garrec, 2019).

2.2. 3. Déséquilibre d'une population

Exemple : de nombreuses études ont mis en évidence un changement de sexe des poissons mâles (un phénomène qui se produit naturellement chez de nombreuses espèces de poissons) dû à la présence, dans l'eau, d'un cocktail de polluants se comportant comme des hormones sexuelles (certains pesticides, peintures pour les coques de bateaux, pilule contraceptive, etc.)

2.2.4. Modification des conditions du milieu

Exemple 1 : l'acidification des cours d'eau provoquée par le SO_2 et les NO_x émis par la combustion des énergies fossiles, qui entraîne une perte de la biodiversité.

Exemple 2 : le réchauffement climatique induit par les émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, etc.),



Figure 06 : impact de l'ozone sur les feuilles de tabac (nécroses foliaires).

2.2. 5. 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. Les poissons

présentaient une moindre sociabilité vis à vis des congénères, une plus grande activité ou encore un appétit plus important. Au delà des effets sur la population de perches, le risque identifié est une perturbation de l'équilibre de l'écosystème dans son ensemble.

2.2.6. Augmentation de la mortalité

Exemple : une marée noire entraîne la mort de nombreux oiseaux et organismes aquatiques. Lors du naufrage du pétrolier Amoco Cadiz en 1978 en Bretagne, 20 000 oiseaux et poissons ont été retrouvés morts ou mazoutés.

3. Relation dose-effet en et relation dose-réponse écotoxicologie

Avant de comprendre la relation dose-effet en et relation dose-réponse en écotoxicologie, il faut comprendre les notions suivantes : la dose, l'effet et la réponse.

3.1.La dose

[Q] c'est la quantité de Xénobiotique qui pénètre dans le corps d'un organisme vivant exposé. (mg/kg/j, mol/kg/j)

3.2.L'effet

Etre exposé à une substance ne signifie pas pour autant que celle-ci va pénétrer dans l'organisme et y exercer un effet. L'absorption d'un xénobiotique peut conduire à divers effets biologiques qui peuvent s'avérer soit bénéfiques pour la santé (par exemple, traitement d'une maladie après l'administration d'un médicament), soit néfastes (par exemple, une atteinte pulmonaire après l'inhalation d'un gaz corrosif). La notion d'effet toxique implique des conséquences dommageables pour l'organisme.

Un xénobiotique qui a pénétré dans l'organisme peut agir sur celui-ci ; les résultats de cette action sont appelés **les effets** (l'étude du mécanisme d'action de ces effets est la **toxicodynamie**).

3.2.1. Les effets toxiques à seuil de dose

Ils concernent les substances qui provoquent, au delà d'une certaine dose, des dommages dont la gravité est proportionnelle à la dose absorbée. Selon cette approche classique de la toxicité, les effets néfastes ne surviennent que si cette dose est atteinte et dépasse les capacités de **détoxification**, de **réparation** ou de **compensation** de l'organisme. Il existe donc une dose (externe) limite en dessous de laquelle l'effet n'a théoriquement pas lieu de survenir.

Dans ce cas, les études toxicologiques permettent généralement d'identifier un indice que l'on appelle dose maximale sans effet néfaste observable (DMSENO, ou NOAEL en anglais pour no-observed adverse effect level).

3.2.2. Les effets toxiques sans seuil de dose

Pour des xénobiotiques exerçant des effets sans seuil de dose, il existe une probabilité, même infime, qu'une seule molécule de toxique pénétrant dans le corps humain provoque des changements dans une cellule qui sera par la suite à l'origine de l'effet néfaste. Ces xénobiotiques sont, pour l'essentiel, des substances génotoxiques², pouvant avoir des effets cancérogènes³ ou reprotoxiques⁴. Pour ces substances **génotoxiques**, on considère en principe que l'initiation de la cancérogenèse ou d'un effet sur la descendance est déclenchée par des mutations dans le matériel génétique (ADN), respectivement des cellules somatiques⁵ ou des cellules germinales.

À chaque dose correspond un degré d'intensité pour un effet toxique apparaissant chez l'organisme qui reçoit cette dose. Plus la **dose** est élevée plus l'intensité de l'**effet** est forte c'est ce qu'on appelle la relation **dose-effet**. A chaque dose correspond une fréquence d'apparition (le nombre de personne touchée dans une population) d'un effet toxique dans une population donnée. Plus la **dose** est élevée, plus cette **fréquence** augmente et c'est ce qu'on appelle la relation **dose-réponse**.

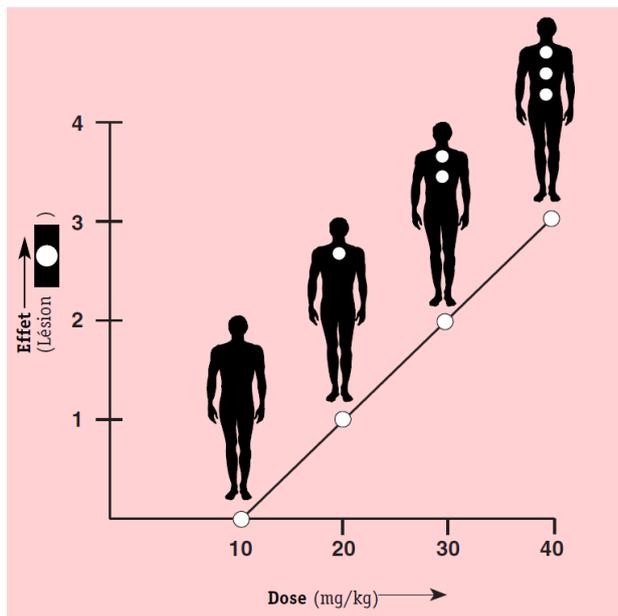


Figure 07 : Relation dose-effet

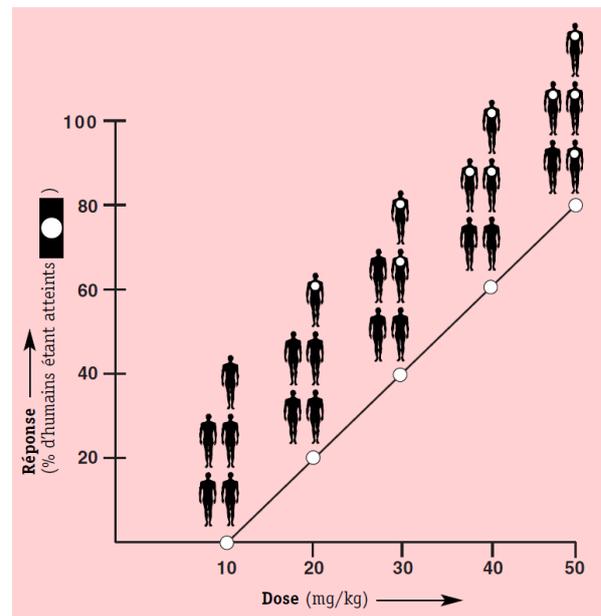


Figure 08 : Relation dose-réponse

Remarque :

- La relation **dose-effet** permet d'évaluer la toxicité d'un produit.
- La relation **dose-réponse** permet de ressortir chez une population donnée le groupe sensible et le groupe tolérant au produit testé.

3.3. Les doses toxiques :

3.3.1. DL₅₀ :

« Dose létale 50 ». La DL₅₀ est la quantité d'une matière, administrée en une seule fois, qui cause la mort de 50 % (la moitié) d'un groupe d'animaux d'essai. La DL₅₀ est une façon de mesurer le potentiel toxique à court terme (toxicité aiguë) d'une matière.

3.3.2. Dose maximale tolérée

C'est la dose la plus forte pour laquelle aucune mortalité n'est observée dans le cadre d'études expérimentales destinées à déterminer la DL₅₀. Des symptômes d'intoxication sont observés le plus souvent. Elle s'exprime en mg de produit par kg de poids vif.

Il faut bien différencier dose maximale tolérée et dose sans effet.

3.3.3. Dose sans effet (No Observed Effect Level = NOEL)

C'est la dose qui à la suite d'une administration répétée pendant une longue période (30 j à 2 ans), ne provoque absolument aucune manifestation anormale quelle soit biochimique, microscopique, macroscopique ou clinique chez 2 espèces de mammifères (rat, chien) pendant la période d'administration du produit. La dose sans effet s'exprime en mg/kg/j (milligramme du toxique par kilo de poids vif de l'animal et par jour).

3.3.4. Dose journalière admissible

C'est la quantité d'un additif alimentaire qui peut être ingérée quotidiennement par l'homme dans son régime alimentaire, même pendant toute une vie sans entraîner chez lui aucun risque.

Cette notion s'applique à l'homme s'exprime en mg/kg de poids et par jour. La D.JA s'obtient en prenant la dose sans effet la plus faible obtenue lors des études de toxicité par administration répétée que l'on divise par un coefficient de sécurité (100 ou 1000).

3.3.5. Limite maximale de résidus : LMR

Les limites maximales de résidus (LMRs) ou « tolérances » sont les concentrations en résidus à ne pas dépasser dans les denrées alimentaires d'origine animale ou végétale pour éviter tout risque pour le consommateur du fait de la présence de ces résidus. C'est une donnée qui concerne les aliments et qui s'exprime en ppm. (Ce qui correspond au mg de résidu par kg de denrée alimentaire). Pour calculer les LMRs, il faut connaître la D.JA puis recenser les différents vecteurs de résidus dans les denrées alimentaires (viande, abats, lait, œufs, fruits,

légumes). Les LMRs sont établies par les diverses instances internationales (OMS, FAO) et nationales.

Chapitre III : influences des facteurs écologiques sur la manifestation de la toxicité

1. Quels facteurs peuvent influencer les effets toxiques ?

1.1 La toxicité

Les toxiques ne présentent pas tous le même degré de toxicité. Certains ont une faible toxicité, même si on les absorbe en grande quantité, par exemple le sel de table, tandis que d'autres ont une forte toxicité, même si on en absorbe de faibles quantités, notamment les dioxines. On peut en partie expliquer de telles variations par les différences qui existent entre la structure chimique des substances. Ces différences peuvent affecter la capacité des substances à perturber le fonctionnement de l'organisme (figure 11).

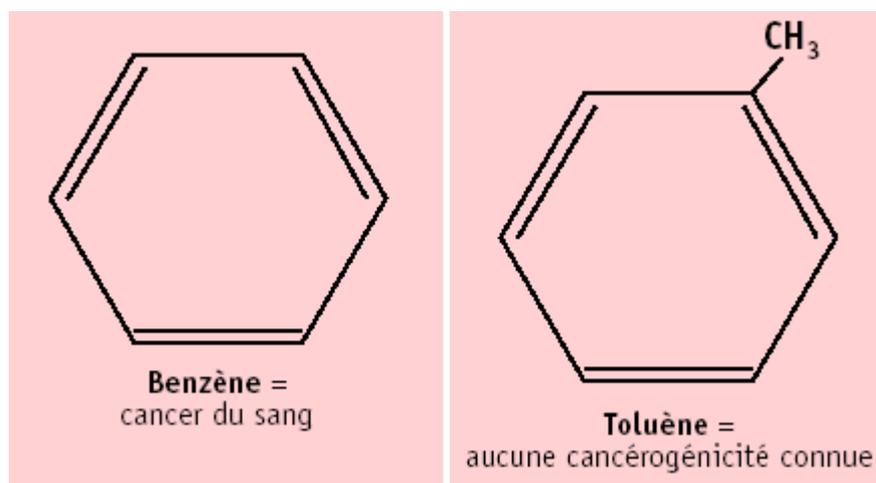


Figure 09 : Structure chimique et effet

De plus, les caractéristiques physico-chimiques, par exemple la grosseur des poussières, la volatilité et la solubilité dans l'eau, interviennent également dans la réponse toxique. Ainsi, la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des toxiques proprement dits se révèle importante pour en évaluer la toxicité.

1.2 L'individu

La population humaine est un groupe hétérogène au sein duquel il existe une grande variabilité entre les individus. Ceux-ci peuvent être affectés différemment par une même dose toxique, et une personne peut y réagir différemment selon le moment (relation dose-réponse). Deux principales catégories de facteurs contribuent à expliquer la nature et l'intensité des effets toxiques.

- **Facteurs génétiques :**

Des différences génétiques peuvent intervenir dans la capacité des individus à transformer des toxiques.

• **Facteurs physiopathologiques :**

• L'âge

La sensibilité aux effets toxiques est habituellement plus grande chez les enfants et les personnes âgées.

• Le sexe

Il existe des différences entre les hommes et les femmes, notamment en ce qui concerne le métabolisme des toxiques.

• L'état nutritionnel

La toxicité peut être influencé par la masse de tissus adipeux et la déshydratation.

• L'état de santé

Les individus en bonne santé sont plus résistants, car ils métabolisent et éliminent les toxiques plus facilement que ceux qui souffrent de maladies hépatiques ou rénales.

• La grossesse

Il se produit des modifications de l'activité métabolique des toxiques au cours de la grossesse.

Les connaissances sur l'interaction de tous ces facteurs et de nombreux autres aspects demeurent incomplètes. En effet, il est souvent difficile, sinon impossible, d'évaluer la sensibilité d'un individu ou d'une population et de prédire quelle sera la réponse biologique d'un organisme à une exposition à un toxique.

1.3 L'environnement

Certains facteurs environnementaux, c'est-à-dire les éléments extérieurs à l'individu, peuvent influencer la toxicité. La lumière et la température peuvent notamment modifier les effets d'un toxique. Mentionnons comme exemple la réaction photoallergique au cours de laquelle la peau exposée à l'éthylène diamine peut devenir plus sensible à la lumière.

En milieu de travail, l'exposition à des mélanges de produits chimiques est une réalité et figure parmi les problèmes les plus importants à prendre en considération. Les mélanges y sont souvent complexes et peuvent être constitués de composés similaires, de produits de transformation, de produits de réaction ou de résidus (déchets). L'exposition simultanée ou

séquentielle à plusieurs produits peut entraîner des conséquences imprévues qui peuvent différer de la somme des réponses causées par chacun des composants du mélange. C'est ce que l'on appelle une **interaction toxicologique**. Les interactions toxicologiques peuvent être néfastes (augmentation de la toxicité d'un autre produit) mais aussi, dans certaines situations, avantageuses (réduction des effets toxiques d'un autre produit). Par exemple, l'ingestion d'alcool éthylique augmente les effets toxiques du trichloréthylène ; en revanche, administrer de l'alcool éthylique en cas d'intoxication permet de diminuer la toxicité de l'alcool méthylique.

Il existe différents termes pour décrire les interactions toxicologiques : addition, synergie, potentialisation ou antagonisme (tableau 9).

- Addition (additivité) : la réponse est égale à la somme des réponses des substances prises individuellement, il n'y a pas d'interaction.
- Synergie : la réponse est supérieure à la somme des réponses des substances prises individuellement.
- Potentialisation : elle se produit lorsqu'une substance ayant peu ou pas de toxicité augmente la réponse d'une autre substance.
- Antagonisme : la réponse est inférieure à la somme des réponses des substances prises individuellement.

Tableau 03 : Interactions possibles entre certains produits chimiques

Interaction		Modèle	Effet
Additivité*	Addition	$1 + 2 = 3$	Aucune interaction
Supraadditivité	Synergie	$1 + 2 = 5$	Augmentation
	Potentialisation	$0 + 3 = 5$	
Infraadditivité	Antagonisme	$0 + 3 = 2$	Diminution
		$-2 + 3 = 1$	
* L'additivité est souvent prise en considération « par défaut » lorsqu'il n'existe pas d'information connue sur l'interaction.			

2. Comment évaluer un effet toxique ?

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 12) :

- les études épidémiologiques, qui comparent plusieurs groupes d'individus ou les études de cas;

- les études expérimentales *in vivo*, qui utilisent des animaux (ex. : lapin, rat et souris);
- les études *in vitro*, effectuées sur des cultures de tissus ou des cellules; et
- les études théoriques par modélisation (ex. : structure-activité).

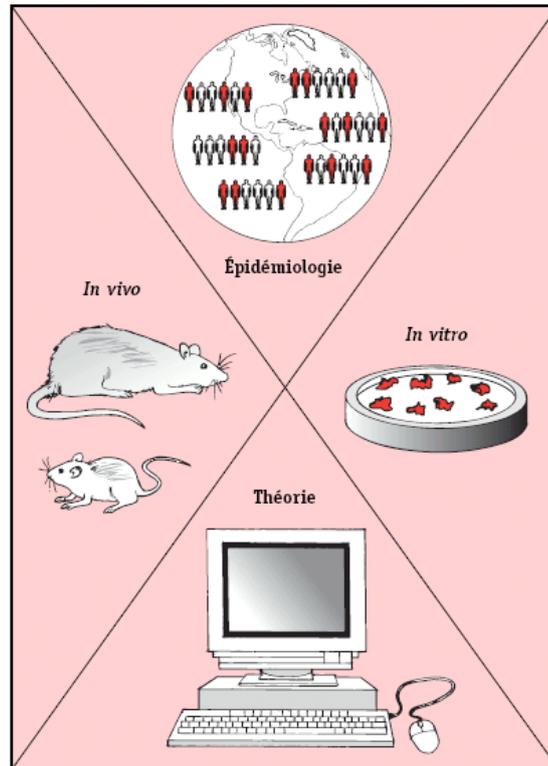


Figure 10 : Les différents types d'études

On utilise fréquemment une terminologie pratique mais arbitraire pour désigner les diverses formes d'intoxication selon la fréquence et la durée de l'exposition.

Tableau 04: Les formes d'intoxication

Forme d'intoxication	Fréquence d'administration	Durée de l'exposition
AIGUË	Unique	< 24 heures
SUBAIGUË	Répétée	<= 1 mois
SUBCHRONIQUE	Répétée	de 1 à 3 mois
CHRONIQUE	Répétée	> 3 mois

Cependant, la distinction entre exposition aiguë et effet aigu ainsi qu'entre exposition chronique et effet chronique est souvent difficile à faire. Certains effets sont également difficiles à classer dans une catégorie, puisqu'une exposition aiguë peut causer un effet chronique. Ainsi, le pronostic entre l'exposition et l'effet n'est pas nécessairement prévisible.

2.1 La toxicité aiguë (à court terme)

Une façon pratique de caractériser la toxicité d'une substance consiste à déterminer sa dose létale 50 (DL50). Cette dose permet d'identifier les symptômes de l'intoxication et de comparer les substances entre elles quant à leur potentiel toxique. Elle sert souvent de point de départ des études de toxicité, car elle fournit un minimum de connaissances.

La DL50 correspond à la dose d'une substance pouvant causer la mort de 50 % d'une population animale dans des conditions d'expérimentation précises. On administre généralement le produit à des rats ou à des souris répartis en plusieurs groupes, et ce, à des doses croissantes suffisantes pour obtenir un pourcentage de mortalité s'échelonnant entre 0 % et 100 % (figure 13). Lorsqu'il s'agit d'un toxique qui est inhalé, on parle de concentration létale 50 (CL50) pour exprimer la concentration du toxique dans l'air inspiré qui cause la mort de 50 % des animaux.

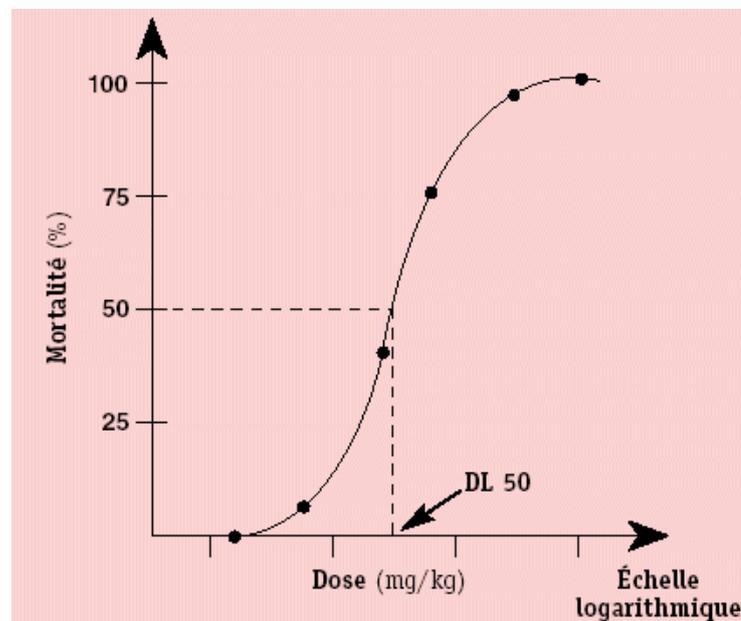


Figure 11 : Détermination de la dose létale 50 (DL₅₀)

L'indice **DL₅₀** sert fréquemment pour exprimer la toxicité aiguë ainsi que pour classer et comparer les toxiques. Il a cependant une valeur très limitée, car il ne concerne que la mortalité et ne donne aucune information sur les mécanismes en jeu et la nature des lésions.

Il s'agit d'une appréciation grossière et préliminaire (première analyse) qui peut être influencée par plusieurs facteurs tels l'espèce animale, le sexe, l'âge, le moment de la journée, etc.

Il existe d'autres méthodes d'étude de la toxicité, par exemple les tests d'irritation et de corrosion de la peau et des yeux, qui font généralement partie d'un programme d'évaluation toxicologique.

Il existe d'autres méthodes d'étude de la toxicité, par exemple les tests d'irritation de la peau et de corrosion des yeux, qui font généralement partie d'un programme d'évaluation toxicologique.

2.2 La toxicité chronique

Certains effets néfastes peuvent prendre plusieurs semaines ou de nombreuses années avant d'être diagnostiqués et éventuellement se révéler irréversibles (ex. : la neurotoxicité de l'hexane). L'évaluation de la toxicité aiguë ne permet pas de prédire ce type de toxicité d'une substance. Des études destinées à évaluer la toxicité chronique doivent donc être effectuées. Celles-ci durent plusieurs mois ou années et supposent l'administration de plus d'une dose à des intervalles variant selon la méthode employée.

Le terme chronique caractérise bien l'objet de ce type d'évaluation. Ces études, qualifiées de pluridisciplinaires, sont généralement effectuées par plusieurs chercheurs spécialisés dans différents aspects de la toxicologie, par exemple l'immunotoxicologie et la cancérogénicité. Elles supposent généralement la collaboration de chercheurs de divers domaines scientifiques, comme la chimie, la biochimie, la biologie et la médecine.

Tableau 05: Influence de facteurs sur la DL₅₀, et concentration létale 50 de trois produits

Produit (utilisation)	Espèce animale	Dose létale 50 (g/kg)		Concentration létale (ppm/4 h) ²	
		Voie orale	Voie cutanée		
Acétone (solvant)	lapin	5,34	20,00	---	853,00
	rat	5,80	---	29	
	souris	3,00	---	---	
Acroléine (fabrication de polymères)	hamster	---	---	25,40	
	lapin	---	0,20	---	
	rat	0,046	---	8,30	
	souris	0,028	---	---	
Méthanol (solvant)	lapin	14,41	15,80	---	
	rat	6,20	---	64,00	
	souris	7,30	---	---	

1. Quantité exprimée en (g/kg).
2. Concentration dans l'air exprimée en (ppm) pour une période de quatre heures (4 h).

Chapitre IV : Méthodes analytiques de la détection des polluants :

1- Comment mesure-t-on la pollution toxique ?

Une **analyse chimique** permet de révéler la présence et de mesurer la concentration de différents polluants dans un échantillon (ex : 0,2 µg/L du pesticide DDT dans une eau de rivière). Les analyses physico-chimiques ne permettent pas de mesurer les effets.

L'analyse de l'environnement est l'action d'identifier dans une substance les éléments constitutifs et de déterminer leurs teneurs.

1.1. Les différentes matrices à analyser

- **Eau** : l'eau sous tous ces états peut constituer une matrice à analyser (océans, mer, rivières, cours d'eau, nappes phréatiques...)
- **Boues** : on appelle boues d'épuration les boues qui se forment lors des traitements biologiques des eaux usées dans les stations d'épuration.

- **Sol** : Correspond à la partie supérieure de la lithosphère (pédosphère). Les sols sont physiquement et chimiquement hétérogènes ce qui traduit la présence de différents types de sol (sableux, limoneux, argileux...).

Le sol contient des composés de différentes formes (composés inorganiques, matière organique morte ou en décomposition, insectes et micro-organismes, air et eau).

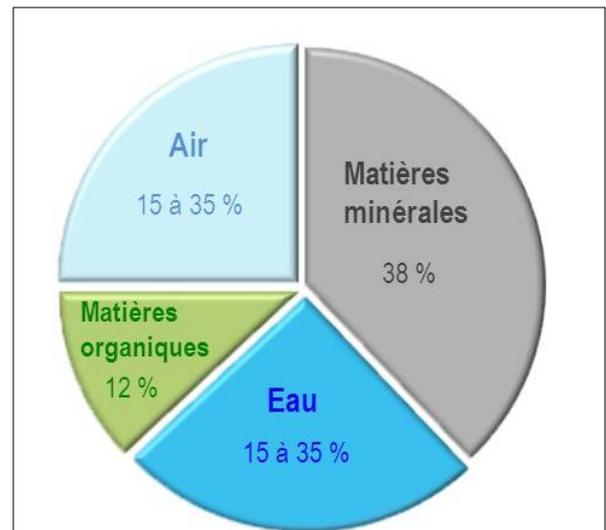


Figure : les composés du sol

- **Sédiments** : un sédiment est un dépôt meuble laissé par les agents d'érosion, et qui selon son origine peut être fluvial, glaciaire, lacustre ou marin.

Un sédiment se compose donc de particules qui ont été emportées par les agents d'érosion et qui se déposent en strates successives par gravité. Il s'agit de processus de sédimentation, dont l'importance dépend des facteurs climatiques, géologiques.

- **Compost** : le compostage est un processus de transformation des déchets organiques en présence de l'eau et de l'oxygène par le biais des micro-organismes.

Le produit obtenu (composte) est un produit riche en matières nutritives pour les plantes, et il a un intérêt majeur pour la protection de l'environnement (réduction de la quantité de déchet dans l'environnement, et remplace l'utilisation des engrais chimiques)

- **Lixiviat** : est le liquide résiduel engendré par la percolation de l'eau et des liquides à travers une zone de stockage des déchets, des produits chimiques ou un sol contaminé par des polluants. Ce produit de la dissolution des matières organiques et des éléments traces, est une source de contamination des sols et des eaux souterraines et de surfaces.

Les lixiviats doivent donc faire l'objet de mesure de contrôle de collecte et de dépollution.

- **Echantillons biologique** : sont des tissus ou cellules issus d'un organisme biologique ou ces dérivés.
- **Ex** : Echantillons biologiques humains (sang, sérum, globule, ADN, urine, selle, crachat, biopsie...)
- **Echantillon atmosphérique** : l'atmosphère est la couche gazeuse maintenue en gravité autour de la terre. On assiste à deux types des échantillons atmosphériques : l'air extérieur ou l'air libre.

Et l'air intérieur qui correspond à tous espace clos destiné à être occupé par les hommes d'une façon continue (classe, maison, hôpital, crèche...).

- **Déchets** : débris rejetés. Il existe plusieurs types de déchets (ménagères, industriels, hospitaliers, radioactifs).

2- Comment mesure-t-on les effets :

En revanche, **une analyse physico-chimique ne permet pas** :

- de savoir si les polluants analysés sont **biodisponibles** : c'est-à-dire assimilables par les organismes ;
- de connaître la toxicité de ces polluants vis à vis des organismes ;
- d'évaluer les interactions entre les différents polluants.

De plus, il est délicat de définir quels polluants doivent être analysés. On peut en oublier ou au contraire en analyser certains qui ne sont pas présents, ce qui coûte cher. Il y a également

des polluants (la majorité en fait) pour lesquels aucune méthode d'analyse n'a encore été développée à ce jour, d'où l'impossibilité de mesurer leur concentration.

A contrario, dans **une analyse écotoxicologique**, peu importe le(s) polluant(s) : seul l'effet est mesuré. Ces deux types d'analyses sont donc **complémentaires**.

2.1. Différents niveaux d'observation possibles

Les effets des polluants sur les organismes vivants peuvent être observés à différentes échelles, comme illustré dans le schéma ci-dessous :

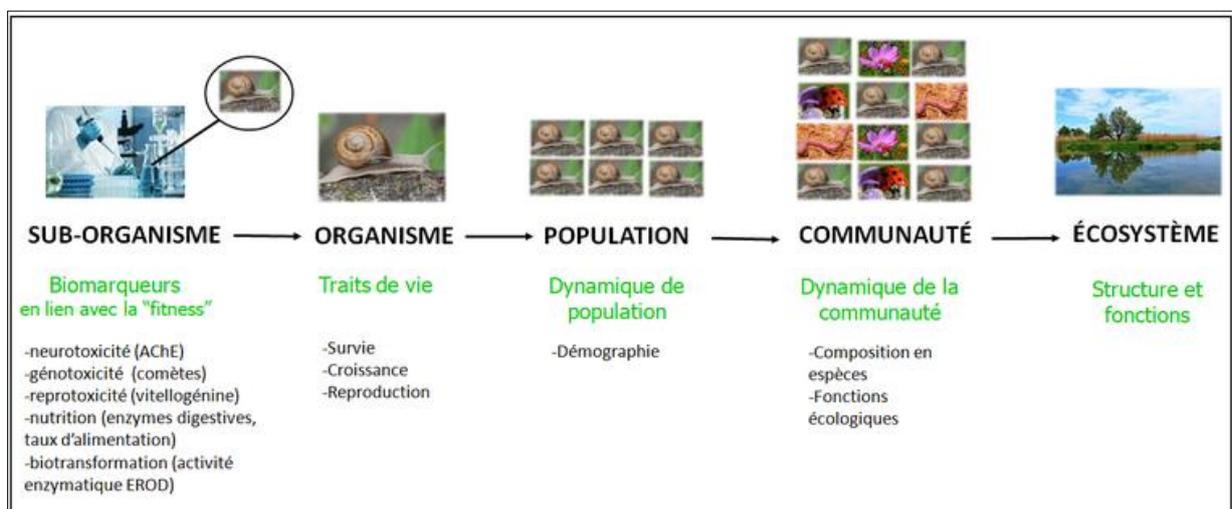


Figure 12 : Niveaux d'observation des effets des polluants sur les organismes vivants

2.1.1. La biosurveillance

L'utilisation à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, morphologique et écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir ou révéler une altération de l'environnement et pour poursuivre l'évolution. La biosurveillance a recours à deux approches :

L'approche passive : est l'utilisation des organismes biologique in situ avec des inconvénients de ne pas pouvoir choisir ni le site ni les espèces.

L'approche active : est la mise en place pendant une période donnée des espèces sélectionnées dans des sites sélectionnés.

2.1.1.1 Les biomarqueurs

Intéressons-nous plus particulièrement aux **biomarqueurs**. Paramètres biochimiques, cellulaires, physiologiques ou comportementaux, ils sont mesurés dans un organisme **prélevé**

ou **transplanté** dans le milieu naturel, afin de diagnostiquer la présence et/ou l'impact d'un ou plusieurs contaminants.

Les biomarqueurs ont été largement développés par les écotoxicologues à partir des années 1980, sur poissons puis sur invertébrés et végétaux. L'objectif était de répondre au besoin de caractérisation de la pression chimique sur les milieux naturels et de mise en évidence de perturbations précoces. Les biomarqueurs permettent ainsi de détecter et/ou mesurer les effets d'une pollution de manière **précoce** (avant que les effets toxiques de la pollution ne soient visibles) et **spécifique**. Autre exemple : plusieurs biomarqueurs ont été développés chez le gammare, petite crevette d'eau douce, comme la mesure de l'acétylcholinestérase (AChE), marqueur de neurotoxicité ou encore l'essai des comètes qui permet de mesurer la part d'ADN endommagé.

Les biomarqueurs permettent de mesurer l'exposition et les effets des polluants sur les organismes (ici : prélèvements de crustacés Gammarès) – Source : Garric, 2010 – Licence : tous droits réservés

2.1.1.2. Les Bioindicateurs :

Après l'exposition à un ou plusieurs polluants l'individu présente des effets observables qui se traduisent par des altérations morphologiques tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction).

2.1.1.3. Les biointégrateurs

On aborde la notion de variations densitaires et spécifiques dans des populations ou des écosystèmes ; toute disparition ou apparition d'une espèce, toute modification de l'abondance relative d'une espèce, toute modification de la structure des peuplements d'un écosystème signifie donc une modification de l'environnement de cette espèce. L'introduction donc d'un polluant dans le milieu, peut donc jouer le rôle de facteur perturbateur modifiant la structure des peuplements.

2.1.2. Laboratoire, terrain et modélisation : trois approches complémentaires pour l'évaluation des risques

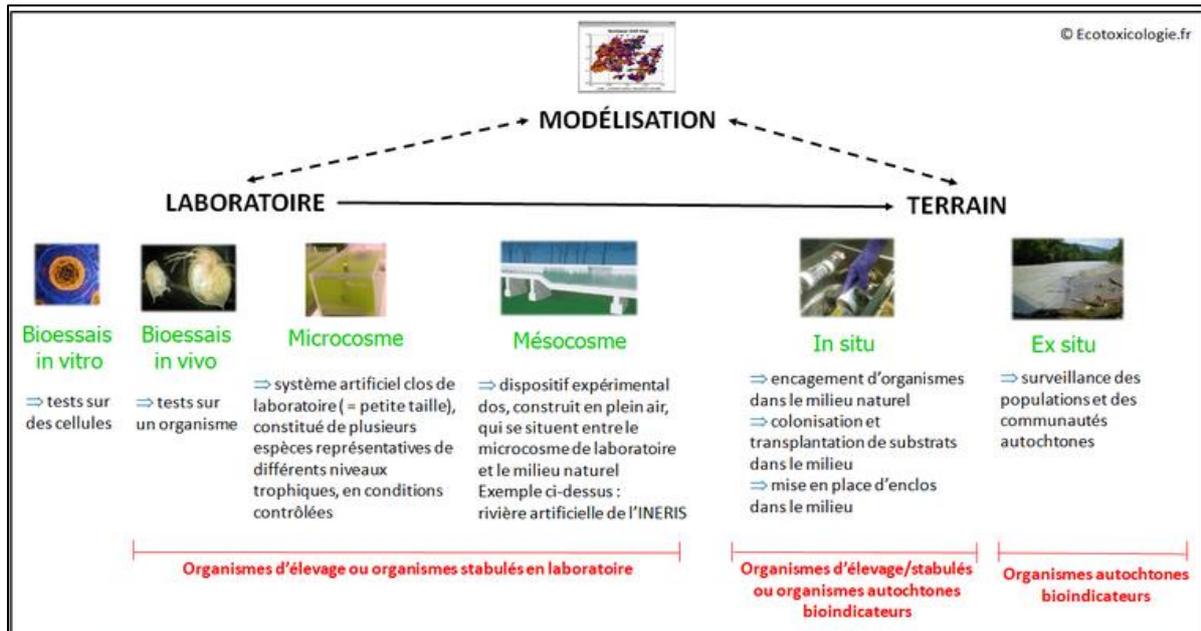


Figure 12 : Les outils d'évaluation des effets des polluants

2.1.2.1. Les analyses de laboratoire

Les analyses écotoxicologiques de laboratoire reposent :

- **sur l'exposition** de cellules (bioessais in vitro), d'organismes entiers (bioessais in vivo) ou de communautés (microcosmes ou 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.

Il existe une multitude de bioessais, dont certains bénéficient de protocoles normalisés, en particulier les bioessais sur organismes entiers : essai **de mobilité de daphnies**, essai **d'inhibition de croissance** des algues d'eau douce, essai **d'inhibition de la germination** et de la croissance de végétaux, etc.

Remarque : l'utilisation d'un contrôle ou témoin (= sans polluant) est indispensable pour valider le bioessai et pour établir les valeurs de références (voir ci-après). Ces bioessais permettent d'établir **des valeurs de référence**, très utiles pour caractériser le niveau de toxicité d'une substance ou d'un échantillon et pour établir des réglementations. Voici les plus utilisées :

2.1.2.2. Les analyses de terrain

Les analyses de terrain sont plus complexes et moins reproductibles, mais ont l'avantage d'être plus réalistes. On distingue deux méthodes :

- **les analyses ex situ** : il s'agit de la surveillance des populations et des communautés autochtones
- **les analyses in situ** : ce sont les expérimentations basées sur la manipulation d'organismes dans le milieu naturel.

2.1.2.3. La modélisation

Enfin, la modélisation est une méthode utile en écotoxicologie pouvant notamment permettre (avec bien sûr des incertitudes...) :

- de prédire l'effet toxique ou le comportement d'une molécule d'après sa structure chimique : par exemple, le modèle QSAR (Quantitative structure-activity relationship)
- de prédire l'effet, sur un organisme, d'un mélange de molécules en connaissant l'effet de chacune des molécules qui composent ce mélange.

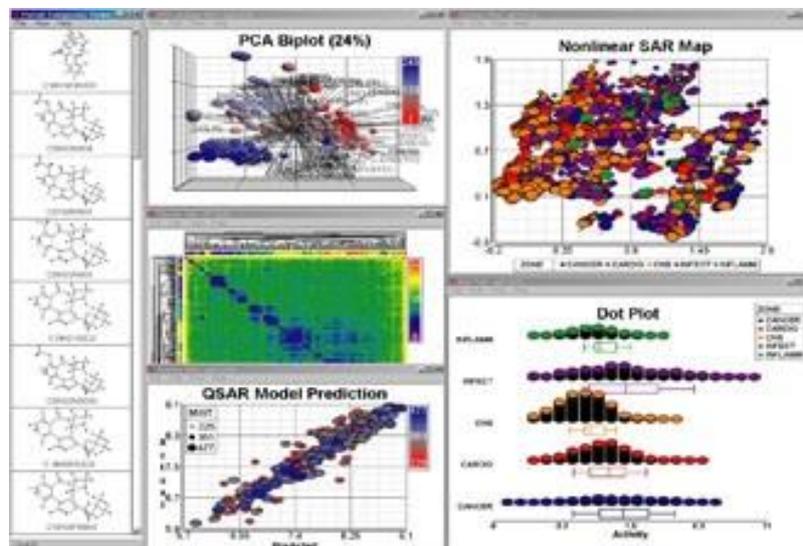


Figure 13 : prédire l'effet et le comportement d'une molécule grâce à sa structure chimique

2.1.3. Le transfert des contaminants dans les organismes vivants

Lorsqu'on s'intéresse au transfert des contaminants dans les organismes, trois notions de l'écotoxicologie apparaissent comme fondamentales : la bioconcentration, la bioaccumulation et la bioamplification.

2.1.3.1. La bioconcentration

Phénomène par lequel un organisme va concentrer une substance en concentration supérieure à celle du milieu, uniquement via **la respiration et la diffusion cutanée** (=passage à travers la peau). Ce milieu peut être l'eau ou le sédiment pour les organismes aquatiques ou le sol et/ou l'air pour les organismes terrestres. Ce processus est le résultat du rapport entre la vitesse de pénétration de la substance dans l'organisme (via la respiration et la diffusion cutanée) et la vitesse d'élimination (via échanges respiratoires, métabolisme et dilution par la croissance) : c'est **le facteur de bioconcentration (BCF)**.

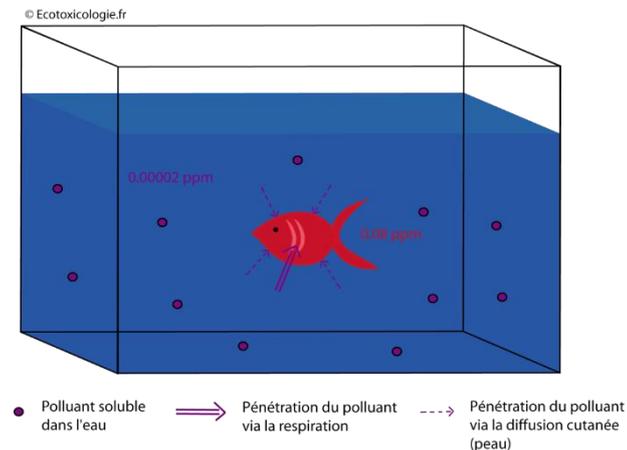


Figure 13 : Phénomène de bioconcentration d'un polluant

Phénomène de bioconcentration d'un polluant, dans des conditions expérimentales (ppm= partie par million = milligramme par litre ou milligramme par kilo)

Réalisons le calcul d'un facteur de bioconcentration à partir de l'exemple ci-dessus :

$$\text{BCF} = (\text{Concentration du polluant dans le poisson}) / (\text{Concentration du polluant dans l'eau})$$

$$\text{BCF} = 0,08 \text{ ppm} / 0,00002 \text{ ppm} = 4\ 000$$

2.1.3.2. La bioaccumulation

Phénomène par lequel un organisme va concentrer une substance en concentration supérieure à celle du milieu via **toutes les voies d'expositiony compris l'alimentation**. Ce processus est le résultat du rapport entre la vitesse de pénétration de la substance dans l'organisme (via respiration, diffusion cutanée et alimentation) et la vitesse d'élimination (via les échanges respiratoires, le métabolisme et la dilution par la croissance) : c'est **le facteur de bioaccumulation (BAF)**.

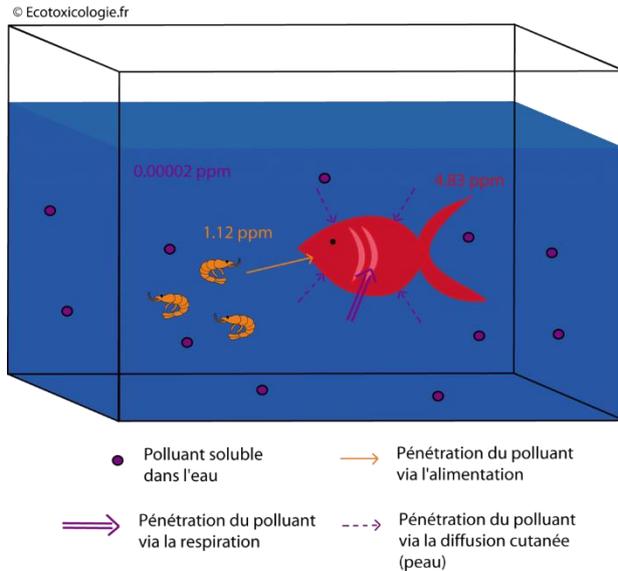


Figure 14 : Phénomène de bioaccumulation d'un polluant (ppm= partie par million = milligramme par litre ou milligramme par kilo)

Réalisons le calcul d'un facteur de bioaccumulation à partir de l'exemple ci-dessus :
 $BAF_{poisson} = (\text{Concentration du polluant dans le poisson}) / (\text{Concentration du polluant dans l'eau})$

$$BAF_{poisson} = 4,83 \text{ ppm} / 0,00002 \text{ ppm} = 241\ 500$$

Ce phénomène de bioaccumulation est extrêmement important car si un polluant s'accumule dans un organisme, alors sa concentration augmente au fil de la vie, augmentant ainsi le risque d'effets toxiques.

Quelles sont les substances bioaccumulables ?

Ce sont notamment les substances lipophiles, c'est à dire les substances qui "aiment" les graisses, au point de s'y accumuler. Ce caractère "lipophile" est déterminé par un paramètre que l'on nomme "coefficient de partage octanol/eau" : c'est le **Kow** (o pour octanol et w pour water). Pour évaluer si une substance est lipophile ou non, on s'intéresse plus particulièrement au logarithme du Kow. Plus le **log Kow** de la substance étudiée est grand, plus cette substance est lipophile.

Une substance non bioaccumulable 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 Aromatiques Polycycliques) ne se bioaccumulent que très peu et sont très vite éliminés par l'organisme ; ils induisent cependant des effets toxiques importants :

2.1.3.3. 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 (Orias, 2015). On peut ainsi calculer **un facteur de bioamplification** entre deux maillons de la chaîne alimentaire.

Réalisons des calculs de facteurs de bioaccumulation (BAF) et de bioamplification :

$BAF_{gammare} = (\text{Concentration du polluant dans le gammare}) / (\text{Concentration du polluant dans l'eau})$

$$BAF_{gammare} = 1,12 \text{ ppm} / 0,00002 \text{ ppm} = 56\ 000$$

$$BAF_{poisson} = 4,83 \text{ ppm} / 0,00002 \text{ ppm} = 241\ 500$$

$$BAF_{homme} = 124 \text{ ppm} / 0,00002 \text{ ppm} = 6\ 200\ 000$$

$$\text{Facteur de bioamplification}_{gammare-poison} = (\text{Concentration polluant dans le poisson}) / (\text{Concentration polluant dans le gammare}) = 4,83 \text{ ppm} / 1,12 \text{ ppm} = 4,3$$

$$\text{Facteur de bioamplification}_{poisson-homme} = 124 \text{ ppm} / 4,83 \text{ ppm} = 25,7$$

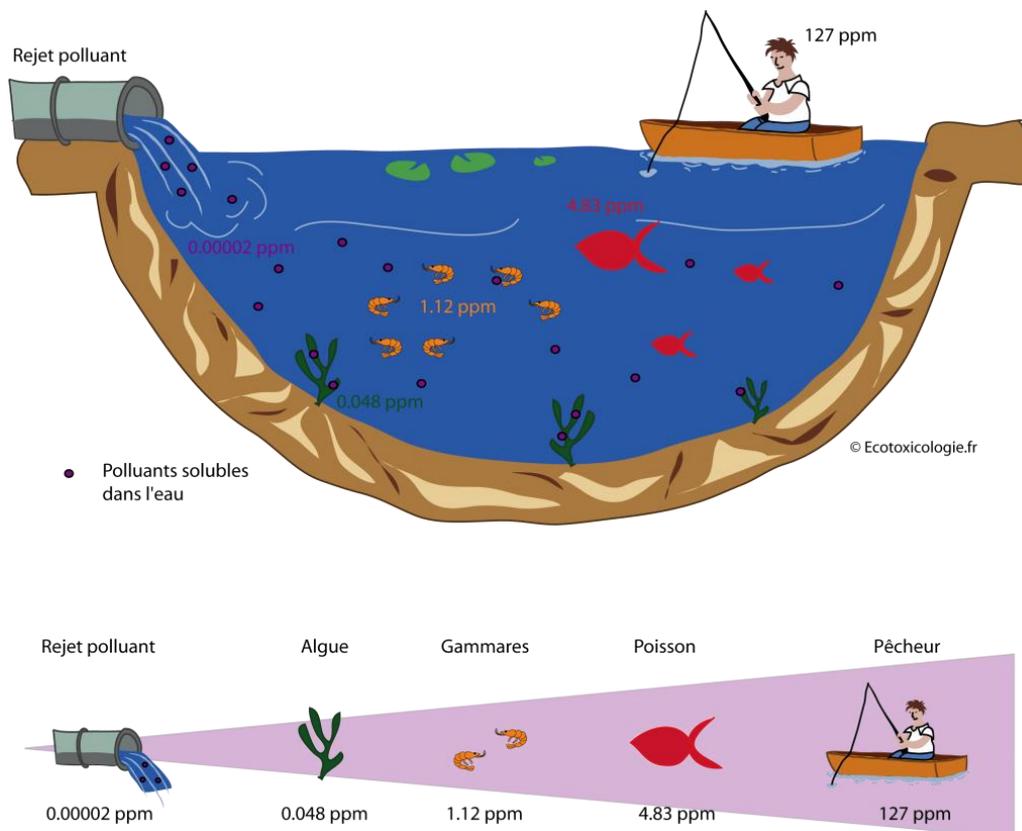


Figure 15 : Phénomène de bioamplification d'un polluant dans la chaîne alimentaire (ppm= partie par million = milligramme par litre ou milligramme par kilo)

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 chaîne alimentaire**.

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

Bibliographie :

- 1- Ballerini D., Gatellier C., Vogel T. (1998). Techniques de traitement par voie biologique des sols pollués. Ed Ademe. Angers France. 247 p.
- 2- Bliefert C & Perraud R.(2002).Chimie de l'environnement. Ed ERPI. 477 p.
- 3- Garrec J-P & Van Haluwyn D. (2002). Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Ed TEC& DOC. 117p.
- 4- Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec. (2004).Notion de Toxicologie.Ed Bibliothèque nationale du Québec.64p.
- 5- Ramade F. (2000) .dictionnaire encyclopédique des pollutions : les polluants de l'environnement à l'homme. Ed édiscience international. Paris.640 p.
- 6- Ramade F. (2005). Ecologie appliquée.Ed Dunod. 904p.
- 7- Reichl F-X. (2009). Guide pratique de toxicologie pour les professionnels de l'industrie, la santé, l'environnement. Ed de boeck .343p.

Webographie :

- 1- www.ecotoxicologie.fr. [<https://ecotoxicologie.fr/notions-essentielles>]. Les bioessais de laboratoire : évaluer la toxicité des polluants en conditions contrôlées Consulté le 01/09/2022.
- 2- www.cnesst.gouv.qc.ca/fr. [<https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/toxicologie/notions-toxicologie/pages/06-dose-relations-toxiques.aspx>].Notion de toxicologie. Consulté le 10/09/2022.