

Chapitre 3 : Les Polluants : Toxicité et Classification

1. Définitions :

Agent toxique : Toute substance ou mélange de substances ayant des effets délétères sur un organisme vivant. Il peut s'agir de produits chimiques, biologiques ou physiques pouvant causer des intoxications aiguës ou chroniques. Elle est capable de provoquer des effets néfastes sur un organisme vivant en perturbant ses fonctions biologiques et pouvant entraîner la mort. ».

Xénobiotique : Substance chimique, biologique, physique exogène étrangère à un organisme vivant ou à un écosystème introduite dans l'organisme vivant, qu'elle soit naturelle ou synthétique (médicaments, les polluants environnementaux, les pesticides et autres composés chimiques introduits dans un organisme.

Normes : Les normes en écotoxicologie sont des seuils réglementaires définissant les niveaux maximaux admissibles de substances toxiques dans l'environnement (eau, sol, air) afin de protéger les écosystèmes et la biodiversité. Elles sont établies à partir d'études écotoxicologiques évaluant l'impact des contaminants sur les organismes vivants et les écosystèmes. Ces normes sont utilisées pour la gestion des polluants et servent de références dans les réglementations environnementales, les évaluations des risques écologiques et les politiques de protection de la faune et de la flore.

Les experts ont défini des doses maximales dites admissibles pour les principaux contaminants présents dans l'environnement. Ces doses sont considérées comme inoffensives pour notre espèce, même en cas d'exposition ininterrompue pendant toute une vie. Ces normes ne s'appliquent qu'aux produits industriels et agricoles ayant fait l'objet d'un test de toxicité et d'une demande d'agrément.

Les doses toxiques :

En écotoxicologie, les doses toxiques désignent les concentrations ou quantités d'une substance chimique capables d'induire des effets néfastes sur les organismes vivants et les écosystèmes. Ces doses sont évaluées à partir de tests écotoxicologiques sur différentes espèces et servent à établir des seuils réglementaires pour limiter l'exposition aux contaminants.

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".

Principales Mesures de Toxicité en Écotoxicologie (doses toxiques) :

-Dose Journalière Admissible (ADI - Acceptable Daily Intake) :

L'ADI est la quantité d'une substance (ex. additifs alimentaires, résidus de pesticides) qu'un individu peut ingérer quotidiennement toute sa vie sans risque appréciable pour la santé. Elle est généralement exprimée en mg/kg de poids corporel/jour et est déterminée en appliquant un facteur de sécurité (généralement 100) à la dose sans effet observé (NOAEL) issue d'études toxicologiques sur l'animal (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).

-Exemple : L'ADI du glyphosate fixée par l'EFSA est de 0,5 mg/kg/jour.

-Valeur Limite d'Exposition (TLV - Threshold Limit Value):

Le TLV est la concentration maximale d'une substance dans l'air qu'un travailleur peut inhaler sans effet nocif, en supposant une exposition quotidienne de 8 heures par jour, 5 jours par semaine. Il est

fixé par des organismes comme l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

- Exemple : TLV-TWA du benzène = 0,5 ppm (1,6 mg/m³) selon l'OSHA.

-Dose Maximale Tolérable (DMT - Maximum Tolerable Dose) : Cette notion implique le concept de rapport bénéfice/risque. La dose maximale tolérable est établie en fonction d'un seuil économiquement rentable à ne pas dépasser vers le bas et du danger que les polluants fabriqués présentent pour la santé publique.

La DMT est la dose la plus élevée d'un produit chimique qu'un organisme peut tolérer sur une longue période sans entraîner d'effets toxiques irréversibles. Elle est utilisée notamment en pharmacologie et en écotoxicologie.

- **Exemple :** La DMT du plomb pour l'Homme est d'environ 3 µg/kg/jour selon l'OMS.

- Concentration Maximale Recommandée sur le Terrain (MRFC - Maximum Recommended Field Concentration) :

Le MRFC est utilisé en écotoxicologie agricole et environnementale pour définir la concentration maximale d'un pesticide ou d'un contaminant qui peut être appliquée dans un écosystème sans causer d'effets écotoxicologiques inacceptables. C'est la concentration maximale recommandée par le fabricant pour un traitement en plein champ.

- **Exemple :** Pour un herbicide, le MRFC peut être fixé à 10 mg/kg de sol afin de prévenir des effets négatifs sur les organismes du sol (ex. vers de terre).

-Dose Sans Effet (NOEL - No Observed Effect Level) :

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 qu'elle 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).

La NOEL est la dose la plus élevée d'une substance testée qui ne provoque aucun effet toxique observable sur un organisme exposé, dans le cadre d'études expérimentales. Elle est utilisée pour établir des valeurs réglementaires comme l'ADI (Dose Journalière Admissible).

- **Exemple :** La NOEL du bisphénol A (BPA) chez le rat est estimée à 5 mg/kg/jour selon l'EFSA.

-Limite Maximale de Résidu (LMR - Maximum Residue Limit) :

Les limites maximales de résidu (LMRs) ou « tolérances » sont les concentrations en résidu 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. Pour calculer les LMRs, il faut connaître la ADI 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.

La LMR est la concentration maximale autorisée d'un résidu chimique (pesticides, médicaments vétérinaires) dans les aliments, sans danger pour la santé humaine. Elle est exprimée en ppm (Ce qui correspond au mg de résidu par kg de denrée alimentaire) et déterminée à partir de l'ADI et des bonnes pratiques agricoles.

- **Exemple :** La LMR du glyphosate dans le blé est de 10 mg/kg selon l'Union Européenne.

-Dose Létale 50 (DL50 50% ou concentration Létale (CL50)) :

La DL50 est la dose d'une substance qui provoque la mort de 50 % des individus testés dans une étude de toxicité aiguë. Elle est exprimée en mg/kg de poids corporel et sert à évaluer la toxicité aiguë d'un produit chimique.

- Classification de la toxicité aiguë selon la DL50 (orale, rat) :

- < 5 mg/kg → Extrêmement toxique
- 5 - 50 mg/kg → Très toxique
- 50 - 500 mg/kg → Toxique
- 500 - 5000 mg/kg → Modérément toxique
- > 5000 mg/kg → Faiblement toxique

Toxicité aiguë (à court terme) : Elle désigne les effets nocifs qui apparaissent rapidement après une exposition courte et intense à une substance chimique (quelques heures à quelques jours). Elle est souvent évaluée à l'aide de la DL50.

- Exemple : L'inhalation de chlore gazeux à haute concentration peut provoquer une irritation pulmonaire sévère en quelques minutes.

- Toxicité chronique (long terme) : désigne les effets néfastes qui se manifestent après une exposition prolongée et répétée sur une longue durée à une substance, même à faibles doses, pouvant entraîner des effets à long terme comme des cancers, des perturbations endocriniennes ou des troubles neurologiques (**Fig .1**).

- Exemple : L'exposition continue au plomb peut provoquer des troubles cognitifs et neurologiques chez les enfants.

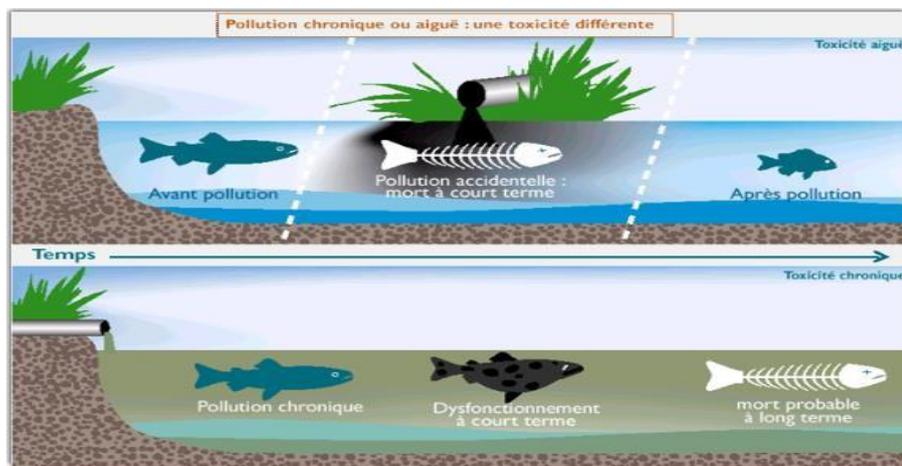


Figure 1. Toxicité aiguë et toxicité chronique.

2. 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.

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

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**).

Relation Dose-Réponse :

La relation dose-réponse est un principe fondamental en toxicologie et écotoxicologie qui décrit la variation de l'effet biologique en fonction de la dose d'un toxique administré. Cette relation est essentielle pour établir des seuils réglementaires et évaluer les risques pour la santé humaine et l'environnement.

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**).

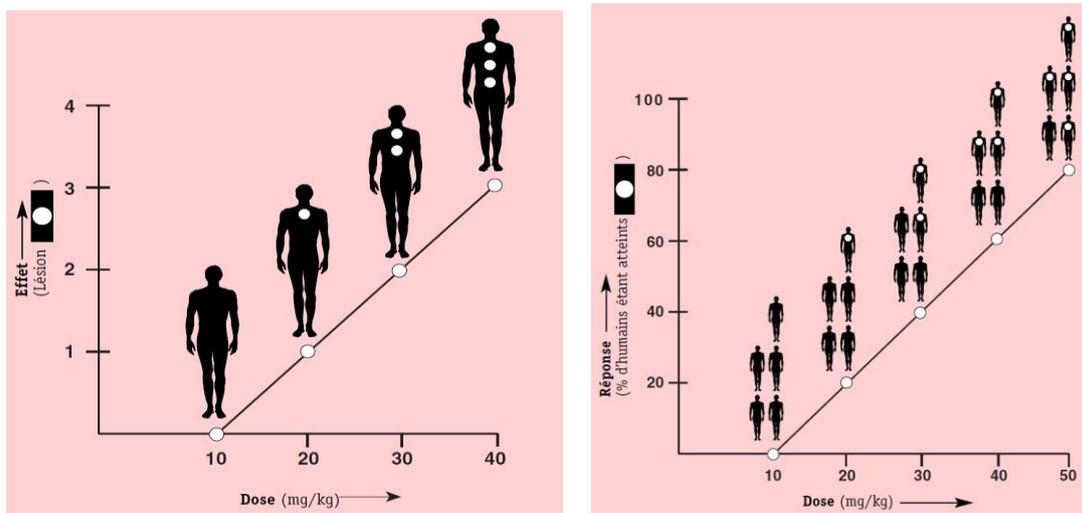
Relation Dose-Effet : Contrairement à la relation dose-réponse, la relation dose-effet analyse l'intensité d'un effet biologique en fonction de la dose d'exposition, sur un individu donné. Elle ne prend pas en compte la variabilité entre individus.

- **Exemple** : Une augmentation progressive de la dose de mercure peut provoquer une dégradation progressive des fonctions neurologiques.

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.

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** (**Fig.2**).



a
Figure 02 : Relation dose-effet (a),

b
Relation dose-réponse (b)

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. Classification des polluants :

Les polluants peuvent être classés selon plusieurs critères, en fonction de leur nature, leur impact et leur mode d'action, ...Etc.

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

- **Polluants chimiques** : métaux lourds (plomb, mercure), pesticides, hydrocarbures, perturbateurs endocriniens.

- **Polluants biologiques** : bactéries, virus, champignons pathogènes, toxines naturelles (ex. mycotoxines).

- **Polluants physiques** : rayonnements ionisants, bruit, microplastiques, nanoparticules.

3.2. Classification selon le compartiment de l'environnement qui l'affecte : la cible est le compartiment de l'environnement affecté par le polluant. Le polluant est de type atmosphérique, lithosphérique ou hydrosphérique ou plusieurs à la fois.

- **Pollution de l'air** : dioxyde de soufre (SO₂), particules fines (PM10, PM2.5), NO_x (les oxydes nitreux), O₃ (ozone), PCB (Polychlorobéphenyl), CO₂ (dioxyde de carbone).

- **Pollution de l'eau** : Résidus pharmaceutiques, Nitrate (NO₃⁻), Pesticides (DDT), Métaux lourds (Cd, Mg, Etc).

- **Pollution des sols** : Hydrocarbures, PCB (Polychlorobéphenyl), Pesticides (DDT), Métaux lourds (Cd, Mg, ..Etc).

- **Pollution marine** : microplastiques, hydrocarbures.

3.3. Classification Selon la Cible Interne dans l'Organisme : Un polluant qui se trouve dans l'environnement va affecter d'une façon directe ou indirecte un organisme vivant quel que soit une plante, un animal, un champignon... Ces organismes constituent une cible pour ce polluant. Ex : le méthyl-mercure est un polluant qui affecte le système nerveux chez les mammifères on dit que le méthyl-mercure est **neurotoxique** :

- **Polluants Neurotoxiques** : plomb, mercure, pesticides organophosphorés.

- **Polluants Hépatotoxiques** : aflatoxines, alcool, solvants industriels.

- **Polluants Reprotoxiques** et perturbateurs endocriniens : bisphénol A (BPA), phtalates.

- **Polluants Cancérogènes** : benzène, dioxines, amiante.

3.4. Classification selon le Mode d'Action des Polluants : effet directe ou indirecte :

- **Effet direct** : toxicité immédiate (ex. intoxication au cyanure).

- **Effet indirect** : bioaccumulation et bioamplification (ex. mercure dans la chaîne alimentaire).

Exp : 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.

3.5. Classification selon la durabilité des effets des polluants sur les êtres vivant :

- **Polluants persistants** : DDT, PCB (restent longtemps dans l'environnement).

- **Polluants biodégradables** : déchets organiques, certains hydrocarbures légers.

3.6. Classification selon leurs tailles d'importance : macro polluant visible à l'œil nu ou micropolluant remarquée par microscopes :

- **Macro-polluants** : déchets plastiques, pollution sonore.
- **Micro-polluants** : pesticides, résidus médicamenteux.
- **Nano-polluants** : nanoparticules d'argent, de titane.

3.6.1. Macropolluants : 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). Ils sont soit naturellement présents soit apportés par les activités humaine et évalués en mg/L. Se divise en 03 catégories :

a. Les matières en suspension (MES) : ce sont des matières insolubles, fines, minérales ou organiques, biodégradables ou non. Leur principal effet est de troubler l'eau : **la turbidité**. La turbidité est élément important de la qualité de l'eau, tant pour la vie aquatique : elle réduit la transparence, empêche la pénétration de la lumière, ce qui a pour effet de freiner la photosynthèse, élément important de la croissance des végétaux, et pour la production d'eau potable : elle réduit l'efficacité des traitements de l'eau. Dans le milieu naturel, elles proviennent de l'effet de l'érosion et de débris d'origine organique. Les eaux résiduaires urbaines et industrielles augmentent la MES, notamment les rejets en provenance des industries agroalimentaires et de la chimie.

b. Les matières organiques. Ex : matières organique ou issue d'une matière organique.

c. Les nutriments : Les nutriments sont des matières nutritives. Il s'agit principalement de l'azote et de phosphore. N et P sont ce qu'on appelle en agronomie deux facteurs limitants. Dans l'eau peuvent provoquer une prolifération végétale (eutrophisation), qui va à son tour entraîner une demande d'oxygène et donc un appauvrissement en oxygène dans l'eau et à terme une diminution, voir la disparition de la faune aquatique.

3.6.2. Micropolluants : ce terme désigne un composé minéraux ou organiques dont les effets sont toxiques à très faibles concentrations ($\mu\text{g/L}$). Se divise en 03 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 à 2,5 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 ($\mu\text{g/Kg}$) de l'ordre de $1/10^9$ nommé ppb (partie par billion).

3.6.2.1. Micropolluants minéraux : les micropolluants minéraux sont étroitement liés aux implantations industrielles notamment aux activités les plus polluantes (les activités minières...)

Exp: Métaux lourds, Silice, Silicates, ...

3.6.2.2. Micropolluants organiques non pesticides : la plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles sont en excès dans le milieu. On distingue les matières organiques biodégradables (les polluants d'origine humaine les plus classiques : résidus des activités agricoles) ou non (hydrocarbures).

Ex: Hydrocarbures aromatiques polycycliques et hétérocycliques, Paraffines chlorées, Aromatiques halogénés, Aromatiques halogénés avec oxygène, Aromatiques volatils, Amines aromatiques.

3.6.2.3. Micropolluants issus de la microbiologie : cette catégorie est d'origine naturelle ou humaine. Ils se trouvent dans les cours d'eau en aval de toutes les grandes agglomérations.

Ex: Bactéries, virus, parasites .

3.6.2.4. Pesticides et biocides : les pesticides et biocides sont destinés à lutter contre les ravageurs des cultures tels que les insecticides (insectes), herbicides (mauvaises herbes), les fongicides (champignons)

Ex: Triazines, carbamates.

3.6.3. Différences entre les macropolluants et les micropolluants : Les micropolluants se distinguent des autres polluants par les caractéristiques suivantes :

- les sources des micropolluants sont le plus souvent diffuses et difficilement contrôlables.
- leur faible concentration dans les déchets (gazeux, liquides ou solides) rend leur élimination difficile et leur analyse délicate et nécessitant un ensemble de techniques particulières.
- ils pénètrent facilement dans l'organisme.
- ils entraînent des perturbations des écosystèmes ou des troubles métaboliques (par modification des réactions biochimiques de base telles le cycle de Krebs ou par compétition au niveau d'une fonction essentielle) chez les organismes pour des doses très faibles, généralement inférieures à 1 ppm (1 mg/kg).
- ils sont souvent peu biodégradables, s'accumulent dans l'environnement et leurs produits de dégradation peuvent être aussi dangereux que les molécules mères.

Tableau 1 : Comparaison d'un macropolluant (phosphates) et d'un micropolluant (PCB).

Concentrations	Phosphates	PCB
Eaux d'égouts (mg/l)	1	$0,5 \times 10^{-3}$
Poissons des eaux polluées (g/kg)	12	5×10^{-3}
Production mondiale (tonnes/an)	60×10^6	40×10^3
Quantité journalière rejetée (g/hab./j)	6	8×10^4

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 :

-Également connues 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 μm Nanoparticules : particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 0.05 ou 0.03 μm (**Fig. 3**).

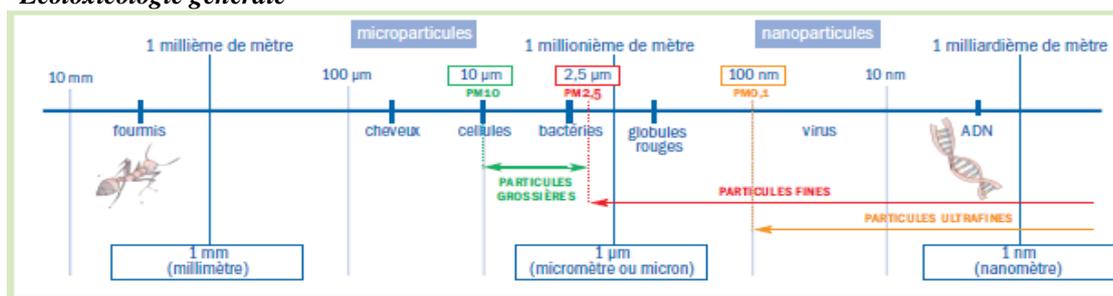


Figure 03 : diamètres des microparticules et nanoparticules.

4. Règle des trois actions polluantes :

4.1. Liaison aux constituants chimiques des organismes au moyen d'un groupement chimique simple :

Une substance est qualifiée de polluant lorsqu'elle est étrangère au milieu naturel mais qu'elle peut se lier aux constituants chimiques des organismes au moyen d'un groupement chimique simple. Ainsi, sa nature étrangère au milieu modifie les réactions biochimiques de base. Si le mercure métallique présente un certain danger (troubles du métabolisme et déséquilibre au niveau des écosystèmes terrestres et aquatiques), ce sont surtout les sels de mercure et les dérivés organomercuriels qui sont les plus à craindre pour la santé et l'environnement). Le mercure fait partie d'une famille de pesticides organo-mercuriels très efficaces dans la protection des semences contre divers parasites (bactéries, champignons, insectes).

Exemple: le méthyl-mercure ou le nitrate de méthyl-mercure (la liaison électrovalente leur confère une hydrosolubilité donc une entrée facile dans le milieu aquatique tandis que le radical méthyl leur permet de s'insérer dans les cycles biochimiques). Beaucoup de micropolluants agissent selon ce type de mécanisme. C'est le cas, en particulier, des micropolluants cancérigènes tels les amines aromatiques ou les hydrocarbures polycycliques aromatiques.

4.2. Caractéristiques réactionnelles et structurales du polluant semblables à celles des fonctions chimiques constitutives des organismes :

Le polluant présente des caractéristiques réactionnelles et structurales semblables à celles des fonctions chimiques constitutives des organismes. Il y a alors compétition.

Exemple: L'inhibiteur de l'acétylcholinestérase. Cette enzyme inactive un médiateur chimique l'acétylcholine qui est libéré dans l'intervalle synaptique et se fixe sur les plaques motrices du muscle provoquant l'apparition d'un potentiel d'action responsable des contractions musculaires. A défaut d'enzymes inactivant ce médiateur chimique, il s'établit un blocage de la synapse et une contraction continue des muscles aboutissant à un état tétanique. Les insecticides organophosphorés, tels le malathion et les esters phosphoriques de synthèse, sont de puissants inhibiteurs des acétylcholinestérases. En effet, ils agissent en se fixant de façon irréversible sur les sites actifs de l'enzyme. Dès lors, l'acétylcholine s'accumule dans les synapses provoquant une stimulation constante des muscles entraînant une paralysie tétanique. Les insecticides organophosphorés sont encore utilisés. Ils présentent une toxicité aiguë très élevée provoquant des troubles profonds du système nerveux suite à un blocage des acétylcholinestérases.

4.3. Déplacement par le polluant des équilibres dans l'environnement :

Le polluant est un composé naturel et un élément essentiel, tel le phosphore ou le zinc par exemple, dont la présence dans l'environnement en concentration élevée déplace les équilibres.

Exemple : Le phénomène d'eutrophisation. Lorsque les nutriments comme les phosphates ou les nitrates provenant des amendements agricoles ou des détergents, sont présents en quantités très

importantes dans l'environnement aquatique, il peut y avoir un développement excessif des producteurs, ce qui va entraîner une consommation accrue d'oxygène. Ce phénomène particulier de pollution est bien connu ; il s'agit de l'eutrophisation.

5. Pollution des écosystèmes et évaluation :

5.1. Effet des polluants : La toxicité de ces produits s'exerce à différents niveaux de l'écosystème :

- soit sur les proies des animaux Vertébrés et/ou Invertébrés.
- soit sur les constituants de leurs habitats (herbicides).
- soit sur la faune elle-même (réduction de la fertilité et augmentation de la mortalité).

5.2. Evaluation des effets : Le développement de l'industrie, surtout après la deuxième guerre mondiale, a entraîné une contamination de l'environnement par une quantité et une diversité croissante de substances toxiques d'origine industrielle telles les métaux lourds, et d'origine agricole telles les fertilisants ou les pesticides. Les effets des polluants sont souvent peu décelables rendant ainsi leur évaluation difficile. On peut distinguer principalement deux types d'effets :

- les effets immédiats de mortalité (**toxicité aiguë**) sont difficiles à constater surtout quand il s'agit de fortes doses de polluants.

- les effets à long terme (**toxicité chronique**) sont plus importants et se manifestent à des doses plus faibles.

5.3. Les tests d'écotoxicité : sont réalisés sur des espèces sauvages ou qui peuvent servir de modèle pour ces espèces :

- Pour les écosystèmes terrestres, des tests de toxicité chronique (toxicité à long terme) sont réalisés sur diverses espèces d'oiseaux telle la caille japonaise (*Coturnix coturnix japonica*) qui est la plus utilisée.

- Pour les écosystèmes aquatiques, de nombreux tests ont été développés tant sur des Vertébrés, des Invertébrés que sur des végétaux. Signalons les tests réalisés sur des algues unicellulaires, sur les Daphnies et sur diverses espèces de poissons appartenant aux genres *Salmo* (*S. gairdneri*) et *Brachydanio* (*B. rerio*). Ces deux espèces de poissons servent surtout dans le cadre d'étude d'impact des pesticides organochlorés.

6. Niveaux d'étude des polluants

L'action des polluants peut être envisagée à 5 niveaux :

- a/ le niveau biochimique et cellulaire,
- b/ le niveau des organismes,
- c/ le niveau des populations,
- d/ le niveau des écosystèmes naturels,
- e/ le niveau des écosystèmes contrôlés (=écosystèmes expérimentaux ou bassins de simulations).

6.1. Le niveau biochimique et cellulaire : Les effets des polluants sont examinés aux plans enzymologie, endocrinologie et histologie.

6.2. Le niveau des organismes : L'impact des polluants est étudié sur :

- la croissance, le développement et la reproduction,
- la physiologie comme par exemple le métabolisme respiratoire,
- le comportement : On distingue quatre seuils de réponses éthologiques de l'animal en présence d'un polluant ou altéragène 1/ détection, 2/ altération du comportement appétitif, 3/ comportement adaptatif de défense et 4/ comportement aberrant.
- la pathologie,
- l'étude de bioindicateurs (Moules).

6.3. Le niveau des populations :

Il s'agit de travaux à vocation écologique de longue durée qui seront réalisés sur le terrain ; pour chaque population étudiée sont considérés les paramètres suivants :

- paramètres de structure : détermination des classes d'âge et des classes de génération.
- paramètres de fonction : détermination des taux de croissance des individus des différentes classes d'âge et les taux de reproduction par exemple.

6.4. Le niveau des écosystèmes naturels :

Il s'agit de déterminer d'une part les paramètres de structure en précisant les espèces appartenant aux différents niveaux trophiques (producteurs, herbivores, carnivores...), d'autre part de déterminer les paramètres de fonction qui touchent diverses activités métaboliques comme l'activité bactérienne et l'activité photosynthétique. Ces études sont plus difficiles à mettre en œuvre, plus coûteuses et de longue durée que les études réalisées aux niveaux précédents.

6.5. Le niveau des écosystèmes contrôlés :

Il n'est qu'une variante du niveau des écosystèmes naturels. Il permet de combler le vide qui existe entre les essais de laboratoire et l'observation du milieu naturel. Les études portent sur de petits écosystèmes tels les microcosmes (quelques litres) ou mésocosmes (quelques m³). La durée est comprise entre 1 mois et 1 année. On distingue deux types de recherche :

A/ les recherches menées en laboratoire (difficilement extrapolables pour le milieu naturel), se réalisant au niveau biochimique et des organismes et permettent d'établir des seuils d'action (toxicité d'une substance et normes) pour un niveau donné.

B/ des recherches de terrain (niveau des populations et niveau des écosystèmes naturels) plus réaliste sur le plan écologique, plus longue et coûteuse.

7. 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 chimique de se propager dans d'autre domaine de l'environnement depuis l'endroit où ils ont été appliqués ou utilisées pour la première fois.

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

La rapidité de transport réalisé dans un compartiment à 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).

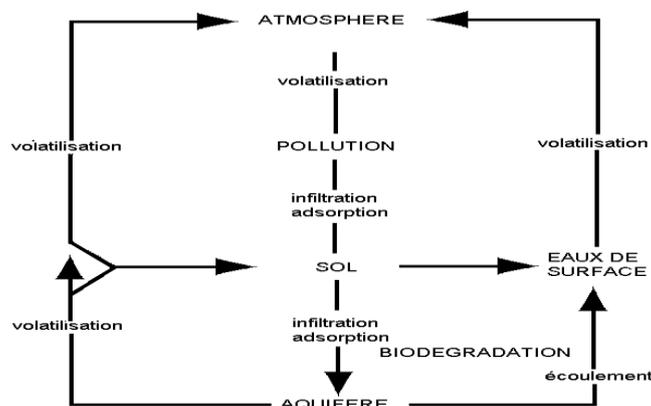


Figure 04 : Comportement du polluant dans son environnement