

3ème Chapitre : Pollution atmosphérique

1- Introduction

Provoquée par le rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère, la pollution atmosphérique constitue sans aucun doute la plus évidente des dégradations de l'environnement. La pollution de l'air est la résultante de multiples facteurs qui caractérisent la civilisation contemporaine : croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, des épandages de pesticides en agriculture, etc. C'est au XIXe siècle que de nouvelles formes de pollution se sont développées de façon massive et récurrente dans les villes de la Révolution industrielle, celle-ci étant due à l'utilisation croissante du charbon. Ce phénomène était d'autant plus grave qu'une grande partie de l'habitat ouvrier se trouvait alors à proximité immédiate des lieux de production. Si la qualité de l'air des villes et des habitations contemporaines est souvent décriée, l'air intérieur de nombreux logements des siècles passés était également vicié par des foyers défaillants et nocifs pour la santé des résidents. La pollution de l'air n'est ainsi pas un phénomène récent mais s'inscrit au contraire sur l'échelle multiséculaire de l'histoire de l'homme et de ses activités. Seule la sensibilité à cette problématique a réellement évolué au fil du temps, devenant aujourd'hui un enjeu de santé publique fortement médiatisé.

2- Définitions:

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est une altération de la qualité et de pureté de l'air, ayant pour cause la présence de polluants à différentes état— gazeuses, particulaires, et peut-être liquides — par introduction ou modification de la concentration normale des agents chimiques, biologiques ou physiques au-delà d'une certaine norme, produisant un effet nuisible sur l'être humain et son environnement qui l'entoure.

Selon la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996, la pollution atmosphérique est définie comme : "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives".

Ainsi, par pollution de l'air, on entend la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère (OMS, 2005).

3- Type des substances polluantes de l'atmosphère

Nous pouvons classer les types de polluants atmosphériques en plusieurs catégories.

- Les polluants primaires qui sont émis directement de la source sans subir de transformation physique ou chimique,
- Les polluants secondaires qui sont formés de réactions chimiques entre les polluants primaires et les constituants présents dans l'atmosphère.

Le tableau 1 ci-dessous récapitule les principaux polluants gazeux des deux catégories.

Tableau 03: Classification des polluants atmosphériques gazeux selon leurs propriétés chimiques.

Class	Primary Pollutants	Secondary Pollutants
Sulfur compounds	Sulfur dioxide (SO_2), sulfur trioxide (SO_3), hydrogen sulfide (H_2S), carbonyl sulfide (COS), carbon disulfide (CS_2), dimethyl sulfide (CH_3SCH_3)	Sulfur trioxide (SO_3), sulfuric acid (H_2SO_4), sulphate ion (SO_4^{2-}), ammonium sulphate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), etc.
Nitrogen compounds	Nitric oxide (NO), nitrous oxide (N_2O), nitrogen dioxide (NO_2), ammonia (NH_3)	Nitric oxide (NO), nitrogen dioxide (NO_2), nitric acid (HNO_3), nitrate ion (NO_3^-), ammonium ion (NH_4^+)
Inorganic carbon compounds	Carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2)	Carbon dioxide (CO_2), oxygenated inorganic carbon compounds
Organic carbon compounds	Methane (CH_4), terpenes, isoprene, C1–C5 compounds classified as paraffins, olefins, and aromatics	Organic nitrates, peroxides (e.g., PAN), oxygenated hydrocarbons classified as aldehydes, ketones, and acids
Halogen compounds	Hydrogen fluoride (HF), hydrogen chloride (HCl), carbon tetrachloride (CCl_4), chlorofluorocarbons (CFCs), methyl chloride (CH_3Cl , CH_3CCl_3)	
Radioactive substances	Strontium (^{90}Sr), cesium (^{137}Cs), iodine (^{131}I), tritium (^3H) radon and radon daughters	

En plus des polluants gazeux, il existe des polluants sous forme solide (poussière, fumée) et liquide (brouillard, brume). Le tableau 2 suivant nous montre la concentration de plusieurs gaz pour une atmosphère propre.

Tableau 04: Concentration des gaz normaux et polluants dans une atmosphère propre (Seinfeld, 1986)

Normal Atmospheric Gas	Average Concentration (ppm)	Pollutant Gas	Average Concentration (ppm)	Approximate Residence Time
N ₂	780.840	CO ₂	355	15 years
O ₂	209.460	CH ₄	1.7	7 years
Ar	9.340	N ₂ O	0.3	10 years
Ne	18.2	CO	0.05-0.2	65 days
Kr	1.1	SO ₂	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	40 days
Xe	0.09	NH ₃	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	20 days
He	5.2	NO _x	10 ⁻⁶ -10 ⁻²	1 day
H ₂	0.58	HNO ₃	10 ⁻⁵ -10 ⁻³	1 day
H ₂ O	Variable	O ₃	10 ⁻² -10 ⁻¹	

Cette concentration est bien sûr beaucoup plus élevée dans une atmosphère polluée comme dans les régions urbaines et industrialisées.

4- Causes et origines des principaux polluants atmosphériques

Plusieurs éléments sont considérés comme des polluants de l'air parce qu'ils n'existent pas naturellement dans l'air ou pas à une telle concentration, et qu'ils sont nocifs pour la santé des êtres vivants. Ce sont des gaz, souvent invisibles, comme le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x) et de soufre (SO₂) ou encore l'ozone (O₃). Il y a aussi des particules solides, plus ou moins fines. Elles donnent leur consistance et leur couleur aux fumées. Ces poussières sont d'origine minérale, métallique ou organique.

La présence d'eau sous forme de vapeur ou de microgouttelettes en suspension donnant une fumée blanche n'est pas considérée comme polluante.

Ainsi la pollution de l'air intègre la *pollution biologique* induite par des taux anormaux ou anormalement allergènes de microbes, virus, pollens ou de spores fongiques. Les effets allergènes (rhinite, conjonctivite, asthme) de ces particules biologiques sont en augmentation, et ils semblent souvent exacerbés par les polluants urbains.

La pollution atmosphérique résulte principalement des gaz et particules rejetés dans l'air par les véhicules à moteur, les installations de chauffage, les centrales thermiques et les installations industrielles : dioxydes de carbone, de soufre et d'azote, poussières, particules radioactives, produits chimiques (dont certains engrains et pesticides), etc.

On distingue deux origines :

- naturelles, par exemple : volcanisme, érosion éolienne, émissions naturelles de méthane (marécages).

Cette distinction est parfois difficile à établir ; la dégradation anthropique des sols (ex : réchauffement des pergélisol) peut favoriser des émissions de méthane qu'on jugera ou non naturel, de même qu'une aridification anthropique induite par le drainage, le surpâturage, la salinisation et dégradation des sols favorise des envols de poussière qu'il est difficile de différencier des envols naturels à partir des déserts supposés naturels ou originels.

La principale cause est l'activité anthropique, mais certains événements naturels peuvent perturber la composition de l'air de façon non négligeable et durable, comme une éruption volcanique ou certains feux naturels à très grande échelle.

- anthropiques, par exemple : émissions des poêles et chaudières (chauffage domestique, notamment le chauffage au bois, et le chauffage industriel), moteurs (trafic routier, maritime et aérien), usines (industries des produits chimiques et pharmaceutiques, des peintures et des enduits, usines d'incinération...), agriculture, etc. ;

La pollution due aux activités humaines se décompose principalement en :

- rejets de l'industrie : les industries de la chimie et de la pétrochimie notamment rejettent dans l'air de nombreux types de produits, résidus de processus de transformation ;

- rejets liés à l'incinération et la dégradation naturelle ou contrôlée (compostage, fermentation...) des ordures ou d'autres produits ;
- rejets liés à la production d'énergie (électricité, chauffage...), généralement par combustion de produits pétroliers ;
- rejets liés aux activités agricoles et d'élevage ;
- la pollution par les transports : elle est diffuse et difficile à contrôler.
- dans les espaces clos, l'utilisation de produits d'entretien, les colles de moquette, certains meubles en agglomérés, les activités domestiques comme le bricolage... dégagent aussi des polluants.

4- Effets des polluants de l'air sur la santé humaine

De tous les milieux avec lesquels l'homme est en contact, l'air est le seul auquel il ne peut pas se soustraire : il faut en effet respirer pour vivre. L'air constitue le premier des éléments nécessaires à la vie ; pour chaque individu, environ 14 kg d'air transitent tous les jours par les voies respiratoires. Les effets de la pollution atmosphérique dépendent de la quantité de polluant avec lequel l'organisme est en contact ; on parle de "dose". Cette dose varie en fonction de 3 facteurs:

- La concentration des polluants dans l'atmosphère,
- La durée de l'exposition,
- L'intensité de l'activité physique,

Les troubles se manifestent principalement chez les personnes sensibles que sont :

- Les enfants,
- Les personnes âgées,
- Les asthmatiques, les insuffisants respiratoires, les cardiaques, les bronchitiques chroniques...
- Les fumeurs,
- Les femmes enceintes,
- Les professionnels en contact avec des produits chimiques (garagistes, métiers du bâtiment, agents de l'industrie...).

Suivant la nature des polluants, les conséquences pour la santé sont différentes, même si les différents constituants nocifs agissent souvent en synergie. Nous citons ici quelques **polluants** et leurs effets sur la santé:

- **Dioxyde de soufre (SO₂)**: C'est un gaz irritant. Il provoque une altération de la fonction pulmonaire chez les enfants et une exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire...). Les personnes asthmatiques y sont particulièrement sensibles.
- **Oxyde d'azote (NO, NO₂)**: C'est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires, entraînant une hyperréactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.
- **Particules en suspension (PM10)** : Les plus grosses particules sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Elles sont donc moins nocives pour la santé que les particules plus fines (<10 µm de diamètre) qui pénètrent plus profondément dans l'organisme ; elles irritent alors les voies respiratoires inférieures et altèrent la fonction respiratoire dans l'ensemble. Certaines, selon leur nature, ont également des propriétés mutagènes et cancérogènes.
- **Monoxyde de carbone (CO)** : Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Le système nerveux central et les organes sensoriels sont les premiers affectés, provoquant des céphalées, vertiges, asthénies ou troubles sensoriels. En cas d'exposition très élevée et prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles.

- **Composés organiques volatils (COV) dont benzène:** Ces molécules ont des effets très divers selon leur famille. De la simple gêne olfactive (odeurs), certains provoquent une irritation (aldéhydes), voire une diminution de la capacité respiratoire. D'autres, comme le benzène, provoquent des effets mutagènes et cancérogènes.
- **Métaux (Pb, As, Ni, Hg, Cd...):** Ces différents éléments s'accumulent dans l'organisme, ce qui entraîne un risque de toxicité à long terme impliquant d'éventuelles propriétés cancérogènes.
- **Ozone (O₃):** Ce gaz, très oxydant, pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque de la toux et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques, ainsi que des irritations oculaires.

5- Conséquences écologique de la pollution de l'air

5-1- Altération des matériaux et des constructions urbaines

Les processus naturels d'altération des murs et des bâtiments sont essentiellement dus aux conditions climatiques (variations de températures, humidité...) mais aussi à l'action des êtres vivants (bactéries, de champignons, de lichens).

Les pierres utilisées pour la construction des monuments sont principalement des calcaires dont on connaît la réactivité aux agents atmosphériques. L'observation des façades ou des statues montrent un noircissement réparti de façon non uniforme dû au dépôt de particules en suspension. Les particules polluantes voient leur origine dans la combustion partielle des carburants fossiles, du bois, ainsi que des déchets.

A long terme les effets sur l'environnement peuvent avoir lieu avec des concentrations plus faibles que celles nocives pour l'homme.

Les conséquences les plus visibles sont souvent le noircissement des bâtiments et des monuments, dont le coût de la restauration est souvent très lourd.

Les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre contribuent fortement au phénomène des pluies acides qui détruisent le milieu naturel ainsi que les matériaux de construction.

5-2- Altérations des écosystèmes

De manière aigüe ou chronique les polluants atmosphériques ont de lourds impacts sur les écosystèmes.

De manière ponctuelle, par exemple lors des forts épisodes de pollution à l'ozone, des nécroses ou des tâches apparaissent sur les feuilles des arbres.

Sur une période d'exposition prolongée à l'ozone, un affaiblissement des organismes et un fort ralentissement de la croissance est observé, et à terme cela impacte les cultures agricoles.

Les polluants peuvent également parcourir des distances importantes et atteindre des écosystèmes sensibles. Sous l'effet des oxydes d'azote (NO_x) et du dioxyde de soufre (SO₂), les pluies, neiges, brouillard deviennent plus acides et altèrent les sols et les cours d'eau (perte des éléments minéraux nutritifs). Ces apports engendrent un déséquilibre de l'écosystème. Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité puis par la perturbation du fonctionnement général des écosystèmes.

La pollution de l'air affecte également la faune : déclin de certaines populations pollinisateur, difficultés de certaines espèces à se reproduire ou à se nourrir. Elle modifie la physiologie des organismes, l'anatomie et les caractéristiques du biotope des populations du milieu.

5-3- Altération de la biodiversité

La pollution de l'air génère la disparition et l'apparition locales de certaines espèces et le développement de certains organismes au dépendant d'autres. L'introduction d'espèces invasives accroît encore plus ces déséquilibres.

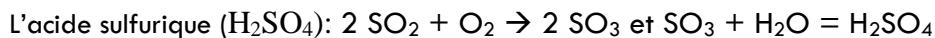
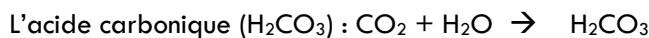
Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité puis par la perturbation du fonctionnement des écosystèmes.

L'affaiblissement et la disparition des services écologiques rendus par ces écosystèmes (mécanismes d'épuration, stabilisation des sols, etc.) génèrent une dégradation généralisée du milieu de vie aussi bien pour les organismes que pour l'homme et ses activités.

5-4- Les pluies acides

Une pluie acide est une pluie rendue acide par son contact avec la pollution de l'atmosphère. Au départ, toute pluie est légèrement acide avec un pH de 5 à 5.6: il y a absorption par les gouttelettes d'eau du gaz carbonique CO₂ naturellement présent dans l'air. Mais l'activité humaine augmente l'acidité des pluies et les rend plus acides (pH de 4.6 à 4.0) que la normale, principalement à cause de l'addition de dioxyde de soufre SO₂ et d'oxydes d'azote NO_x dans l'atmosphère devenant très dangereuses.

Exemple des réactions formant les pluies acides :



5-5- L'effet de serre

L'effet de serre est un phénomène naturel par lequel une partie de l'énergie solaire qui est émise par la terre est absorbée et retenue sous forme de chaleur dans la basse atmosphère. C'est un phénomène naturel indispensable à notre survie.

L'effet de serre est causé par des gaz contenus dans l'atmosphère, principalement la vapeur d'eau. D'autres gaz jouent un rôle dans l'effet de serre: le dioxyde de carbone, le méthane, les oxydes d'azote, l'ozone et les hydrocarbures en provoquant l'élévation de la température à la surface de notre planète.

Les activités humaines affectent la composition chimique de l'atmosphère et entraînent l'apparition d'un effet de serre additionnel, responsable en grande partie du changement climatique actuel.

La concentration de plus en plus grande de gaz à effet de serre dans l'atmosphère augmente l'effet de serre et ainsi augmente le réchauffement de la planète (ce qui explique la fonte des glaces dans les pôles nord et sud).

5-6- Le trou d'ozone

Le terme trou d'ozone renvoie à un phénomène annuel observé au-dessus du pôle sud, en l'occurrence une diminution drastique de la quantité d'ozone dans l'atmosphère.

La destruction de l'ozone stratosphérique est due à l'action de certains composés chimiques à base de chlore et de brome, tels que les chlorofluorocarbones (CFC) ou les bromures de méthyle (CH₃Br), résultant des activités humaines. Des mesures sont prises afin de réduire les émissions de telles substances dans l'air comme l'arrêt total de la production de CFC depuis 1994 (protocole de Montréal).

5-7- Le réchauffement ou dérèglement climatiques

Il est dû à l'augmentation des concentrations de Gaz à Effet de Serre. Au cours du XXe siècle, un réchauffement général de la planète de + 0,5°C a été observé. Si ce phénomène persiste et s'amplifie, le réchauffement de la planète pourrait entraîner la fonte totale des glaciers et une élévation du niveau moyen des mers.

5-8- Les catastrophes naturelles

Les catastrophes d'origine naturelle sont déclenchées à cause de l'augmentation de température sur la terre et dans les mers.

5-9- La fonte des glaciés

La manifestation, à ce jour la plus évidente, d'un réchauffement climatique global se marque dans la réduction progressive de la superficie des glaciers. Les glaciers alpins et andins sont déjà sérieusement en retrait. Le glacier d'Argentière à Chamonix est probablement le cas le mieux documenté : une gravure datant de 1850 en montre les limites pratiquement à hauteur du village alors qu'il en est actuellement éloigné de plus d'un km. Que ce soit dans l'Himalaya, en Afrique, dans les Andes, au Groenland ou encore en Scandinavie, le constat reste identique : les glaciers continentaux régressent depuis une centaine d'années. On s'attend à la disparition de 30 à 50 % des glaciers de montagne d'ici à 2100. A plus court terme encore, cette situation va exacerber le problème de l'alimentation en eau douce de dizaine de millions de personnes. Sans compter que, sur le plan touristique, bon nombre de stations de sports d'hiver risquent de voir leurs pistes disparaître.

6- La lutte contre la pollution de l'air :

L'air ne connaît pas de frontière. Les polluants circulent avec les courants atmosphériques, retombent au sol, sont pris en charge par les rivières jusqu'aux mers. Ainsi, certaines régions arctiques, pourtant peu habitées sont presque aussi polluées que des villes. Une fois émis, les polluants sont difficiles à arrêter. La précaution consiste à surveiller la pollution de l'air et à limiter les émissions à la source.

6.1. Dépollution par des mesures réglementaires; actions des pouvoirs publics et des citoyens

Les pouvoirs publics agissent à différents niveaux pour améliorer la qualité de l'air:

- Etablissement d'un plan régional ou national pour la qualité de l'air définissant les grandes orientations pour améliorer la qualité de l'air en la surveillant et en maîtrisant les émissions polluantes.
- Réglementations à respecter visant les industriels, en les incitants à développer des technologies ou/et des substances moins toxiques pour l'homme et l'environnement qui limitent la pollution de l'air. C'est notamment ce qu'il se passe avec les moteurs de voitures, qui au fil de l'histoire, ont évolué pour améliorer les pots catalytiques et ainsi rejeter de moins en moins de polluants.
- Mise en place de taxes, suivant la notion de « pollueur payeur », obligeant par exemple certains exploitants d'installations polluantes de payer la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP).
- Organisation de campagnes de sensibilisation, d'information et d'éducation
- utilisation modérée des énergies fossiles et la vulgarisation de l'usage des énergies renouvelables comme les énergies solaire, éolienne ou marémotrice ensuite on penser à modifier les substances dangereuses avant leur transformation, puis à mieux contrôler le processus même de transformation.
- Action des citoyens, pouvant également agir pour limiter la pollution de l'air, comme par exemple :
 - Eviter les transports motorisés quand on peut se déplacer en vélo ou à pied.
 - Privilégier les transports en commun
 - Acheter en priorité des produits écologiques
 - Économiser l'eau, l'électricité et le gaz

6.12. Dépollution physico-chimiques

- Le dégazage qu'est une opération courante consistant à ventiler les citernes d'un système pétrolier pour éliminer les gaz nocifs qu'elles contiennent et éviter le risque explosif. Il est le préalable à l'intervention humaine dans les citernes pour un nettoyage ou une maintenance.
- dissiper l'accumulation dangereuse de gaz d'hydrocarbures dans une citerne, en pratiquant l'inertage, qui consiste à l'introduction d'un gaz inerte : généralement de l'azote (cas des chimiquiers et des certains types de gaziers), ou encore des gaz d'échappement des moteurs après traitement (cas des pétroliers et des OBO (Ore-bulk-oil carrier)).
- Limiter la pollution de l'air dû aux transports par le recours aux choix suivants :
 - Les véhicules électriques alimentés d'une batterie à autonomie limitée.
 - Le moteur à hydrogène qui n'émet pas de CO₂ mais seulement de l'H₂O et du NO_X
 - d'autres carburants sont envisageables à condition d'affiner les technologies de production et de combustion tels que le gaz naturel, les huiles végétales, les alcools, etc...
 - utiliser les propriétés de photocatalyse du dioxyde de titane. Ce dernier, soumis à des rayons ultraviolets, s'avère capable de détruire les salissures d'origine organique ainsi qu'une grande partie des polluants des gaz d'échappement.
- Triage ses déchets
- Plusieurs entreprises envisagent d'inclure des particules de dioxyde de titane dans des matériaux de construction comme le ciment. Les rayons UV du soleil activeraient les propriétés dépolluantes des constructions édifiées à l'aide de ces composants.

6.1.3. Dépollution biologique ; biofiltration ou encore phytoremédiation

La phytoremédiation consiste à utiliser des plantes pour dépolluer le sol, l'eau ou l'air. Pour ce qui est des polluants de l'air des habitations et des bureaux, les fameuses plantes dépolluantes, à la mode depuis quelques années, ont une efficacité controversée. En revanche, l'aptitude des racines des végétaux à extraire certains polluants chimiques, à les stocker ou même à les dégrader, n'est pas mise en doute.

En extérieur, le volume d'air est trop important pour envisager de dépolluer l'air. Mais l'environnement sera plus sain là où se trouve une grande quantité de plantes qui jouent le rôle de filtre. Certaines plantes absorbent davantage la pollution atmosphérique que d'autres. Ce sont les végétaux qui offrent une grande surface d'échange avec l'air ambiant, parce que leurs feuilles sont très nombreuses ou que leur forme est particulière. Les championnes toutes catégories sont les mousses. Elles capturent davantage les polluants de l'air que les plantes à grandes feuilles, qui offrent une moins grande surface, en dépit des apparences ! Les plantes à feuillage moussu, comme le persil frisé, ou les buissons à petites feuilles, sont ainsi plus efficaces que les autres.

Le recours aux plantes dites «dépolluantes» a fait l'objet d'une forte médiatisation ces dernières années. Plusieurs scientifiques sont intéressés au phénomène et ont ainsi cherché à évaluer l'impact réel de ces végétaux sur le niveau de pollution dans l'environnement intérieur.

4ème Chapitre : Pollution de l'eau

1- Introduction

L'eau est une ressource très inégalement répartie dans l'espace et dans le temps. En effet, plus de 97 % de l'eau de la planète est constituée d'eau salée (Océans et mers) pour moins de 3 % d'eau douce. Cette eau suave est elle – même repartie à 78% sous forme de glace, et seulement 22 % à l'état liquide. Ainsi seule une infime fraction de l'hydrosphère est disponible sans trop de difficultés pour les besoins humains.

La pollution de l'eau est sans doute aussi ancienne que la sédentarisation de l'humanité et sa première industrie ; (localement millénaires, contamination des mares, puits, étangs par les excréments animaux ou humains...).

2- Definitions

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines.

La pollution de l'eau correspond à la présence dans l'eau de minuscules organismes extérieurs, de produits chimiques ou de déchets industriels. Cette pollution (ou contamination) touche les eaux de surface (océans, rivières, lacs) et les eaux souterraines qui circulent dans le sol.

Elle entraîne une dégradation de la qualité de l'eau, ce qui rend son utilisation dangereuse (pour l'eau que l'on boit par exemple) et perturbe beaucoup le milieu aquatique (en particulier la vie des poissons).

Les pollutions de l'eau ne peuvent pas être nettement séparées des autres contaminations comme celles de l'air, des sols ou de la chaîne alimentaire.

3- Causes et origines de la pollution des eaux

Les océans, mers et rivières subissent des pollutions qui ont des conséquences graves et souvent irrémédiables sur la faune, la flore, et la qualité de l'eau. La pollution de l'eau peut avoir diverses causes parmi lesquelles les pollutions urbaines, industrielle et agricole représentent les trois causes essentielles :

3.1- Pollution d'origine urbaine : Les eaux usées rejetées par les villes, en particulier par les grandes agglomérations, peuvent causer de graves dégâts au milieu naturel. Les besoins en eau sont d'autant plus importants que le niveau de vie des habitants est élevé. À titre indicatif, en France, la consommation par habitant et par jour est de l'ordre de 400 litres, dont 100 litres pour la consommation individuelle et 300 litres de besoins collectifs. Les eaux usées urbaines comprennent divers types d'effluents :

- les eaux vannes, ayant servi à évacuer les déjections humaines (urine et matières fécales) ;
- les eaux ménagères ou domestiques, utilisées dans les divers besoins quotidiens : hygiène corporelle, lavage du linge, de la vaisselle, des sols, cuisson des aliments, etc.

3.2- Pollution d'origine agricole : L'élevage et l'aviculture sont responsables du nombreux polluant organique et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrains commerciaux, notamment des nitrates. Les déchets animaux sont avides d'oxygène, riches en azote et en phosphore, et renferment souvent des organismes pathogènes. Les résidus issus des engrains sont retenus par les sols, mais peuvent contaminer les nappes phréatiques et les cours d'eau par ruissellement et lessivage par les eaux naturelles.

3.3- Pollution d'origine industrielle : L'eau joue de multiples rôles dans le monde industriel, c'est pourquoi toutes les industries ont des besoins en eau, plus ou moins importants selon leurs types d'activités. L'eau peut en effet servir à l'extraction, au transport des matières premières. Elle peut intervenir directement dans les procédés de fabrication, comme solvant ou milieu réactionnel. Elle peut aussi servir au lavage et au transport des produits finis, elle est nécessaire à divers circuits de refroidissement. Enfin, elle intervient dans un certain nombre d'installations collectives adjacentes à un site industriel (habitat, restaurants, cantines, sanitaires, etc.).

3.4- Pollution d'origine naturelle : certains phénomènes naturels peuvent également contribuer à cette pollution, par exemple le contact de l'eau avec les gisements minéraux (comme les roches calcaires) peut par l'érosion hydrique une dissolution des minéraux.

4- Type des pollutions de l'eau

Il existe différents types de pollution des eaux qui proviennent des activités humaines, mais également de l'atmosphère et de phénomènes naturels. Dans cette partie, nous évoquerons les pollutions organiques et microbiologiques, la pollution par le pétrole, les pesticides, les métaux, les acides, la radioactivité, les nitrates, le phosphate et l'eutrophisation qui est un cas particulier de la pollution.

4.1- La pollution organique et microbiologique :

Les matières organiques ont longtemps été les principaux polluants des milieux aquatiques. Elles proviennent des déchets domestiques (les ordures ménagères, les excréments), de l'agriculture (lisiers ou urines), ou de l'industrie (huilerie).

Certaines substances organiques sont facilement biodégradables et peuvent donc être décomposées et éliminées grâce aux capacités naturelles d'autoépuration des milieux aquatiques.

Cette pollution a des conséquences néfastes sur l'environnement, en effet des poissons meurent du au manque d'oxygène, et les végétaux ont tendance à disparaître en cas de forte pollution.

La pollution microbiologique est une autre forme de pollution organique. En effet, les déchets tels que les excréments contiennent des germes dits pathogènes, c'est à dire des virus, des bactéries, ou encore des bactéries véhiculées par l'eau. Ces germes peuvent provoquer de graves maladies comme le choléra. Avant, elle était responsable de nombreuses épidémies assez graves dans nos pays.

Aujourd'hui, cette pollution a diminuée dans les pays industrialisés grâce aux stations d'épurations. Mais, dans les pays en développement cette pollution cause toujours aussi un grand nombre de mort.

4.2- La pollution par le pétrole :

Le pétrole est un composé organique biodégradable qui s'élimine s'il est en petite quantité. Mais, en cas de marée noire, c'est à dire lorsqu'une arrivée massive d'une grande importance de pétrole brut ou de produit pétroliers lourds provient de pétroliers accidentés. Cela cause une dépollution plus difficile. Par exemple, lors d'accident tels que ceux du TorreyCanon en 1967 qui entraîna le passage de 118 000 tonnes de pétrole dans la mer ou encore comme l'Amoco Cadiz, ou l'Erika. Ces accidents représentent 5 % de la quantité de pétrole déversé dans les mers. Les marées noires affectent les espèces planctoniques et les algues dont certaines disparaissent et d'autre pullulent.

Afin de limiter ces marées noires, des chercheurs essaient des mesures mécaniques et chimiques. Cette lutte s'effectue à deux niveaux, celle de la limitation de l'étendue du pétrole et celle de l'élimination de celui-ci.

4.3-La pollution par les pesticides :

Les pesticides sont des composés chimiques dotés de propriétés toxicologiques utilisés par des agriculteurs afin de lutter contre les insectes, les rongeurs, ou encore contre certaines plantes comme les champignons. Le premier usage des pesticides remonte à la seconde guerre mondiale. En effet, la DDT était utilisé afin de lutter contre la propagation des poux, de l'épidémie du typhus, de la malaria, de la fièvre jaune par exemple. Aujourd'hui, ils sont à l'origine de plusieurs pollutions qui contaminent les cours d'eau, les eaux souterraines... Il existe un milliers de familles de pesticides, soit une dizaine de milliers de pesticides. Leurs comportements sont diversifiés et leurs effets sont très mal connus sur la santé et l'environnement.

Les principaux pesticides sont actuellement :

- les organochlorés (hydrocarbure chlorés) utilisés comme la DDT pour la lutte d'insecte par exemple. les organophosphoré composés de synthèse qui se dégradent assez rapidement dans l'environnement, ils ont des effets neurotoxiques sur les vertébrés.
- les pyrethoïdes sont des insecticides qui sont très toxiques pour les organismes aquatiques. les carbamates utilisés comme insecticides et fongicides, ils sont très toxiques.
- les phytosanitaires qui regroupent un très grand nombre de produits de la famille des trizines ou des fongicides.

4.4-La pollution par les métaux :

La pollution métallique pose un problème particulier. En effet, ce type de pollution n'est pas biodégradable.

La pollution des eaux par les métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium, manganese,...etc.) est due à des émissions provenant des activités humaines diverses. Essentiellement, elle a pour origine les fonderies de la métallurgie et les incinérateurs d'ordures, ainsi que les installations minières abandonnées. Avec les pluies et le lessivage, ils se retrouvent dans les océans. La facilité avec laquelle les polluants sont emportés par l'eau de lessivage dépend fortement de conditions spécifiques (surface spécifique, forme, taille des grains...).

4.5-La pollution par les acides :

Les pluies acides : endommagent les forêts et empoisonnent les lacs, les sols, et les rivières. Par exemple, des milliers de lacs au Canada, au Japon et dans les pays scandinaves sont très touchés.

Le drainage minier acide : c'est une solution minérale souvent acide qui s'écoule régulièrement en conséquence d'une mine.

4.6-La pollution radioactive :

La pollution radioactive est générée par la radioactivité. Elle prend ses origines dans la nature (ex : radon), dans l'industrie (ex : pour la production de l'électricité nucléaire, dans le domaine médical), au niveau militaire (ex : pour les bombes atomiques) ou lors d'accident (comme Tchernobyl où les éléments se dispersent dans l'atmosphère, le sol et l'eau (ex : Fleuves, nappes phréatiques). La pollution radioactive est invisible et est nocive pour l'homme. En effet, les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue et se désintègrent en émettant des rayonnements dangereux. Lorsque des radioéléments sont fixés dans le corps humain, ils peuvent être dangereux même si la quantité totale de rayonnements émis est faible, car ils atteignent les cellules et peuvent créer des tumeurs (caractère mutagène des radiations).

4.7-La pollution thermique :

La pollution thermique correspond à l'augmentation ou la diminution de la température de l'eau par rapport à la "normale". Cette pollution affecte le milieu aquatique, sur les algues par exemple, on peut observer de fortes proliférations ou un taux de mortalité important.

Ce type de pollution est lié particulièrement à l'industrie. En effet, les industries utilisent l'eau comme liquide de refroidissement.

4.8-La pollution par les nutriments

- **les nitrates :** La pollution par les nitrates apparaît à la fin des années 1950 et ne fait qu'augmenter. En France, la présence de nitrates dans les eaux continentales provient à 66% de l'agriculture. Aujourd'hui, les nitrates constituent la cause majeure des pollutions des réservoirs d'eaux souterraine du globe. Ils sont des nutriments pour les plantes, mais ils sont également consommés par les microorganismes présents dans la terre. Les nitrates présentent un double risque. En effet, en grande quantité ils ont des effets toxiques sur la santé humaine.
- **La pollution par le phosphate :** Le phosphore présente rarement une toxicité vis-à-vis des poissons. En France et dans le monde, le phosphate est le principal responsable de l'eutrophisation. Le phosphore (présent dans l'eau sous forme de PO_4^{3-}) agit à très faible dose. Lorsqu'il atteint le seuil de 0,2 milligrammes par litre d'eau, il se produit une croissance abondante de la flore. Lorsqu'ils sont en forte concentration, ils portent atteintes à l'environnement. En Suisse, par exemple, l'emploi des phosphates dans les lessives sont interdit depuis 1986 afin de diminuer l'eutrophisation du lac Léman qui était très atteint dans les années 1950.

5- Effets des polluants de l'eau sur la santé humaine

La pollution de l'eau dans le monde est responsable d'un grand nombre de décès chaque année.

Une estimation montre qu'environ 2,3 millions de personnes souffrent de maladies imputables (attribuer) à la mauvaise qualité de l'eau.

La santé de l'homme dépend principalement de la qualité de l'eau. En effet, l'eau est vitale au corps humain car, celui-ci en contient environ 65%. L'eau permet la digestion, l'irrigation et la multiplication des cellules ainsi que l'évacuation des déchets de l'organisme.

Les contaminations sur l'homme peuvent se faire par ingestion, par contact ou par inhalation des vapeurs d'eau ce qui cause des maladies.

En France et dans les pays développés des règles et des normes ont été mises en place. En effet, il faut respecter des caractéristiques pour pouvoir boire l'eau et éviter les maladies.

5.1. Maladies infectieuses

Dans la nature, l'eau n'est pas toujours source de vie, loin s'en faut. Elle véhicule en particulier nombre de micro-organismes, bactéries, virus et protistes en tout genre, qui y vivent et s'y développent, ainsi que nombre de parasites dont les hôtes ont besoin d'eau pour vivre ou se reproduire. Or de tels organismes peuvent engendrer des maladies parfois graves lorsqu'ils pénètrent dans le corps humain. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de ces maladies que l'on dit hydriques.

Les micro-organismes abondent dans les eaux souillées par les déjections animales et humaines, et leur transmission à l'homme se fait par simple ingestion d'eau infectée. Ils se propagent donc rapidement dans les pays qui ne disposent pas de bonnes conditions d'hygiène :

- Certaines bactéries, notamment le colibacille responsable des colibacilloses et le vibron cholérique responsable du choléra, et certaines amibes, véritables parasites du corps humain, déclenchent de fortes diarrhées. Lorsqu'aucun soin n'est dispensé, ces pertes d'eau peuvent conduire à une déshydratation importante de l'organisme et entraîner la mort. La fièvre typhoïde est due elle aussi à une bactérie qui, outre des troubles digestifs, provoque une forte fièvre.
- La bilharziose par exemple, endémique en Afrique et en Asie, provoque des troubles graves du foie, de la vessie et des intestins. Elle est due à un tout petit ver, le schistosome, qui vit aux dépens de certains mollusques se développant dans les eaux stagnantes. Ces mollusques prolifèrent dans les champs irrigués où ils infectent les paysans qui y travaillent sans protection.
- L'onchocercose est une maladie parasitaire que l'on trouve surtout en Afrique et qui engendre la cécité. Le parasite responsable est un ver véhiculé par une mouche, la simulie, dont les larves vivent dans les eaux courantes. Pour tuer cette larve et éradiquer la maladie, les eaux des rivières doivent être traitées aux insecticides pendant parfois plusieurs années.
- L'agent responsable du paludisme, le plasmodium, est un protiste qui ne vit pas dans l'eau. Il parasite un moustique qui lui en a besoin et qui se satisfait de la moindre eau stagnante. Cette maladie, transmise à l'homme par la simple piqûre d'un moustique infecté, se traduit par des accès intermittents de fortes fièvres.
- La dengue enfin est une maladie virale propagée par un moustique qui vit normalement dans les zones tropicales humides d'Afrique mais qui est également présent depuis une vingtaine d'années dans les régions chaudes et humides d'Amérique Latine. Elle a tendance aujourd'hui à gagner des régions au climat aride : là en effet, les populations démunies stockent leur eau dans des conteneurs où ce moustique peut venir pondre ses œufs. La forme la plus virulente de cette maladie déclenche des hémorragies : elle est très grave et peut être mortelle.

Aujourd'hui, ces maladies hydriques sont à l'origine de la mortalité très élevée des populations des pays en voie de développement. Dans le monde, environ 6 millions d'enfants meurent chaque année des suites de gastro-entérites, 100 millions de personnes souffrent en permanence de gastro-entérites hydriques, 260 millions d'individus sont atteints de bilharziose, 2 à 3 millions de décès sont observés chaque année parmi les 700 et 800 millions de sujets impaludés et 30 millions d'onchocercose sont dénombrés. La raison principale de cette situation catastrophique est la pauvreté. Nombre de populations ne disposent pas d'eau potable, les aménagements indispensables aux traitements des eaux usées et à la fabrication d'eau potable étant trop coûteux, ni même des soins que ces affections nécessitent, les infrastructures médicales n'étant pas suffisantes.

5.2. Toxicité de certains polluants chimiques

L'eau de la nature est d'autant moins potable aujourd'hui qu'elle est de plus en plus polluée par des substances rejetées par les sociétés humaines. Or, cette pollution est parfois telle aujourd'hui, que même la qualité de l'eau potable s'en ressent. Il n'est pas rare en effet, même dans les pays industrialisés, qu'une affaire éclate au sujet d'eaux du robinet ne respectant pas les normes. Sont généralement incriminées, les pollutions bactériologiques, et les pollutions par les nitrates, pesticides et métaux lourds.

De toutes ces matières qu'elle reçoit, certaines sont sans risque pour la santé en dessous d'une certaine concentration, d'autres sont toxiques même à l'état de trace. Outre leur concentration, le temps d'exposition à ces substances est également très important. Si la contamination par les micro-organismes **pathogènes** est très rapide, une seule absorption d'eau infectée pouvant suffire, certaines substances ne sont toxiques qu'après un long temps d'exposition. Mais, par-delà ces généralités, les effets sur l'organisme humain de cette kyrielle de substances que les populations ingèrent régulièrement à doses homéopathiques restent, pour la plupart, encore méconnus.

- Certaines substances, comme les métaux lourds, ne sont pas éliminées par l'organisme. Elles s'y accumulent, et leur ingestion prolongée peut être la cause de maladies graves, même si leur teneur dans l'eau est très faible. Ingérées en grande quantité, lors d'une pollution accidentelle, ces mêmes substances sont rapidement toxiques.
- Le plomb par exemple passe dans le sang et va perturber de nombreux mécanismes biochimiques, touchant principalement le système nerveux mais aussi d'autres fonctions, comme la reproduction. Les enfants exposés de manière prolongée à de faibles doses de plomb peuvent ainsi développer un saturnisme, une maladie caractérisée par divers troubles pouvant être irréversibles : ceux-ci concernent notamment la croissance, le développement du système nerveux central, le développement intellectuel et le comportement. À plus forte dose, le plomb peut induire même chez les adultes, et aussi bien chez les hommes que chez les femmes, des troubles de la reproduction, des insuffisances rénales, ou des encéphalopathies. Il peut également se fixer sur les os du squelette où il ne sera en rien gênant tant qu'il ne sera pas renvoyé dans le sang ; or, cela peut se produire en particulier chez les femmes enceintes ce qui engendre une surexposition fœtale, mais aussi chez les personnes âgées qui se retrouvent alors empoisonnées de manière brutale.
- Au-delà d'un certain seuil de concentration, les nitrates peuvent engendrer, chez les enfants et surtout les nourrissons très sensibles à une absorption trop importante, un empoisonnement du sang appelé une méthémoglobinémie, ou encore maladie bleue. Les nitrates ne sont pas nocifs en soi pour la santé. Mais sous l'action d'une bactérie présente dans le corps humain, ils se transforment en nitrites. Ceux-ci oxydent l'hémoglobine du sang qui ne peut plus fixer l'oxygène ce qui perturbe la respiration cellulaire.
- Même à faible concentration, ils peuvent également engendrer à long terme des cancers chez les adultes lorsqu'ils sont associés à certains pesticides avec lesquels ils forment des composés cancérogènes.
- Les pesticides forment une famille très nombreuse où réside sa difficulté : plusieurs centaines de molécules très diverses sont en effet utilisées. En outre, dans la nature, ces molécules se dégradent, et ce faisant en génèrent d'autres. Or les toxicités de chacune de ces substances, pesticides et produits de dégradation, diffèrent et sont mal connues pour la plupart, l'incertitude portant sur les effets à long terme de doses infimes mais répétées. Certains d'entre eux, comme l'atrazine, un herbicide utilisé dans la culture du maïs, sont cancérogènes. D'autres seraient susceptibles d'avoir des effets négatifs sur la fertilité masculine.

6- Conséquences écologique de la pollution de l'eau

Les différentes pollutions de l'eau ont donc des effets néfastes sur la santé des êtres humains, mais aussi sur l'environnement. En effet, nous avons vu dans les différents types de pollutions de l'eau comment se comportent certains produits avec notre environnement et sur la santé des êtres vivants. Nous évoquons ainsi deux principales conséquences de cette pollution sur l'environnement :

6.1-Altération des écosystèmes aquatiques

La pollution de l'eau contamine les eaux de surface et du littoral, quant à eux, les eaux souterraines sont moins touchées. Cette pollution agresse la nature et contaminent les poissons ce qui peut nuire à la santé de l'être humain car ils font partie d'une chaîne alimentaire et que celle-ci est touchée. Beaucoup d'autres espèces sont touchées, par exemple, des dauphins, des baleines, des tortues meurent à cause des déchets de l'homme. En effet, ceux-ci s'étouffent à cause des plastiques et/ou des bouteilles. Mais d'autres types de pollutions de l'eau peuvent entraîner leurs morts.

Le pétrole, par exemple, provoque de nombreux morts chez les êtres vivants, mais les premiers touchés sont les oiseaux. Les plantes, elles sont ensevelies et/ou étouffées ce qui empêche la photosynthèse et prive d'oxygène d'autres espèces sous-marines.

6.2- Altération de la biodiversité

La pollution de l'eau est à la source de dégradation de la faune et la flore aquatiques. Les produits nocifs contenus dans les déchets qu'on déverse directement dans les mers sont plus ou moins absorbés par les organismes marins. De nombreuses espèces animales et végétales ont déjà disparu et beaucoup d'autres sont en voie de disparition.

6.3- La marée noire

La marée noire est l'un des exemples les plus marquants parmi les conséquences de ce type de pollution. Une marée noire est un déversement brutal et localisé de pétrole ou de produits pétroliers bruts en mer, à cause d'un accident ou d'un rejet volontaire ou non. Une nappe d'hydrocarbure se forme à la surface de l'eau et peut s'étendre sur plusieurs centaines de kilomètres.

De nombreuses marées noires se sont produites au cours des vingt dernières années. Les plus graves sont restées dans les mémoires, avec le nom de leur pétrolier : l'Amoco Cadiz en 1978, l'Exxon Valdez en 1989, l'Erika en 1999 et le Prestige en 2002.

Le coût environnemental, humain et économique d'une marée noire est élevé : les effets sur la biodiversité peuvent durer, de plusieurs mois à plusieurs années. Les activités de pêche, d'ostréiculture et de conchyliculture sont fortement affectées par les pollutions, ainsi que les activités touristiques et l'image de la région touchée.

6.4- L'eutrophisation

L'eutrophisation (du grec eutrophos signifiant "bien nourri, nourrissant", trophos signifiant "nourriture" et le préfixe eu signifiant "abondant, bien") est un syndrome saisonnier de mauvaise qualité des eaux douces ou marines littorales. Les manifestations les plus visibles en sont l'apparition au printemps et en été de marées vertes dans les eaux marines littorales, et une eau verte ou brune pour les eaux des lacs et des rivières.

Ces manifestations correspondent à un déséquilibre écologique lié à des apports trop importants en phosphore (y compris sous forme de phosphate PO_4^{3-}) et en azote (nitrate NO_3^-). Ces apports entraînent une explosion du développement des végétaux aquatiques. Cette accumulation locale de biomasse trop importante est à l'origine de différents effets indésirables : appauvrissement de la biodiversité, nuisances visuelle et olfactive, gêne pour la baignade, difficultés dans le traitement de l'eau (eau potable), dégagements gazeux, colonisation par des algues produisant des toxines comme certaines Cyanophycées, etc... Le contexte géologique et hydrodynamique joue également un rôle dans le développement du phénomène.

L'eutrophisation peut être un phénomène naturel, qui s'étale alors sur plusieurs centaines à milliers d'années. Mais le plus généralement, le développement récent et important du phénomène est dû à une origine anthropique. C'est plus particulièrement de cette eutrophisation anthropique dont il sera question dans ce document.

7- La lutte contre la pollution de l'eau :

Avant même d'attendre que l'eau soit polluée, des actions de prévention doivent être mises en place.

7.1. Dépollution physico-chimique

- **La désinfection :** Généralement à base de chlore, est couramment utilisée contre les pathogènes.
- **Le contrôle de l'azote et du phosphore :** Consiste à réglementer la source (détecteurs sans phosphore) et l'utilisation du sol (limites d'usage des engrangements). Des traitements spéciaux permettent de les éliminer des effluents municipaux et industriels.
- **La DBO:** Peut être réduite en amont du déversement en traitant les effluents municipaux et industriels dans des bassins de décantation et de rétention et dans des stations d'activation des boues.
- **Les matériaux toxiques:** Doivent être régulés en amont. La diversité des produits toxiques va de pair avec celles des problèmes qu'ils engendrent et des possibilités de régulation qui existent. Les BPC (biphényle polychloré), par exemple, doivent être contrôlés sur le lieu de production pour limiter leur dispersion. Certains produits toxiques peuvent être remplacés par des succédanés non toxiques.
- **L'acidification:** Peut être prévenue efficacement en contrôlant les rejets atmosphériques d'oxydes d'azote et de soufre.

- **Les modifications de température:** Peuvent être évitées en dissipant la chaleur dans l'atmosphère à l'aide d'un refroidissement par air.
- **La filtration :** Les ensembles de filtration qui permettent de purifier l'eau comportent une pompe manuelle et un filtre spécial. La pompe refoule l'eau vers le filtre, qui bloque le passage des débris. La filtration d'un litre d'eau prend quelques minutes.
Le filtre peut être en fibre de verre, à remplacer ponctuellement en fonction de la source, ou en céramique, au nettoyage à la brosse plus facile mais d'une faible solidité en trek. Les filtres dont le diamètre de pore est de 0,1 à 0,3 micromètre débarrassent des protozoaires et des bactéries, mais pas des virus, d'où la nécessité de combiner à la désinfection chimique leur élimination.

7.2. Dépollution par des mesures réglementaires

- Utiliser des produits sanitaires écologiques, il en existe une gamme aussi complète que dans les supermarchés classiques. On peut les trouver dans tous les magasins bios et dans des marchés régionaux.
- Il faut aussi diminuer la pollution de l'eau faite par les usines et éviter de rejeter les déchets ménagers dans l'eau. A ce propos des industriels soucieux de ce problème ont fait réaliser une étude sur des détecteurs de film d'hydrocarbure à la surface de l'eau par l'IRA afin de connaître les moyens de détection et leur fiabilité.
- Mise en place d'une filière de récupération des emballages vides et des produits phytosanitaires non utilisés ;
- Renforcement des contrôles de l'utilisation des produits phytosanitaires. La loi d'orientation agricole a augmenté les pouvoirs de contrôle de l'administration et prévoit de lourdes peines en cas d'infraction sur les ventes ou sur les utilisations de produits.
- Développement des techniques de protection biologique des cultures, substitut possible de la lutte chimique.
- Créer des stations d'épuration et mettre aux normes celles déjà existantes.
- inciter les industriels à développer des substances moins toxiques pour l'homme et l'environnement ;
- inciter les agriculteurs à choisir les produits les moins nocifs.
- L'épuration biologique : C'est le procédé le plus utilisé pour restaurer la qualité de l'eau en la débarrassant de ses principales impuretés, pourvu qu'elles soient biodégradables et ne contiennent pas de toxiques.
L'épuration biologique consiste à mettre la matière organique contenue dans les eaux usées au contact d'une masse bactérienne active en présence d'oxygène. Composée essentiellement de bactéries et de protozoaires, celle-ci va se nourrir de la matière organique et la dégrader. Elle reproduit dans des réacteurs spécifiques un phénomène qui se serait déroulé naturellement dans les rivières. A l'issue de ce processus, les bactéries constituent les "boues" qui devront être séparées de l'eau épurée.

Suivant la technologie utilisée, ces cultures bactériennes peuvent être libres (boues activées) ou fixées (lits bactériens et bio-filtres). On distingue : Les boues activées, Le lit bactérien, la bio filtration, les techniques membranaires ou microfiltration, la méthanisation, le lagunage

- L'épuration physico-chimique :Lorsqu'un effluent contient des toxiques, il ne doit pas être introduit dans un traitement biologique car il en détruirait les micro-organismes. La plupart des effluents rejetés par l'industrie chimique et l'industrie des métaux contiennent des toxiques et font l'objet d'un traitement particulier. Les réactifs utilisés sont adaptés à la nature de chaque substance toxique à neutraliser. Par l'ajout de réactifs coagulants et de poly électrolytes, on provoque une action ionique qui favorise la floculation. Les précipités sont recueillis par décantation sous forme de boues. Cette technologie est utilisée pour l'élimination du phosphore (combinée éventuellement avec l'épuration biologique).
- Pour préserver la biodiversité et l'environnement, il s'agit de protéger les écosystèmes et les espèces qui les composent via la création de zoos, parcs naturels.
- Une réglementation européenne en matière de pollution de l'eau existe, entre autres à travers la convention MARPOL, qui traite des pollutions liées aux hydrocarbures, produits chimiques, détritus et eaux usées.

7.3. Dépollution Biologique ; notion de la phytoremédiation (voir chapitre précédent)

5ème Chapitre : Pollution des sols

1- Introduction

D'une manière très générale, on peut définir le sol comme la couche de quelque centimètre à plusieurs mètres de matière organique et inorganique, accumulée au-dessus de la roche, capable de porter une végétation. Le sol est normalement subdivisé en une couche supérieure (horizon A, aussi appelé humus) et une couche inférieure (horizon B) qui surmonte la roche mère (horizon).

2- Définition de la pollution du sol

Un sol est dit pollué quand il contient un ou plusieurs polluant(s) ou contaminant(s) susceptibles de causer des altérations biologiques, physiques et chimiques de l'écosystème constitué par le sol. c'est un site présentant un risque pérenne, réel ou potentiel, pour la santé humaine ou l'environnement du fait d'une pollution de l'un ou l'autre des milieux, résultant de l'activité actuelle ou ancienne. Autrement dit, la pollution du sol est comprise comme altération du biotope constitué par l'humus (ou tous autres types de sols) par l'introduction de substances toxiques, éventuellement radioactives ou d'organismes pathogènes entraînant une perturbation plus ou moins importante de l'écosystème. La notion de pollution du sol désigne toutes les formes de pollution touchant n'importe quel type de sol (agricole, forestier, urbain...). Le sol est une ressource très faiblement renouvelable au sens où sa dégradation peut être rapide (quelques années ou décennies) alors qu'il lui faut plusieurs milliers d'années pour se former et se régénérer. Or, ce dernier siècle a été particulièrement destructeur pour les sols. Les diverses activités humaines (de l'agriculture aux industries) ont appauvri les sols en matières organiques, en éléments minéraux, les ont transformés, pollués...

3- Type et nature des substances polluantes du sol

Les polluants ou facteurs de pollution sont extrêmement nombreux et d'autant plus difficiles à cerner que leur nature, leur intensité et leur effets sont changeant, dans le temps comme dans l'espace. Parmi les plus répandus on trouve :

- Des hydrocarbures
- Des métaux lourds
- Des solvants divers
- Des pesticides ; parfois en fortes concentrations sur des terrains agricoles et sur les espaces verts aménagés ; tels que l'arsenic ou le lindane qui sont aujourd'hui interdits :
- Des matières plastiques variées (PE, PVC, PUR, PS)
- Des HFC et HF dans les installations de climatiseurs ou de refroidisseurs
- Des PCB en cas de présence de transformateurs
- Des peintures anticorrosives (cadmium, plomb, chrome

Les polluants du sol les plus courants et les plus recherchés sont :

- | | |
|------------------------------------|--|
| - métaux lourds | - Phénols |
| - hydrocarbures | - Chlorophénols |
| - HAP | - cyanures |
| - COV | - Pesticides |
| - Huiles minérales | - Ph talâtes |
| - Goudrons | - Esters phatliques |
| - Hydrocarbures halogénés volatils | - Substances chimiques à usage militaire |
| - Organochlorés | - Explosifs |
| - PCB | - Munitions non explosées |
| - PCT(Polychloroterphényles) | - Eutrophisants (nitrates, phosphates) |
| - Dioxines | - Acides, bases |
| - Furanes | - Radionucléides |

Le tableau suivant présente des valeurs indicatives permettant d'évaluer les atteintes portées au sol qui garantit la protection à long terme de l'écosystème sol

Tableau ...-seuil de toxicité pour certains polluants minéraux rencontrés sur les sites pollués

ELEMENT	VALEUR INDICATIVE (mg /kg de sol MS)
<i>Plomb</i>	50
<i>Cuivre</i>	40
<i>Cadmium</i>	0.8
<i>Zinc</i>	150
<i>Nickel</i>	50
<i>Chrome</i>	50
<i>Cobalt</i>	25
<i>Mercure</i>	0.5
<i>Fluor</i>	700

4- Causes et origines des principaux polluants de sol

Les pollutions du sol peuvent apparaître de différentes façons : directement de l'air par dépositions sèches ou avec les précipitations , de l'agriculture par l'épandage des fertilisants ; mais la pollution la plus importante est celle qui associée aux polluants provenant des déchets

S'il y a un ou plusieurs composés toxiques dont la concentration varie peu ; la contamination est appelé **diffus**, est sont :

- à partir de source non stationnaires comme les automobiles
- à partir de sources très étendues (dépôts de produits en agriculture, dépôts de sédiments lors d'inondations)
- à partir d' un grand nombre de sources comme les foyers domestiques

Dans les contaminations ponctuelles du sol, il s'agit le plus souvent de grandes quantités de polluants, c'est à ce type de contaminations que l'on va s'intéresser dans ce qui suit :

4.1. Anciennes décharges et surfaces industrielles à l'abandon

On entend par sites pollués les sites de stockage définitif, exploités ou désaffectés, ainsi que les aires d'exploitation et les lieux d'accident ou des déchets ont été stockés ou se sont infiltrés. Il s'agit donc des surfaces de terre sur lesquelles dans le passé ont été introduites de grandes quantités de polluants qui représentent un danger pour le sol et la nappe phréatique

4.2. Epandage de boues d'épuration et de composts d'ordures

Les boues amènent un excédent important de phosphore alors que son coefficient d'utilisation varie de 1-10 % dans l'année selon la pluviométrie. Les substances polluantes sont : le cuivre, le cadmium, le plomb, le zinc, le mercure. Bien que les quantités totales augmentent légèrement, les teneurs en cadmium, plomb et zinc sont en diminution.

L'épandage, sans parler de son impact sur l'environnement, fait en effet courir risque de contamination à long terme de l'eau et de sol .Les principales causes en sont :

- Le ruissellement en surface (sol) et la percolation des eaux souterraines
- Quand la fixation par le sol, ou l'assimilation par les plantes, sont insuffisantes

4.3. Pratiques agricoles (engrais et pesticides)

L'usage massif de fertilisants et le recours systématique aux pesticides ont permis une augmentation considérable des rendements agricoles. Ils se sont malheureusement accompagnés d'une pollution accrue des eaux continentales, des terres cultivées, ainsi que des productions végétales par divers contaminants minéraux aux organiques. Tout apport d'engrais minéraux contribue tôt ou tard à accroître les charges pesant sur la nappe phréatique les eaux de surface.

Délivrés en excès et de manière répétée au long des années les fertilisants polluent en effet :

- ✓ Par les impuretés qu'ils renferment
- ✓ Par le déséquilibre de certains cycles biogéochimiques et dégradation des sols
- ✓ Par la contamination des nappes phréatique

4.4. Retombées de la pollution de l'air

L'atmosphère est un important convoyeur, non seulement pour la forte acidité potentielle, mais également pour de nombreuses substances qui sont dangereuses pour les écosystèmes aquatique et terrestre. Les substances émises dans l'atmosphère sont issues pratiquement exclusivement des grandes industries, des ménages et de la circulation. Les processus de combustion et de production dégagent d'énormes quantités de SO₂ et NO_x qui après transformation dans l'atmosphère, entre autres sous forme de sulfates (SO₄²⁻) ou de nitrates (NO₃⁻), retombent sur terre sous forme de poussières sèches, avec les précipitations ou encore pris dans les brouillards (aérosols). Les pluies et autres précipitations, par lesquelles tous les composés solubles dans l'eau sont de nouveau transportés sur la terre, représentent les processus les plus importants d'autoépuration. Plus la précipitation est constituée de gouttes fines, plus elle entraîne de polluant.

Au niveau de la végétation, une partie des polluants est fixée par les organes aériens, et retombera plus tard avec la litière ; le sol gagne directement le sol. Pour le plomb, on a calculé qu'un tiers des retombées gagne le sol par la litière, le solde directement avec les précipitations.

4.5. Autres sources de pollution des sols

Nous signalons ainsi dans ce qui suit d'autre source de pollution des sols:

- L'altération de la roche mère
- Les incendies de fôrets
- L'érosion
- Les pluies acides
- Le volcanisme
- La chute des météorites

5- Les conséquences de la pollution des sols

En termes de pollution des sols il faut noter que ce sont d'abord l'industrie, l'agriculture et les guerres, certains accidents, mais de très nombreuses activités humaines ont pu être source de séquelles environnementales sur les sols, y compris des activités de loisirs et sportives (chasse et ball-trap pour le plomb, golfs pour l'arsenic et d'autres pesticides, etc. Ainsi les terrains de golf de Floride contiennent des taux d'arsenic variant de 5.3 à 250 ppm avec une moyenne de 69.2 ppm, à cause d'un usage répété de pesticides organo-arsénicaux (MSMA notamment)). Ainsi les conséquences humaines et environnementales de la pollution des sols sont multiples et graves, on note :

- La désertification est un phénomène d'érosion et de dégradation des sols, qui provoque une perte des nutriments et des matières organiques : les terres deviennent sèches, et ne jouent plus leur rôle d'alimentation des végétaux. La désertification est caractérisée par l'appauprissement des sols et la baisse du rendement agricole dans les zones arides, semi-arides ou subhumides sèches.
- l'accroissement de la pauvreté
- la famine

- les pénuries d'eau
- la perte de la biodiversité
- les migrations de population
- l'instabilité politique, conflits, guerres, dus aux réfugiés environnementaux
- Environ 4 milliards d'hectares de terres sont menacées par la désertification, et 250 millions de personnes en subissent les effets : ce sont les populations les plus démunies qui sont le plus affectées.

Les **8 principales menaces** identifiées par la Commission Européenne sont les suivantes :

- L'érosion : une perte irréversible de sol
- La diminution des teneurs en matières organiques : une fragilisation du sol
- La contamination des sols : une menace pour l'Homme et les écosystèmes
- L'imperméabilisation des sols : le morcellement du territoire et l'augmentation du ruissellement
- Le tassemement du sol : la diminution des fonctions de production et de stockage
- La diminution de la biodiversité des sols : une menace pour le futur
- La salinisation : un premier pas vers la désertification
- Les inondations et glissements de terrain : une perte de sol

6- Effets des pollutions de sol

Les activités humaines sont les plus polluantes, à commencer par l'agriculture. L'explosion démographique, l'importance de la demande mondiale et la recherche du gain ont amené les agriculteurs à exploiter intensivement les sols, sans délai de repos pour la terre. Du coup, ils ont recours à plus d'engrais, de fertilisants, de pesticides et d'autres produits chimiques qui sont utilisés massivement pour protéger les plantations des insectes et des maladies, mais dont l'usage abusif est nuisible pour le sol. C'est le cas aussi pour l'élevage intensif qui cause la pollution des sols par l'accumulation des déchets animaliers, qui peuvent être des fertilisants naturels pour le sol, mais à fortes quantités, ils peuvent contaminer les eaux souterraines. Les engrains, les pesticides, les herbicides et autres produits du même genre risquent d'endommager le sol et de causer sa stérilisation (c'est le cas avec l'usage de la simazine), ainsi que la contamination des nappes phréatiques et par ricochet les cours d'eau et les océans. Il ne faut pas oublier que les polluants absorbés par le sol contaminent également les plantes et les cultures qui sont consommées par l'être humain et les animaux.

Par ailleurs, les rejets industriels, notamment composés de métaux lourds, sont les plus toxiques pour le sol.

Un autre aspect à évoquer ici est la radioactivité des sols, qui peut résulter de la présence du radon qui provient de l'uranium et du thorium, présents naturellement dans le sol ou qui émanent des sites de stockage des déchets radioactifs. Cela qui représente la première cause de la propagation du cancer du poumon aussi bien chez les êtres humains que chez les animaux.

Dans une approche éco systémique qui résulte de l'interaction de l'eau et l'air (et par induction l'atmosphère) avec le sol, les retombées atmosphériques et le lessivage des surfaces urbaines, ainsi que les pluies acides sont autant d'éléments qui contribuent à la pollution des sols et qui mènent à son acidification et sa contamination par les différents dioxines et furannes qui les forment. D'ailleurs, on assiste de plus en plus à la contamination de la faune et la flore avec des risques considérables d'altération du réseau trophique.

On est exposé au quotidien aux polluants du sol par voie d'inhalation des poussières ou d'embruns, par absorption cutanée ou par consommation de produits infectés issus des cultures ou de viandes contaminées. L'exposition de l'être humain et sa consommation de produits contaminés par les pesticides engendrent principalement des difficultés respiratoires et cardiovasculaires, en plus du développement d'un certain nombre de pathologies cancéreuses et neurologiques, mais le plus grand danger réside dans la faiblesse de la reproduction chez l'homme. Les personnes vivant dans des milieux pollués, près des mines, des sites industriels, des sites d'élimination de déchets ou autres, sont les plus sujettes à des bronchites chroniques et des dermatites. L'exposition aux dioxines et furannes cause des cancers déjà observés aussi bien chez les animaux que chez les êtres humains, alors qu'une contamination des sols

avec des métaux lourds engendre des maladies respiratoires à la suite de la pénétration et la fixation de microparticules dans les alvéoles pulmonaires. Cette pénétration assure le passage des dioxines dans le sang, et peut contaminer les animaux et les êtres humains par voie digestive à la suite de la consommation des plantes et de viandes contaminées. En effet, une forte concentration de plomb est susceptible d'entraîner des spasmes abdominaux, des nausées, de la diarrhée aiguë, et même le coma et le décès auprès des nourrissants. Dans certains cas, on a constaté même de l'anémie, une déficience de la fonction mentale et des problèmes neurologiques surtout chez les jeunes enfants.

7- Procédés de dépollution des sols

La décontamination est un ensemble de procédés consistant à épurer ou tout au moins à isoler un milieu ayant été exposé à une pollution chronique ou récurrente qui l'a rendu inutilisable pour des activités domestiques, agricoles ou industrielles. Le traitement concerne des terres excavées ou des sols et nappes phréatique encore en place.

Pour résoudre un problème de décontamination d'un sol, il n'existe pas de solution exclusive. Le traitement à mettre en œuvre est souvent une combinaison de plusieurs techniques

La phase de traitement comprend :

- la fixation d'objectifs de dépollution en fonction de l'usage ultérieur du site
- l'étude de faisabilité d'un traitement adapté
- le choix et mise en œuvre d'un traitement
- l'évaluation de l'impact résiduel.

Dans ce qui suit, on adopte une classification des techniques les plus courantes dont l'approche est soit physico-chimique soit biologique, à savoir :

- 1-traitement sur et hors site
- 2-traitement in situ
- 3-confinement
- 4-phytoremédiation

On peut aussi classer les techniques de traitement en :

- technique de destruction : relativement plus onéreux que d'autre technique ces procédés atteignent une efficacité de décontamination généralement supérieure, et plus constante
- technique par neutralisation/détoxication : procédés physico-chimique mettant en œuvre des réactions d'oxydoréduction, de décoloration , ils nécessitent souvent un traitement complémentaire des sols ou des effluents.
- technique par séparation /extractions : basés sur la chaleur pour détruire, encapsuler, résorber, extraire, volatiliser, vaporiser, ou décomposer les contaminations
- technique mobilisation : technologie relativement récente dans le traitement des sols pollués, ces procédés modifient peu les propriétés toxiques des contaminants, mais surtout limitent, voire bloquent leur migration dans le sol.
- technique par confinement : là où les technologies de traitement ne peuvent être mises en œuvre pour des raisons techniques ou économiques, le confinement permet d'isoler la source de pollution à l'aide de matériaux argileux et /ou synthétiques.

7.1- Stratégie pour la protection des sols

Le recensement : recherche systématique des sites industriels potentiellement pollués ; anciens ou en activité

La sélection : parmi les sites recensés, après une étape d'évaluation simplifiée des risques, il convient de sélectionner les sites prioritaires au regard du problème de la pollution (potentielle) de sols.

Le traitement : la dépollution est la dernière étape de la gestion d'un site pollué. Cette dernière phase comprend :

- La fixation d'objectifs de dépollution en fonction de l'usage du site
- L'étude de faisabilité d'un traitement adapté
- Le choix du traitement
- L'évaluation de l'impact résiduel

7.2- Les mesures adoptées au niveau de la pollution des sols

Si les activités humaines peuvent dégrader les sols, une gestion durable des sols est possible en adaptant les usages et les pratiques. La dépollution des sols consiste principalement à rendre le sol et le sous-sol d'une zone apte à un nouvel usage industriel ou un usage résidentiel, voire dans les cas extrêmes apte à un retour à la nature ou à un usage agricole, après qu'il eut été pollué par une activité ou un accident industriel, c'est dans cette mesure que l'on peut songer à l'application de mesures suivantes :

- l'aménagement des sols en terrasse ou la présence de végétation toute l'année (qui évite de laisser le sol nu lors de fortes pluies ou des saisons pluvieuses) permet de limiter l'érosion,
- l'apport raisonnable d'éléments minéraux (ex : azote, phosphore, potassium...) améliore ou entretien la fertilité des sols
- la réduction voire la suppression des traitements phytosanitaires réduit la contamination des sols,
- l'irrigation maîtrisée du sol limite la salinisation des sols
- la réduction du labour du sol permet de stocker du carbone, améliore la vie biologique des sols et limite l'érosion
- le recours à des fertilisants organiques (ex : composts, fumier) permet d'entretenir la matière organique des sols.
- Les citoyens ont donc également leur rôle à jouer pour limiter la pollution des sols. Au-delà de raisonner l'usage des engrains chimiques pour le jardinage (c'est-à-dire ne mettre que ce dont les plantes ont besoin), d'autres gestes y participent comme par exemple le compostage pour recycler leurs déchets organiques (tontes, élagages, restes alimentaires, feuilles...) et entretenir le statut organique des sols ou la consommation de produits issus d'une agriculture qui respecte son environnement. Cela peut être l'agriculture biologique car elle consomme moins d'engrais minéraux et de produits phytosanitaires de synthèse.
- L'application du principe pollueur-paieur oblige désormais le responsable de la pollution à financer et réparer les dommages. Il veut que la charge financière de la prévention, de la réduction et de la lutte contre la pollution repose sur le pollueur. Dans cette optique, les équipements et produits polluants pourraient être plus taxés que des produits dits *écologiques*. Le pollueur est censé assumer le nettoyage des zones contaminées.
- Conduite d'études préalables au futur dispositif de contrôle obligatoire des pulvérisateurs agricoles
- Développement des techniques de protection biologique des cultures, substitut possible de la lutte chimique.

6ème Chapitre : Pollution Radioactive

1- Introduction

La pollution est la contamination de l'air, de l'eau ou du sol par des substances qui altèrent le fonctionnement naturel des écosystèmes, ainsi que la qualité de vie et la santé humaines. Il existe plusieurs types des polluants d'origine naturels ou anthropiques, parmi ces polluants il y a les déchets radioactifs qui causent un type de pollution très dangereux lequel ?

La Pollution radioactive (liée à une contamination radioactive) est l'une des formes de pollution désignant la contamination générée par la radioactivité. Les pollutions radioactives sont souvent accompagnées d'autres pollutions, avec des synergies toxiques et écotoxiques possibles. Elles ne doivent donc pas faire l'objet d'une gestion séparée ignorant l'existence éventuelle d'autres types de pollutions.

2- Les éléments radioactifs ou radionucléides

Les radionucléides sont des éléments instables du fait de leur configuration atomique et sont, par-là même radioactifs. Un élément est dit radioactif lorsque son noyau est instable et qu'il relâche spontanément de l'énergie sous forme de rayons alpha, bêta, gamma. La radioactivité est mesurée en becquerel (Bq) et la dose de radiation est mesurée en milli sievert (mSv). Ils émettent trois types de rayonnements ionisants qui sont de trois types. Ce sont soit les rayonnements électromagnétiques (X et g), les émetteurs bêta (β) et les émetteurs alpha (α). Le parcours dans la matière vivante des divers rayonnements variera de quelques fractions de millimètres à plusieurs mètres selon l'énergie du rayonnement (eV), la masse et la charge de la particule. Chaque élément radioactif se désintègre et redevient un élément stable selon une période radioactive qui lui est propre et qui varie d'une fraction de seconde à plusieurs milliers d'années. L'unité de radioactivité est le Becquerel qui correspond à une désintégration par seconde.

La découverte de la radioactivité a été faite par Henri Becquerel en 1896 et la première définition a été élaborée par Marie Curie : "faculté qu'ont certains éléments lourds d'émettre spontanément des rayons".

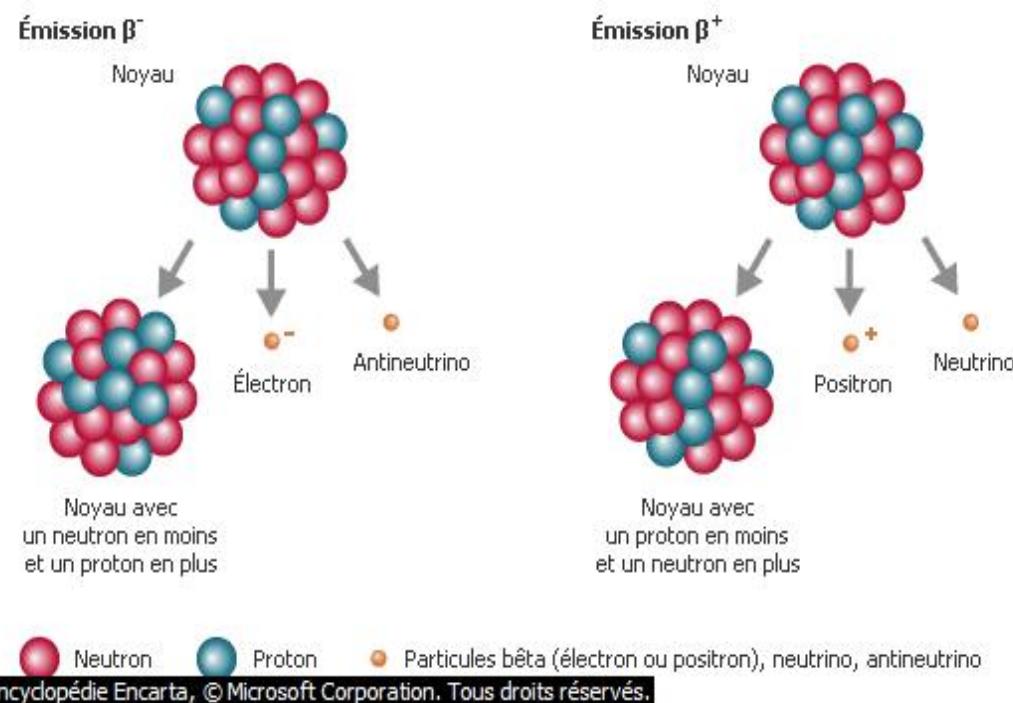
Tableau des principaux radioéléments, demi-vie et niveau de radioactivité

Elément	^{232}Th	^{238}U	^{239}Pu	^{14}C	^{226}Ra	^{137}Cs	^{90}Sr	^{227}Ac	^{60}Co	^{46}Sc	^{192}Ir	^{124}Sb	^{32}P	^{131}I
Demi-vie	$1,41 \cdot 10^{10}$ ans	$4,51 \cdot 10^9$ ans	24 300 ans	5730 ans	1620 ans	30 ans	28 ans	22 ans	5 ans	84 jours	74 jours	60 jours	14 jours	8 jours

3- Origines de la pollution radioactive

La pollution radioactive peut avoir plusieurs origines :

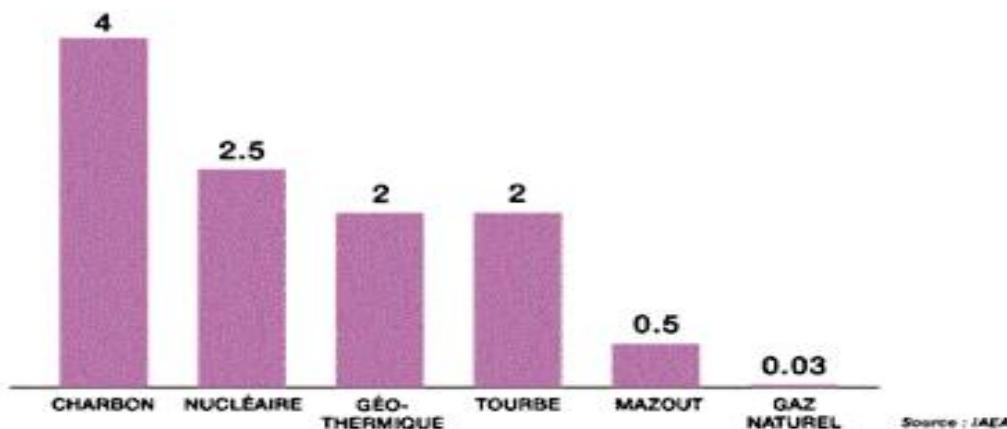
3.1- Naturelle : ex. le Radon: Découvert à la fin du 19ème siècle par Pierre et Marie Curie en observant que le radium émettait un gaz radioactif, le radon est le plus lourd des gaz rares et est plus lourd que l'air. Il est inodore, incolore, insipide, et comme tous les gaz rares, inerte chimiquement.



3.2- Industrielle :

- Production d'électricité nucléaire.
- Dans le domaine médical qui crée également un certain nombre de déchets radioactifs.
- Dans un certain nombre d'industries créatrices de déchets radioactifs.

RADIOACTIVITÉ COLLECTIVE SELON LA SOURCE DE PRODUCTION D'ELECTRICITÉ (HOMME-SIEVERT PAR GWe-AN)



3.3- Militaire : Notamment lors d'essai de bombes atomiques qui ont été pendant longtemps fait en altitude, mais aussi par les épaves de chars laissées dans le désert, après avoir été détruits par la fusion eutectique des obus à uranium appauvri, la pollution en mer par le rejet des bidons radioactifs ainsi que les sous-marins nucléaires épaves, russes, américaines et autres.

3.4-médicale : l'utilisation de substances radioactives pour des examens médicaux ou biologiques (ex : scintigraphie) pourrait contaminer les eaux via les urines des patients, provoquant une variation faible mais sensible de la radioactivité mesurée.

3.5-accidentelle : lors d'accident nucléaire comme ceux de Tchernobyl (avril 1986) ou Fukushima, un certain nombre d'éléments radioactifs peuvent se disperser dans l'atmosphère, dans le sol ou le réseau hydrographique (fleuves, nappes phréatiques, etc.).

4- Toxicologie de pollution radioactive

La pollution radioactive est nocive pour l'homme : en effet, les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue, et se désintègrent en émettant des rayonnements dangereux. Lorsque des radioéléments sont fixés dans le corps humain, ils peuvent être dangereux même si la quantité totale de rayonnements émis est relativement faible, car ils atteignent les cellules environnantes de manière très concentrée, pouvant créer des tumeurs.

4.1- Voie de contamination du corps humain

Le corps humain peut être amené à fixer des radioéléments de plusieurs manières :

- **Par inhalation et via la respiration** : par exemple si des particules de gaz radon se désintègrent alors qu'elles sont dans les poumons, elles se transforment en élément lourds qui se fixe, et continuent leur "vie radioactive" et leurs émissions nocives jusqu'à leur fin de vie.
- **Par ingestion via l'alimentation** : si un organisme est contaminé par une pollution radioactive, les végétaux et les animaux mangeant ces végétaux courent le risque d'une contamination radioactive

4.2- Effets des radiations sur le Corps humain :

- **Irradiation générale à forte dose**: modifications de la formule sanguine, troubles digestifs.
- **Irradiation partielle à forte dose**: stérilisation, arrêt de la production hormonale, organes sensibles: peau, œil, thyroïde, poumons, muqueuses digestives, trouble du développement du fœtus
- **Effets tardifs**: effets cancérogènes, effets génétiques (mutations chromosomiques, mutations génétiques)

5- Solutions pour protéger la population et l'environnement des alentours

Elles se font souvent en deux temps

- Premières actions de mise en sécurité (réduction de l'exposition, par l'information, la pose de clôture, le contrôle des accès au site, et éventuellement avec restriction ou interdiction de pêche, chasse, cueillette de champignons et culture/pâturage, baignade, jardinage, irrigation, utilisation d'eau de puits, etc. Si des risques d'envol de poussières existent, un bâchage du sol est possible, de même qu'un rabattement de nappe peut parfois protéger la nappe. L'inertage du sol ou une phytostabilisation peuvent aussi limiter la lixiviation ou l'envol de particules. L'évacuation ou mise en sécurité transitoire de sols ou objets radiocontaminés sont parfois possibles ou nécessaires (avec l'ANDRA en France) ;
- Décontamination des sols, et le cas échéant décontamination de la radioactivité dans le milieu et l'écosystème.

7ème Chapitre : Quelques effets et conséquences écologique générales de la pollution**1- Effets des polluants sur la biodiversité**

Les conséquences génétiques de l'utilisation des polluants sont très difficiles à évaluer puisque peu de progrès ont été réalisés quant à leur évaluation. Malgré cela, on a identifié des déplacements génétiques chez certaines espèces qui seraient dus à l'utilisation de pesticides. Ces déplacements sont représentés par la présence de variétés résistantes de plantes et d'animaux. L'apparition de ces résistances peut se faire au détriment de la variabilité des espèces et de leurs capacités à réagir à d'autres agresseurs que ceux présents dans leur environnement naturel. Les conséquences sur les populations ne sont pas très bien connues, sauf pour quelques espèces d'oiseaux et de mammifères. Finalement, les polluants entraînent une évolution des espèces qui diffère de celle qui aurait normalement dû se faire. Ces changements font varier les écosystèmes et donc toutes les populations qui les composent.

- **Quels sont les polluants affectant la biodiversité ?**

Il existe de nombreux produits dangereux pour la biodiversité et l'environnement et ils sont classés en sept catégories : les hydrocarbures (tels que le pétrole brut), les composés organiques halogénés (pesticides, BPC), les radionucléides (noyau se désintégrant et émettant des rayonnements électromagnétiques (radioactif)), les dépôts acides (pluies acides), les métaux (mercure, plomb), les nutriments et les pesticides non organochlorés (qui ne contiennent pas de chlore).

En somme, la biodiversité englobe trois niveaux d'organisation : la génétique, les espèces et les écosystèmes. Ce sont ces trois niveaux qui sont touchés par nos différentes actions. L'urbanisation, la déforestation, l'agriculture et la pêche commerciale sont toutes des activités qui sont potentiellement dangereuses pour la biodiversité, car la modification d'un habitat peut entraîner des modifications de l'écosystème et de la génétique des populations qui l'habitent. L'utilisation de nombreux polluants tels que les pesticides, les hydrocarbures ou les métaux lourds peut elle aussi mettre en péril la biodiversité planétaire. Il ne faut pas oublier que la modification d'un écosystème entraînera fort probablement des modifications génétiques au sein des populations et des espèces, ce qui modifiera l'évolution naturelle qu'aurait connue ces espèces. Malheureusement, la restauration des écosystèmes peut prendre des millions d'années et personne ne sait où nous mèneront nos actions présentes.

2- Perturbation des cycles biogéochimiques

La pollution de l'environnement provoque un grand nombre de perturbations des processus écologiques fondamentaux, en particulier des cycles biogéochimiques qui résulte de l'action de certains polluants majeurs. Ces derniers peuvent par exemple modifier durablement la composition de l'atmosphère terrestre, induire des bouleversements climatiques liés à des rejets accrus de gaz à effet de serre et la dégradation de l'ozone stratosphérique.

2.1- Perturbation des cycles biogéochimiques d'éléments biogènes

Le phénomène de pollution perturbe la quasi-totalité des cycles aussi essentiels que ceux du carbone, du phosphore et celui de l'eau. On cite parmi les perturbations de ces cycles ayant des conséquences écologiques à l'échelle planétaire celles concernant le cycle du carbone et à un degré moindre le cycle de l'azote qui résultent du rejet dans l'atmosphère de gaz de serre d'un changement climatique aux conséquences écologiques redoutables à l'échelle globale

2.2- Perturbation du cycle de carbone

Depuis l'industrialisation massive et le développement des sociétés, les activités humaines auraient fortement perturbé le cycle du carbone. En effet, l'impact environnemental de l'homme se ressentirait aussi bien sur le cycle court (espèces disparues, déforestation, incendies, monocultures) que sur le cycle long du carbone (combustion du carbone fossile, émissions de molécules détruisant la couche d'ozone).

En 1992, un bilan a été publié faisant part de l'accroissement notable de la teneur atmosphérique des gaz à effet de serre :

- pour le gaz carbonique : accroissement de 30 % environ,
- pour le méthane : 14 % environ,
- pour le protoxyde d'azote : 15 % environ.

Ainsi, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère est ainsi passée de 270 ppm à 370 ppm en volume en un siècle, alors qu'elle n'était pas sortie d'une fourchette de 170 ppm à 280 ppm au cours des 200 000 années précédentes.

Ces émissions massives seraient dues aux activités humaines et, pour l'essentiel, à l'utilisation de combustibles fossiles, à la modification de l'utilisation des sols et à l'agriculture.

L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre depuis l'époque préindustrielle (soit depuis 1750 environ) aurait conduit à une perturbation qui tend à réchauffer la surface du globe et à produire d'autres changements climatiques, induisant des perturbations sur les écosystèmes et la biomasse.

On peut aussi citer la modification de la géochimie marine due à l'acidification des eaux de surface. De plus, l'augmentation de la température des océans aura un effet néfaste sur la capacité d'absorption du CO₂ et perturberait les courants marins et la circulation thermo-haline.

Une des difficultés de prédiction de l'évolution du cycle du carbone est que le cycle du carbone influence le climat et vice et versa. De plus, dans un climat modifié, les écosystèmes s'adapteront certainement (mais la rapidité des bouleversements réduira forcément la biodiversité) et de nouveaux échanges dont ceux du carbone se mettront en place.

2.4- Perturbation du cycle de l'azote

Le cycle de l'azote est de nos jours profondément perturbé tant au plan qualitatif que quantitatif par la synthèse massive d'engrais azotés qui contaminent directement les eaux et par la production non intentionnelle et indirecte de dérivés nitreux gazeux et toxiques consécutive à l'usage des combustibles fossiles rejetés dans l'atmosphère.

En conséquence, le déséquilibre global du cycle de l'azote est marqué à l'échelle de la biosphère par la prépondérance croissante de la nitrification sur la dénitrification.

Les micro-organismes dénitrifiants –tant dans les biotopes continentaux que dans les eaux littorales marines– n'arrivent plus à recycler sous forme de rejets d'azote dans l'atmosphère, l'excès de nitrates résultant de la population des sols et de l'air par les activités humaines.

Une des conséquences les plus immédiates de cette perturbation du cycle de l'azote réside en un accroissement de la teneur atmosphérique en N₂O gaz qui participe à l'effet de serre.

2.5- Perturbation des cycles biogéochimiques d'éléments xénobiotiques toxiques

De tous les métaux lourds et autres éléments toxiques contaminant la biosphère, le plomb constitue actuellement au même titre que le mercure et devant le cadmium ou l'arsenic, le plus omniprésent et l'un des plus toxiques de ces polluants.

La mise en circulation de métaux lourds et autres éléments xénobiotiques par la civilisation technologique soulève dès à présent le problème de leur accumulation à des concentrations excessives dans les biotopes terrestres et aquatiques. Bien qu'à l'heure actuelle, les conséquences écologiques de la pollution de l'eau et des sédiments par ses divers corps simples non biogènes soient limitées car les niveaux de toxicité ne sont atteints qu'à une échelle localisée en règle générale, elles sont l'objet de préoccupations au plan de l'hygiène publique du fait de leur transfert dans les réseaux trophiques de l'homme.

Le potentiel de stockage des sols et des eaux pour les éléments toxiques et d'autant plus considérable que leur temps de demi-vie est très élevé, d'ordre antique voire millénaire.

Tableau : Toxicité Des Polluants Les Plus Fréquents

Polluants	Substances	Facteurs de Risques	Effets sanitaires
Gaz	CO NO ₂ , O ₃ , CO ₂	Appareils de chauffage... Tabac	Effets respiratoires, cardiovasculaires et neurologiques
Aldéhydes	Acétaldéhyde	Tabac, panneaux de bois de particules, isolants, photochimie atmosphérique	Cancer nasal et larynx
	Formaldéhyde	Panneaux de particules, isolants, livres et magazines neufs, peinture à solvants, produits de traitement du bois...	Cancer nasal et pharynx
Hydrocarbures	Benzène	Produits de bricolage, de construction ou de décoration, carburants, ameublement...	Effets neurologiques et immunologiques, leucémies..
	Dichlorobenzène	Antimite, désodorisant, taupicide...	Effets rénaux...
	Ethylbenzène	Cires	Effets sur le développement de l'organisme
	N-décane N-undécane	White spirit, colles pour sols, cires, vernis à bois, nettoyants sol, moquettes...	Non évalués
	Styrène	Matières plastiques, isolants, tabac..	Effets neurologiques, cancer pulmonaire possible chez l'homme...
	Tétrachloroéthylène	Textiles, moquettes, tapis...	Effets rénaux et neurologiques, cancer de l'œsophage et lymphatique probable
	Toluène	Peintures, vernis, colles, encres, moquettes, tapis...	Effets neurologiques
	Trichloroéthylène	Peintures, vernis, colles, dégraissants métal...	Effets neurologiques, cancer des testicules, foie et lymphatique possible
	Triméthylbenzène	Solvants pétroliers, goudrons, vernis	Nons évalués
Ethers de glycol	Xylène	Peintures, vernis, colles, insecticides..	Effets neurologiques...
	Butoxy-éthanol	Solvants, peintures, colles, encres, vernis, diluants, produits d'entretien..	Effets hématologiques et testiculaires.
	Butoxy-ethylacétate Metoxypropanol...		
Particules	Particules fines ... Inférieures à 2,5 microns	Pollution extérieure et intérieure, pollens, tabac, cuisine, ménage, combustion...	Effets respiratoires et <u>cardiovasculaires..</u>
Moisissures	Spores dans l'air allergisantes et toxiques	Milieux humides et confinés	rhinite, dermatite, bronchite allergique, asthme, mycoses bronchopulmonaires allergiques