

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université de Hassiba Ben Bouaali - Chlef –

Faculté de sciences de la nature et de la vie

Département Eau, environnement et Développement Durable

Licence : Ecologie et environnement

Niveau : 3^{ème} Année (5^{ème} Semestre)

Cours : Pollution de l'environnement (Résumé)

Programme

1. Pollutions et implications écologiques (Nature et modalités de la pollution de la biosphère)
2. Mécanisme de dispersion et circulation des substances polluantes dans la biosphère
3. Pollution Atmosphérique
4. Pollution des sols
5. Pollution des eaux
6. Pollution Nucléaire

Pollution de l'environnement

Introduction

Ecologie et Environnement

Ecologie : Terme provenant du grec "Oikos" et qui signifie maison (sciences de l'habitat) et logos qui signifie discours, science qui étudie les conditions d'existence des êtres vivants (animaux et végétaux) en fonction du milieu naturel où ils vivent. C'est la science des rapports des êtres vivants entre eux et avec le monde extérieur.

C'est une science dont le domaine est très vaste et qui doit s'appuyer sur des disciplines variées telles que la climatologie, l'hydrologie, l'océanographie, la chimie, la géologie, la pédologie ainsi que les mathématiques, la physiologie, la génétique et l'éthologie.

Environnement : Le mot Environnement, d'origine anglaise, employé dès le XVI^e siècle pour signifier ce qui environne. Ce mot s'est substitué peu à peu au mot « milieu » vers la fin du XIX^e siècle. Aujourd'hui, il est considéré (dans sa définition générale) comme un ensemble des conditions naturelles ou artificielles (physiques, chimiques et biologiques) et culturelles (sociologiques) dans lesquelles les organismes vivants se développent (dont l'homme, les espèces animales et végétales) dans un écosystème qui représente l'ensemble des êtres vivants (la biocénose) et leur milieu de vie (le biotope).

L'environnement est souvent assimilé à la nature ou à l'écologie. Il regroupe, en fait, "tout ce qui nous entoure" ; on englobe donc dans ce terme général, l'environnement naturel, architectural, culturel...

1. Pollutions et implications écologiques (Nature et modalités de la pollution de la biosphère)

1.1. Définition des pollutions

La pollution est 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 entraîne 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.

1.2. Causes actuelles de pollution

- *Pollution liée à la production et à l'utilisation d'énergie :*
- *Pollution d'origine industrielle:*
- *Les déchets solides :*

- *Pollutions d'origine agricole :*

1.3. Classification des pollutions

Les polluants appartenant à des classes différentes peuvent avoir des effets voisins.

Il existe 3 grands groupes de polluants :

A. *Les polluants de nature physique*

- *La chaleur:*
- *Pollution radioactive :*
- *Le bruit:*
- *La pollution lumineuse:*

B. *Les polluants de nature chimique*

- *Les hydrocarbures liquides :*
- *Les détergents et tensioactifs :*
- *Les plastifiants :*
- *les phtalates :*
- *Les pesticides:*
- *Les matières eutrophisantes :*
- *Les métaux lourds :*
- *Les médicaments et cosmétiques :*

C. *Les polluants de nature biologique*

- toxines algales,
- les germes pathogènes
- les parasites.

2. Mécanisme de dispersion et circulation des substances polluantes dans la biosphère

2.1. Propriétés physiques

Nous trouvons les pollutions dans les 3 états de la matière :

- Pollution de l'eau (liquide) ;
- Pollution de l'air (gaz) ;
- Pollution des sols (solide).

2.2. Durée de vie des substances

Les différentes substances ont des durées de vie dans la biosphère qui sont extrêmement variables.

- **Les polluants primaires:** sont directement émis par des sources de pollution : CH₄ : année, CO : mois, SO₂ : jours à mois, Ozone : qq jours, COV NM : heures à jours, Aerosols : 1-10 μm : minute à jours, Aerosols : 1 μm jours à semaines.

- **Les polluants secondaires :** ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère.

2.3. Processus biogéochimiques

Le rejet des polluants dans l'environnement est un phénomène complexe, Dans la quasi-totalité des cas, les substances libérées dans l'écosphère vont être entraînées fort loin du point de rejet. La circulation atmosphérique et hydrologique les dispersera de façon progressive dans l'ensemble de l'écosphère.

2.3.1. Circulation Atmosphérique des polluants

Les mécanismes de la pollution atmosphérique

Les processus qui régissent la pollution atmosphérique s'échelonnent en plusieurs étapes.

- **Émissions :**
- **Transport et dispersion (la dispersion verticale et la dispersion horizontale) :**
- **Transformations chimique par réactions complexes :**

2.3.2. Les mouvements de l'hydrosphère

Il existe deux types de courants : les courants de surface et les courants profonds. Les courants de surface des mers et océans, générés par les vents, se déplacent très rapidement. Les courants profonds, beaucoup plus lents, ne se déplacent que de quelques millimètres par an.

2.3.3. Transferts des substances dans le sol

Des polluants, et notamment des substances organiques, sont soumis à des réactions biochimiques dans l'environnement. Ces réactions peuvent se faire par:

- des réactions photochimiques, (à la surface du sol),
- des phénomènes chimiques (notamment l'hydrolyse et l'oxydation des composés,
- par des interactions avec des bactéries, des fungi ou des algues, on parle alors de biodégradation.

Répartition des polluants

Les problèmes de pollution atmosphérique sont le résultat de la présence et de l'interaction de divers polluants atmosphériques qui sont rejetés dans l'atmosphère. Ces polluants sont rejetés dans le cadre d'activités humaines, comme le, l'utilisation de combustibles pour la production d'électricité et le chauffage, les procédés industriels et l'utilisation de certains produits. Ils proviennent également de sources naturelles.

2.4. Transfert et concentration des polluants dans la biomasse

Processus de dépôts et de réémissions des polluants atmosphériques

- *Dépôts humides:*
- *Dépôts secs:*
- *Ré-émissions de polluants déposés :*

2.5.Élimination, Décomposition, Persistance.

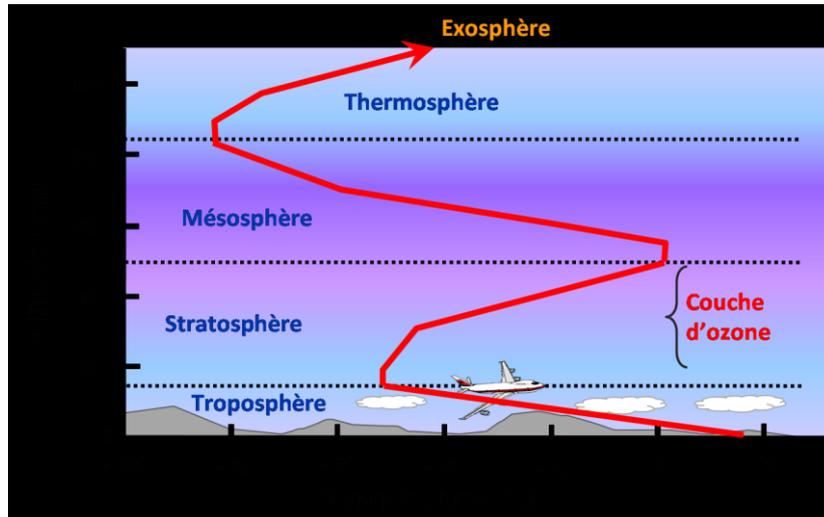
Cas des polluants organiques persistants

Les polluants organiques persistants, connus par leur sigle POP, sont des substances toxiques rejetées dans l'environnement par diverses activités anthropiques. Ils ont des effets néfastes sur la santé des écosystèmes, des espèces sauvages et des gens .Les POP sont très stables et peuvent donc demeurer dans l'environnement pendant des années, voire des décennies. Ils sont également biocumulatifs, ce qui signifie qu'ils peuvent se concentrer dans les organismes vivants. Certains POP peuvent faire le tour du monde dans l'atmosphère. Ils descendent dans les océans et les étendues d'eau douce pour ensuite retourner, après évaporation, dans l'atmosphère où ils voyageront de nouveau pour descendre encore dans un nouvel endroit et finalement se concentrer dans les climats les plus froids.

3. Pollution Atmosphérique

3.1. Origine des principaux polluants atmosphériques

L'atmosphère est divisée en 4 couches :



C'est dans la troposphère qu'il y a le plus d'effet. L'épaisseur de cette couche varie entre 13 et 16 km à l'équateur, mais entre 7 et 8 km aux pôles. Elle contient 80 à 90 % de la masse totale de l'air et la quasi-totalité de la vapeur d'eau. C'est également la couche où se produisent les phénomènes météorologiques et les circulations atmosphériques.

Ce que l'on appelle communément la pollution de l'air est en réalité un mélange de gaz nocifs et de particules ou qui résultent de réactions chimiques (comme l'ozone par exemple).

Cette pollution atmosphérique a de lourds impacts sur l'environnement en raison des dégâts occasionnés aux cultures et aux écosystèmes indispensables à la vie, comme les forêts et les masses d'eau douce. Mais la pollution de l'air a également des effets nuisibles sur la santé humaine, même à des concentrations relativement faibles.

L'origine des polluants

Les polluants dans l'air extérieur proviennent pour une part des activités humaines : les transports et surtout le trafic routier ; les bâtiments (chauffage au bois, au fioul) ; l'agriculture par l'utilisation d'engrais azotés, de pesticides et les émissions gazeuses d'origine animale ; le stockage, l'incinération et le brûlage à l'air libre des déchets ; les industries et la production d'énergie. Les polluants atmosphériques peuvent aussi avoir une origine naturelle. Ils sont émis : par les éruptions volcaniques qui envoient dans l'atmosphère d'énormes quantités de gaz (SO₂), de particules ; par des plantes qui produisent des pollens, dont certains sont responsables d'allergies respiratoires, et des substances organiques volatiles qui contribuent à la formation de l'ozone troposphérique ; par la foudre qui émet des oxydes d'azote et de l'ozone ; par les incendies qui produisent des particules fines et des gaz (NO_x, CO, CO₂...) ; par l'érosion qui

produit des poussières minérales reprises par le vent et déposées quelquefois très loin de leur lieu d'origine.

Les polluants de l'air extérieur les plus courants et leurs origines

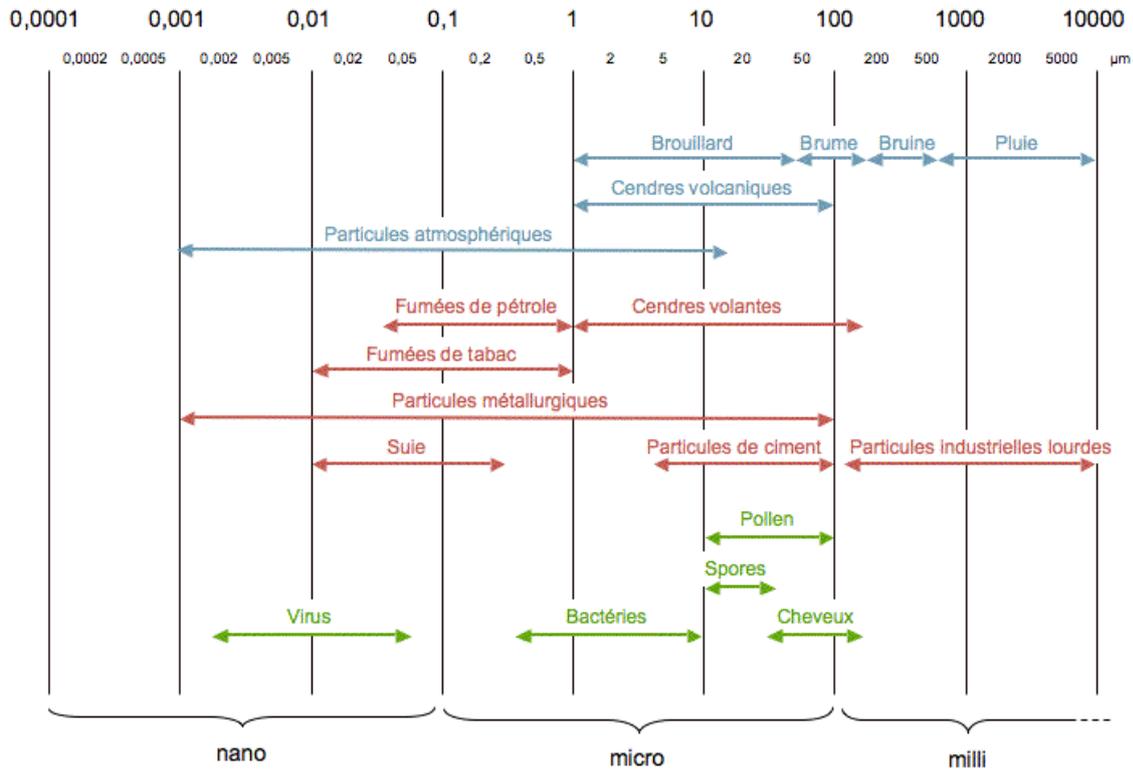
Polluants extérieurs	Origine liée aux activités humaines	Origine naturelle
Particules fines (PM10 et PM2,5)	Surtout en zone urbaine : émissions du trafic routier (en particulier moteurs Diesel anciens), des industries, du chauffage individuel au bois ou au fioul Plus localement : poussières des carrières, des cimenteries, émissions de l'agriculture...	Poussières provenant de l'érosion et des éruptions volcaniques
Principaux polluants chimiques		
<i>Composés gazeux courants</i>		
Oxydes d'azote (NO, NO2)	Trafic routier, installations de combustion, engrais azotés : <i>participe à la formation de l'ozone polluant et de particules secondaires</i>	
Ozone (O3)	Polluant secondaire qui se forme à partir des oxydes d'azote et des COV sous l'effet du rayonnement solaire	
Ammoniac (NH3)	Agriculture : <i>participe à la formation de particules secondaires</i>	
Dioxyde de soufre (SO2)	Combustion du charbon, du fioul : <i>participe à la formation de polluants secondaires</i>	Éruptions volcaniques : <i>participent à la formation de polluants secondaires</i>
Monoxyde de carbone (CO)	Trafic routier, chauffage : <i>participe à la formation de l'ozone polluant</i>	
Composés Organiques Volatils (COV) : polluants comprenant le benzène, le formaldéhyde, l'isoprène...	Transports, industrie chimique, chauffage individuel, traitements agricoles (pesticides, engrais) : <i>participent à la formation de l'ozone polluant et de particules secondaires</i>	Forêts : <i>participent à la formation de l'ozone polluant et de articles secondaires</i>
Polluants Organiques Persistants (POP) dont Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Combustions incomplètes (incinération des ordures, métallurgie, chauffage au bois, moteurs Diesel) : <i>souvent liés aux particules</i>	Incendies de forêts : <i>souvent liés aux particules</i>
Métaux lourds (plomb, mercure, cadmium, nickel, zinc...)	Combustion du charbon, du pétrole, des ordures ménagères, trafic routier : <i>généralement liés aux particules</i>	
Polluants biologiques		
Légionelles	tours aéro-réfrigérantes	
pollens		Végétation
Moisissures	Humidité	

Principaux effets des polluants de l'air extérieur les plus courants

Principaux risques à long terme	
Particules fines	Aggravation des maladies respiratoires et cardio-vasculaires Fibroses des poumons et de la plèvre, cancers
Ozone	Diminution des rendements agricoles, sylvicoles, piscicoles
Pluies acides et pollution azotée	Dégradation des écosystèmes, érosion de la biodiversité Perturbation de la fertilité des sols
Monoxyde de carbone (CO)	Dépression, aggravation des maladies cardiovasculaires
Composés Organiques Volatils (COV) dont benzène	Suspicion de toxicité pour la reproduction Risques avérés de cancers
Métaux lourds plomb, mercure, arsenic, cadmium, nickel, cuivre	Toxicité pour le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires Contamination des sols et des aliments Perturbation de l'équilibre biologique des organismes
Principaux risques à court terme	
Composés gazeux courants	
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Irritation des bronches aggrave les crises des asthmatiques
Ozone (O ₃)	Irritation de la gorge, des yeux, des bronches, gêne respiratoire, aggrave les crises des asthmatiques Dégats foliaires, perturbation de la photosynthèse, impacts sur la qualité des végétaux commercialisés Oxydation des matériaux
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Inflammation des bronches, essoufflement, toux Dégradation du bâti
Composés Organiques Volatils (COV)	Troubles respiratoires, irritation des yeux, du nez, de la gorge, réactions allergiques
Monoxyde de carbone (CO)	Troubles respiratoires, asphyxie Gaz mortel à forte dose
Particules fines	
(dont pollens)	Accroissement de la sensibilité aux allergènes, allergies Effets dépendants des polluants qu'elles transportent Salissures des bâtiments
Polluants biologiques	
Légionelles	Troubles respiratoires (légiellose), risques de décès
Pollens	Asthme, rhinites

Les Particules trouvent dans l'air que nous respirons

Les particules présentes dans l'air sont très diverses. La diversité touche autant les sources de particules (phénomènes météorologiques, activités humaines, origine biologique) que leur taille : les grains de pollen ont un diamètre compris entre 20 et 50 µm ; les bactéries mesurent quelques micromètres ; les moteurs diesel émettent des particules d'une taille allant de 50 nm à 1 µm ; les virus font entre 10 et 100 nm.



La composition chimique des particules présentes dans l'air

On trouve dans l'air sous forme de particules

- 1) des composés carbonés : le noir de carbone et plusieurs centaines de composés organiques différents (notamment les *composés organiques volatils* ou COV et les *hydrocarbures aromatiques polycycliques* ou HAP) ;
- 2) des polluants basiques et acides (l'ammonium et les acides chlorhydrique, nitrique, sulfurique) ;
- 3) des composés d'origine biologique (ex : pollens, divers micro-organismes, débris bactériens) ;
- 4) de très nombreux métaux.

3.2. Les substances polluantes (différents types de polluants)

..... Les polluants réglementés

7 polluants sont réglementés et font l'objet de mesures continues dans l'air réalisées par les associations de surveillance de la qualité de l'air: le dioxyde de soufre : SO₂ ; le monoxyde de carbone : CO ; le dioxyde d'azote : NO₂ ; l'ozone : O₃ ; les particules (PM₁₀) ; le benzène : C₆H₆ ; le plomb : Pb. d'autres substances peuvent s'ajouter à la liste : les hydrocarbures

aromatiques polycycliques : (HAP); le cadmium : Cd; l'arsenic : As; le nickel : Ni; le mercure : Hg.

3.2.1. Les composés organiques

a. Les composés organiques volatiles (COV)

Les grandes familles de composés organiques volatiles:

- les *alcanes* (saturés, abondants, par exemple propane)
- les *alcènes* (liaison doubles, très réactifs)
- les *diènes* et les *terpènes* (multiples doubles liaisons)
- les *aromatiques mono ou polycycliques* (assez abondants, par exemple, benzène, toluène ...)
- les *composés oxygénés* (aldéhydes, cétones, esters, alcool ...).
- les *aromatiques mono ou polycycliques* (assez abondants et réactifs, par exemple benzène).

b. Les Produits Organiques Persistants (POP)

Il existe douze composés organiques toxiques à basse concentration. Ce sont des résidus industriels souvent toxiques, mutagènes et cancérogènes, qui interfèrent avec notre système hormonal et sexuel. La liste la plus communément admise est la suivante : Trichloroéthylène (TRI), Trichloroéthane (TCE), Tetrachloroéthylène (PER), Dioxines et furanes (Diox), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), Polychlorobiphényles (PCB) et Hexachlorobenzène (HCB).

3.2.2. Les éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou métaux lourds. On distingue en Particulier :

- **Mercur**: est le seul métal liquide à température ambiante. IL se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante.
- **Plomb**: une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère
- **Cadmium**: il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie..).

3.2.3. Les particules

Les particules regroupent également une variété importante de substances, sont classées en fonction de leur granulométrie :

- Particules en suspension (TSP): masse totale de particules.
- PM10: masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10 μm .
- PM2.5: masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2.5 μm .

- PM1.0: masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 1 μm .
- Ultrafines: particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 0.1 μm .
- Nanoparticules : particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 0.05 ou 0.03 μm .

3.2.4. les Chlorofluorocarbones

Les chlorofluorocarbones ou les CFCs (également connus sous le nom de Fréons) sont non toxiques, ininflammables et non-cancérogènes. Ils contiennent des atomes de fluor, des atomes de carbone et des atomes de chlore. Les CFCs sont largement répandus comme liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, comme dissolvants dans les décapants, en particulier pour les cartes électroniques.

3.3. Les effets des différentes substances

3.3.1. Effet de serre et changement climatique : échelle mondiale

L'effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l'atmosphère du rayonnement de chaleur émis par la terre sous l'effet des rayons solaires. Il permet une température sur Terre bien supérieure à celle qui régnerait en son absence; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique (CO_2), du méthane (CH_4) et du protoxyde d'azote (N_2O).

3.3.2. Destruction de la couche d'ozone: échelle mondiale

La destruction de la couche d'ozone se produit quand l'équilibre naturel entre la production et la destruction de l'ozone stratosphérique est incliné en faveur de la destruction. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome libérés des composés synthétiques tels que les CFCs sont maintenant considérés comme cause principale de cet amincissement. Les émissions de CFCs représentent environ 80% de l'amincissement total de l'ozone stratosphérique.

3.3.3 Acidification, eutrophisation et photochimie : échelle régionale/continentale

a. Les pluies acides

"Les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont les principales causes des pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concourt à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultant de la seule présence de gaz carbonique dans l'air (qui fait que le pH "naturel" d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6). Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des

milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides. Ceci peut se répercuter par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, des carences nutritives engendrant des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres.

b. L'eutrophisation

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables issus de l'activité humaine. Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulées par un apport substantiel en certains nutriments dont principalement le phosphore et l'azote.

c. photochimie

Les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV) réagissent dans la troposphère, sous l'effet du rayonnement solaire, pour former des polluants photochimiques. Le principal polluant photochimique est l'ozone. Sa présence s'accompagne d'autres espèces aux propriétés acides ou oxydantes telles que des aldéhydes, des composés organiques nitrés, de l'acide nitrique, de l'eau oxygénée.

3.3.4. Effets sur les matériaux

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide (surtout liées au SO₂) qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. Il s'agit bien souvent de la décomposition de certaines pierres calcaires sous l'effet des acides. Les particules interviennent plutôt sur les aspects de salissures des bâtiments. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments.

3.3.5. Effets sur les écosystèmes : forêt, réserve d'eau douce

Les arbres vivent et dépérissent pour des causes naturelles très variées ne serait-ce que l'âge. Les responsables considèrent que la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux dépérissements forestiers. Des recherches en laboratoires ont montré que les causes du dépérissement forestier sont très complexes : sols de mauvaise qualité, sécheresses anormales, présence de polluants dans l'atmosphère principalement la pollution acide et l'ozone. Mais à proximité de certains sites générateurs de pollution (site industriel, grosses infrastructures routières), on observe également des baisses de rendements des terres agricoles.

3.3.6. Effets sur la santé

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants (SO₂, Poussières, NO₂, Pb, O₃) tiennent compte des effets sur la santé de certaines substances.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) édicte les règles qu'il faudrait respecter pour les divers polluants. Certains effets sont associés à des *seuils*, c'est à dire qu'on peut déterminer une valeur de concentration dans l'air en dessous de laquelle la substance n'est pas dangereuse.

Pour certaines substances, il n'existe pas de seuil au sens médical du terme, mais il existe des seuils réglementaires (niveau de pollution acceptable, mais non dénué de conséquences). Les effets sur la santé ayant été le plus étudiés sont les *effets à court terme* liés à des concentrations élevées. Pour déterminer les seuils (Information, alerte, protection de la santé..), on se base sur des études toxicologiques et épidémiologiques.

La toxicologie vise à étudier par une analyse phénoménologique ce qui fait qu'une substance est bien tolérée et l'autre non, à découvrir à partir de quelle dose une molécule deviendra dangereuse. **L'épidémiologie** consiste à analyser statiquement les relations entre une exposition et des effets.

Les effets des polluants les plus courants sont :

- **Particules:** plus les particules sont fines plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et plus leur temps de séjour y est important.
- **SO₂:** le SO₂ entraîne une inflammation des bronches avec un spasme qui provoque une altération de la fonction respiratoire.
- **NO-NO₂:** NO₂ est toxique pénètre profondément dans les poumons. NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.
- **COV:** certains composés organiques tels que les aromatiques, les oléfines provoquent des irritations des yeux. Certains COV tels que le benzène, sont cancérigènes.
- **CO:** se fixe sur l'hémoglobine du sang. Le phénomène est irréversible. On connaît les accidents mortels liés à l'inhalation de CO lors du fonctionnement défectueux de chauffe-eau.
- **Ozone:** est un oxydant puissant. C'est un irritant des yeux, de la gorge et des bronches. Ses effets sont majorés par l'exercice physique.
- **POP :** Les conséquences observées sur les animaux sont: stérilité plus fréquente et baisse de l'effectif des populations, dysfonctionnements hormonaux, mutations sexuelles, déficiences du système immunitaire, anomalies de comportement, tumeurs et cancers, graves malformations congénitales.

4. Pollution des sols

4.1. Définition (le sol et la pollution de sol)

a. Le sol

Le sol est l'interface entre la terre, l'air et l'eau. Il remplit une multiplicité de fonctions complexes, c'est : un réservoir d'éléments nutritifs ; une éponge et un filtre (cycle de l'eau) et un régulateur des grands cycles naturels (eau, carbone, azote, soufre, ...). La formation d'un sol résulte de l'altération d'une roche superficielle sous l'influence : du climat (provoque une érosion) et de la végétation et d'organismes vivants (formation d'humus).

b. Les pollutions de sols

Un site est pollué quand il présente un risque pérenne, réel et potentiel pour la santé humaine et/ou l'environnement, du fait d'une pollution des milieux résultant d'une activité actuelle ou ancienne.

- *La propagation de la pollution sera différente selon que les sols sont composés de :*
 - Graviers à particules grossières centimétriques ;
 - Sables à particules fines millimétriques ;
 - Sables limoneux à particules très fines micrométriques.
- *Les principaux polluants*
 - Les métaux lourds (arsenic, chrome, cuivre, cadmium, mercure, nickel, plomb, zinc...)
 - Les hydrocarbures (essences, fioul, huiles...)
 - Les solvants chlorés ou aromatiques
 - Les produits phytosanitaires (pesticides, herbicides).
- *Les origines de pollution à prendre en compte :*
 - des anciennes pratiques sommaires d'élimination des déchets,
 - des fuites ou épandages de produits chimiques,
 - des contaminations dues à des retombées de rejets atmosphériques
- *Les types de pollution sont classés*
 - En fonction de leur durée : pollutions accidentelles et pollutions chroniques ;
 - En fonction de leur étendue : pollutions locales ou pollutions diffuses.
- *Les formes de pollution des sols*
 - La pollution diffuse: concerne une grande superficie. Elle peut être due aux pratiques agricoles comme l'épandage ou aux retombées atmosphériques d'origine urbaine, industrielle ou routière

- La pollution ponctuelle: demeure très localisée et intense. Elle est en rapport avec des sites industriels, des dépôts de déchets ou à d'autres sites pollués de façon chronique ou accidentelle (métaux lourds, hydrocarbures, benzène, solvants organiques industriels).
- *Les conséquences de la pollution de sol:*
 - Une modification de la flore ;
 - Une modification de la chaîne alimentaire ;
 - Une pollution rentrant dans le cycle de l'eau (atteinte à l'homme et à l'écosystème) ;
 - Superficie des terres utilisables en décroissances.
- *Les types de risque de pollution des sols*
 - Des risques liés aux trois facteurs suivants: existence d'une source de pollution dangereuse, les possibilités de transfert et l'existence de cibles.
 - Des risques liés à la mobilité des substances polluantes : les possibilités de transfert dans l'air, l'eau des nappes phréatiques, dans les cultures... et les combinaisons chimiques plus ou moins dangereuses des polluants au contact des constituants
- *Le danger pour la santé et l'environnement :*

Les sols pollués peuvent présenter un risque :

 - à court ou moyen terme pour les eaux souterraines, les eaux superficielles et les écosystèmes ;
 - à moyen et long terme pour les populations (les risques pour la santé résultent le souvent d'une exposition de longue durée pouvant équivaloir à une vie entière).

4.2.Modalités et conséquences de Pollution des sols par l'agriculture moderne

L'agriculture a un impact énorme sur la planète

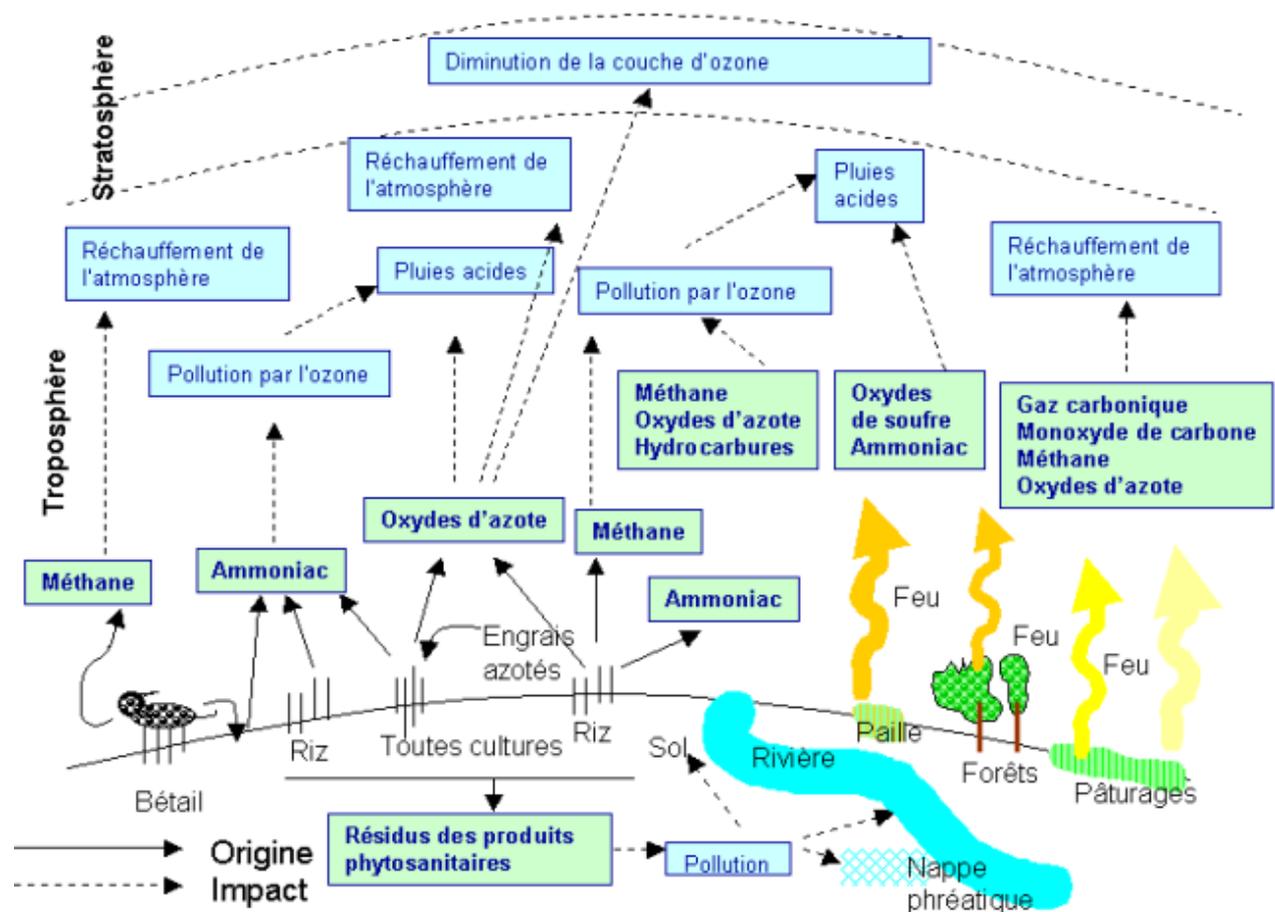
L'agriculture constitue la principale utilisation des terres par les humains. Les pâturages et les cultures représentaient à eux seuls 37 pour cent de la surface émergée du globe en 1999, Plus des deux tiers de la consommation humaine d'eau sont destinés à l'agriculture.

La culture et l'élevage ont un profond effet sur l'environnement au sens large. Ce sont les causes principales de la pollution de l'eau par les nitrates, les phosphates et les pesticides. Ils constituent aussi les principales sources anthropiques des gaz à effet de serre (le méthane et l'oxyde nitreux) et ils contribuent massivement à d'autres types de pollution de l'air et de l'eau. L'étendue et les méthodes de l'agriculture, de la foresterie et de la pêche sont les principales causes de perte de biodiversité dans le monde.

L'agriculture nuit également à son propre avenir par la dégradation des sols, la salinisation, le soutirage excessif d'eau et la réduction de la diversité génétique des cultures et du bétail. Les conséquences à long terme de ces processus sont toutefois difficiles à quantifier.

L'agriculture est également cause de pollution atmosphérique. C'est la principale source anthropique d'ammoniaque. Le bétail produit environ 40 pour cent des émissions de ce gaz dans le monde, les engrais minéraux 16 pour cent et la combustion de la biomasse et les résidus de culture environ 18 pour cent.

L'agriculture ainsi, est une source importante d'émissions de gaz à effet de serre. Elle dégage de grandes quantités de gaz carbonique lors de la combustion de la biomasse, également responsable de presque la moitié des émissions de méthane. Bien que le méthane reste moins longtemps dans l'atmosphère que le gaz carbonique et responsable du dégagement de grandes quantités d'un autre gaz à effet de serre: l'oxyde nitreux. Ce gaz est produit par des processus naturels, mais sa production est renforcée par le lessivage, la volatilisation et le ruissellement des engrais azotés, et la décomposition des résidus de cultures et des déchets animaux.



4.2.1. Pollution par les engrais

Les engrais sont cause de pollution quand ils sont appliqués en quantité supérieure à ce que les cultures peuvent absorber, ou lorsqu'ils sont emportés par l'eau ou par le vent avant de pouvoir être absorbés

Conséquences de l'utilisation d'engrais

Les engrais chimiques sont utilisés dans le cadre d'une agriculture intensive afin d'augmenter la croissance et le rendement des cultures. Il existe trois grandes familles d'engrais chimiques :

- **Les engrais azotés:** l'azote est un élément très important pour la croissance des végétaux. IL est présent naturellement dans l'atmosphère, mais les engrais chimiques en apportent de bien plus grandes quantités.
- **Les engrais potassiques :** la potasse est naturellement présente dans les terres, certains sols étant plus riches que d'autres. Quelques végétaux sont particulièrement avides de potasse, tels que les pommes de terre, les betteraves, ou encore la vigne.
- **Les engrais phosphatés :** ils apportent à la terre du phosphore, de l'aluminium, de l'azote et du calcium.

Les engrais chimiques permettent d'obtenir un plus grand rendement agricole, mais sont responsables d'une pollution massive des sols et de l'eau.

Si les effets bénéfiques des engrais et pesticides ne sont plus à démontrer, leur utilisation pose de sérieux problèmes pour l'environnement et la santé humaine et animale. Une fertilisation excessive ou encore maladroite de la part des agriculteurs entraîne la pollution des eaux par une concentration élevée en nitrates et phosphates.

Les risques environnementaux :

Les conséquences de l'utilisation des engrais, qui peuvent comporter des risques, sont les suivantes :

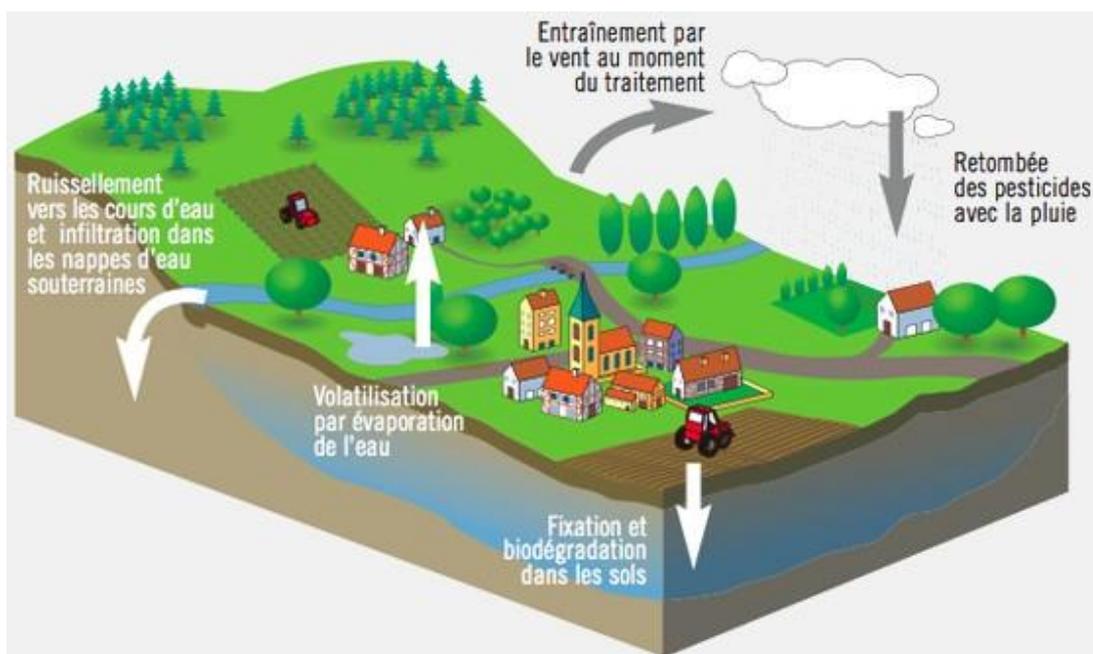
- effets sur la qualité des sols, leur fertilité;
- effets liés au cycle de l'azote ;
- effets sur l'érosion ;
- effets liés à la dégradation des engrais inutilisés;
- effets liés aux autres éléments: potassium, soufre, magnésium, calcium, oligo-éléments ;
- eutrophisation des eaux douces et marines ;
- effets sur la qualité des produits ;
- utilisation d'énergie non renouvelable ;
- pollution émise par l'industrie de production des engrais ;

- effets indirects sur l'environnement, par la mécanisation pour l'agriculture intensive.

4.2.2. Pollution par les pesticides

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.

Les pesticides sont ainsi aujourd'hui à l'origine d'une pollution diffuse qui contamine toutes les eaux continentales : cours d'eau, eaux souterraines et zones littorales. Mais la source la plus importante de contamination par des pesticides demeure la négligence (stockage dans de mauvaises conditions, techniques d'application défectueuses, rejet sans précaution de résidus ou d'excédents, ou encore pollutions accidentelles. Si les pesticides sont d'abord apparus bénéfiques, leurs effets secondaires nocifs ont été rapidement mis en évidence. Leur toxicité, liée à leur structure moléculaire, ne se limite pas en effet aux seules espèces que l'on souhaite éliminer. Ils sont notamment toxiques pour l'homme.



Dissémination des pesticides dans l'environnement

Les principaux pesticides utilisés actuellement appartiennent à quelques grandes familles chimiques :

- **Les organochlorés** (hydrocarbures chlorés), comme le DDT synthétisé dès les années 1940, sont des pesticides très stables chimiquement. Le DDT a été utilisé partout dans le monde dans la lutte contre les insectes, jusqu'à ce que l'on découvre qu'il était peu dégradable et

pouvait se concentrer dans les organismes en bout de chaîne alimentaire, par bio-accumulation, avec des risques certains pour la santé humaine.

- **Les organophosphorés** sont des composés de synthèse qui se dégradent assez rapidement dans l'environnement mais qui ont des effets neurotoxiques sur les vertébrés.
- **Les pyréthroïdes** sont des insecticides de synthèse très toxiques pour les organismes aquatiques. Une pollution accidentelle des eaux par ces composés peut être dramatique.
- **Les carbamates**, très toxiques, sont utilisés comme insecticides et fongicides.
- **Les phytosanitaires**, qui regroupent un très grand nombre de produits de la famille des triazines ou des fongicides.

4.3. Pollution par les contaminants d'origine industrielle

La pollution et les déchets industriels comprennent toute la gamme de substances indésirables et de pertes que génèrent les activités industrielles : émissions dans l'air ou rejet dans les eaux de surface, et substances envoyées aux usines de traitement des eaux usées, déposées dans des sites d'enfouissement, rejetées ou épandues sur les sols, incinérées, injectées sous terre, contrôlées par voie d'entreposage, recyclées ou brûlées aux fins de récupération de l'énergie.

La pollution des sols va dépendre de deux types de facteurs : les premiers auront trait à la nature des polluants, les seconds seront liés à la nature physicochimique des sols considérés.

Les substances présentes dans le sol sont extrêmement nombreuses : ce sont des hydrocarbures: fuel, carburants divers, goudrons, hydrocarbures aromatiques, hydrocarbures paraffiniques ou oléfiniques; des solvants ; des halogènes ; des pesticides, des produits phytosanitaires ; des matières plastiques ; des peintures ; des PCB, des HFC ; de l'amiante ; etc.

D'une manière générale le devenir des polluants dans les sols vont dépendre d'un certain nombre de comportements conjoints entre les molécules polluantes et les caractéristiques physicochimiques des sols.

5. Pollution des eaux

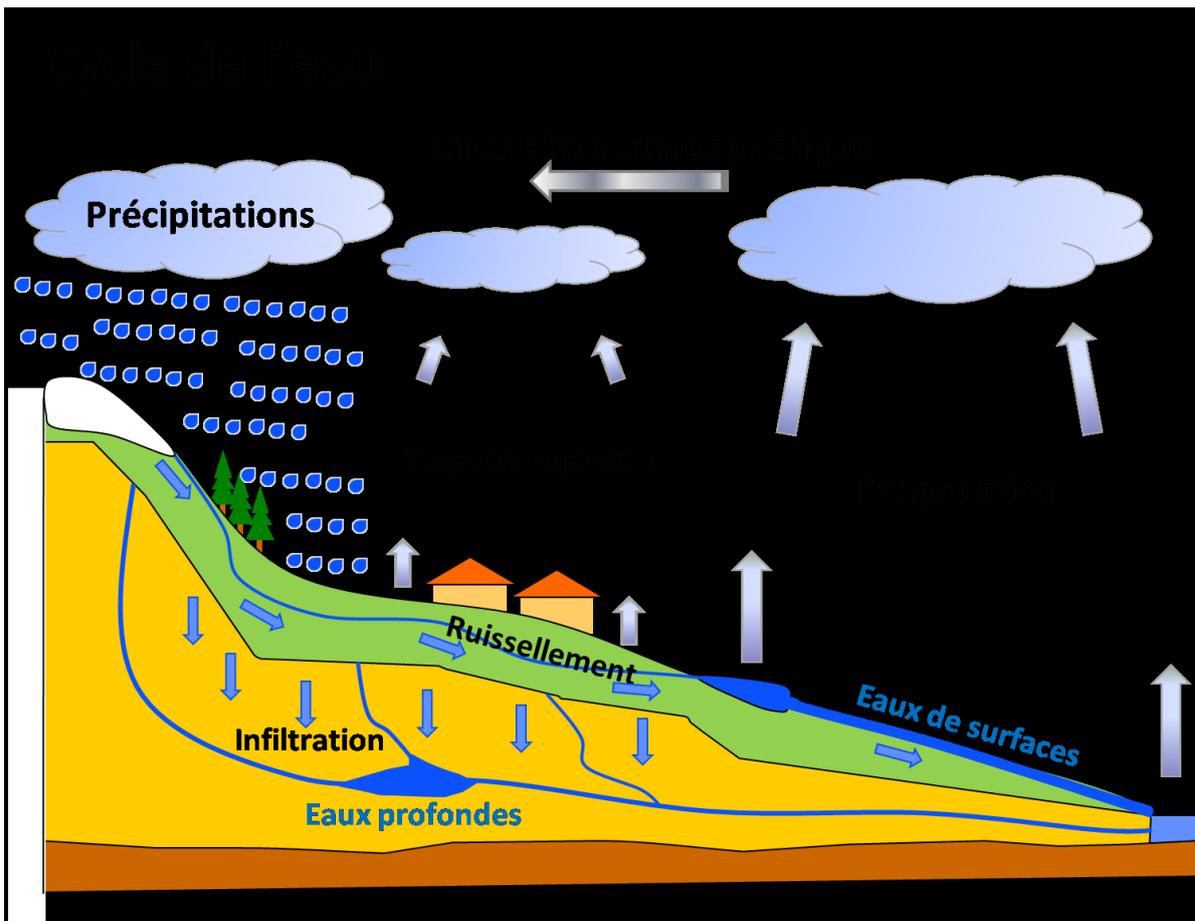
5.1. Introduction : les ressources en eaux

L'eau est présente sur Terre sous trois formes : liquide, solide et gaz. Elle recouvre 70 % de la surface de la Terre. Sur le volume d'eau présent sur Terre : Eau salée (mers et océans): 97,4% ; eau sous forme de glace (pôles et glaciers) : 2,1% et eau douce "accessible" (cours d'eau, lacs, nappes) : 0,5%. Les ressources en eau :

- Les eaux naturelles sont présentes dans la nature sous la forme : de lacs ; fleuves ou rivières ; nappes souterraines ; marais ou lagunes et mers ou océans.
- Les caractéristiques physiques et chimiques seront différentes suivant : leur origine et leur transit dans le milieu naturel.
- Les sources d'eau brute utilisées pour la production d'eau de consommation sont classées en 3 catégories : les eaux des nappes souterraines ; les eaux superficielles courantes et les eaux superficielles de retenues.

Entre les différentes sources d'eau et l'atmosphère, l'échange d'eau est permanent et forme ce que l'on appelle le cycle externe de l'eau. Le moteur de ce cycle en est le soleil : grâce à l'énergie thermique qu'il rayonne, il active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement. Ce cycle se divise en 2 parties intimement liées :

- Une partie atmosphérique qui concerne la circulation de l'eau dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau essentiellement ;
- Une partie terrestre qui concerne l'écoulement de l'eau sur les continents, qu'il soit superficiel ou souterrain.



Cycle de l'eau

5.2. Différentes sources de pollutions des eaux

On appelle pollution de l'eau toute modification des caractéristiques de l'eau ayant un caractère gênant ou nuisible pour les usages humains, la faune ou la flore. Au cours de son utilisation, l'eau s'appauvrit ou s'enrichit de substances de toutes sortes, ou change de température. Les pollutions qui en résultent se retrouvent dans le milieu naturel (cours d'eau, mer). La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité. La pollution dans l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement.

Les 3 principales sources de pollution sont :

- *Les rejets urbains:* résultant de la collecte et du traitement des eaux usées des ménages, des activités domestiques, artisanales et tertiaires ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines,
- *les rejets agricoles:* résultant de la percolation des eaux de pluie dans les sols et de son ruissellement, de l'épandage de produits chimiques sur les sols, des activités maraîchères et des élevages,
- *Les rejets industriels:* les proportions de pollution des secteurs varient selon les types de pollutions et la part d'origine industrielle étant par exemple plus élevée pour certains polluants toxiques.

5.3. Principaux types de polluants

5.3.1. Matières organiques fermentescibles

La pollution par les matières en suspension par leur effet obscurcissant, les matières en suspension présentes dans les eaux diminuent la photosynthèse qui contribue à l'aération de l'eau. Les organismes vivants peuvent alors manquer d'oxygène. Par ailleurs, les matières en suspension donnent aux rivières un aspect sale et trouble et peuvent gêner les poissons ou entraîner leur mortalité par bouchage des branchies.

5.3.2. Eléments minéraux nutritifs NO₃ et PO₄

Une augmentation de la pollution azotée entraîne, d'une manière générale, une croissance excessive des algues et plantes dans le milieu récepteur et une consommation supplémentaire de l'oxygène dissous, d'où une dégradation du milieu aquatique (phénomène d'eutrophisation). Elle a également un impact sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

5.3.3. Eléments traces métalliques

Certaines substances présentes dans les rejets industriels peuvent, même à dose infinitésimale, être dangereuses pour le milieu aquatique et pour l'homme (en cas de baignade ou d'ingestion). Les pollutions toxiques peuvent être classées en deux groupes suivant leur origine : les produits d'origine minérale, tels que les métaux ou métalloïdes (mercure, cadmium, plomb, arsenic...) ; les produits d'origine organique (produits de synthèse, dérivés nitrés...).

5.3.4. Composés organiques de synthèse

Les rejets contenant des substances organiques sont à l'origine d'une consommation de l'oxygène présent dans le milieu récepteur et peuvent, s'ils sont trop abondants, entraîner la mortalité des poissons par asphyxie. La pollution organique présente également un impact sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

5.3.5. Hydrocarbures

A la suite de leur déversement sur un plan d'eau, les hydrocarbures et les produits chimiques sont soumis aux conditions existantes : température de l'eau et de l'air ; vent et courant et agitation du plan d'eau en surface. En fonction de ces paramètres, les hydrocarbures se transforment plus au moins rapidement. Les hydrocarbures peuvent réagir différemment, soit : flotter et s'étaler en formant un film plus ou moins épais ; s'évaporer, pour les plus volatiles ou quelques rares hydrocarbures, plus lourds que l'eau peuvent couler dès leur déversement.

5.4. Pollution domestique et urbaine

Des milliers de produits chimiques différents sont utilisés dans la fabrication des biens de consommation courants. Bien souvent, ces produits chimiques se retrouvent dans l'eau, puis rejetés dans l'environnement après que les eaux aient été traitées. C'est le cas de plusieurs usines manufacturières, métallurgiques et de fabriques de pâtes et papiers notamment.

5.5. Pollution d'origine agricole

L'évolution de l'agriculture est une source importante de contamination de l'eau. Cette évolution est responsable d'une pression accrue sur l'environnement et de là, a émergé une prise de conscience sociale de la nécessité de protéger cet environnement et particulièrement les ressources en eau.

La problématique de la pollution de l'eau par l'agriculture découle de l'épandage des déjections utilisées comme fertilisants ainsi que de l'utilisation de pesticides dans les champs cultivés où le sol et les plantes ne peuvent pas les absorber, et les éléments fertilisants partent

alors avec la pluie et se retrouvent dans les cours d'eau. L'eau contient donc surtout des excédents de phosphore et de nitrates.

5.6. Pollution d'origine atmosphérique

Au cours des événements pluvieux, les polluants des eaux de pluie et des surfaces des bassins versants sont transportés, par le ruissellement, sur les surfaces urbaines ainsi que dans les caniveaux et les bouches d'égout, puis au sein des réseaux d'assainissement où ils s'ajoutent aux polluants des eaux usées et des éventuels dépôts des réseaux remis en suspension par l'augmentation des débits générée par les événements pluvieux.

5.7. Pollution naturelle

- ***Agents physiques***

Comprend les matières inertes insolubles de toutes dimensions pouvant rester en suspension dans l'eau. Elles sont sans activité chimique ou biologique. Que ce soit du sable, du limon ou de l'argile, ces matières sont en grande partie le fait de l'érosion.

- ***Agents chimiques organiques***

Le ruissellement dans les zones végétales entraîne toutes sortes de matières organiques dans les cours d'eau et dans les lacs. Provenant de la dégradation des matières végétales, elles confèrent une coloration plus ou moins forte à l'eau et la rendent esthétiquement rebutante au consommateur.

- ***Agents chimiques inorganiques***

Les polluants chimiques inorganiques apparaissent dans les eaux lorsque le sol et les formations géologiques sont lessivés par les précipitations. Ce lessivage provoque une solubilisation des sels constituants de la lithosphère et la présence d'ions plus ou moins toxiques dans les eaux de drainage. La nature géologique du terrain conditionne les types d'ions qui s'y trouvent. La quantité et la qualité de la précipitation déterminent l'intensité du phénomène. Le facteur humain agira ici comme catalyseur important.

- ***Agents biologiques***

Les cours d'eau contiennent une multitude d'organismes de toutes tailles formant des chaînes alimentaires spécifiques. L'apport naturel d'éléments organiques ou inorganiques peut modifier ces équilibres de façon temporaire ou permanente en favorisant ou en inhibant la croissance de certains organismes. De plus, des organismes étrangers peuvent être injectés dans le milieu aquatique. Il s'agit de voir si ceux-ci nuisent aux êtres humains

6. Pollution Nucléaire

6.1.Introduction

Parmi les différents types de pollution du milieu, la pollution radioactive est incontestablement celle qui est la plus mal connue, et cependant c'est aussi celle qui a suscité les mesures de protection à la fois les plus sévères et les plus scientifiquement établies.

Certes, la pollution radioactive a ses propres caractéristiques, mais du point de vue de l'homme et de l'écologie, c'est une pollution parmi les autres et les risques qui en résultent devraient être évalués sur les mêmes bases.

Le développement de la production d'énergie nucléaire, ainsi que la multiplicité des usages sans cesse croissants des radioisotopes dans la recherche, l'industrie, la médecine, sont inévitablement liés à la production de déchets ou d'effluents radioactifs dont il faut bien se débarrasser d'une façon ou d'une autre, le traitement et l'évacuation de ces déchets constitue donc un problème essentiel pour le développement de l'industrie nucléaire.

Caractères propres à la pollution radioactive:

- Ce qui caractérise essentiellement la pollution radioactive, c'est la présence de substances radioactives dans les déchets ou effluents déversés dans le milieu. Les substances radioactives sont donc des sources de rayonnement susceptibles d'entraîner une irradiation externe ou interne des êtres vivants.
- Les substances radioactives présentes dans les aliments ou l'eau de boisson peuvent être dangereuses pour l'homme à des concentrations très basses, par exemple le radium-226. La concentration maximale admissible pour le Ra-226 équivaut donc à une concentration 14 g/cm³.
- Une autre caractéristique de la pollution radioactive qu'il convient de remarquer réside dans le fait qu'aux concentrations considérées comme limitatives pour l'homme au point de vue sanitaire, aucune action décelable sur les autres espèces végétales ou animales n'a été constatée.
- Les substances radioactives sont soumises à une loi de décroissance exponentielle qui se traduit par une diminution progressive de leur activité. Chaque radioélément, chaque radioisotope est caractérisé par sa « période de décroissance » qui n'est autre que le temps nécessaire à une perte d'activité égale à la moitié de la radioactivité initiale . Cette période est différente et varie pour chaque radioisotope entre quelques microsecondes et des dizaines de milliers d'années.

- La radioactivité introduite dans un milieu ne peut être détruite ni par voie chimique, ni par voie biologique. Elle ne peut disparaître qu'avec le temps, suivant le processus de la décroissance qui vient d'être évoqué.

Les Principales origines des polluants et contaminants radioactifs sont :

tritium ^3H carbone-14 ^{14}C ; cobalt-60 ^{60}Co ; strontium-90 ^{90}Sr avec son descendant (^{90}Y) ; césium-137 ^{137}Cs avec son descendant ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) ; américium-241 ^{241}Am , radionucléides de la famille du thorium-232 : ^{232}Th , ^{228}Ra , ^{228}Ac , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{220}Rn , ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl et ^{212}Po ; radionucléides de la famille de l'uranium-238, dont notamment radium-226 ^{226}Ra et ses descendants : ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po .

6.2. Les sources de pollution radioactive

D'une façon générale, les sources des polluants et contaminants radioactifs sont :

- Naturelle (ex. : Radon)
- Industrielle:
 - Pour la production d'électricité nucléaire lors du retraitement, stockage des déchets.
 - dans le domaine médical qui crée également un certain nombre de déchets radioactifs
 - dans un certain nombre d'industries créatrices des autres déchets
- Militaire : notamment lors d'essais de bombes atomiques,
- Médicale à recherche : pour examens médicaux ou biologiques (ex: scintigraphie,
- Accidentelle : lors d'accidents nucléaires comme ceux de Tchernobyl ou Fukushima,

6.2.1. Les sources naturelles d'irradiation

De tous temps, les populations humaines ont été soumises à des rayonnements d'origine très variée. Indépendamment de l'irradiation directe due aux rayons cosmiques et aux rayonnements de matières radioactives contenues dans les roches,

La plus grande partie de la radioactivité naturelle de l'organisme est due à des éléments des séries de l'uranium et du thorium, au potassium 40 et au carbone 14.

Les débits de dose provenant des rayonnements d'origine naturelle varient d'une région à l'autre dans d'assez larges limites.

De nombreux facteurs affectent la dose d'irradiation absorbée par l'homme à partir de la radioactivité naturelle. Parmi ces facteurs, citons l'âge, le sexe, les habitudes alimentaires, le site de la résidence, le type d'habitation, le système de chauffage.

6.2.1.1. Les pollutions radio-actives

La dose absorbée dans les poumons, due **au radon (222-Rn)** qui s'échappe des matériaux de construction, peut varier d'un facteur 100 suivant les types de construction.

Des niveaux de radium et de thorium dépassant les niveaux admissibles pour l'eau de boisson ont été relevés dans certaines eaux actuellement consommées.

La dose d'irradiation externe provenant des rayons cosmiques varie avec l'altitude et la latitude. L'irradiation naturelle est importante à considérer car elle sert de référence pour comparer les doses de rayonnement d'origine artificielle.

6.2.2. Les sources artificielles de contamination radioactive

Dans les conditions actuelles, la pollution radioactive du milieu a deux origines principales qui sont les explosions d'armes nucléaires et les déchets radioactifs.

6.2.2.1. Explosions d'armes nucléaires

Une explosion nucléaire s'accompagne de la production de quantités variables de produits de fission, suivant la nature du processus utilisé, et d'une radioactivité induite dans les matériaux de l'engin ou dans le milieu (produits d'activation).

Les produits de l'explosion se déposent à la surface de la terre sous forme de retombées, pendant une période qui varie de quelques minutes pour les retombées locales, quelques mois pour les retombées de la troposphère, et plusieurs années pour les matières ayant atteint la stratosphère. Par suite de l'extrême variété des périodes radioactives des différents radionuclides, la composition du mélange de produits de fission présents dans les retombées varie considérablement avec le temps. Après plusieurs années, seuls subsistent les radionuclides à vie longue, tels le strontium 90 et le césium 137.

Les doses d'irradiation dues aux retombées dépendent de la nature et de la quantité des radioéléments qui se trouvent dans le milieu ambiant. Elles dépendent également de facteurs géographiques et humains, tels que le régime alimentaire des populations.

- **Les grandes dates du nucléaire**
- **Septembre 1942:** Les Américains lancent le projet Manhattan visant à fabriquer l'arme nucléaire et destiné à contrecarrer le programme nucléaire de l'Allemagne nazie. Il aboutit à l'explosion en juillet 1945 de la première bombe atomique de l'histoire, dans le désert du Nouveau-Mexique.
- **6 août 1945:** Les Etats-Unis largue une bombe à l'uranium enrichi sur la ville japonaise d'Hiroshima, et trois jours plus tard, une bombe au plutonium sur Nagasaki (au moins 210.000 morts).
- **29 août 1949:** procède dans le Kazakhstan à son premier essai nucléaire. La Grande-Bretagne effectuera également un premier essai en octobre 1952.
- **1er novembre 1952:** Les Etats-Unis testent dans le Pacifique la bombe H, une bombe à fusion beaucoup plus puissante que celle à fission. Ils seront suivis par les soviétiques en 1953, puis les Britanniques en 1957.
- **13 février 1960:** La France teste sa première bombe nucléaire ("Gerboise bleue"), à Reggane dans le désert algérien.

- **16 octobre 1964:** La Chine teste sa première bombe A, puis en 1967 la bombe à hydrogène.
- **1er juillet 1968:** Signature à Londres, Moscou et Washington du Traité de non-prolifération nucléaire (TNP) qui entre en vigueur en mars 1970. Initialement prévu pour 25 ans, il sera prolongé de façon indéfinie en 1995.
- **24 août 1968:** La France intègre le club des cinq grands du nucléaire en faisant exploser sa première bombe H (thermonucléaire) au dessus de l'atoll de Fangataufa (Polynésie française).
- **Mai 1998:** L'Inde et le Pakistan deviennent de facto les sixième et septième puissances nucléaires, après avoir procédé à plusieurs essais.
- **9 octobre 2006:** La Corée du Nord, qui s'est retirée du TNP en 2003, fait exploser sa première bombe atomique, et une seconde en mai 2009.
- **11 décembre 2006:** Le chef du gouvernement israélien Ehoud Olmert laisse entendre qu'Israël disposerait de l'arme nucléaire. Le pays, qui possède selon les experts étrangers au moins 200 ogives nucléaires, n'a jamais confirmé ni démenti cette capacité, suivant la doctrine dite d'ambiguïté délibérée.

6.2.2.2. Les déchets radioactifs

Le fonctionnement des usines atomiques pour la production d'énergie et de radioéléments, aussi bien que l'utilisation de ceux-ci à des fins médicales ou de recherche scientifique aboutissent inévitablement à la production de déchets radioactifs.

Ces déchets apparaissent à tous les stades de production :

- extraction et traitement des minerais
- préparation des éléments combustibles fonctionnement des réacteurs
- Traitement des combustibles irradiés.

Les quantités les plus importantes de déchets proviennent du traitement des combustibles irradiés et comprennent presque uniquement des produits de fission.

Les déchets résultant des applications médicales, industrielles et scientifiques des radioéléments contiennent moins de radioactivité, mais la dispersion des établissements pose un problème d'évacuation non négligeable.

6.2.2.3. Déchets et effluents des installations en marche normale

La radioactivité des déchets ne pouvant être détruite ni par voie chimique, ni par voie biologique, leur élimination pose des problèmes particuliers. Pour cela, on dispose de deux moyens essentiels :

- 1) la dilution dans le milieu environnant lorsque la radioactivité est faible,
- 2) le stockage lorsque la radioactivité est plus élevée.

Le choix des moyens à mettre en oeuvre dépend donc de l'activité des déchets, mais aussi de leur nature physique, suivant que les déchets se présentent sous forme de gaz, de poussières, de liquides ou de solides.

6.3. Voies et modalités d'atteinte de l'homme

D'une façon générale, Le corps humain peut être amené à fixer des radio-éléments :

- *par contact et fixation sur la peau, les cheveux ou dans une blessure ouverte ;*
- *Par inhalation, lors du processus de respiration,*
- *Par ingestion via l'alimentation ou la boisson ;*

Les substances radioactives rejetées dans les différents milieux peuvent atteindre l'homme par des voies et selon des modes différents suivant le type de rejets effectués et la nature des radioéléments rejetés. Suivant le mode d'évacuation des rejets, on distingue : l'évacuation dans l'air, l'évacuation dans les cours d'eau et les lacs, l'évacuation dans les mers et les océans et l'évacuation à la surface du sol.

6.3.1. Évacuation dans l'air

Les gaz entraînent principalement une irradiation externe de l'organisme. Les aérosols insolubles contaminent l'appareil respiratoire après inhalation. Les aérosols solubles pénètrent dans l'organisme par ingestion alimentaire.

Un exemple classique du transfert de la contamination atmosphérique à l'homme est celui de l'iode-131. Déposé sur l'herbe des pâturages, l'iode-131 est ingéré par les vaches, puis sécrété dans le lait. Le lait est ensuite consommé par les populations, notamment les enfants.

6.3.2. Évacuation dans les cours d'eau et les lacs

Les risques d'irradiation externe que peuvent entraîner les rejets dans les cours d'eau et les lacs sont limités à des circonstances telles que les bains et sports nautiques, qui entraînent un contact plus ou moins prolongé avec les eaux contaminées et les sédiments.

Les risques de contamination interne sont généralement plus importants. Ils sont liés à l'utilisation de l'eau à des fins alimentaires ou agricoles.

En premier lieu, l'eau contaminée peut être ingérée par l'homme sous forme d'eau de boisson, ou d'eau incorporée aux aliments. L'eau polluée peut en effet contaminer les végétaux et les animaux directement ou indirectement par l'intermédiaire des sédiments et des chaînes alimentaires aquatiques.

6.3.3. Évacuation dans les mers et les océans

La capacité des océans offre de très larges possibilités d'isolement d'une part, de dilution d'autre part, qui sont mises à profit suivant deux méthodes.

La première consiste à déverser directement des déchets liquides d'installations atomiques dans les eaux côtières ; la seconde, consiste à déposer les déchets solides au fond de la mer après les

avoir scellés dans des récipients étanches, ce qui permet un isolement pendant un temps suffisant pour que, en raison de la décroissance, les substances radioactives passant dans les eaux marines, se diluent à un niveau acceptable.

A partir de la mer, les risques de retour à l'homme se font suivant trois processus principaux, à savoir, la contamination d'organismes marins comestibles, la contamination des sédiments et par conséquent des engins de pêche, et la contamination des plages.

6.3.4. Évacuation dans le sol

L'évacuation de déchets radioactifs dans le sol est possible, à condition de pouvoir garantir leur isolement. Un certain nombre de possibilités existent, donnant cette garantie. C'est le cas en particulier de l'utilisation de mines de sel abandonnées, ou de certaines formations géologiques imperméables. On peut également imaginer de construire spécialement des sites artificiels, en béton par exemple. Mais de telles solutions sont toujours très coûteuses.