ECOTOXICOLOGIE DES VEGETAUX

CHAPITRE I : introduction

L'écologie est la science globale des relations des organismes avec leur monde extérieur environnant dans lequel sont incluses au sens large, toutes les conditions d'existence (HAECKEL, 1866).

La Toxicologie selon TRUHAUT, (1976). C'est la discipline qui étudie les substances toxiques (poisons) qui provoquent des altérations biologiques menant à la mort si les perturbations physiologiques sont intenses.

La toxicologie est à la fois descriptive et explicative.

Elle évalue la toxicité (tests) et précise les mécanismes**.**

***Écotoxicologie est définie selon RAMADE (1971)**: La science qui étudie les modalités de contamination de l'environnement par des agents polluants naturels ou artificiels produits par l'activité humaine.

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

elle étudie aussi les interactions et les effets *in situ* de contaminants sur les êtres vivants (végétaux, animaux) à différents niveaux

-organismes

-populations

-peuplements

-communautés

Ainsi que le devenir de ces substances dans les écosystèmes.

1.1-Qu'est ce que l'écotoxicologie ?

L'écotoxicologie étudie les impacts des agents polluants sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes.

L'objectif de l'écotoxicologie est avant tout la **prévention**. Pour cela, l'écotoxicologie caractérise le **risque d'une substance** qui est fonction :

a-du **danger de la substance**,

b- de la probabilité d'exposition à cette substance.

a-Le danger est fonction de la toxicité intrinsèque de la substance. Cette toxicité est évaluée en laboratoire à l'aide de tests sur différents organismes de la chaîne trophique, et permet de déterminer:

-une **concentration en dessous de laquelle la substance n'a pas d'effets nocifs** sur l'organisme testé.

1-1-1 Un agent polluant est une substance naturelle ou de synthèse que l'homme introduit dans l'environnement ou dont l'homme modifie la répartition dans les différents compartiments de la biosphère.

Les effets d'un agent polluant dépendent de plusieurs facteurs, comme par exemple l'évolution du polluant dans le milieu, le mode et la voie d'administration du polluant.

1-Origine **:**

-Agents polluants naturels (lave, fumés de volcans, coliformes fécaux transférés du sols vers des eaux marines…).

-Agents polluants artificiels (insecticides agricoles…).

2-Nature:

-Agents polluants chimiques (pesticides, oxyde d'azote émis par les automobiles…)

-Agents polluants physiques (rayons ultraviolet…).

-Agents polluants biologiques (bactéries de biodégradations).

3-Effet

une contamination soit un déséquilibre des teneurs naturelles (Francis, 1994) et sa réversibilité se révèle souvent lente.

1-1-2 objectifs de l'ecotoxicologie:

L'écotoxicologie a deux objectifs principaux :

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

Elle doit donc dépasser les simples constats de niveaux de pollution et de toxicité pour appréhender les mécanismes responsables de la bioaccumulation et des transferts des contaminants au sein des systèmes biologiques ainsi que les processus entraînant les effets sub-létaux.

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

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

1-2 Qu'est ce que Pollution?

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

Ces effets altèrent:

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

Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, hydrauliques et autres produits biologiques.

La pollution est donc une dégradation de l'environnement par l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol de matières n'étant pas présentes naturellement dans le milieu. Elle entraine une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces incapables de s'adapter au changement.

1- 3 Qu'est ce que Polluant

- Désigne un agent physique, chimique ou biologique qui provoque une gêne ou une nuisance dans le milieu liquide ou gazeux. Au sens large, le terme désigne des agents qui sont à l'origine d'une altération des qualités du milieu.
- Pour les polluants qui ont un effet nocif sur les organismes vivants, on réserve le terme de **contaminants**.
- On peut désigner sous le terme de polluant toute substance artificielle produite par l'homme et dispersée dans l'environnement.

4 – Comment mesurer l'impact d'un polluant

1-CRITÈRES DE MESURE

L'exposition peut se faire à court terme ou à moyen/long terme. Il y a 5 critères pour évaluer l'impact d'une substance anthropique :

a-Quantité
Se mesure généralement par analyse chimique. Les concentrations sont exprimées en ppm (partie par million c'est-à-dire 1/106 g) ou ppb (partie par billion soit 1/109).

b-Toxicité

C'est la dose qui fait le poison. La toxicité s'exprime donc par 4 paramètres : Dose, Nature (forme chimique, réactivité, solubilité), Temps d'exposition et Voie d'infiltration.

La toxicité est donc la particularité propre à diverses substances dont l'absorption a pour effet de perturber le métabolisme des êtres vivants.

c- Persistance

Elle dépend des paramètres physico-chimiques du polluant.

Ces paramètres sont importants car un changement de pH peut permettre à des substances adsorbées de se retrouver désorbées. On retrouve donc 4 classes de substances : les solubles (nitrobenzène, phénols), les volatiles (chloroformes), les liposolubles (avec un Koc et un Pow élevées comme le PCB, le DDT, et l'HCB) et les intermédiaires non-volatiles (organophosphorés).

d-Bioaccumulation, bioconcentration, biomagnification.

e-biotransformation, mutagénicité, géotoxicité

2-Les bioessais sont des procédures effectuées en laboratoire et destinées à déterminer, à l'aide d'expérimentations, les activités et/ou particularités des substances chimique. Cela permet de déterminer notamment la toxicité (ces tests doivent alors nous permettre de quantifier cette toxicité, fixer les limites maximales ou tolérables, standardiser des tests et dire s'il faut retirer de la circulation certains composés toxiques).

Ces tests doivent être simples, rapides, reproductibles, sensibles, peu onéreux, et représenter toutefois correctement les conditions naturelles. On en trouve 3 types :

- Tests de létalités
- Tests sublétaux
- Tests à long terme

4-critères pour évoluer 'impact d'une substance entropique:

Les effets de substances polluantes peuvent être évalués en **laboratoire :tests in vitro** :ils consistent à évaluer l'effet d'un composé sur des cellules.

tests in vivo : ils consistent à exposer un organisme vivant à la substance testée. 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, de l'eau avec différentes quantités d'un polluant afin d'évaluer l'effet de ce polluant sur la survie et reproduction des animaux. Un des aquariums ne contient pas de polluant : c'est le témoin qui sert de référence pour détecter d'éventuels effets du polluant.

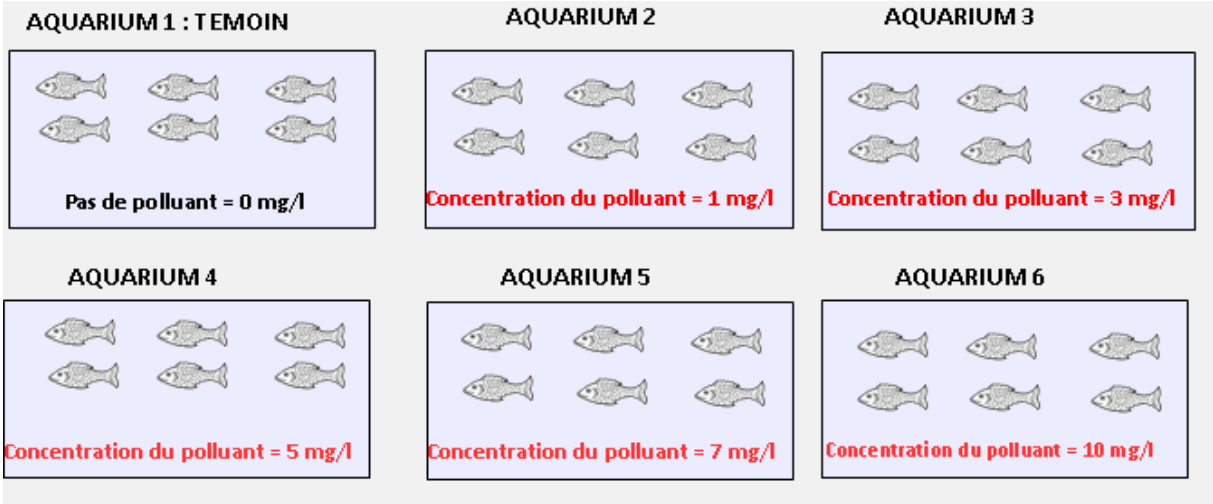


Figure1: Les effets de substances polluantes

4-quantité et concentration

4-1 la quantité est Tout ce qui peut être **mesuré** ou nombré, de tout ce qui est **susceptible d'accroissement** ou de **diminution.**
def2: Une quantité **représente** un nombre variable et plus ou moins vague de choses ou de personnes.
4-1 concentration , rapport d'une quantité de matière par rapport à un volume, exprimée en mol/L.

L'hypothèse de base de la toxicologie est qu'il existe une relation entre la dose (quantité), la concentration à l'endroit touché et les effets qui en résultent.

5-La demi-vie

La **demi-vie** est le temps mis par une substance (molécule, médicament ou autres) pour perdre la moitié de son activité pharmacologique ou physiologique.

Le terme demi-vie est alors souvent mal interprété : deux demi-vies ne correspondent pas à la vie complète du produit.

il correspond aussi au temps nécessaire pour que, après l'administration d'un médicament ou molécule, sa concentration plasmatique diminue de moitié. La demi-vie est exprimée en unité de temps et peut varier de quelques minutes à plusieurs semaines selon la substance.

La fraction de médicament éliminée en fonction du temps dépend donc de sa demi-vie (tableau I) et l'on considère que la quasi-totalité du médicament est éliminée au bout de 5 demi-vie.

Nombre de demi-vie	Fraction éliminée (% dose administrée)
1	50
2	75
3	87
4	94
5	97

chapitre 2: toxicité , teste et évaluation du risque en Ecotoxicologie

1-1 La toxicité : C'est la dose qui fait le poison. La toxicité s'exprime donc par 4 paramètres : Dose, Nature (forme chimique, réactivité, solubilité), Temps d'exposition et Voie d'infiltration. La toxicité est donc la particularité propre à diverses substances dont l'absorption a pour effet de perturber le métabolisme des êtres vivants.

On distingue deux types de toxicité :

a_ Toxicité aigue : intoxication dont l'intensité est telle qu'elle entraine rapidement la mort des individus. On évalue alors, dans de tels cas, la viabilité de l'organisme intoxiqué.

b_ Toxicité chronique : intoxication appliquée selon une intensité sublétale, n'entrainant des séquelles prolongées ou irréversibles qu'après de longues périodes d'exposition. On évalue ici surtout le disfonctionnement de l'organisme intoxiqué. Il est dur pour les industriels d'investir financièrement dans les études de toxicité chronique, car ça ne se voit par de suite et ça coute cher.

1-2 l'évaluation de la toxicité

Dans un labo, l'évaluation de la toxicité d'un produit passe par des mentions obtenues par tests sur 24, 48 ou 72h en concentration élevée. On peut alors déterminer :

o **DL50** (Dose létale 50) ou **CL50** (Concentration létale 50) qui sont les dose ou concentration à laquelle la moitié des organismes meurent.

o **CE50** : concentration efficace 50, c'est-à-dire concentration pour laquelle un des critères de détermination de l'effet toxique autre que la mort est observé chez 50 % des individus.

o CI50 : concentration d'inhibition 50, soit la concentration pour laquelle 50 % des individus se retrouvent avec une motricité inhibée.

o **KD50** : Knock-down 50, c'est-à-dire la concentration à laquelle 50 % des individus ont une incoordination motrice ou une incapacité à voler.

1-3 facteurs affectant ou modifiant la toxicité:

1-3-1 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 .

1-3.2 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.

a-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 influencée par la masse de tissus adipeux, la déshydratation, etc.

- **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.

1.3 .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.

1-4 évaluation des risques :

On s'est préoccupé des risques pour la santé tout au long de l'histoire, mais l'intérêt pour cette question s'est accru au cours des dernières décennies et de nouvelles perspectives se sont ouvertes. L'analyse des risques s'est rapidement développée en un ensemble d'activités centrées sur l'identification, la quantification et la caractérisation des menaces qui pèsent sur santé humaine et l'environnement. Elles sont regroupées sous la dénomination générale **d'*évaluation des risques***.

L'évaluation des risques est au cœur de l'analyse des risques relatifs à la biosécurité, Elle est née principalement de la nécessité de prendre des décisions en matière de protection de la santé et de la vie.

L'évaluation des risques est une méthode développée pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses.

***Évaluation du 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. bioessais).

***Exposition** : Évaluation du niveau de pollution auquel est exposé l'écosystème .
L'information relative à «l'exposition» concerne d'une part l'importance des sources de pollutions et d'autre part le niveau de contamination résultant dans les milieux.

exp L'évaluation des risques sanitaires comporte 4 phases : l'identification des dangers, la définition de relations dose-réponse, l'évaluation de l'exposition humaine **et** la caractérisation des risques sanitaires.

1-5 Que nous apprends un teste toxicologique:

Afin de gérer les enjeux liés à la présence de substances toxiques et de leurs effets sur le milieu aquatique, il est nécessaire de développer des testes qui permettent **d'évaluer les conséquences des contaminations.**

Ces testes vient compléter les informations qui peuvent être recueillies par les mesures de concentration dans le milieu, lesquelles permettent d'évaluer le niveau d'exposition.

La finalité de ces tests est de mesurer la toxicité des substances dans des conditions comparables et fiables.

a. Bioconcentration:

La bioconcentration désigne la tendance d'une substance à s'accumuler dans un organisme vivant. Exemple de bioconcentration : concentration du mercure par les poissons.

C'est aussi la capacité qu'a un organisme de stocker une substance à une concentration supérieure à celle de l'eau ou de la nourriture.

BCF (facteur de bioconcentration)= Concentration du polluant dans l'organisme/concentration du polluant dans le milieu.

b. Biomagnification:

Autre terme employé pour désigner l'augmentation des concentrations de certains métaux au fur et à mesure que l'on progresse dans la chaîne trophique.

Elle désigne une accumulation progressive d'une substance *via* la chaîne alimentaire (Ft).
Ft (Facteur de transfert) = Concentration du polluant dans le niveau trophique n+1/ Concentration du polluant dans le niveau trophique n.

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

c. Bioaccumulation:

La bioaccumulation désigne la capacité des organismes à absorber et concentrer certaines substances chimiques dans tout ou partie de leur organisme.
La bioaccumulation est donc un processus selon lequel une substance polluante présente dans un biotope pénètre et s'accumule dans tout ou partie d'un être vivant et peut devenir nocive ; par extension, le résultat de ce processus.
c'est a dire que certains polluants peuvent devenir toxique en s'accumulant dans certains organes par petites doses jusqu'à l'apparition d'effets nocifs pour l'organisme.
La bioaccumulation est un terme qui englobe biomagnification et bioconcentration.
La bioaccumulation résulte d'un phénomène de transfert et d'amplification biologique de la pollution à travers les biocénoses contaminées.

La bioaccumulation s'appuie sur le coefficient de partage octanol/eau ou KOW qui mesure le degré de lipophilie (ou d'hydrophobie) d'une substance, c'est-à-dire une estimation du partage de la substance entre l'eau et les graisses des tissus pour prédire la capacité d'un polluant de s'accumuler dans les graisses.
Le Kow est souvent exprimé par son logarithme,
log Kow = log P.
une substance est bioaccumulable si :
Kow ≥ 100, ou Log P ≥ 3.
Ex:

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

La bioaccumulation est appréhendée indirectement par la relation: BCF = KOW x Concentration de la substance dans les lipides.

La substance est alors bioaccumulable si BCF > 100.

d. Biodisponibilité:

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

Il s'agit d'un des paramètres essentiels de la toxicité car un changement de la biodisponibilité d'un polluant équivaut à un changement de toxicité.

Un polluant, dans un compartiment, peut-être à la fois toxique et non toxique pour un organisme en raison de sa biodisponibilité ou non.

Exemple : le mercure (Hg) fixé dans les sédiments est sous cette forme, non toxique pour les organismes qui vivent dans les sédiments car non biodisponible. L'Hg qui se trouve en solution dans les sédiments est, à l'inverse, toxique pour les organismes des sédiments car biodisponible pour ceux-ci et son relargage dans l'eau augmente son risque toxique par transfert indirect via la chaîne alimentaire.

La biodisponibilité, paramètre essentiel de la toxicité.

e. Biodégradation:

Désigne le processus de dégradation moléculaire de substances organiques par l'action de micro-organismes aérobies ou anaérobies.

Ce mécanisme peut être appliqué pour la dégradation de polluants.

-La biodégradation est tout processus biologique qui entraîne la conversion d'une substance organique en dérivés ultimes organiques et inorganiques chimiquement distincts de la substance initiale **(Shimps *et al.*, 1990).**

-La biodégradation est une dégradation biologique effectuée par **des micro-organismes (bactéries, champignons…).** Elle est due à l'abondance et à la variété des micro-organismes dans le milieu considéré. **L'attaque** d'une molécule chimique par **des micro-organismes a** pour aboutissement sa **minéralisation** et l'obtention **de métabolites** de faibles poids moléculaires facile à **éliminer.**

Deux types de biodégradation sont distingués :

- **La biodégradation primaire (biotransformation):** a été définie comme la perte de l'identité chimique du produit initial. C'est une attaque partielle de la molécule, aboutit à l'apparition de métabolites persistants, moins ou plus toxiques que la molécule initiale.

- **La biodégradation ultime (minéralisation):** dégradation complète conduisant à la formation de CO_2, méthane, eau, éléments minéraux. Cette biodégradation, si elle se fait rapidement, conduit à l'élimination du polluant dans le milieu.
  Le potentiel de biodégradation d'un produit chimique peut être estimé par le rapport entre la demi-vie (le temps nécessaire pour réduire la quantité de produit à 50% de sa valeur initiale) et le temps de résidence.

f-Qu'elles sont les propriétés physico-chimiques des molécules qui déterminent la dispersion des polluants ?

• **La solubilité** d'un composé dans l'eau est exprimée en mg/L à 20°C. Les composés de solubilité plus élevée sont normalement plus facilement lixiviables dans les eaux souterraines.

• **La pression de vapeur** est la pression à laquelle un liquide et sa vapeur sont en équilibre à une température donnée. Plus la pression de vapeur d'un liquide est élevée plus ce liquide s'évapore rapidement.

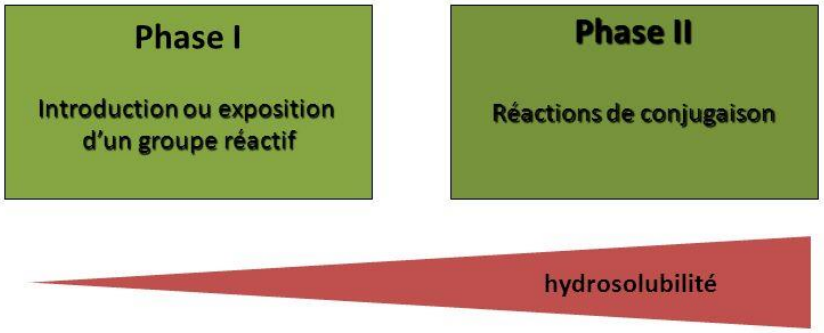
1-7 La formation de métabolites

Normalement réservé à la détoxication, le système mono-oxygénasique entraîne à l'occasion des phénomènes d'activation toxique à l'origine de véritables « bavures(signes) ». En effet, quelques substrats non toxiques par eux-mêmes sont transformés par les mono-oxygénases en métabolites réactifs, doués d'une forte réactivité chimique qui leur permet de se fixer de façon covalente sur des **macromolécules** cellulaires, **protéines** ou **acides nucléiques**. Lorsque ces métabolites réactifs apparaissent en petite quantité, diverses enzymes de phase II (époxyde-hydrolase, glutathion-transférases, UDP-glucuronosyltransférases) les transforment en molécules généralement sans danger. Mais, si leur production devient trop importante, les systèmes de phase II sont débordés et la fixation covalente des métabolites réactifs sur les macromolécules entraîne des effets délétères sur les fonctions cellulaires. Lorsque les métabolites réactifs se fixent sur l'ADN, ils peuvent entraîner des modifications (mutations somatiques) dont la répétition est susceptible de favoriser l'apparition de cancers. Ainsi

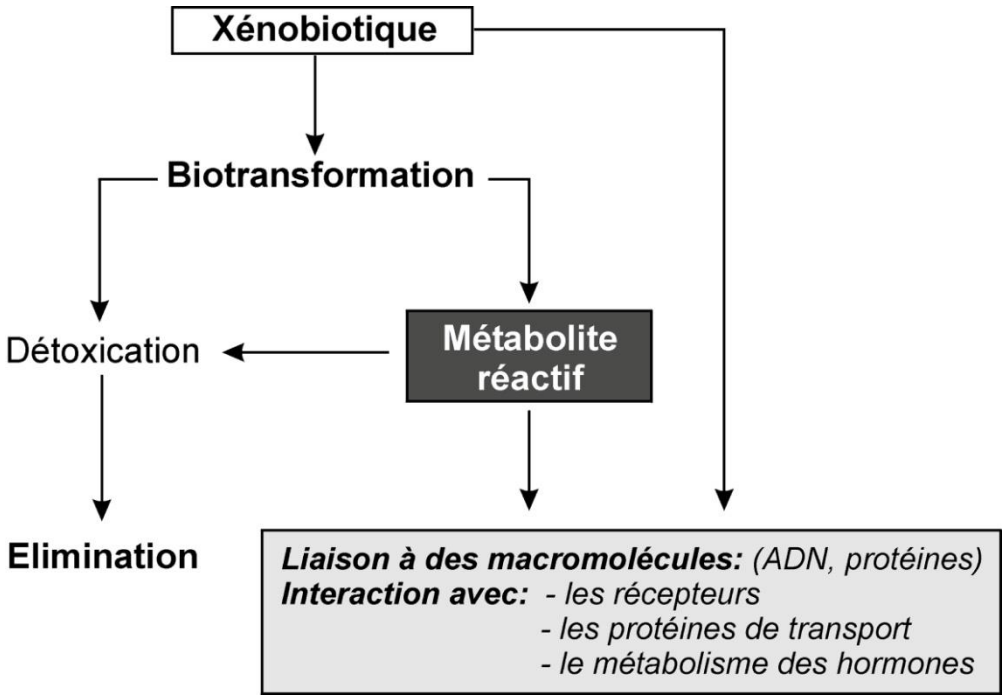
l'activation toxique du benzopyrène contenu dans la fumée de tabac a-t-elle été décrite comme un des facteurs possibles de la cancérogenèse pulmonaire.

Métabolisme des Xénobiotiques

principaux tissus responsables du métabolisme des xénobiotiques : surtout le foie mais aussi rein, tube digestif, poumon, peau, enzymes plasmatiques, etc.



Résultat du passage par les deux phases :
- production d'un dérivé conjugué hautement soluble qui rend l'élimination rénale possible (en particulier par sécrétion tubulaire active pour certains conjugués anioniques)



CHAPIRE 3: Pollution , impacts sur l'environnement

Les polluants environnementaux de tous genres contaminent l'eau, l'air et la terre mettant en péril les humains et les écosystèmes. De plus, ils sont souvent sources de conflit entre populations et industrie.

1-1 répercussion sur les écosystèmes

La pollution a des effets sur la santé et sur l'environnement et donc des répercussions économiques.

Selon l'OMS (Organisation mondiale de la santé) dans ses lignes directrices relatives à l'air (synthèse de l'évaluation des risques, mise à jour 2005) : « Le fait de respirer de l'air pur est considéré comme une condition essentielle de la santé et du bien-être de l'homme. Cependant la pollution de l'air continue de faire peser une menace importante sur le plan sanitaire partout dans le monde..Plus de 2 millions de décès prématurés peuvent chaque année être attribués aux effets de la pollution de l'air extérieur dans les villes et de l'air à l'intérieur des habitations.

1-1-1 impact sur une population

La pollution peut être responsable d'effets toxiques aigus ou chroniques pour les écosystèmes.

- *effet aigu,* lorsque le toxique est introduit brutalement à une concentration élevée dans le milieu; on observe un déséquilibre brusque de l'écosystème, avec mortalité massive d'un grand nombre d'organismes appartenant à des niveaux trophiques différents.

- *effet chronique,* lors d'exposition à des concentrations faibles mais prolongées. On observe alors une modification progressive de l'écosystème, qui pourra au final entraîner des changements aussi graves qu'un accident aigu.

Une pollution provoque généralement, plus ou moins brutalement, la mort d'un certain nombre d'individus des populations sensibles. Cependant, ces populations ne seront pas forcément décimées(détruites) . En effet, il est fréquent que tous les individus d'une population n'expriment pas toutes leurs capacités, en particulier reproductrices, en raison d'un effet de masse et de phénomène de compétition intraspécifique.

Il peut donc y avoir une réponse au polluant par augmentation du taux de survie ou du taux de reproduction chez les individus dont les performance n'auront pas été altérées.

Il peut alors se manifester une action sélective sur les individus, aboutissant à la sélection d'un phénotype particulier.

Les effets à moyen ou long terme conduisent souvent à une baisse de croissance des populations les plus sensibles, en raison de perturbation de la fécondité ou de la fertilité et de l'augmentation de la mortalité juvénile.

Les populations à fort degré *d'hétérogénéité démographique ou génétique* résistent beaucoup mieux à la pollution que les populations homogènes.

Outre ces effets toxiques **physiologiques**, on redoute également de la part des polluants, des effets **génotoxiques** (mutations, adduits à l'ADN, lésions chromosomiques…) pouvant conduire à une altération du matériel génétique de la population. L'étude de ces phénomènes correspond à une nouvelle discipline **: l'écogénotoxicologie.**

1-1-2 impact sur un peuplement ou biocenose:

L'effet toxique direct sur une ou plusieurs populations peut avoir des répercussions directes sur toute la biocénose, en raison des interactions multiples entre les espèces.

La pollution peut ainsi entraîner:

*** une modification de la pression alimentaire sur les producteurs**

Le plus souvent par augmentation de la sensibilité des végétaux aux consommateurs primaires Ainsi, par exemple, les insectes attaquent plus facilement les plantes exposées au dioxyde soufre (SO_2); la pollution atmosphérique peut donc favoriser la pullulation des ravageurs.

*** une réduction de la biodiversité** :

L'élimination directe des espèces les plus sensibles entraine la disparition de leurs prédateurs. Si les prédateurs sont touchés d'abord, il s'ensuivra une pullulation des espèces proies.

*** un effet sur les successions végétales ou animales**

L'exposition permanente à un polluant toxique maintiendra la communauté à un stade juvénile et non climacique, où seules les espèces les plus tolérantes pourront survivre.

*** un effet sur la dominance**

Les espèces spécialisées sur le plan alimentaire sont plus affectées que les généralistes

*** une perturbation de la décomposition des matières organiques et du cycle des éléments**, par action directe sur les bactéries et les invertébrés saprophages(Qui se nourrit de substances organiques en décomposition).

1-2- les biomarqueurs

1-2-1 Un biomarqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau: moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant (Lagadic *et al.,* 1997).

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

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

L'inhibition ou l'induction des biomarqueurs sont de bons outils écotoxicologiques pour:

- Évaluer l'exposition
- Évaluer les effets potentiels des xénobiotiques sur l'organisme.

. Types :

- **Biomarqueurs d'exposition**: substance exogène ou son métabolite, ou le produit d'une interaction entre un agent xénobiotique et une molécule ou une cellule-cible, qui est mesurée dans un compartiment à l'intérieur d'un organisme.

- **Biomarqueurs d'effet**: altération biochimique, physiologique ou d'un autre type qui peut être mesurée à l'intérieur d'un organisme et qui, suivant son ampleur, peut être reconnue comme un trouble de la santé ou une maladie, établie ou potentielle.

- **Biomarqueurs de sensibilité**: indiquent l'existence d'une sensibilité différente au toxique dans une partie de la population**.**
- **Caractéristiques :**

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

1-2-2 les bioindicateurs:

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

Les effets sont observables au niveau de l'individu et/ou la population et se traduisent par des altérations morphologiques, comportementales, tissulaires, physiologiques, biochimiques, moléculaires,….etc (biomarqueurs).

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

Les individus ou les espèces sensibles vont disparaître sous la pression du polluant (mort ou fuite), laissant la possibilité aux espèces résistantes de se développer davantage.

Ce phénomène c'est l'analyse des présences/absences. Une espèce bioindicatrice traduit la contamination du milieu par son abondance ou son absence**.**

a-Types :

- **bioindicateur d'accumulation:** qui accumule une ou plusieurs substances issues de son environnement permettant ainsi d'évaluer son exposition.
- **bioindicateur d'effet**: qui permet de révéler des effets spécifiques ou non lors de l'exposition à une ou plusieurs substances issues de son environnement.

b-Caractéristiques :

- Être connu scientifiquement (ubiquiste, abondant et sédentaire).
- Être lié ou corrélé à des fonctions de l'écosystème.
- Intégrer des propriétés ou des processus physiques, chimiques et biologiques.
- Pouvoir prendre en compte différents aspects.
- Présenter des qualités de mesure.
- Echantillonnage facile, efficace et peu cher.
- Élevage possible en laboratoire

1-2-3 espèces a risque (menacée) : Une espèce est considérée comme menacée lorsque ses effectifs ont atteint un niveau si faible que les probabilités qu'elle disparaisse deviennent très élevées. La notion de menace d'extinction n'est pas aisée à définir car elle dépend d'un grand nombre d'éléments. En outre, toutes les espèces ne sont pas soumises au même degré de risque.

Les principaux facteurs pris en compte pour établir le niveau de menace sur une espèce sont les suivants :

– **La répartition géographique** : en général, la menace qui pèse sur une espèce est d'autant plus grande que son aire de répartition est réduite.

- **Le niveau des populations** : il est évident que plus le nombre d'individus dans les populations animales est faible, plus les risques de disparition sont élevés. Cependant, le décompte des individus est souvent difficile, voir impossible soit en raison de leur petite taille, soit parce qu'ils vivent dans des milieux vastes ou difficiles à pénétrer, comme des océans ou des forêts tropicales.

– La biologie : le mode de vie d'une espèce influe beaucoup sur sa sensibilité à l'extinction. Par exemple, un régime alimentaire spécialisé ou la sensibilité à des maladies, des prédateurs ou au climat sont des facteurs de risque importants. Malheureusement, la biologie de nombreuses espèces, pour les invertébrés comme pour les vertébrés, est insuffisamment connue.

– Les particularités de la reproduction : les risques de disparition d'une espèce sont plus élevés si elle a un cycle de reproduction long ou atteint sa maturité sexuelle très tardivement. Par exemple, certaines tortues marines ne se reproduisent pas avant 40 ans.

L'UICN (Union mondiale pour la nature) a établi sur des bases scientifiques une classification des espèces en **8 catégories** selon le degré de menace qui pèse sur elles : espèce entièrement éteinte, espèce éteinte à l'état sauvage, espèce gravement menacée d'extinction, espèce menacée d'extinction, espèce vulnérable, espèce à faible risque, espèce insuffisamment connue, espèce non-étudiée. Toute espèce figurant dans les catégories « gravement menacée d'extinction », « menacée d'extinction » et « vulnérable » est considérée comme une espèce menacée.

1-2-3 espèces cibles : Les espèces cibles sont des espèces menacées nécessitant être sauvegardées, ce qui signifie que la sauvegarde de ces espèces est l'objectif des mesures.

1-3 classification des polluants:

***Critères et classification**

-La nature des polluants est extrêmement variée.

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

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

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

1-Polluants Physiques : radiations ionisantes, pollution thermiques, nucléaires.

Example de polluant physique "le radon"
Gaz radioactif d'origine naturelle Provient en particulier des roches granitiques et volcaniques
L'exposition au radon accroît de façon certaine le risque de cancer du poumon

2-Polluants Chimiques: hydrocarbures, matières plastiques, pesticides, nitrates, phosphates, métaux lourds, fluores…

Exemple de pollution chimique: Les engrais chimiques, *nitrates* et *phosphates*, provenant du lessivage des terres cultivées, représentent aussi une importante cause de pollution des eaux continentales.

Dans les régions d'agriculture intensive, les rivières, les lacs, les nappes phréatiques renferment des concentrations anormalement élevées de ces sels minéraux nutritifs. Il s'agit donc de la conséquence directe de la fertilisation des sols

3-Polluants Biologiques: matières organiques mortes, agents pathogènes**,** Moisissures, Bactéries, Virus**,** Allergènes des animaux domestiques ou des blattes**,** Pollens.

Ils peuvent notamment se nicher dans les moquettes, matelas, revêtements muraux, matériaux d'isolation, installations sanitaires, circuits de distribution d'eau et les systèmes de climatisation.

1-4 Micropolluants et Macropolluants:

Qu'est-ce qu'un micropolluant ?

C'est un polluant chimique susceptible d'avoir une action toxique a des concentrations infimes, de l'ordre du microgramme (0,000001 g/L = 1µg/L) au nanogramme (0,000000001 g/L = 1 ng/L) par litre dans un milieu donné.

Il en existe deux grandes categories :

1) Les micropolluants inorganiques(minéraux)

Ce sont les métaux dits lourds comme le mercure, le plomb, le zinc, le chrome, le cadmium, le cuivre et le nickel notamment, Silice, Silicates, Amiante, Fluorocarbone (gaz propulseur des aérosols nocif pour la couche d'ozone).

2) Les Micropolluants organiques non pesticides: Ce sont principalement des substances produites par l'industrie chimique, comme par exemple

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

3- Pesticides et biocides: "les **pesticides** (insecticides, raticides, fongicides, et herbicides) sont des composés chimiques dotés de propriétés toxicologiques, utilisés par les agriculteurs pour lutter contre les animaux (insectes, rongeurs) ou les plantes (champignons, mauvaises herbes) jugés nuisibles aux plantations".

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

Macropolluants: Ensemble comprenant les matières en suspension, les matières organiques et les nutriments, comme l'azote et le phosphore. Les macropolluants peuvent être présents naturellement dans l'eau, mais les activités humaines en accroissent les concentrations (rejets d'eaux usées, industrielles ou domestiques, ou pratiques agricoles).

Exemple des macropolluant: (Phosphates ,Nitrates)