

Classification des substances toxiques (Classification des agents polluants)

- I. Classification des agents polluants selon leur nature, que ce soit solide, liquide ou gazeux, d'origine minérale ou organique on distinguera :

Agents physiques : rayonnements ionisants (UV, Rx et radioactivité), réchauffement artificiel du milieu ambiant dû à une source de chaleur technologique.

Agents chimiques : substances minérales, organique abiotiques ou encore de nature biochimique.

Agents biologiques : micro-organismes pathogènes, population d'espèces exotiques invasives introduites artificiellement par l'homme, OGM.

II. **Classification écologiques** : en prenant en considération le milieu ou les compartiments de la biosphère :

- ✓ Air (Atmosphère).
- ✓ Eaux (Hydrosphère).
- ✓ Sols (Pédosphère).

III. **D'un point de vue toxicologique**, en prenant en considération la manière par laquelle les polluant contaminent les organismes, on distinguera ainsi selon :

La voie de contamination :

- ✓ **Voie respiratoire** : Des polluants par inhalation, Une contamination **pulmonaire** (chez les espèces terrestres), une absorption **transbranchiale** (chez les espèces aquatiques).
- ✓ **Voie Trans tégumentaire** : Des polluants par contacte), transcutanée à la suite du contact de la peau ou du tégument avec le polluant
- ✓ **Voie orale** : Ou encore par ingestion.

Chez les végétaux cela correspond à l'absorption :

- ✓ Transtomatale.
- ✓ Transfoliaire.
- ✓ Transradiculaire.

Selon le mode d'action :

- **Directe** :(Arsénique qui tue l'animal).
- **Indirect** : (les substances qui affectent la couche d'ozone en provoquant indirectement une augmentation des rayons UV qui sont cancérogènes et mutagènes).

Selon le mode d'action sur les plantes :

1. **Déformations morphologiques** : Les plantes peuvent présenter des déformations au niveau des feuilles, des tiges ou des fleurs en réponse à l'exposition à des substances toxiques.
2. **Nécrose** : Il s'agit de la mort des tissus végétaux, généralement caractérisée par des zones brunes ou noires sur les feuilles, les tiges ou les racines.
3. **Chlorose** : C'est le jaunissement anormal des feuilles, souvent dû à une altération de la synthèse de la chlorophylle ou à des déficiences nutritionnelles.
4. **Ralentissement de la croissance** : Les substances toxiques peuvent inhiber la division cellulaire ou la synthèse des protéines, entraînant un retard dans la croissance des plantes.
5. **Réduction de la reproduction** : Les substances toxiques peuvent diminuer la production de fleurs, de fruits ou de graines chez les plantes, réduisant ainsi leur capacité à se reproduire.
6. **Déficiences nutritionnelles** : Certaines substances toxiques peuvent interférer avec l'absorption des nutriments essentiels, ce qui peut entraîner des carences nutritionnelles chez les plantes.
7. **Altération de la conductivité hydraulique** : Certains toxiques peuvent obstruer les vaisseaux conducteurs de sève des plantes, affectant ainsi leur capacité à transporter l'eau et les nutriments.
8. **Affaiblissement du système immunitaire** : Les plantes exposées à des substances toxiques peuvent présenter une susceptibilité accrue aux maladies, aux ravageurs ou aux stress environnementaux en raison d'un affaiblissement de leur système immunitaire.

Selon la durabilité de leurs effets :

- Substances chimiques dégradables.
- Substances chimiques biodégradables.
- Celles qui ne le sont pas

On prend en considération dans le cas des polluants radioactifs la durée de 1/2 vie qui varie de quelques microsecondes à des centaines de milliers d'années.

Selon l'importance de la dose posant la toxicité :

Micropolluants : les substances actives minérales ou organiques toxiques à des concentrations infimes de l'ordre de $\mu\text{g/l}$ ou moins.

Macropolluants : sont des substances ou de molécules d'origine naturelles ou non, se trouvant dans l'environnement à des concentrations anormales, avec des effets négatifs sur les vivants.

Selon leurs cibles dans l'environnement :

- ✓ Toxique pour les plantes.
- ✓ Pour les animaux à sang chaud.

✓ Pour les animaux à sang froid

- **Selon la cibles interne de l'organisme affecté (Selon la cible biologique) :**

Pour les animaux :

- ✓ Neurotoxique : affecte le système nerveux ou une de ses parties.
- ✓ Néphrotoxique : affect les reins
- ✓ Hépatotoxique : affect le foie

Pour les végétaux :

Les substances toxiques pour les végétaux peuvent être classées en fonction de leur cible biologique, c'est-à-dire les parties ou les processus spécifiques des plantes qu'elles affectent. :

1. **Toxines cellulaires** : Ces substances affectent les structures cellulaires des plantes, telles que les membranes cellulaires, les organites, ou les processus biochimiques à l'intérieur des cellules.
2. **Toxines du métabolisme** : Elles interfèrent avec les processus métaboliques normaux des plantes, tels que la photosynthèse, la respiration cellulaire, ou la synthèse des protéines.
3. **Toxines du système racinaire** : Ces substances affectent les racines des plantes, inhibant leur croissance, leur développement ou leur capacité à absorber l'eau et les nutriments du sol.
4. **Toxines du système foliaire** : Elles agissent principalement sur les feuilles des plantes, causant des dommages tels que des nécroses, des chloroses, ou des altérations de la structure foliaire.
5. **Toxines du système reproducteur** : Elles perturbent les processus de reproduction des plantes, y compris la floraison, la formation des graines ou des fruits, et la germination des graines.
6. **Toxines du système hormonal** : Ces substances interfèrent avec le système hormonal des plantes, perturbant leur croissance, leur développement, ou leurs réponses aux stimuli environnementaux.
7. **Toxines du système vasculaire** : Elles affectent les tissus vasculaires des plantes, perturbant le transport de l'eau, des nutriments, et des composés organiques à travers la plante.
8. **Toxines du système de défense** : Certaines substances peuvent interférer avec les mécanismes de défense naturels des plantes contre les maladies, les ravageurs ou les stress environnementaux

Classification selon les mécanismes d'action :

1. Inhibiteurs de la photosynthèse : Ces substances perturbent le processus de photosynthèse des plantes en inhibant les enzymes impliquées dans la fixation du dioxyde de carbone ou en bloquant la transmission de la lumière nécessaire à la photosynthèse.

2. Inhibiteurs de la respiration cellulaire : Elles perturbent la respiration cellulaire des plantes en interférant avec les processus métaboliques qui produisent de l'énergie à partir du glucose, comme le cycle de Krebs ou la phosphorylation oxydative.

3. Inhibiteurs de la synthèse des protéines : Ils bloquent la synthèse des protéines dans les cellules végétales, ce qui perturbe la croissance et le développement des plantes en limitant la production de nouvelles protéines nécessaires à leurs fonctions vitales.

4. Toxines de membrane : Ces substances perturbent l'intégrité des membranes cellulaires des plantes, ce qui peut entraîner une fuite de composés cellulaires essentiels, une altération de la perméabilité membranaire ou une rupture cellulaire.

5. Inhibiteurs de la division cellulaire : Ils interfèrent avec le processus de division cellulaire des plantes, bloquant la mitose ou la méiose et perturbant ainsi la croissance et le développement des tissus végétaux.

6. Inhibiteurs de l'absorption d'eau et de nutriments : Ces substances perturbent la capacité des plantes à absorber l'eau, les ions minéraux et les nutriments essentiels du sol, ce qui peut entraîner un stress hydrique ou nutritionnel.

Selon la sévérité :

Les substances toxiques sur les plantes peuvent être classées selon leur sévérité en fonction des dommages qu'elles causent. Il est essentiel de noter que la sévérité des effets dépend également de la sensibilité des plantes à une substance donnée, ainsi que de facteurs tels que la dose et ou la concentration, la durée d'exposition, les conditions environnementales et le stade de développement des plantes.

1. Substances légèrement toxiques :

- Ces substances peuvent causer des dommages mineurs ou temporaires aux plantes.
- Les effets toxiques sont généralement limités et les plantes peuvent se rétablir avec le temps.

- Les symptômes peuvent inclure une légère chlorose, des taches foliaires mineures ou une croissance retardée.

- **Exemples** : certains engrais mal équilibrés, certains pesticides à faible concentration.

2. Substances modérément toxiques :

- Ces substances peuvent causer des dommages plus significatifs aux plantes.

- Les effets toxiques peuvent compromettre la croissance, la santé ou la productivité des plantes.

- Les symptômes peuvent inclure une chlorose prononcée, des nécroses localisées, une réduction de la floraison ou de la fructification.

- **Exemples** : certains herbicides, fongicides ou insecticides à concentration moyenne.

3. Substances hautement toxiques :

- Ces substances peuvent causer des dommages graves, voire mortels, aux plantes.

- Les effets toxiques sont souvent rapides et peuvent être irréversibles.

- Les plantes peuvent présenter une nécrose étendue, un flétrissement sévère, une réduction significative de la croissance ou la mort.

- **Exemples** : certains herbicides à action rapide, certains fongicides ou insecticides puissants.

4. Substances extrêmement toxiques :

- Ces substances peuvent causer des dommages catastrophiques aux plantes à des concentrations très faibles.

- Les effets toxiques sont souvent mortels et peuvent entraîner la mort complète des plantes en peu de temps.

- Les symptômes peuvent inclure un flétrissement rapide, une mort des tissus végétaux, un dépérissement généralisé.

- Exemples : certains agents chimiques industriels, certains produits phytosanitaires hautement concentrés

Classification Ecologique (Air, Eau et Sol)

I. Les polluants de l'air : on parle alors des polluants atmosphériques :

1. Les principaux polluants atmosphériques :

Les substances polluantes l'atmosphère peuvent se réunir en 2 groupes principaux :

- ✓ Les gaz représentent 90% de la masse des polluants atmosphériques.
- ✓ Les particules le plus souvent solides (aérosols) qui représentent les 10% qui restent.

1.1. Les principaux polluants gazeux :

a) Dérivés du carbone :

Le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO₂) :

- ✓ C'est un constituant normal de l'atmosphère.
- ✓ Il s'y rencontre en octobre 2923 à raison de 422,17 ppm.
- ✓ Deuxième GES après la vapeur d'eau (CO₂ ; 26%, Vapeur d'eau ; 60%)
- ✓ Son taux n'est pas stable, il présente de très fortes variations au cours des temps géologique.
- ✓ La quantité totale de ce gaz d'origine technologique rejetées dans l'atmosphère est estimée aux environ de 25 milliards de tonnes.

Origine :

- ✓ Combustion des combustibles fossiles.
- ✓ 2/3 des GES est représenté par le CO₂

Le monoxyde de Carbone (CO):

- ✓ Dans les conditions naturelles, ses concentrations comprises en moyenne entre 0.005 _ 0.2 ppm.
- ✓ La concentration moyenne admise pour l'ensemble de la troposphère est 0.11 ppm

Origine :

- ✓ Combustion incomplète de matières fossiles et de la biomasse (petites et moyennes installations mal réglées et surtout par les moteurs à combustion interne, essence particulièrement).

Les hydrocarbures :

Le méthane (CH₄) : Naturellement présent dans l'atmosphère. Il constitue un puissant gaz à effet de serre. La concentration mondiale moyenne en octobre 2024 était 1,94 ppm.

- ✓ CH₄ est un puissant GES, il est 80 fois plus puissant que le CO₂
- ✓ 1 ppb de CH₄ contribue autant au réchauffement de l'atmosphère que 21 ppb de CO₂.
- ✓ Sa concentration atmosphérique s'accroît de 1.4 ppb/an, par suite des rejets anthropiques.

Origine : anthropogéniques (fuites de gaz, grisou, agriculture et élevage) et des sources naturelles (marais, dégradation biologique, termites, ...).

Autres hydrocarbures :

1. Hydrocarbures aromatique polycycliques (HAP).

- ✓ La molécule est constituée par la fusion d'un nombre variable de cycle benzéniques.
- ✓ Le plus simple est le Naphtaline (C₁₀H₈), avec 2 cycles).
- ✓ Le plus complexe est le Coronène (C₂₄H₁₂), avec 7 cycles.
- ✓ Les HAP ont une faible solubilité dans l'eau.
- ✓ Les points d'ébullition et de fusion sont très élevés.

2. Aldéhydes :

Acroléine ; est une substance chimique de formule brute **C₃H₄O** très toxique et irritant. Se trouve aux alentours des installations industrielles ; raffineries de pétrole, incinérateurs d'ordures ménagères, ainsi ils rejetées par la combustion incomplète.

Dérivés du Soufre :

Dioxyde de soufre (SO₂)

Origines :

- ✓ Emission lors de la combustion des matières fossiles (charbon, fioul).
- ✓ Emissions naturelles importantes lors des éruptions volcaniques.

Sources principales :

- ✓ Centrales thermiques
- ✓ Grosses installations de combustion industrielles,
- ✓ Incendies de forêt
- ✓ La métallurgie des métaux non ferreux

Effets sur la santé :

- ✓ Irritation à faible dose et affections respiratoires.
- ✓ À plus forte concentration pouvant aller jusqu'à provoquer des accidents cardio-vasculaires.

Effets sur l'environnement :

- ✓ Responsable des pluies acides avec leurs effets sur les végétaux.
- ✓ L'acidification des eaux continentales.
- ✓ Contribution à la dégradation des matériaux, donc des bâtiments et du patrimoine historique.

Effet du SO₂ sur les plantes et les organismes autotrophes

- ✓ L'action du SO₂ se traduit par un blocage de la phase lumineuse de la photosynthèse.
- ✓ Le SO₂ provoque la destruction de la chlorophylle (arrachement du Mg du noyau tétra pyrrolique de la molécule).
- ✓ L'apparition de taches brunes dans les chloroplastes des lichens et des algues

Hydrogène sulfuré (H₂S)

- Il existe naturellement dans l'atmosphère.
- Très toxique ; la concentration maximale admissible dans l'air est de 15 ppm.
- Produit par diverses fermentations anaérobique (processus de dégradations biologiques ou désulfuration dans les lacs).
- Il s'oxyde spontanément en SO₂ dans l'atmosphère
- Origine industrielle : installations pétrochimiques.
- Origine Naturelles : micro-organismes, Volcanisme.

C) Dérivés de l'azote

- Il existe plusieurs types d'aéropolluants azotés :
 - ✓ **Naturelles** : les oxydes d'azote (NO_x), l'ammoniac, microcristaux de nitrate ou de sulfate d'ammonium.
 - ✓ **Anthropique** : comme les PAN (peroxyacylnitrates).

Les oxydes d'azotes (NO_x) :

➤ Protoxyde d'azote = oxyde nitreux (N₂O):

- Sa concentration dans une atmosphère non polluée est de 0.25 ppm.
- Un puissant gaz à effet de serre (290 fois supérieur à celui de CO₂).
- Sa principale source technologique est due à la dénitrification des nitrates.

➤ Dioxyde d'azote (NO₂) = Peroxyde d'azote :

- Un polluant majeur avec le NO.
- Un gaz stable, fortement coloré en jaune.
- Se caractérise par une forte absorption des UV dans la bande de 300-400 μm.



- Engendrera une pollution photochimique
- La concentration normale de NO₂ dans l'air est estimée entre 1 ppt et 100 ppt.
- Est un élément secondaire, il se constitue :



Cette réaction sera réversible au-dessus de 600°C

➤ PAN (Pyroxyacylnitrates)

- Transformation des oxydes d'azote en Pyroxyacylnitrates dans les atmosphères urbaines polluées et ensoleillées
- Fréquentes dans l'air des villes à climat méditerranéen.
- Les PAN sont très toxiques pour les végétaux (la CL50 dans l'air est souvent de l'ordre de la ppm pour les expositions prolongées).
- Très irritants pour les muqueuses des animaux
- provoquent une forte irritation oculaire.

D. Dérivés halogénés

Sources :

- ❖ L'industrie chimique représente de façon directe ou indirecte une importante source d'émission de composés halogénés minéraux et organiques.
- ❖ L'électrochimie de l'alumine : une importante cause de pollution fluorée (F₆AlNa₃).
- ❖ Pollution atmosphérique par les composés organohalogénés (l'usage à vaste échelle de solvants chlorés (dichloréthane. Chlorure d'éthane)
- ❖ Combustion incomplète de certaines matières plastiques (PCV)

L'ozone

- ❖ L'ozone est un constituant naturel de l'atmosphère.
- ❖ Se rencontre à de faibles concentrations dans l'air au voisinage du sol variant selon l'intensité de l'irradiation UV.
- ❖ Dans des conditions ambiantes exemptes de pollution, environ 90% de l'ozone se trouve dans la stratosphère, et seulement 10% dans l'atmosphère que nous respirons.
- ❖ C'est un polluant « secondaire », car il n'est pas directement rejeté par une activité particulière. Il se forme à partir de polluants atmosphériques tels que des hydrocarbures, les oxydes de carbone et d'azote et des molécules organiques volatiles (CH₄, COV).

Les métaux lourds

- Les métaux sont émis dans l'air sous forme de très fines particules. Ces particules sont alors transportées par le vent et finissent par retomber :

- Au sol
 - Sur un plan d'eau
 - Sur le couvert végétal
- À des distances très variables de leur lieu d'émission.
 - Les conditions de transport des particules sont très fortement liées aux :
 - ✚ Conditions météorologiques
 - ✚ Leur taille
 - ✚ Leur composition physico-chimique.
 - L'estimation des niveaux de la pollution par les métaux, des mousses, des lichens et certaines espèces de plantes supérieures sont utilisées.

Sources :

- La plupart des métaux sont présente naturellement à l'état de trace dans le fond géochimique (sols, eaux)

Des quantités plus ou moins importantes sont également émises dans l'air par des sources d'émission naturelles ou liées aux activités humaines

- Deux catégories principales des sources atmosphériques sont distinguées :
 - Sources d'origines naturelles :
 - ✓ Les volcans (As, Ni, Hg, Zn).
 - ✓ Les feux de forêt (Zn).
 - ✓ L'érosion de la croûte terrestre (Al, As, Gr, Fe, Ni, V).
 - ✓ Les émissions biogéniques issues de la végétaux (Hg, Mo, As, Cd, Cu, Mn, Pb, Zn).
 - Sources d'origines anthropiques : liées

Les effets toxiques des substances toxiques sur les végétaux peuvent être variés et inclure une gamme de réponses physiologiques, biochimiques et morphologiques.