

Institut des Sciences et de Technologie

Département Sciences de la Nature et de la Vie

Cours Pollution de l'environnement



Destiné aux Etudiants de 3^{ème} année licence

Spécialité Écologie et environnement

Réalisé par : Dr. Djeddi Hamssa

Programme du Matière

Objectifs de l'enseignement

Le cours vise à donner aux étudiants de 3ème année Ecologie et Environnement ; une vision scientifique et multidisciplinaire des problèmes de pollution et de gestion de notre environnement (causes, conséquences). L'objectif du cours est d'initier les étudiants à une approche scientifiquement critique des problèmes de pollution et de l'environnement (de donner des solutions pour lutter contre la pollution).

Contenu de la matière

Chapitre 1. Généralités sur la pollution

- 1.1 - la notion de nuisance,
- 1.2 - principales causes de pollution
- 1.3 - contaminants d'origine industrielle,
- 1.4 - déchets solides,
- 1.5 - contaminants d'origine agricole

Chapitre 2. Classification des polluants

Chapitre 3. La circulation et la dispersion des polluants

- 3.1 - circulation atmosphérique,
- 3.2 - dispersion des polluants dans l'atmosphère,
- 3.3 - le temps de séjour des polluants dans l'atmosphère,
- 3.4 - passage des polluants de l'atmosphère dans l'eau et les sols,
- 3.5 - transfert des polluants dans la biomasse,
- 3.6 - notion de bioconcentration et bioaccumulation

Chapitre 4. Importance et effets écologiques des principaux types de pollution

Chapitre 5. Conséquences écologiques de la pollution de l'environnement

- 5.1 - principales pollutions (physiques, chimiques, biologiques),
- 5.2 - définitions de la pollution,
- 5.3 - pollution atmosphérique,
- 5.4 - pollution des sols,
- 5.5 - pollution des eaux

Chapitre 6. Conséquences de la pollution sur les différents écosystèmes

- 6.1 - les pluies acides,
- 6.2 - le trou d'ozone,
- 6.3 - l'effet de serre et les changements climatiques,
- 6.4 - la désertification

Chapitre 7. Les grandes pollutions accidentelles

Chapitre 1. Généralités sur la pollution

1.1. La notion de nuisance

Le terme nuisance désigne toute dégradation de l'environnement qui ne présente pas d'impact écotoxicologique mais qui a pour conséquences d'induire une gêne pour les personnes qui la subissent. A la différence des pollutions, les nuisances ne provoquent pas nécessairement d'effet néfaste sur la santé humaine et /ou sur le plan écologique. Toutefois elles sont perçues à juste titre par ceux qui y sont exposés comme une modification défavorable de l'environnement.

1.2. Les principales causes de pollution

Les phénomènes qui menacent l'environnement sont de deux types :

1.2.1- Les phénomènes naturels : Ce sont des perturbations dites naturelles qui ne sont pas provoquées par l'homme.

- **La sécheresse :** C'est un état sec du sol par manque d'humidité. Ce phénomène accentué par la diminution des précipitations qui provoque une augmentation de la durée de la saison sèche. La sécheresse entraîne une détérioration importante des caractéristiques du sol donnant lieu à un processus de désertification. Cette détérioration s'exprime par une diminution de la matière organique en surface, de l'activité biologique du sol et de sa perméabilité.
- **Les inondations :** Ce sont les débordements d'eaux qui submergent les terres. Les inondations sont causées par les pluies, la fonte des neiges, les hautes eaux d'un oued (crue)... Les inondations provoquent des dégâts importants sur le milieu : arrachage d'arbres, dégradation des sols, destruction du couvert végétal, de la faune et de son habitat, accélération de l'érosion...
- **Les tremblements de terres :** Ce sont l'ensemble des phénomènes liés à la déformation brusque de l'écorce terrestre en un lieu, dans la mesure où ils sont perçus par l'homme. Les tremblements de terres sont appelés aussi « séismes, secousses ». Les tremblements de terres provoquent souvent des perturbations dans le milieu telles que : le tarissement des sources, la déviation des cours d'eau, la déformation du relief, la démolition des constructions, la destruction de l'habitat de la faune...
- **Les glissements de terrains :** Ce sont des mouvements de masse de terre descendant entraînant tout ou partie d'un versant. Les glissements de terrains entraînent un changement important du point de vue de la morphologie de sites et provoquent la destruction totale de tout ce qui se trouve sur leur trajectoire.
- **La désertification :** Transformation d'une région en désert sous l'action des facteurs climatiques et/ ou humain. La dégradation des sols (désertification) par la destruction du couvert végétal se traduit par des ensablements à la dune (erg) et en cas d'érosion du sol à la plaine caillouteuse (reg ou hamada).

1.2.2- Les phénomènes anthropiques : Ce sont toutes les actions sur le milieu provoquées par l'homme pour son propre épanouissement et qui produisent des nuisances à l'environnement.

- **Les services** : Ce sont toutes les activités du tertiaire représentées par le commerce, l'administration, les professions libérales, l'artisanat, etc.

Les nuisances provoquées par ces activités sont diverses et nous en citerons les principales :

- Production de déchets de diverses natures papier, carton, divers emballages, chutes de tissus, sciure de bois, limaille de divers métaux, peintures, huiles, graisses,...) ;
- Rejet d'eaux usées chargées (de particules solides, d'huiles de mécaniques, de colorants,...) ;
- Dégagement de fumés (torréfaction, grillades,...) ;
- Bruit (machines, outils, vidéo cassettes, tôlerie, mécanique...)

- **L'agriculture** : C'est une activité qui pratique la culture du sol ; c'est l'ensemble des travaux transformant le milieu naturel pour la production des végétaux et des animaux utiles à l'homme.

Les nuisances et atteintes à l'environnement provoquées par cette activité sont de diverses formes :

- Labours réalisés sur les parcours steppique ;
- Le surpâturage ;
- Les défrichements : Pour l'extension des terres agricoles, des enclaves s'effectuent par le défrichement à partir des clairières et des lisières cultivées ;
- Contamination des sols par l'utilisation des pesticides et fertilisants...
- **L'urbanisation** : Elle se manifeste par l'accroissement des villes, la plupart des grandes villes que compte actuellement le pays ont littéralement explosé depuis les années 70, sans aucun respect pour les espaces agricoles et l'environnement naturel de leurs sites respectifs.

Les nuisances sur l'environnement, la santé et les ressources sont :

- La production de déchets solides et liquides qui polluent et dégradent l'environnement ;
- Prolifération des maladies à transmission hydrique ;
- Les bidonvilles ;
- Occupation d'espaces impropres à l'urbanisation ;
- Perte de terres agricoles ;
- Pression sur les ressources en eau...
- **L'industrie** : C'est l'ensemble des professions qui produisent des biens matériels par la mise en œuvre des matières premières. L'industrie de production reste un moteur essentiel de la croissance économique et de la compétitivité, mais il est également reconnu qu'une réduction de la pollution et l'utilisation rationnelle des ressources et de l'énergie constituent des impératifs de développement durable et rendent fréquemment, les coûts unitaires des produits moins élevés.

Les nuisances de l'industrie sur l'environnement, la santé et les ressources sont :

- Emission de vastes quantités de polluants dans l'atmosphère ;
- Déversement dans les eaux des déchets toxiques et autres organiques ainsi libérés dans la nature ;
- Production de déchets solides industriels (dangereux) ;
- Nuisances phoniques ;
- Les maladies professionnelles...
- **L'exploitation des ressources** : L'exploitation des ressources naturelles telle que pratiquée actuellement n'est pas sans effets négatifs sur l'environnement :
 - Cicatrices dans le paysage (carrières, mines) ;
 - Destruction du patrimoine forestier ;
 - Sur exploitation des ressources ;
 - Réduction de la diversité biologique ;
 - Destruction des dunes bordières avec des incidences néfastes sur la dynamique des plages et l'aggravation du déficit de leur patrimoine sédimentaire (extraction abusive de sable)...
- **La pêche** : C'est une activité de capture de poissons qui ne reste pas sans incidence sur milieu marin et ses ressources :
 - La surexploitation ;
 - Usage des explosifs ;
 - Capture des juvéniles ;
 - Réduction des maillages des filets capture tout sur son passage) ;
 - Pêche en zone interdite...
- **La chasse** : Tout comme la pêche, la chasse est une activité de capture de la faune terrestre qui ne reste pas sans incidence sur l'environnement et les ressources biologique :
 - Capture des espèces protégées ;
 - Chasse des espèces en voie de disparition ;
 - Chasse en période de fermeture...
- **La croissance démographique** : C'est l'évolution de la taille d'une population durant une période donnée.

C'est un indicateur important pour le développement durable car il est significatif de l'augmentation de la pression de la population sur les ressources naturelles mais aussi sur l'économie et la société. Un accroissement démographique trop rapide peut mettre à rude épreuve la capacité d'un pays à faire face à un vaste éventail de problèmes économiques, sociaux et environnementaux.

Le poids de la concentration de population engendre différents problèmes :

- Occupation des terres ;
- Pressions sur les ressources en eau ;
- Pression sur les ressources biologiques ;
- Production de déchets solides et liquides ;
- Urbanisation anarchique ;
- Dégradation des écosystèmes ;
- Dégradation des ressources naturelles...

1.3. Contamination d'origine industrielle

- **Production d'énergie** : La production et l'utilisation d'énergie est une source essentielle de pollution. La consommation d'énergie fossile rejette des milliards de tonnes d'équivalent de carbone sous forme de CO₂ dans l'atmosphère, contribuant ainsi de façon significative à l'augmentation de l'effet de serre.

A cela il faut ajouter l'usage du bois comme combustible dans les divers pays en développement (plusieurs centaines de million de tonnes d'équivalent charbon par an), qui est la source d'une déforestation importante et aussi d'une pollution méconnue à l'intérieur des habitations en raison des mauvais combustibles.

Aussi, l'extraction et la combustion des produits pétroliers s'accompagnent d'innombrables pollutions : marées noires provenant des fuites de puits off shore ou d'accident de transport qui contaminent l'océan mondial, raffinage qui pollue les eaux continentales, de même que les vidanges et autres usages dispersifs des hydrocarbures. Enfin, leur combustion libère dans l'atmosphère divers polluants gazeux (gaz carbonique, oxyde de carbone, de soufre, d'azote, hydrocarbures imbrulés, etc.), d'autres inquiétudes résultent du développement de l'énergie nucléaire.

Les aéropolluants produits par les combustions soulèvent de très graves problèmes environnementaux. Ces derniers découlent en particulier des rejets dans l'atmosphère de CO₂ et NO_x, dont résultent les désastreux phénomènes des pluies acides et en outre pour les seconds, ceux de smogs photochimiques, ainsi que de particules solides dont l'impact est redoutable pour la santé publique.

- **Diversification des polluants chimiques et l'accumulation des déchets** : l'un des aspects les plus redoutables de la pollution globale par les substances chimiques de synthèse tient en la croissance des rejets de polluants organiques persistants (POPs) tant dans les pays industrialisés que dans le tiers-monde. Par suite de leur ubiquité et leur stabilité, ces substances : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényle (PCB), solvants chlorés, pesticides organochlorés, dioxines,.....se rencontrent de nos jours dans les régions les plus reculées de la biosphère, tant continentales qu'océaniques.

1.4. Déchets solides : Se sont tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon .

Les sources principales des polluants majeurs sont :

- Les matières plastiques (14% des ordures ménagères, principalement source de production :Hcl, ,Cd, As, présent comme stabilisateurs ou comme colorants des plastiques)
- Les piles (1%) sont à l'origine de la présence de 50à75% de Cd, de Hg, Ni
- Les papiers, carton (28% des ordures) produisent lors de la combustion : Composés organiques, hydrocarbures, polyaromatiques, dioxine, le verre.

1.4.1. Les différents types d'ordures :

- **Déchets ménagères** : Ce sont les résidus solides issus de la vie domestique. Les principaux composants de ces déchets peuvent être organiques fermentescibles, ou bien ne le sont pas ; leur connaissance est importante car elle conditionne le mode de traitement et les possibilités de récupération.
- **Déchets industriels banals** : Il s'agit des déchets industriels « assimilables aux ordures ménagères » les déchets sont constitués de ferrailles et métaux non ferreux, papier carton, verre, matières plastiques, caoutchouc et pneumatiques.

Voici quelques notions de dégradabilité (valeurs approchées données pour ordre d'idée)

Mouchoir en papier	1 à 2 mois
Mégot de cigarette	6 mois
Boîte de conserve	100 à 200 ans
Bouteille plastique	Jusqu'à 500 ans
Bouteille en verre	Environ 4000 ans

- **Déchets inertes** : Ils sont constitués par les déchets de démolitions, les déblais, les graves issus d'activité extractives (mines, carrière) ou des travaux routiers.
- **Déchets industriels spéciaux** : Il s'agit de déchets spécifiques des activités industrielles pouvant contenir des éléments toxiques en quantités variables et présenter de ce fait des risques pour l'environnement. Ces déchets sont constitués des solvants usés, fluides de travail des métaux, bain de traitement de surface, huiles usagés, déchets phytosanitaires.

1.5. Contaminants d'origine agricole

L'usage en agriculture intensive des pesticides de synthèse (insecticides, fongicides, herbicides) et de la fumure minérale par apport de fertilisants azotés, de phosphates et de sel de potasse, conduit à des progrès spectaculaires dans les rendements de cultures.

Dans le même temps le développement de l'élevage industriel hors sol, avec des exploitations comptant parfois des milliers de bovins, des dizaines de milliers de porcs ou de centaines de milliers de volaille est également devenu une source de pollution considérable pour l'espace rural.

En effet, la production de tonnages immenses d'excréments et de purin génère une pollution insidieuse des eaux superficielles ou littorales et des nappes phréatiques par divers dérivés minéraux de l'azote (nitrates, nitrites, ammoniac) et par des phosphates, mais aussi des sols par des métaux biogènes mais toxiques (Zn, Cu).

Chapitre 2. Classification des polluants

2.1. Introduction

Donner une classification des polluants n'est pas une entreprise aisée car on peut réaliser à partir de nombreux critères, mais aucun n'est entièrement satisfaisant ; on peut tout d'abord grouper les agents polluants selon leur nature physique, chimique, biologique, nucléaire...etc, ou de façon écologique en considérant le milieu dans lequel ils sont émis et où ils exercent leurs méfaits ; on peut aussi se placer d'un point de vue anthropocentrique et considérer le milieu ou la manière par laquelle ils contaminent l'organisme humain : inhalation, ingestion, contact ou cutané, audition.

En réalité, aucune de ces méthodes n'est vraiment satisfaisante car une même substance peut présenter diverses modalités d'action.

Le tableau suivant, figure la classification des principaux types de polluants et de nuisances.

Tableau1 : classification des principaux types de pollutions et de nuisances

Nature de la pollution	Ecosystèmes		
	Atmosphère	hydrosphère	Sols
1. Pollutions physiques			
Radionucléaire (rayonnement)	+	+	+
Caléfaction ou pollution thermique	+	+	
Bruit et vibrations à basse fréquence	+		+
2. Pollution chimiques			
Dérivés gazeux du carbone	+	+	
hydrocarbures		+	+
Dérivés du soufre	+	+	+
Dérivés d'azote	+	+	+
Métaux et métalloïdes toxiques		+	+
Fluorures	+		+
Particules solides « aérosols »	+		
Détersives		+	
Pesticides et autres composés organiques de synthèse non volatils		+	+
Emission de substances chimiques nauséabondes (nuisance olfactive)	+		
Matières organiques fermentescibles		+	
3. Pollutions biologiques			
Contamination micro-biologique des milieux inhalés et intégrés (bactérie et virus)	+	+	
Introduction des OGM dans l'espace rural			+
Modification des biocénoses par des espèces animales et végétales		+	+
4. Nuisances esthétiques			
Dégradation des paysages et des sites par l'urbanisation sauvage ou un aménagement mal conçu	+		
Implantation d'industries dans les biotopes vierge ou peut modifiés par l'homme.	+		

2.2. Critères de classification des polluants : plusieurs critères participent à la classification des différents polluants de l'environnement en plusieurs catégories :

2.2.1. Selon la nature (Qualité) des polluants : il existe :

- **Une pollution physique :** qui participe parfois à la modification de la structure du milieu, comme : la chaleur, la pollution radioactive, la pollution sonore (Bruit), pollution lumineuse (En phase nocturne). Elle résulte également de l'entraînement des particules de sable et d'argile lors des pluies violentes.



Figure 1. Pollution physique

- **Une pollution chimique :** qui se manifeste de la libération des substances minérales ou artificielles toxiques comme : les hydrocarbures, les plastifiants (Produits qui participent à la fabrication du plastique), les phtalates (Dérivés des sels et des estères), Les pesticides chimique, les métaux lourds.



Figure 2. Pollution chimique

- **Une pollution Biologique :** Les micro-organismes peuvent être toxiques pour l'environnement, leurs nombreuses multiplications dans un milieu facilite leur transmission entre les êtres vivants, par exemples : Algues, champignons, bactéries, germes pathogènes, parasites.



Figure 3. Pollution biologique (Eutrophisation)

2.2.2. Selon le réservoir naturel des polluants: il existe :

- **Une pollution atmosphérique** : qui correspond au gaz et aux particules toxiques en suspension dans l'air.
- **Une pollution terrestre** : Elle désigne toutes les formes de pollution touchant le sol agricole, forestier ou urbain.
- **Une pollution aquatique** : Elle se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore des déchets dans le milieu marin.

2.2.3. Selon la forme des polluants

- **Une pollution gazeuse** : Les combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon) constituent la principale source de la pollution gazeuse.



Figure 4. Combustibles fossiles

- **Une pollution liquide**: il s'agit de toute molécule toxique pour l'environnement de forme liquide.



Figure 5. Pollution liquide

- **Une pollution solide** : Se sont les éléments nocifs pour l'environnement de forme solide : les métaux lourds, les plastiques, les produits pesticides et les déchets urbains



Figure 6. Pollution solide

2.2.4. Selon la source ou l'origine des polluants : il existe

- **Une pollution d'origine naturelle** : Des évacuations volcaniques, des décharges sous-marines d'hydrocarbures ou de métaux lourds peuvent être à l'origine de la pollution de plusieurs habitats.



Figure 7. Pollution naturelle (Eruptions volcaniques)

- **Une pollution d'origine urbaine** : il s'agit des rejets domestiques, des rejets des eaux de lavage et des produits dégagés par les habitants d'une agglomération.



Figure 8. Pollution urbaine

- **Une pollution d'origine agricole** : la culture des terrains (utilisation des pesticides et des engrais) et l'élevage des animaux jouent un rôle important dans la dégradation de l'environnement.



Figure 9. Pollution agricole (pesticides)

- **Une pollution d'origine industrielle** : la technologie industrielle et les rejets des usines et des entreprises représentent la vraie cause de la pollution dans toute la planète.



Figure 10. Pollution industrielle

2.2.5. Selon les étapes de la formation des polluants : il existe :

- **Une pollution primaire** : les polluants primaires sont ceux qui se libèrent directement dans l'environnement et gardent leur forme toxique comme : le méthane (CH_4), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO_2).
- **Une pollution secondaire** : les polluants secondaires se résultent plutôt d'une transformation physico-chimique des polluants primaires, par exemple : l'ozone (O_3) qui résulte des réactions chimiques impliquant l'oxyde d'azote (NO) et les COV (composés organiques volatiles). Le dioxyde d'azote (NO_2) issu de la réaction chimique entre le NO et l' O_2 . Les pluies acides sont des polluants secondaires qui se forment quand le SO_2 et le NO réagissent avec l'eau.

2.2.6. Selon la voie de contamination :

- **Chez les végétaux** :
 - une absorption stomatale ;
 - transfoliaire
 - une translocation racinaire.
- **Chez les animaux** : On peut distinguer une
 - contamination par inhalation(chez les espèces terrestres) ;
 - par absorption transbranchiale (chez les espèces aquatiques) ;
 - par ingestion (dite encore per os ; par voie orale) ;
 - par pénétration transcutanée à la suite du contact de la peau ou du tégument avec le polluant.

Chapitre 3. Circulation et dispersion des polluants

Le rejet d'agents polluants dans l'environnement est un phénomène complexe qui ne se limite en aucun cas à l'aspect, en apparence ponctuel, de l'émissaire d'égout se déversant dans un fleuve ou du fumée d'une usine s'élevant dans l'air. Aucune des substances que l'homme libère dans la biosphère ne reste en place ; dans la plupart des cas, elles émigrent fort loin du lieu de rejet.

3.1. Structure de l'atmosphère et composition de l'air : L'atmosphère terrestre est constituée d'un mélange gazeux complexe dénommé air, s'étendant du sol jusqu'à une altitude de l'ordre de 150km. Sur la base de la structure verticale de la température de cette atmosphère, on distingue conventionnellement quatre couches, dans lesquelles la pression décroît progressivement :

- a) **La troposphère :** du sol à 10km, la température de l'air décroît avec l'altitude ; à son sommet (tropopause) la température est d'environ -60°C. Les phénomènes météorologiques sont pratiquement tous observés dans cette région.
- b) **La stratosphère :** de 10 à 50km, la température de l'air augmente en raison de l'absorption du rayonnement solaire par l'ozone ; à 50km d'altitude, la pression est de l'ordre de 1mb (millibar).
- c) **La mésosphère :** de 50 à 80km, la température de l'air décroît à nouveau.
- d) **La thermosphère :** au-delà de 80km, la température croît constamment ; à 150km d'altitude, la pression est de l'ordre de 0,00005mb.

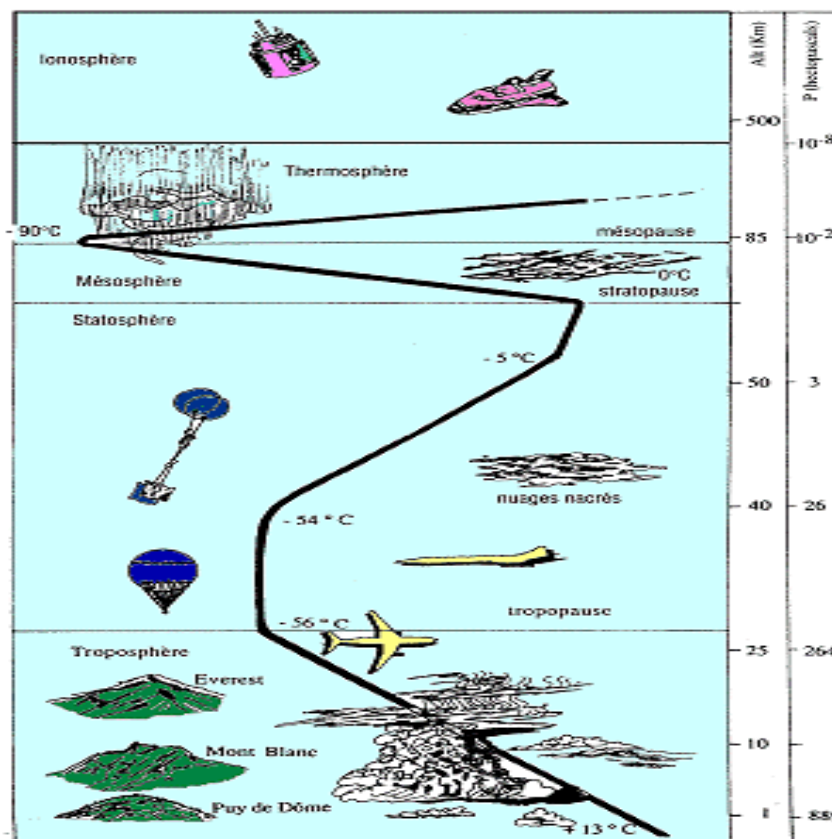


Figure11. Structure verticale de l'atmosphère

L'air atmosphérique est un mélange complexe de gaz et de particules liquides et solides en suspension. L'azote et l'oxygène en sont les constituants majoritaires : 78% en volume pour l'azote et 21% en volume pour l'oxygène. Le 1% restant un rassemble de gaz « rares » (hélium, argon, néon, krypton, radon), la vapeur d'eau, le gaz carbonique, hydrogène, l'ozone, les particules solides et liquides en suspension (l'eau sous forme liquide ou solide, poussières fines, cristaux salins, pollens) et les polluants atmosphériques. Il est généralement admis que la composition globale de l'air sec varie très peu jusqu'à 80km d'altitude : c'est l'homosphère

3.2. Origine et nature des polluants atmosphériques

Un polluant est une substance qui se trouve dans l'atmosphère à une concentration supérieure à sa concentration habituelle, celle-ci étant d'ailleurs le plus souvent nulle, exception pouvant être faite pour le gaz carbonique, les oxydes d'azote, l'ozone et l'ammoniac qui sont des constituants normaux de l'atmosphère non polluée (Paul et al, 1974).

La nature des polluants, est directement liée aux types d'émissions des rejets dans l'atmosphère, il y on a des sources naturelles (érosion des roches, volcans, embruns marin...) et des sources anthropiques (industrie, transport, agriculture et élevage, activité domestique).

Ces différentes sources émettent des nombreuses substances parmi lesquelles :

- Des gaz et des vapeurs de composés minéraux ou organiques très divers tels des oxydes de soufre et principalement le dioxyde de soufre (SO_2) , les oxydes d'azote(NO_x), comprenant NO et NO_2 , le monoxyde de carbone CO, l'ozone (O_3), le plomb (Pb)...etc, ou des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, les acides, les phénols...etc.
- Les particules solides ou des vésicules liquides constituant des aérosols dont les dimensions vont de $0,05\mu\text{m}$ pour les plus fines qui peuvent rester en suspension, jusqu'à $20\mu\text{m}$ et plus pour celles qui finissent par se déposer spontanément sur le sol.

3.3. Circulation atmosphérique des polluants

Les mouvements atmosphériques jouent un rôle fondamental dans la répartition des agents polluants. Ce sont les courants ascendants et les vents qui les dispersent en altitude et en latitude et assurent leur circulation. Cette contamination de l'atmosphère ne se fait pas au hasard, mais selon des mécanismes biens définies, liés aux divers paramètres qui contrôlent les phénomènes météorologique. Ces derniers ont été précisés par divers recherches effectuées à l'aide de ballons-sondes de hautes performance et plus ressèment grâce aux divers satellites météorologiques.

L'existence d'un vent dominant d'Ouest qui souffle au niveau de la tropopause dans l'hémisphère Nord, avec une vitesse de 35m/s au moyenne permet un transit circumterrestre de toute substances situées à ce niveau en douze(12) jours, cela explique la dispersion des particules émises par une explosion nucléaire ou volcanique dans l'ensemble de l'atmosphère planétaire.

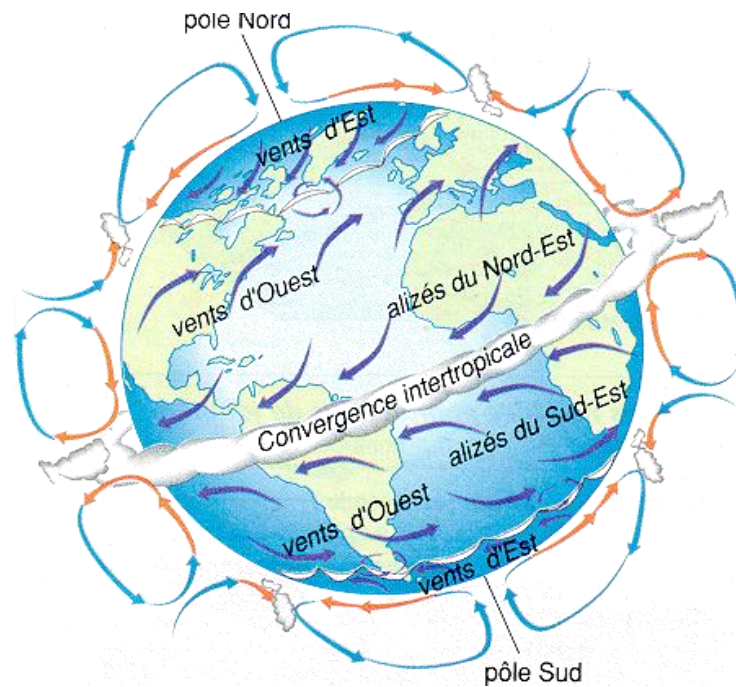
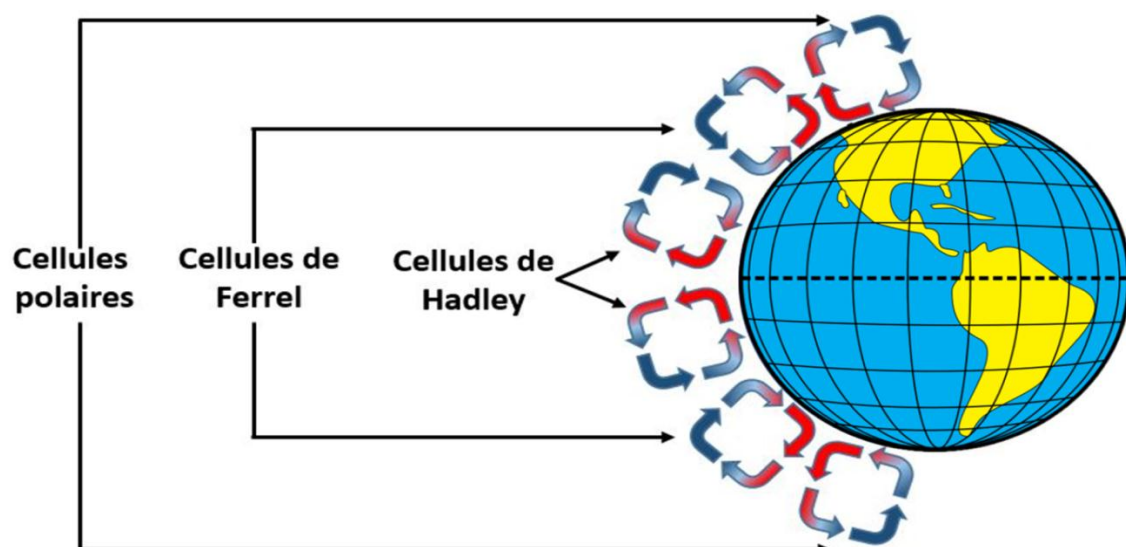


Figure12. Modèle de circulation atmosphérique générale

A ces courants horizontaux sont associés des mouvements verticaux des masses d'air qui permettent une circulation atmosphérique du Nord vers le Sud. La combinaison des vents Ouest-Est avec une dérive ascensionnelle du niveau des basses altitudes engendre un type de circulation atmosphérique dénommée la cellule de Hadley. Celle-ci permet l'échange des masses d'air entre les deux hémisphères au niveau de la troposphère des régions équatoriales.

Les différentes cellules sont disposées en bandes selon les latitudes : c'est une organisation zonale. Le modèle de circulation générale proposé comporte six cellules de convection : deux cellules équatoriales dans le sens direct dites cellules de Hadley, deux cellules à circulation inverse des précédentes dites cellules de Ferrel et deux cellules polaires à nouveau à circulation directe.



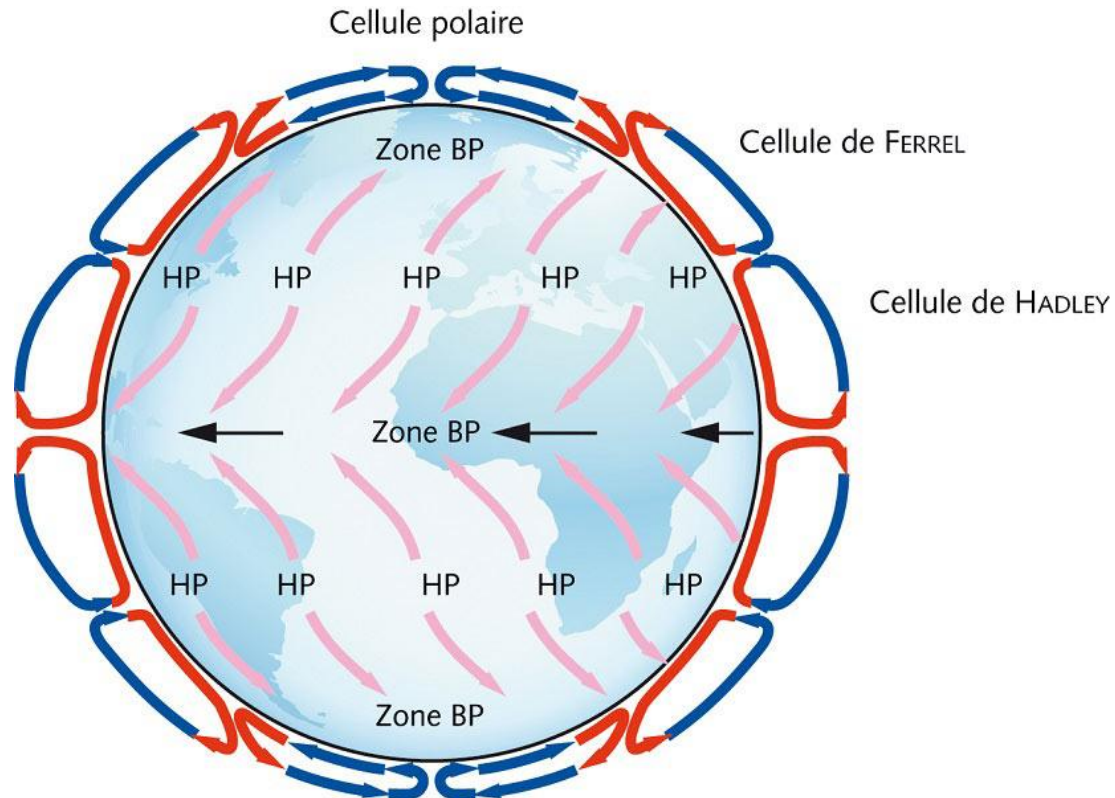


Figure 13. La circulation atmosphérique

3.4. Dispersion des polluants dans l'atmosphère

Les concentrations dans l'air ambiant des polluants primaires sont maximales à proximité des sources puis tendent à diminuer au fur et à mesure que l'on s'en éloigne.

Des facteurs prépondérants tels que les caractéristiques de l'émission (flux émis, altitude et température d'émission), la topographie du site (présence ou non du relief), la climatologie (température et hygrométrie de l'air, vitesse du vent, pression atmosphérique...), la taille des particules (pour les poussières et les aérosols), influencent le transport et la dispersion.

- **La turbulence atmosphérique**

Ce sont les mouvements à petite échelle qui vont brasser la masse d'air et permettre la dilution des polluants. Les mouvements à plus grande échelle vont en assurer le transport. Plus la turbulence est importante, plus la dispersion atmosphérique est grande.

- **Le vent**

Il existe une relation évidente entre la vitesse du vent et les niveaux de concentration de polluants. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. Un vent faible favorise donc l'accumulation des polluants. La vitesse du vent augmente avec l'altitude.

- **La température**

Elle agit sur la chimie des polluants : Le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur estivale est nécessaire à la formation photochimique de l'ozone.

- **La stabilité et l'instabilité atmosphérique**

La stabilité ou l'instabilité de l'atmosphère sont les facteurs principaux de la dispersion atmosphérique. Selon que l'atmosphère sera stable ou instable. La dilution des polluants sera faible ou importante. Une atmosphère est stable si une particule d'air, écartée de sa position d'équilibre, a tendance à y revenir ; instable dans le cas contraire. Si on élève une particule d'air d'une certaine altitude, elle va subir une chute de pression et donc une chute de température.

Si la particule d'air que l'on vient de soulever est plus froide que le milieu environnant. Elle sera plus lourde et donc redescendra à son niveau de départ. L'atmosphère est donc stable. L'atmosphère est instable lorsque la particule d'air subissant cette élévation est plus chaude et plus légère que le milieu environnant. Elle a donc tendance à continuer son ascension. La stabilité va donc dépendre de la vitesse de croissance de la température avec l'altitude. Selon que l'air est saturé en vapeur d'eau ou non, les valeurs limites fixant la stabilité ou l'instabilité d'une atmosphère sont donc :

Air non saturé :

Décroissance plus rapide que $-1^{\circ}/100$ mètres=instabilité

Décroissance moins rapide que $-1^{\circ}/100$ mètres=stabilité

Air saturé :

Décroissance plus rapide que $-0,65^{\circ}/100$ mètres=instabilité

Décroissance moins rapide que $-0,65^{\circ}/100$ mètres=stabilité

- **L'inversion thermique**

La température décroît avec l'altitude. L'air chaud contenant les polluants au niveau du sol se disperse verticalement. En condition d'inversion de température ou inversion thermique, le sol s'est refroidi de façon importante pendant la nuit (rayonnement terrestre nocturne notamment).

La température à quelques centaines mètres d'altitude est donc supérieure à celle mesurée au niveau du sol. Les polluants se trouvent alors bloqués sous une couche d'inversion qui joue le rôle de couvercle thermique. Si au même , il n'y pas de vent, les polluants augmentent dans des proportions importantes.

- **La topographie locale**

Brises marines : sont générées par le contraste thermique existant entre la terre et la mer. La nuit et tôt le matin, la terre se refroidit plus vite que la mer : il se forme alors une brise de terre soufflant de la terre vers la mer, les masses d'air se déplaçant toujours du froid vers le chaud. L'après-midi et enfin de journée, sous l'effet du rayonnement solaire, la terre se réchauffe plus vite que la mer : une brise de mer est ainsi créée soufflant de la mer vers la terre, pouvant rabattre vers le terre tout polluant émis en mer.

Les vallées : Les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens de jour et de nuit. En effet, le jour l'air s'échauffe sur les pentes et crée un courant qui remonte la vallée. Les polluants se dispersent rapidement. Mais la nuit, ce phénomène s'inverse : l'air froid s'écoule le long des pentes et s'accumule au fond de la vallée, tout en descendant. La pollution évacuée dans la journée est alors ramenée dans la vallée la nuit.

3.5. Le temps de séjour des polluants dans l'atmosphère

Le temps de séjour des polluants dans l'atmosphère, dépend de sa capacité à se déposer sous forme sèche ou humide (lessivage ou dissolution) ou à se transformer chimiquement.

Les dépôts humides englobent l'ensemble des retombées des polluants gazeux ou particulaires incorporés au sein des précipitations (pluie, neige, brouillard, etc.).

Les précipitations atmosphériques éliminent de l'atmosphère une partie des polluants particulaires en interceptant la particule et en l'entraînant jusqu'au sol. Ceci dépend de la taille de la goutte d'eau, de celle de la particule, de leur vitesse de chute respective et de leur densité.

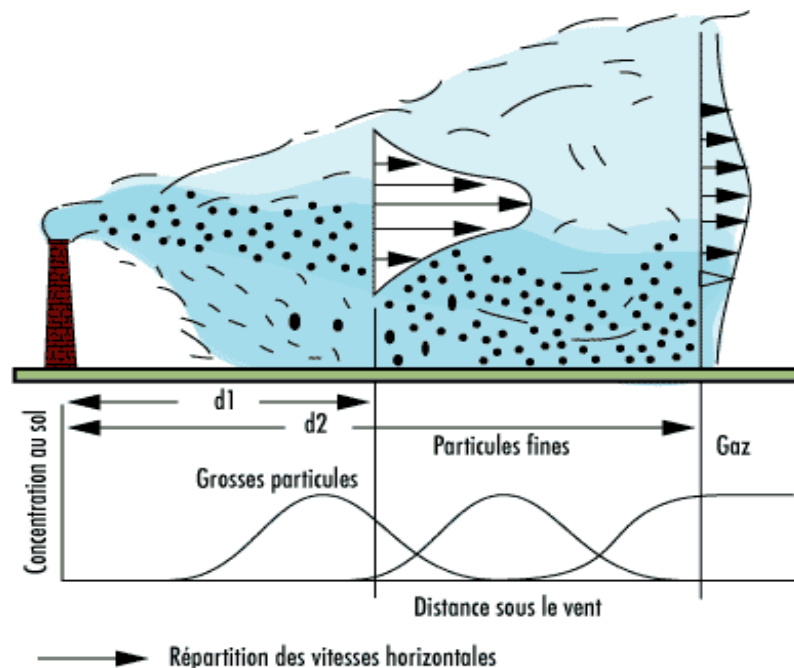


Figure14. La dispersion des polluants en fonction de leur taille

Les dépôts secs correspondent aux retombées au sol des polluants gazeux ou particulaires, en l'absence de précipitations. Ces retombées se produisent sous l'effet de la diffusion, de la turbulence, de la gravité. Le temps de séjour des polluants dans l'air est très variable et dépend notamment de leurs caractéristiques physico-chimiques.

3.6. Passage des polluants de l'atmosphère dans l'eau et les sols

Heureusement, (à quelques rares exceptions), les polluants atmosphériques ne séjournent pas indéfiniment dans l'air. Les précipitations et les mécanismes de dépôt sec des particules les ramènent à la surface du sol et/ou dans l'hydrosphère. Les particules solides sont entraînées mécaniquement ou par dissolution ; les substances gazeuses sont également dissoutes dans les eaux pluviales. Ces mécanismes de dépôt à la surface des eaux, des sols et de la végétation constituent les processus d'épuration de l'atmosphère des polluants qui ne sont pas dégradés dans l'air.

Le rôle fondamental du cycle de l'eau et de la circulation atmosphérique générale dans le transfert des polluants fut mis en évidence au cours des années 1950 lors du suivi des retombées radioactives provoquées par les expériences nucléaires.

De nombreuses études de chimie analytique sur les contaminants traces ont confirmé que le rôle combiné de la circulation atmosphérique et des précipitations pouvait transférer les polluants très loin de leurs zones d'émission.

Les pluies acides constituent aussi un excellent exemple de transfert des polluants atmosphériques à grande distance. Elles peuvent affecter de grandes surfaces.

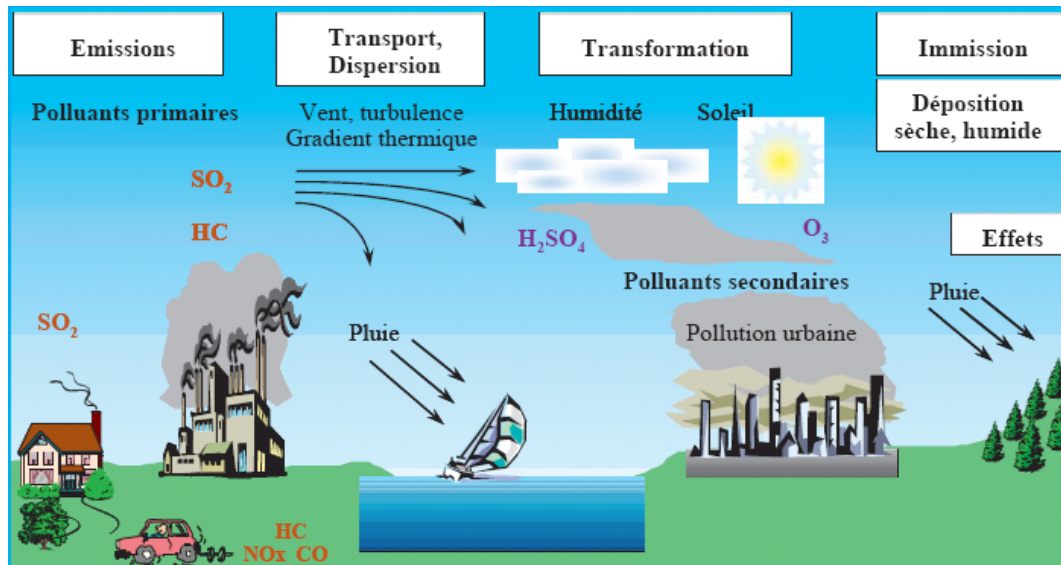


Figure 15. Passage des polluants dans la biosphère

3.7. Transfert des polluants dans la biomasse et contamination des réseaux trophiques

La répartition et la dispersion des diverses substances polluantes dans l'ensemble de la biosphère ne sont pas seulement conditionnées par les seuls facteurs abiotiques qui régissent la circulation atmosphérique et celle des eaux dans les sols et l'hydrosphère. Toute substance qui contamine le milieu naturel peut être incorporée par les êtres vivants, grâce aux multiples processus métabolique. Elle va de la sorte pénétrer dans les réseaux trophiques de divers écosystèmes, s'intégrer au cycle de la matière dans les biocénoses et exercer une action néfaste sur d'innombrables espèces végétales et animales qu'elles comportent.

3.8. Concentration par les êtres vivants : notion de bioconcentration et de bioaccumulation

La dernière phase de la circulation d'un polluant dans la biosphère est constituée par la contamination des êtres vivants et, parfois, par la bioaccumulation dans l'organisme de ces derniers.

On désigne par terme de **bioconcentration** l'accroissement direct de concentration d'un polluant lorsqu'il passe de l'eau dans un organisme aquatique.

Cette notion peut être étendue aux organismes terrestres : passage de l'air et/ou du sol dans les plantes par pénétration transfoliaire et/ou transradiculaire, passage direct de l'air dans les espèces animales par inhalation.

Le terme de **bioaccumulation** désigne, lui, la somme des absorptions d'un polluant par voie directe et alimentaire par les espèces animales aquatiques ou terrestres.

Ce phénomène de bioaccumulation est connu depuis longtemps date grâce à l'existence d'espèces capables d'accumuler des substances naturelles à des concentrations plusieurs dizaines de milliers de fois supérieures à celles rencontrées dans les sols ou les eaux. Ainsi, l'aptitude des algues du genre **Fucus** ou **Laminaria** à concentrer l'iode et le brome présents dans l'eau de mer a été mise en évidence depuis longtemps pour l'extraction industrielle de ces éléments.

Ce processus de bioaccumulation s'observe également avec les diverses substances minérales ou organiques introduites par l'homme dans le milieu naturel. Ainsi, le plutonium, rejeté dans l'océan par les effluents dilués des usines de traitement de combustibles irradiés, peut être concentré jusqu'à 3000 fois par le phytoplancton par rapport à sa dilution dans l'eau de mer et jusqu'à 1200 fois par les algues benthiques.

Le facteur de concentration, F_c , peut être défini comme le rapport de la concentration d'un polluant dans un organisme à sa concentration dans le biotope. Dans le cas des PCB, nous aurons :

$$F_c = \frac{[\text{PCB}]_{\text{organisme}}}{[\text{PCB}]_{\text{eau ou sol}}}$$

De nombreux êtres vivants, sinon tous, peuvent accumuler dans leur organisme, à des degrés divers, toute substance peu ou pas biodégradable. Certains d'entre eux présentent une aptitude particulière à la bioconcentration des polluants. Ainsi, les vers de terre, grâce à leur régime détritophage qui les conduit à ingérer chaque jour une masse d'humus égale à plusieurs fois leur poids, peuvent bioconcentrer le D.D.T. ou le plomb à des concentrations plusieurs dizaines de fois supérieures à celles des sols. De même. Il va en résulter un phénomène de transfert et d'amplification biologique de la pollution à l'intérieur des biocénoses contaminées (dénommé **bioamplification** ou encore **biomagnification**). Chaque chaîne trophique sera le site d'un processus d'accroissement de la concentration des polluants persistants dans la biomasse au fur et à mesure que l'on remonte les divers niveaux de la pyramide écologique. Les teneurs observées dans les tissus des espèces situées au sommet des chaînes alimentaires seront d'autant plus élevées, toutes choses égales par ailleurs, que le composé sera plus stable et la chaîne alimentaire plus longue. C'est ainsi que s'expliquent, pour une même substance, les facteurs de concentration toujours plus élevés en milieu aquatique que dans les écosystèmes terrestres.

Le tableau suivant illustre ce phénomène de concentration biologique d'un polluant.

Tableau 2 : Concentration de la dieldrine dans une chaîne trophique.

Niveau trophique	Organisme	Concentration de dieldrine (en ppm)
I	Phytoplancton	10^{-3}
II	Zooplancton	1,5 à $2 \cdot 10^{-2}$
III	Crustacés, poissons microphage	$3 \cdot 10^{-2}$
IV	Poissons prédateurs, sternes, mouettes tridactyles	1 à $2 \cdot 10^{-1}$
V	Cormorans	1,6 (foie) 1,2 (œufs)

Chapitre 4. Importance et effets écologique des principaux types de pollution

4.1. La pollution atmosphérique : Provoquée par le rejet intempestif de substances diverses dans l'atmosphère, elle 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, métallurgique et chimique, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, etc.

La pollution atmosphérique sévit surtout en milieu urbanisé, non seulement par suite de la concentration des industries et des foyers domestiques, mais aussi par suite de la circulation des véhicules à moteur.

4.1.1 Effets de la pollution atmosphérique : Les polluants rejetés dans l'atmosphère vont induire une multitude d'effets néfastes non seulement sur les espèces vivantes exposées, homme inclus, mais également sur l'ensemble des écosystèmes et même à l'échelle globale en perturbant les grands cycles biogéochimiques.

4.1.1.1 L'anhydride sulfureux(SO₂)

- **Sources :** volcanisme, évacuations industrielles spécialement des sources qui consomment le combustible sous forme de charbon et de pétrole, transport (diesel, essence).

L'anhydride sulfureux s'oxyde dans l'air en anhydride sulfurique(SO₃), lequel a son tour donnera avec la vapeur d'eau de l'acide sulfurique(SO₂H₄) très hygroscopique et qui joue un rôle essentiel dans la formation de smogs acides, brouillards propres aux milieux urbains des régions à climat tempéré froid ou sévit une forte pollution de l'air.

- **Effets sur la végétation :** néfaste pour les végétaux, certains comme les lichens présentent une telle sensibilité qu'on les utilise comme indicateur biologique (aucune espèce de lichen ne peut survivre à une concentration supérieure à 35ppb (partie par milliard). Le SO₂ est également fortement toxique pour les phanérogames, aucune plante supérieure ne pouvant croître normalement en un air qui renferme en permanence plus de 80ppb, même chez les végétaux résistants. Chez les végétaux très résistants, des lésions foliaires apparaissent après à peine une demi-journée d'exposition à 0,25ppm de ce gaz. Parmi les plantes sensibles au SO₂ citons : luzerne, l'orge, coton, tabac, betterave à sucre, laitue, tomates, blé, pommier. Le SO₂ est aussi responsable des pluies acides responsables du dépérissement à vaste échelle des forêts de conifères, et de l'acidification des eaux des lacs situés sur terrains cristallins.
- **Effets sur les animaux :** les animaux et l'homme, souffrent également de la pollution de l'air par le SO₂, sa toxicité chez les mammifères se traduit par une diminution de l'élasticité pulmonaire à des concentrations inférieures à 1ppm et au-delà par une hypersécrétion bronchique.
- **Effet sur la matière :** Provoque la dégradation des constructions de toutes sortes par sa transformation en acide sulfureux et sulfurique et par sa réaction avec le carbonate de calcium(dégâts importantes sur les monuments célèbres). Le SO₂ joue aussi un rôle dans la corrosion de certains métaux...etc.

4.1.1.2 L'hydrogène sulfuré(H_2S) : Il existe à l'état naturel dans l'atmosphère. Il est produit par divers fermentations anaérobies, œuvre de sulfo-bactéries, tant en milieu terrestre qu'océanique. La production d'hydrogène sulfuré d'origine industrielle est surtout le fait d'installations pétrochimiques. Il devient toxique quand il dépasse sa concentration admissible dans l'air (15ppm)

4.1.1.3 Le monoxyde de l'azote (NO) :

- **Sources :** Le monoxyde d'azote figure parmi les constituants normaux de l'atmosphère. Il s'y trouve aussi présent du fait de phénomènes naturels tels que : les orages ou les éruptions volcaniques. Mais il est également produit en quantités importantes lors des combustions à haute température et surtout dans les moteurs à explosion.

Le (NO) a la propriété de se transformer très rapidement dans l'air en dioxyde d'azote (NO₂) puis en composés très dangereux les Péroxyl Acétyl Nitrate (PAN) dans les atmosphères urbaines polluées et ensoleillées, propices à la formation des smogs photochimiques. Ces dernières sont le siège de diverses réactions conduisant à la formation d'ozone, lequel va à son tour réagir sur d'autres polluants, les hydrocarbures imbrûlés qu'il oxyde en Peroxyacycles.

- **Effets sur les végétaux :** Les (PNA) produits par les oxydes d'azote (NO et NO₂) sont particulièrement toxiques pour les végétaux : 15ppb de ces substances suffisent pour provoquer en quatre heures des brûlures foliaires chez les phanérogames. Les effets de l'exposition aux aéropolluants gazeux (SO₂, oxyde d'azotes, PAN, Ozone) et aux précipitations acides sont à l'origine de sérieux dommages à la végétation et en particulier dans les écosystèmes forestiers.
- **Effets sur les animaux :** Concernant les mammifères une dizaine de ppb de ces produits induit une forte irritation des muqueuses oculaires et bronchiques, alors que les taux de (PAN) supérieure à 50ppb sont par exemple relevés régulièrement dans diverses villes californiennes.

Le mélange de différents oxydes d'azote parmi lequel prédomine le bioxyde constitue un gaz irritant à action toxique par les voies respiratoires profondes. En grande concentration il exerce des effets graves comme l'œdème, la congestion la pneumonie et la mort.

4.1.1.4 Fluorures :

- **Sources :** Le fluor est un élément ubiquiste, très répandu dans la nature, le sol, les minerais, les eaux, les volcans ...etc. Sont la matière première de nombreuses industries de transformation aboutissant principalement à la production d'engrais. Les traitements par calcination ou attaque sulfurique s'accompagnent d'émissions fluorées plus ou moins abondantes, malgré les dispositifs de lavage mis en place pour retenir enfin de chaîne, et dont l'efficacité peut dépasser 99%.

- **Effets sur les végétaux :** La contamination des sols qui résulte des fluorures rejetés dans l'air s'avère catastrophique pour de nombreuses plantes cultivées ou spontanées et pour les forêts de conifères, les lésions consistent dans une décoloration allant jusqu'à la brûlure. Les fruits des arbres subissent les mêmes lésions.

Le degré de sensibilité et de résistance des plantes à ce polluant varient d'une espèce à une autre.

- **Effets sur les animaux :** La contamination des plantes s'accompagne d'une concentration du fluor dans la chaîne alimentaire des animaux domestiques et de l'homme, les troubles provoqués par la pénétration dans le corps de grandes quantités de fluor consistent dans les lésions viscères qui déterminent la mort ; pour des concentrations plus faibles se produisent des modifications relativement minimales de l'ordre de 1,5-2 mg de fluor par jour, introduites dans l'organisme pour de grandes périodes de temps, déterminent une intoxication chronique, localisée d'abord sous forme de fluorose dentaire ; cela se traduit par des taches, des déformations et l'amoindrissement de la résistance des dents, d'autant plus graves que l'exposition est plus longue.

Les fluors s'accumulent aussi dans les sabots et les poils, qui prennent un aspect anormal.

4.1.1.5 Les chlorofluorocarbures (C.F.C) : Encore dénommés Fréons, ce sont des dérivés chlorofluorés du méthane, ce sont autrefois largement répandues comme liquide dans la réfrigération et les climatisations, utilisés comme des dissolvants dans les décapants, dans les cartes électroniques, en tant qu'agents de soufflage dans la production de mousse (extincteurs) et comme propulseurs en aérosols.

Leur durée de vie dans l'atmosphère varie de 20 à 100 ans, ils jouent un rôle important dans la formation des gaz à effets de serre, leurs émissions contribuent à environ 80% de l'amincissement total de l'ozone stratosphérique.

Les fréons s'accumulent dans la stratosphère, où ils se décomposent sous l'action des rayons U.V. en libérant du chlore, lequel réagit à son tour avec l'ozone qu'il dissocie de l'oxygène.

4.1.1.6 Le monoxyde de carbone :

- **Source :** c'est le plus répandu de tous les polluants atmosphériques. Dans des conditions naturelles il se rencontre dans l'air à des taux très réduits, évalués en moyenne à 0,5-0,2ppm.

Le volcanisme, certaines fermentations en milieu anaérobie (vases benthiques dans les marécages), les incendies de forêts, feux de brousse, représentent les principales sources de CO. Cependant, les êtres vivants marins semblent intervenir de façon significative dans la production naturelle de CO, ce gaz peut être élaboré par les algues brunes ou de fucus. Il est aussi le produit des combustions incomplètes des substances organiques, chaque fois que la quantité d'oxygène mise en présence est insuffisante. Il peut aussi résulter des industries, du chauffage des habitations, de la fumée du tabac et principalement des transports.

- **Effets sur l'homme :** Il s'agit d'un toxique respiratoire très puissant, bloque la fixation de l'oxygène par l'hémoglobine en se combinant à cette dernière de façon irréversible.

En dehors de ce mécanisme de blocage, le CO exerce des effets nocifs sur certaines enzymes : La phosphatase, le système respiratoire des mitochondries, la riboflavine, l'acide nicotinique et les flavinucléotides. Pour des concentrations plus petites peuvent apparaître des symptômes sous forme de douloureuses coliques abdominales, maux de tête, de vertiges, de nausées et de vomissements.

- **Effets sur les végétaux :** Le CO a une action toxique sur les espèces végétales. Les plantes perdent leurs feuilles, les bourgeons tombent et les fruits n'arrivent pas à maturité, tombant avant d'être murs.

4.1.1.7 Le gaz carbonique ou dioxyde de carbone:

L'emploi sans cesse accru de combustibles fossiles par la société industrielle depuis plus d'un siècle a perturbé le cycle biogéochimique du carbone. L'homme a rompu l'état d'équilibre dynamique qui s'était établi entre les quantités de gaz carbonique dégagées dans l'atmosphère par diverses sources de ce gaz (respiration, fermentation, volcanisme) et celle absorbées extraites de l'atmosphère par la photosynthèse des autotrophes et la sédimentation. L'augmentation atmosphérique de ce gaz (CO₂) est susceptible de provoquer d'importantes modifications climatiques, notamment un réchauffement des basses couches de la stratosphère responsable d'un effet de serre en retenant au voisinage du sol les rayonnements infrarouges calorifiques.

4.1.1.8 Les hydrocarbures : Les hydrocarbures imbrûlés constituent des contaminants prépondérants dans les atmosphères polluées des grandes agglomérations ; ils proviennent de l'évaporation des produits pétroliers au niveau des réservoirs et des carburateurs des véhicules à essences, dans ce dernier cas principalement après l'arrêt du moteur, l'ors que celui-ci est encore chaud. Mais la source principale réside également dans la combustion incomplète du carburant pendant le cycle du fonctionnement du moteur, aussi bien dans les moteurs à essence qui représentent 90% de COV (composés organiques volatiles) que dans les chaufferies à fuel.

4.1.1.9 Les particules : Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particule désigne en général la fraction des composants (liquide ou solide) en suspension dans les milieux gazeux elle résulte essentiellement de composés solide de carbone, des hydrocarbures non brûlés, secondairement de l'usure des pneus, des métaux lourds.

- **Effets sur la santé humaine :**

Les particules les plus fines, dite insédimentables, car incapables de se déposer au sol sous l'effet de la gravitation sont les plus dangereuses sur la santé humaine car elles sont susceptibles de pénétrer dans alvéoles pulmonaires.

Par ailleurs, elles contaminent les plus grandes couches atmosphérique et sont donc responsables d'une pollution globale.

Deux types de particules soulèvent des problèmes d'hygiène publique des plus préoccupants en milieu urbain, celles qui dérivent du plomb ou de l'usage des fibres d'amiante qui est un matériau isolant qui a été fort utilisé dans les industries métallurgiques et dans le bâtiment, avant d'être interdite dans de nombreux pays. L'inhalation des fibres d'amiante polluant l'atmosphère induit une affection redoutable, le mésothéliome pulmonaire.

4.2. La pollution aquatique

4.2.1 Effets des substances organiques de synthèse

Dans les eaux de surface il semble que la stabilité des médicaments soit très variable. Cependant, comme ces substances sont déversées de manière plus ou moins continue, les organismes sont soumis à la pollution de façon constante durant plusieurs générations. Cette pollution ne semble pas toxique à court terme car les concentrations engendrant des effets aigus sont relativement élevées et donc peu susceptible d'être rencontrées dans le milieu aquatique. Actuellement, il n'est donc pas possible d'exclure que les médicaments puissent avoir des effets à long terme sur le milieu aquatique. Ainsi, le 17 α -éthinyloestradiol, hormone de synthèse utilisée dans les pilules contraceptives est supposé pouvoir engendrer des effets sur les communautés de poissons aux concentrations détectées dans l'environnement, soit de l'ordre de quelques ng/l.

4.2.2 Effets des pluies acides

Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides (pas d'effet tampon). 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.

L'impact le plus important de la forte baisse du pH des eaux naturelles est la dissolution de l'aluminium. En effet, à partir de $\text{pH} < 6$, la solubilité de cet élément dans les biotopes aquatiques augmente considérablement et il s'ensuit une régression rapide de l'ensemble de la communauté. L'acidification des lacs et des rivières entraîne une disparition des poissons.

4.2.3 Mercure

La pollution des eaux continentales ou marines par le mercure a donné une illustration spectaculaire des redoutables conséquences écotoxicologiques

4.2.4 Plomb

Le saturnisme (maladie correspondant à une intoxication par le plomb) dû à la contamination des écosystèmes limniques par les plombs de chasse menace de nombreuses espèces essentiellement d'oiseaux d'eau dont beaucoup sont rares ou en danger. Trois plombs suffisent pour provoquer la mort chez le cygne.

4.2.5 Hydrocarbures

La pollution par les marées noires et autres causes de rejets d'hydrocarbures en milieu marin constitue une importante cause de perturbation des écosystèmes océaniques.

- Le pétrole est très toxique pour les autotrophes marins. Il exerce une diminution de la production primaire du phytoplancton en inhibant la photosynthèse.
- Le pétrole provoque un raccourcissement des chaînes trophiques marines lié à la disparition du zooplancton de grande taille, ainsi que les jeunes saumons qui s'en nourrissent. À la base du réseau trophique, le microphytoplancton est remplacé par du nanoplancton, tandis que les Crustacés sont remplacés par des méduses.
- La flore et la faune benthiques littorales sont très affectées par les marées noires (lors de naufrage) et dans certains cas par une pollution chronique : destruction des récifs coralliens et des phanérogames, mortalité des Invertébrés benthiques, des Crustacés et des Lamellibranches

· Les marées noires et la contamination chronique par le pétrole provoquent la mort des populations d'oiseaux littoraux et aquatiques migrateurs, voire des nombreuses espèces de Mammifères marins.

4.2.6 Effets de la pollution par les polluants organiques en milieu lentique: 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 et stimulées par un apport soutenu en phosphore et azote. Cela peut se produire suite à des rejets excessifs de composés azotés ou phosphorés par voie d'égout ou bien encore par la modification des courants naturels (digues, détournement de cours d'eau). Le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive, ce qui conduit, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation de la charge naturelle de l'écosystème en matières organiques biodégradable. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en consommant de plus en plus l'oxygène de l'eau (Fig. 9).

4.2.7 Effets écologiques de la pollution thermique des eaux

· En règle générale, une centrale « moyenne » fonctionnant aux combustibles fossiles, élève de 5°C la température des cours d'eau

· L'élévation de la température des eaux diminue le taux d'oxygène dissous.

· La pollution thermique diminue aussi la teneur des eaux en azote et en gaz carbonique.

· Le réchauffement des eaux provoque une diminution de la concentration en ions calcium lesquels sont indispensables à l'ossification des poissons, la coquille des Mollusques ou l'exosquelette des

Invertébrés marins

· L'échauffement des eaux diminue la diversité du phytoplancton et de façon plus générale de toute la flore algale.

· Les Invertébrés tant planctoniques que benthiques sont directement affectés par la pollution thermique.

On cite, les cladocères, les copépodes, les larves d'insectes, les mollusques, les poissons

4.3 Pollution des sols : Au contraire de la pollution de l'air, qui sévit aussi bien à la ville que dans les zones rurales où sont implantées des industries, la pollution des sols affecte par certaines techniques agricoles modernes en vue de produire des quantités croissantes d'aliments alors que la surface de terre cultivable, disponible par habitant diminue sans cesse à cause de l'accroissement démographiques.

Les sols constituent donc, en bien des cas, un intermédiaire obligatoire entre l'atmosphère et l'hydrosphère, pour une fraction de la quantité totale de chaque polluant que l'homme rejette dans l'air.

On peut distinguer parmi les divers polluants des sols, les différents produits chimiques utilisés en agriculture, des substances minérales et des composés organiques de synthèse, les énormes quantités de déchets solides sans oublier les retombées atmosphériques de dérivés de gaz toxique.

- **Effets des pesticides sur la santé humaine** : Les pesticides causent chez l'homme diverses nuisances à savoir:
 - la perte de l'appétit
 - la fatigue
 - les maux de tête
 - le vomissement
 - les troubles digestifs
 - des irritations cutanées fréquentes (40% des cas)
 - des troubles respiratoires
 - des problèmes neurologiques, d'allergie, d'asthme et des cancers (la leucémie: cancer du sang, cancer du cerveau, des poumons, des reins...).
 - des troubles de comportement de reproduction
 - perturbation du système immunitaire et hormonale.

Chapitre 5. Conséquences écologiques de la pollution de l'environnement

5.1 Définition de la pollution

C'est la dégradation de l'environnement par l'introduction dans le milieu, des matières n'étant pas présentes naturellement, et qui entraîne une perturbation de l'écosystème. Les conséquences de la pollution sur les êtres vivants peuvent aller des problèmes de santé jusqu'à la migration ou l'extinction des espèces non capables de s'adapter aux changements de l'environnement.

Donc la pollution est toute modification anthropogénique d'un écosystème se traduisant par un changement de concentration des constituants chimiques naturels, ou résultant de l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles, d'une perturbation du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la circulation de la matière ou encore de l'introduction d'espèces exotiques dans une biocénose naturelle.

5.2 Pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique se divise en trois catégories :

- **Pollution de proximité et à l'échelle locale** : elle concerne les sources d'émission de gaz ou d'autres substances indésirables le plus souvent produits en milieu urbain (industries, chauffage, trafic...). Elle affecte en premier lieu la santé des populations par son action directe à court terme mais exerce aussi une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies : cancer, asthme, maladie cardiovasculaire.
- **Pollution à l'échelle régionale**: elle concerne les zones situées à quelques dizaines de kilomètres (voire des centaines de kilomètres) des sources d'émission de pollution. Elle regroupe souvent sous ce terme les deux phénomènes de pollution que sont les pluies acides et la pollution photochimique
- **Pollution planétaire** qui concerne les deux problèmes identifiés :
 - la diminution (« trou ») de la couche d'ozone stratosphérique due essentiellement à l'action des composés halogénés (chlore, brome, iode) libérés par les activités humaines.
 - l'augmentation de l'effet de serre liée à la production excessive de certains gaz (CO = monoxyde de carbone, CO₂ = dioxyde de carbone, COV = composés organiques volatiles) entraînera de graves changements climatiques (élévation de la température du globe et des modifications climatiques qui ont des conséquences pour la vie terrestre).

La pollution atmosphérique peut résulter soit d'une modification quantitative par la hausse de la concentration dans l'air de certains de ses constituants normaux (CO₂, NO₂, O₃), soit d'une modification qualitative due à l'introduction de composés étrangers à ce milieu (radioéléments, substances organiques de synthèse par exemple), soit encore, et c'est le cas général, d'une combinaison de ces deux phénomènes.

Avec la civilisation moderne, les quantités de substances rejetées dans l'atmosphère, altérant la composition normale de l'air, n'ont cessé d'augmenter. L'origine des différentes substances polluant l'atmosphère est de plus variée. La combustion des diverses formes du carbone fossile (charbon pétrole, gaz naturel) joue un rôle prépondérant dans la contamination de l'air.

Les différentes substances ont des durées de vie dans l'atmosphère qui sont extrêmement variables, ce qui explique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d'espace très variables.

5.2.1 Les différents types de polluants

5.2.1.1 Les polluants primaires : sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Par exemple, le CO est un polluant primaire.

- **Monoxyde de carbone (CO)**

Le Monoxyde de carbone est un polluant primaire. C'est un gaz incolore, inodore et plus léger que l'air. Il représente le plus abondant et le plus répandu de tous les polluants atmosphériques présentant une toxicité pour l'Homme. Dans les conditions naturelles, il se rencontre dans l'air à des concentrations très réduites comprises entre 0,005 ppm (v) et 0,2 ppm (v) étant admises pour l'ensemble de la troposphère.

- **Le dioxyde de soufre (SO₂)**

Il se rencontre dans l'air à l'état de traces infinitésimales en l'absence de toute source de pollution. On estime que sa concentration moyenne dans la troposphère des zones reculées est comprise entre 0,01 et 0,2 ppb.

- **Les oxydes d'azote (NO_x)**

On compte parmi ces derniers le protoxyde d'azote encore dénommé oxyde nitreux (**N₂O**), le monoxyde d'azote (**NO**) et le dioxyde d'azote (**NO₂**), issus des activités anthropiques proviennent principalement de la combustion de combustibles fossiles (essence, gazole, fiouls. . .) ou de biomasse. Ils se forment par combinaison dans l'air de l'azote (N₂) et du dioxygène (O₂) à haute température. Au cours d'une combustion, l'azote de l'air s'oxyde en grande partie en NO puis progressivement en NO₂ à l'air libre. En présence de certains constituants atmosphériques et sous l'effet du rayonnement solaire, les NO_x sont également, en tant que précurseurs, une source importante de pollution photochimique à l'ozone.

5.2.1.2 Les polluants secondaires sont des polluants qui ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Par exemple, l'ozone résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV. Il est possible ainsi, de réaliser un inventaire d'émission pour les polluants primaires, mais pas pour les polluants secondaires.

- **Les composés organiques**

Les composés organiques volatiles (COV) : Les composés organiques volatils, ou COV sont des composés organiques pouvant facilement se trouver sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Leur volatilité leur confère l'aptitude de se propager plus ou moins loin de leur lieu d'émission. Selon les cas, ils sont plus ou moins lentement biodégradables par les bactéries et champignons, voire par les plantes, ou dégradables par les rayonnements UV ou par l'ozone.

Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH₄) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation COVNM (Composés Organiques Volatils Non Méthaniques).

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 et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...)

- les composés oxygénés (aldéhydes, cétones, esters, alcool ...).

Les aromatiques mono ou polycycliques (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène...). Parmi les aromatiques, **les hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP** constituent un groupe particulier en raison de leurs caractéristiques chimiques et toxicologiques (cancérogènes) et ils font l'objet d'une surveillance particulière du fait de leur dangerosité.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été déclarés des substances toxiques car ils répondent aux critères de persistance, de bioaccumulation et de toxicité définis par divers organismes internationaux. On les trouve généralement sous forme de nombreux composés mélangés, dans des matériaux comme la suie. Les HAP s'introduisent dans l'environnement pendant la phase gazeuse ou agglutinés à des particules, principalement la suie.

Les Chlorofluorocarbones (CFC) et Hydrofluorocarbones (HFC) : Les chlorofluorocarbones ou les CFCs (également connus sous le nom de Fréons) sont non-toxiques, ininflammables et non-cancérogènes. Leur durée de vie dans l'atmosphère varie de 20 à plusieurs centaines d'années. Ils contiennent des atomes de fluor, des atomes de carbone et des atomes de chlore. Les CFCs sont largement utilisés dans les années 1980 comme liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, comme dissolvants dans les décapants, en particulier pour les cartes électroniques, en tant qu'agents de soufflage dans la production de mousse (par exemple extincteurs), et comme propulseurs en aérosols. A l'heure actuelle, les CFC ne constituent plus un problème majeur de la pollution atmosphérique. En effet, après la découverte des fameux « trous » dans la couche d'ozone au-dessus des pôles en 1985, leur usage a été progressivement réduit par le protocole de Montréal 1987, entré en vigueur en 1989, et ratifié par 196 pays. Il fallait stopper la destruction de l'ozone stratosphérique, sans quoi, le rayonnement solaire ultra-violet ne serait plus absorbé. Depuis 2010, Les CFC sont totalement interdits, à l'exception de quelques applications bien définies. Depuis les années 1990, ces substances ont été progressivement remplacées par les Hydrofluorocarbones (HFC), moins stables dans l'atmosphère et se décomposant donc plus rapidement.

Les HFC détruisent beaucoup moins la couche d'ozone que les CFC, car ils sont en très grande partie détruits dans l'atmosphère avant d'atteindre l'ozone stratosphérique. Mais la fin d'un problème en a créé un autre qu'il fallait combattre. En effet, les HFC présentent un pouvoir de réchauffement 14 000 fois plus puissant que le CO₂, ce qui en fait des gaz à effet de serre redoutables. Les HFC font désormais l'objet d'une nouvelle interdiction dans le Protocole durant le sommet de l'environnement en octobre 2016 à Kigali (Rwanda). Ils sont donc à leur tour progressivement éliminés au profit d'alternatives: hydrocarbures, dioxyde de carbone, ammoniac, eau et hydrofluoroléfines (HFO). La fin des HFC est prévue pour 2050.

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). Ils sont semi-volatils et circulent plus ou moins bien dans l'air, en fonction de la température de celui-ci. Ils ont également une durée de vie très longue (persistance dans le milieu).

5.2.1.3 Les polluants particulaires

• **Les métaux lourds** : Les métaux lourds 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 d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn). Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre. Néanmoins, on distingue en particulier :

– **Mercur**e: le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique. Le mercure est très sensible à l'acidité du milieu.

– **Plomb**: Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère a été le transport car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir antidétonant. De ce fait, il contamine souvent les terrains en bordures d'axes routiers. Depuis l'interdiction du plomb dans les carburants (en 2000, pour la France), les rejets de plomb ont considérablement chuté et les concentrations en plomb sont considérées maintenant comme étant à des niveaux acceptables. L'ingestion de plomb déclenche le saturnisme.

– **Cadmium**: il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie ..). Il a des effets sur le système respiratoire et gastro-intestinaux.

Ces 3 métaux se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments pouvant être utiles. Les premiers sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air, mais aussi pour celle de l'eau et des sols.

• **Les particules** : Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particules désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans le milieu gazeux. Souvent, les particules 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.

5.3 La pollution aquatique

On distingue deux grandes formes de pollution :

- les pollutions ponctuelles, souvent relativement immédiates, qui proviennent de sources bien identifiées (rejets domestiques ou industriels, effluents d'élevage...) et peuvent être traitées par des stations d'épuration,

- et les pollutions diffuses, comme celles dues aux épandages de pesticides et d'engrais sur les terres agricoles, qui concernent l'ensemble d'un **bassin versant**, mettent plus de temps à atteindre les milieux aquatiques et ne peuvent être traitées qu'à la source en diminuant l'usage des substances responsables.

Ces pollutions peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville, par exemple), périodiques (augmentations saisonnières des rejets liées au tourisme, aux crues...), ou encore accidentelles ou aiguës, à la suite du déversement intempestif de produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou du lessivage des sols urbains lors de fortes pluies.

5.3.1 Les types de pollution de l'eau

On peut diviser la pollution de l'eau en plusieurs catégories :

5.3.1.1 Pollution biologique

Les agents biologiques de pollution de l'eau sont les micro-organismes et les matières organiques fermentescibles.

- **La pollution microbiologique** : C'est une autre forme de pollution organique. Les déchets organiques, en particulier les excréments, contiennent des germes **pathogènes** (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau. Ces germes peuvent provoquer des maladies aussi graves que le choléra, la typhoïde, la dysenterie...

- **La pollution par des matières organiques** : Elles ont longtemps été les principaux polluants des milieux aquatiques. Elles proviennent des déchets domestiques (ordures ménagères, excréments), agricoles ou industriels (papeterie, tanneries, abattoirs, laiteries, huileries, sucreries...), lorsque ceux-ci sont rejetés sans traitement préalable. Une ville de 100 000 habitants par exemple déverse environ 18 tonnes de matière organique par jour dans ses égouts.

- **Pollution par des espèces invasives** : **La Caulerpe** "*Caulerpa taxifolia*", macroalgue introduite accidentellement en Méditerranée est qualifiée d'espèce invasive en raison de sa propagation démesurée. Son adaptation au milieu méditerranéen et son développement ont progressé au détriment des herbiers de Posidonies qui abritent une faune très diversifiée. "En partie" en raison de son caractère toxique, la Caulerpe n'abrite que très peu d'espèces. Elle est la cause d'un important déséquilibre de la vie marine.

5.3.1.2 La pollution chimique des eaux

- **Pollution par pluies acides** : L'acidification, outre les effets biologiques directs de l'abaissement du pH des eaux sur les communautés aquatiques, a pour conséquence d'induire des pollutions secondaires des eaux. Ces dernières résultent de ce que l'acidité forte a pour conséquence de mettre en solution des métaux toxiques et de l'aluminium présents dans les sédiments. Par exemple, des métaux tels le plomb, le cadmium ou le mercure vont se rencontrer dans ces eaux acidifiées à des concentrations supérieures à la normale

- **Pollution des eaux par des métaux toxiques**

- **Mercure** : La première pollution grave imputée à un métal, le mercure, s'est produite au Japon en 1953. Une usine de fabrication de matières plastiques déversait alors ses déchets dans une baie, à Minamata.

Au bout de quelques années, les habitants des littoraux voisins qui consommaient beaucoup de poissons et de fruits de mer ont commencé à être victimes de graves troubles osseux pouvant conduire à des décès ("maladie de Minamata"). Dans les années 1950 et 1960, 150 tonnes de mercure ont ainsi été déversées dans la baie. Et les taux de mercure trouvés dans les poissons contaminés étaient 500 000 fois supérieurs à ceux des eaux de la baie.

- **Le plomb** : La toxicité du plomb est due notamment à son effet inhibiteur de certaines enzymes qui provoque des troubles cérébraux et des retards mentaux chez les jeunes enfants). La pollution par le plomb provient surtout des additifs antidétonants de l'essence. Rejetés dans l'atmosphère, ceux-ci retombent et se concentrent de part et d'autre des routes. Le plomb qu'ils contiennent passe alors directement dans l'herbe ou dans les eaux de ruissellement.

- **Le cadmium** : La pollution des eaux par le cadmium résulte de la métallurgie des métaux non ferreux et de la combustion du charbon et du pétrole ainsi que d'activités industrielles comme par exemple la galvanoplastie. Une importante source de pollution diffuse par le cadmium résulte de sa présence à l'état d'impuretés dans des engrais chimiques, les superphosphates. Il est de ce fait la cause d'une pollution clandestine des terres cultivées et par voie de conséquence des eaux continentales superficielles *via* le ruissellement et l'érosion des sols, sans omettre les apports aux eaux des surfaces résultant des retombées atmosphériques.

- **Pollution des eaux par les autres métaux** : La décharge par diverses industries de chrome, de nickel, de cuivre, de zinc, plus localement d'étain, éléments très toxiques pour les organismes limniques ou marins, constitue une grave menace pour l'hydrosphère.

• **Les substances nutritives des plantes** : Comme le phosphate et le nitrate couleront dans l'eau par les déchets, l'écoulement, l'engrais et le bétail. Le phosphate et le nitrate sont aussi trouvés dans les déchets industriels. Même si ces produits chimiques sont naturels, 80% du nitrate et 75% du phosphate présent dans l'eau viennent des gestes humains. Lorsqu'il y a trop d'azote ou de phosphore dans l'eau (0,3 partie par million pour l'azote et 0,01 partie par million pour le phosphore) les algues commencent à se développer. Lorsque les algues se développent, l'eau peut devenir verte, embrouillée, gluante et avoir une odeur désagréable. Il y aura des mauvaises herbes et des bactéries se développeront.

5.3.1.3 Pollution par substances organiques de synthèse

• **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. Le premier usage intensif d'un pesticide, le DDT, remonte à l'époque de la seconde guerre mondiale. Ils sont drainés jusque dans les milieux aquatiques par les eaux de pluie (ruissellement et infiltration). 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.

- **Les détergers** : Les détergers synthétiques se sont répandus dans les usages domestiques à partir de 1950. Ils contiennent des ingrédients mineurs (parfums, agents blanchissants, persulfates, perborates), dont la toxicité n'est pas négligeable pour les organismes aquatiques.

Ces substances diminuent la tensioactivité et la viscosité de l'eau. Ils moussent facilement et émulsionnent sans difficulté les graisses, à la différence des savons auxquels on les a substitués.

Il existe plusieurs familles chimiques de substances détergentes que l'on peut réunir en trois groupes : les détergers anioniques, non anioniques et cationiques.

5.3.1.4 La pollution thermique

Le rejet de chaleur dans l'environnement aquatique constitue une forme de pollution physique du milieu naturel susceptible de provoquer de véritables bouleversements biocénétiques car il agit sur un facteur écologique primordial, la température du milieu. Lorsque la température de l'eau augmente, le nombre de particules d'oxygènes dissoutes diminue.

L'eau est notamment utilisée comme refroidisseur dans les centrales thermiques et nucléaires. Elle est pompée dans les cours d'eau ou le milieu marin côtier, auquel elle est ensuite restituée au sortir de la centrale à une température plus élevée de 4 à 5°C. Elle réchauffe à leur tour les eaux dans lesquelles elle est déversée, ce qui peut perturber la vie aquatique, animale ou végétale, notamment en modifiant les rythmes physiologiques des espèces (reproduction, survie hivernale, etc).

5.4 Pollution du sol

La pollution du sol peut être locale ou diffuse d'origine agricole, industrielle ou microbienne et qui touche le sol proprement dit ou l'eau souterraine.

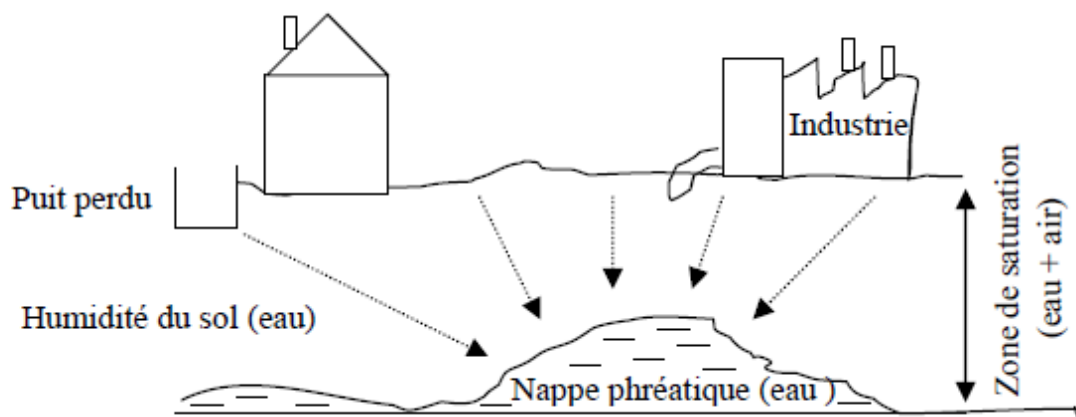


Figure 16. Organisation des sols

Cette eau souterraine n'est pas limitée dans certaines dépressions mais se trouvant dans tout le sol, dans des interstices, des particules de roches et des sols ou dans les fissures de roches. L'eau qui remplit ces espaces se situe généralement dans les 100m de la surface là où l'on trouve la majeure partie de l'eau douce.

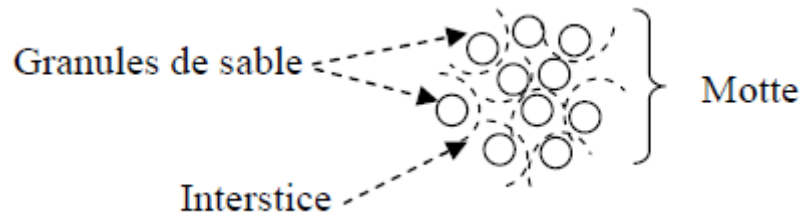


Figure 17. Structure d'une motte

L'eau souterraine coule lentement à différents débits à travers des formations aquifères. A certains endroits, cette eau fait dissoudre le calcaire (CaCO_3) pour former des grottes. Le niveau au-dessous duquel tous les interstices sont remplis d'eau s'appelle la surface de saturation. Au-dessus de cette surface se trouve la zone de saturation où les espaces du sol contiennent de l'air et de l'eau.

L'eau dans cette zone s'appelle l'humidité du sol. La pollution du sol est consécutive à l'utilisation massive d'engrais ou de pesticides qui peuvent avoir plusieurs impacts sur l'environnement en s'infiltrant dans les sols et la nappe phréatique qui peut contaminer aussi la culture.

La pollution du sol peut d'origine agricole ou d'origine industrielle microbienne.

5.4.1 Pollution d'origine agricole

Cette pollution s'intensifie avec le développement de l'agriculture moderne. Elle est difficile à quantifier car elle est souvent diffuse.

5.4.1.1 Les pesticides

Les pesticides, appelés encore biocides, sont des substances toxiques minérales ou organiques de synthèse ou naturelles destinées à protéger les végétaux contre les ravageurs qui sont des animaux qui diminuent considérablement la production des plantes cultivées. Ils sont utilisés en quantité considérable depuis + de 50 ans. On les trouve partout parce qu'ils sont appliqués directement sur le sol ou par traitement préalable des semences.

Ils sont généralement composés d'une ou plusieurs substances actives auxquelles sont associées des adjuvants (= additifs) qui peuvent être toxiques. On peut classer les pesticides de diverses manières. La toxicité dépend à la fois de la dose, des modalités de l'exposition, de degré d'absorption, de la nature des effets de la matière active et de ses métabolites.

5.4.1.2 Les nitrates (NO_3^-)

En fin d'hiver, la décomposition des plantes libère de l'azote qui sera disponible sous forme de sels azotés pour la prochaine culture. Les nitrates en excès, sont entraînés par le lessivage des sols en période pluvieuse. Ils ruissellent vers les cours d'eau où s'infiltrent dans les nappes phréatiques. Ces engrais chimiques employés massivement pour augmenter les rendements altèrent la qualité des eaux souterraines. Ainsi, l'excès de nitrate peut provoquer une anémie (manque de globules rouges) mortelle.

5.4.2 Pollution d'origine industrielle et microbienne

Cette pollution est souvent ponctuelle touche l'eau souterraine. Or, une nappe aquifère contaminée peu devenir inutilisable pendant des décennies et contaminer tout le réseau hydrologique. Les risques de contaminations généralisés sont plus importants lorsque la pollution touche des aquifères de sables et de gravier. L'eau souterraine dissous de nombreux composés et la plupart d'entre eux peuvent contaminer de grandes quantités d'eau. Exemple : 1 litre suffit de contaminer 1 million litres d'eau souterraine.

Les sources de pollution industrielle et microbienne sont très variées. Les contaminants provenant des fosses septiques peuvent créer de nombreux problèmes de contamination bactérienne et virale mais liés aussi à la présence de détergents et de produits de nettoyage.

Actuellement, il y a peu de surveillance de ce type de contamination. Les liquides denses non aqueux sont des contaminants chimiques car ils sont plus lourds que l'eau et ils s'enfoncent donc très rapidement dans le sol. Ils sont utilisés dans le nettoyage à sec, la préservation du bois, l'usinage et peuvent être également déversés accidentellement par exemple lorsque les pneus sont brûlés.

Chapitre 6. Conséquences de la pollution sur les différents écosystèmes

6.1 Les pluies acides : c'est une forme de pollution atmosphérique faisant actuellement l'objet d'une grande controverse en raison des importants dommages dont elle serait responsable sur l'environnement.

Les pluies acides se forment lorsque les oxydes de soufre et d'azote s'associent à l'humidité de l'air pour donner de l'acide nitrique qui sont ensuite transportés très loin de leur source avant d'être précipités par la pluie sous forme de pluies acides. La pluie est légèrement acide (ph d'environ 5) à l'état naturel dans l'atmosphère car elle contient des acides qui se forment lorsque les gaz de dioxyde de carbone et de chlore réagissent à l'humidité. Si elle a un pH inférieur à 5, on la considère comme pluie acide.

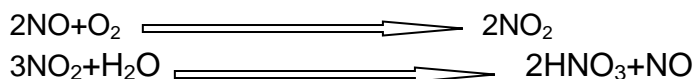
6.1.1 Origine des pluies acides : Les activités humaines sont à l'origine du rejet dans l'atmosphère d'importantes quantités de polluants qui sont à l'origine des pluies acides (le dioxyde de soufre(SO₂) ; le dioxyde de carbone(CO₂) et l'oxyde d'azote(NO_x).

6.1.2 Formation des pluies acides : Les pluies acides peuvent être causées par deux différents produits :

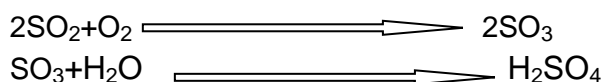
- Le monoxyde d'azote (NO)
- Le dioxyde de soufre (SO₂)

Deux réactions se produisent alors sur le plan chimique :

Pour le NO :



Pour le SO₂ :



Les deux molécules d'origine proviennent au contact du dioxygène de l'air et le produit formé se dissout dans l'eau de l'air.

Les deux molécules d'origine proviennent des rejets de machines modernes. Le monoxyde d'azote provient des gaz d'échappement. Le dioxyde de soufre provient de la combustion des carburants fossiles (qui contiennent du soufre).

En outre, le dioxyde de carbone (CO₂) contenu dans l'air à cause de la pollution acidifie un peu l'eau des nuages. Les gaz volcaniques et les aérosols sont aussi acides et donc peuvent causer des pluies acides.

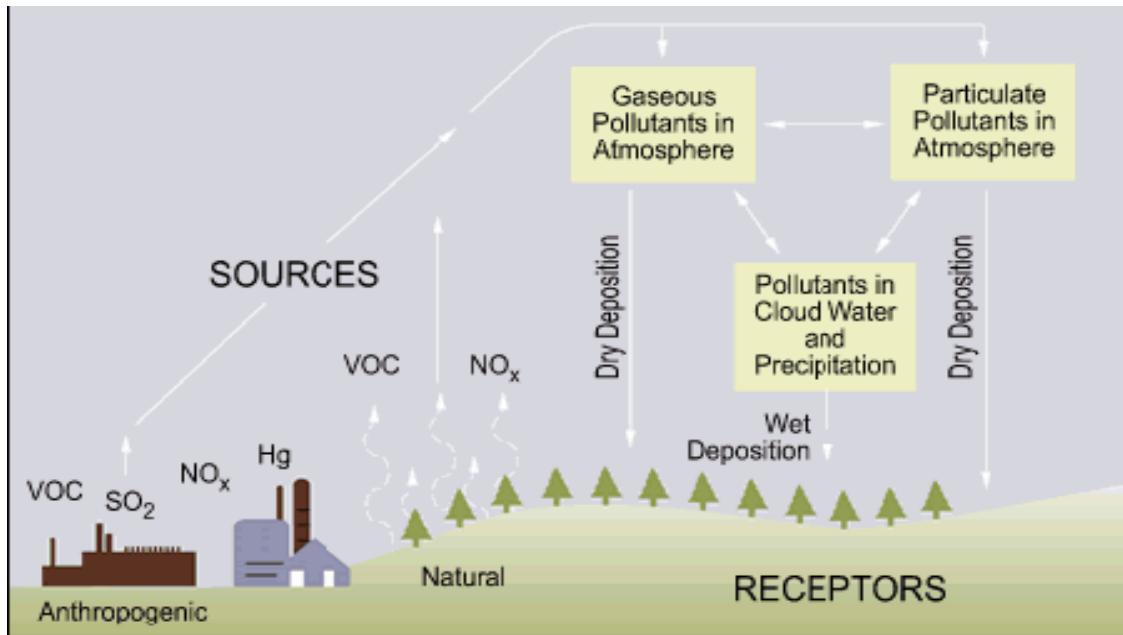


Figure18. Formation des pluies acides

6.1.3 Les conséquences des pluies acides

A) Sur la santé humaine : Les enfants, les personnes âgées et ceux qui ont des problèmes respiratoires et cardiaque voient leur état de santé se détériorer lorsqu'ils vivent dans des régions où il y a le SMOG acide ou des pluies acides.

B) Sur l'eau et la vie des lacs : Plus un lac devient acide, moins d'espèces y habitent. Le plancton et les invertébrés sont parmi les premiers à mourir sur la chaîne trophique.

C) Sur les matériaux (corrosion) : Lorsque les précipitations lavent l'atmosphère de ses polluants, pratiquement tout l'ensemble des différents matériaux ou monuments est susceptible d'être dégradé. Les pluies acides peuvent aussi accélérer la corrosion des matériaux tels que le calcaire, le grès, le marbre, la brique, le ciment et le métal, causant de sérieux problèmes aux bâtiments anciens ainsi qu'aux sculptures et monuments extérieurs. Les pluies acides endommagent la maçonnerie en pierre parce qu'elles dissolvent du carbonate de calcium, laissant des cristaux dans la pierre lorsqu'elle s'évapore. Quand ces cristaux grossissent, ils brisent la pierre.

D) Sur les plantes et les forêts : Les pluies acides participent au dépérissement des forêts. Sous l'action des polluants la perméabilité de la cuticule des feuilles et des aiguilles est modifiée. Les pluies acides dissolvent des substances nutritives et des minéraux efficaces dans la terre et elles les dispersent avant que les arbres puissent s'en servir pour pousser. Elles relâchent aussi des produits chimiques toxiques tels que l'aluminium, qui perturbent la prise des substances nutritives. Les arbres qui manquent de ces éléments nutritifs peuvent subir une croissance freinée et une perte de feuilles, en plus de devenir plus vulnérables aux pressions climatiques, aux parasites et aux maladies. Comme les lacs, la capacité de la forêt à résister aux pluies acides dépend de la capacité de neutralisation de sa terre.

E) Sur les sols : Les précipitations acides modifient la composition chimique de certains sols en les acidifiant. Ces effets se traduisent par une perte d'éléments minéraux nutritifs pour les arbres et la végétation. Les sols sableux sont les plus sensibles, ils sont facilement lessivables.

6.2 Le trou d'ozone : L'ozone (O_3) est une forme chimique particulière de l'oxygène, très instable et réactive. La couche d'ozone représente schématiquement la partie de l'atmosphère où sa concentration est la plus élevée. Ainsi, l'ozone est d'avantage présent à une distance du sol entre 15 et 40 km dans la stratosphère. A cette altitude, la teneur en ozone résulte d'un équilibre entre formation et destruction sous la dépendance de l'activité solaire, la température, de la présence d'autres substances chimiques. L'ozone se forme par action de la lumière sur l'oxygène, ceci surtout au-dessus des tropiques puis gagne les pôles via la circulation des masses d'air. Cependant, il accuse une faible concentration de quelques parties par million au plus. On parle de trou dans la couche d'ozone lorsque sa concentration en zone est inférieure à 220 unités Dobson (la valeur normale étant 400 unités Dobson environ).

6.2.1 L'origine des polluants : Les chlorofluorocarbones (CFC) sont des molécules composées de carbone, de fluor et de chlore.

Ces molécules furent utilisées, notamment en remplacement d'hydrocarbures inflammables, car elles restent très stables et ne présentent donc aucune toxicité chimique pour l'homme.

Leurs propriétés physico- chimiques très intéressantes expliquent pourquoi on les a utilisés très largement dans un grand nombre de processus industriels et de produits de consommation :

- Liquide de refroidissement dans le système frigorifique (domestique, industriels et commerciaux) et le conditionnement d'air ;
- Solvant et gaz propulseur dans les aérosols ;
- Solvant pour le nettoyage d'appareils mécaniques et électroniques ;
- Agent gonflant pour la production de mousses plastiques ;
- Les halons, contenant du brome, ont été utilisés notamment comme produits extincteurs dans la lutte contre les incendies. A ces deux catégories de composés sont venues s'ajouter d'autres substances, également impliquées dans la dégradation de la couche d'ozone :
- Des solvants chlorés ;
- Le bromure de méthyle utilisé en horticulture comme désinfectant ;
- Les HCFC (hydro-chlorofluorocarbones) et les HFC (Hydrofluorocarbones) , développés par l'industrie pour remplacer les CFC dans la plupart de leurs applications. Ils contiennent de l'hydrogène, ce qui provoque leur dégradation plus rapide dans la haute atmosphère. Ils attaquent la couche d'ozone mais moins longtemps que les CFC. Par contre, ils contribuent à accroître « effet de serre », un autre problème écologique très préoccupant.

En se décomposant sous l'action de la lumière, ces composés libèrent le chlore qui casse alors les molécules d'ozone. L'atome de chlore avec une durée de vie pouvant atteindre la centaine d'années, détruira plusieurs milliers de molécules d'ozone avant de disparaître.

6.2.2 Evolution du trou d'ozone : Les données pour l'Europe montrent des baisses de 5,4% par décennie depuis les années 80 en hiver et au printemps, avec une tendance à l'amélioration sur la période 1995-2000. En 2000, 2001 et 2003, le trou dans la couche d'ozone a atteint une superficie jamais observée avant 2000 : une superficie record de 28 millions de Km² en septembre 2000, alors que celui de 2002 était le plus petit qui ait été observé depuis 1998. En effet, à la fin de l'été 2003, le trou a de nouveau atteint un record de superficie de 25 millions de Km² (taille de l'Amérique du Nord) en août, pour diminuer rapidement durant le mois d'octobre.

Selon l'organisation Météorologique mondiale ces fluctuations aussi marquées sont dues aux variations interannuelles des conditions météorologiques régnant dans la stratosphère et non à la quantité totale de substances destructrices d'ozone dans cette couche de l'atmosphère.

6.2.3 Les conséquences du trou d'ozone :

a) augmentation de la quantité d'UV qui traversent l'atmosphère et qui atteignent le sol (UVb). Ces UV concentrés traversent la couche externe de la peau et provoquent une inflammation (coup de soleil) ou une altération des cellules (des gènes) qui peut provoquer des tumeurs et des cancers de la peau (mélanome malin). Ces UV provoquent également des lésions au niveau des yeux ;

b) Les UVb menacent le métabolisme des plantes, plus précisément la photosynthèse : Le ralentissement de cette photosynthèse freine à son tour la croissance. On sait que certaines plantes cultivées comme le soja ou les tomates sont particulièrement sensibles à ces perturbations ;

c) Le plancton animal ou végétal des océans se place dans l'eau en fonction de l'intensité lumineuse.

Les UVb détruisent le sens de l'orientation lumineuse de ces microorganismes. Désorientés, ils s'enfoncent dans l'océan et meurent faute de lumière. Ou ils s'exposent trop au rayonnement à la surface et meurent brûlés par le soleil. La mort du plancton entraîne la mort des chaînes alimentaires marines et donc à plus ou moins long terme la mort des océans mais aussi la disparition de la moitié de l'oxygène que nous respirons.

6.3 L'effet de serre et les changements climatiques

6.3.1 L'effet de serre

Qu'est-ce qu'une serre ? Chacun sait que c'est un bâtiment couvert de vitres, qui laisse bien passer la lumière du soleil, mais empêche que la chaleur qui se forme à l'intérieur de la serre, sous l'effet de la lumière du soleil, ne se dissipe trop vite vers l'extérieur. Il existe au sein de notre atmosphère des gaz (gaz à effet de serre), en petite quantité, qui jouent pour notre planète présents exactement le même rôle que les vitres de la serre. Ils n'empêchent pas la lumière du soleil d'arriver jusqu'à nous, mais font office de couverture en empêchant l'énergie que nous recevons du soleil de repartir trop vite vers l'espace.

Les deux gaz à effet de serre les plus importants sont parfaitement naturels :

- La vapeur d'eau, qui occupe 2 à 3% de l'atmosphère,
- Le gaz carbonique, occupe actuellement 0,035% de l'atmosphère.

Sans effet de serre, la surface terrestre aurait une température moyenne de 15°C plutôt que de +15°C, rendant notre planète tout à fait inhospitalière.

Le danger qui est désigné par le terme « effet de serre » correspond à un abus de langage. Il faut lui préférer le terme de « réchauffement climatique », ou de « changement climatique »

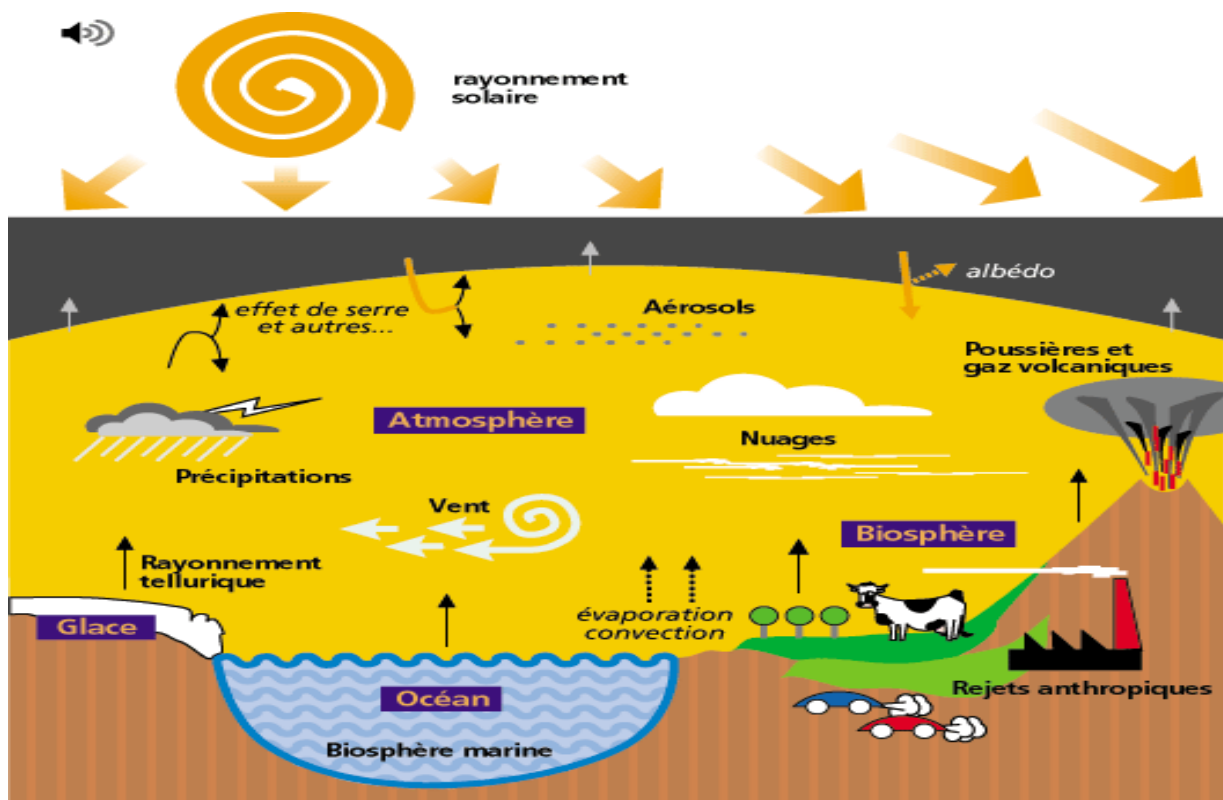


Figure19. Mécanisme et fonctionnement de l'effet de serre sur la terre

6.3.1.1 Les gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre présents naturellement dans l'atmosphère sont principalement:- la vapeur d'eau (H_2O) qui se forme par évaporation depuis le sol, les plantes, les rivières, les océans, etc.- le gaz carbonique (CO_2) émis par exemple par la respiration humaine et animale, la décomposition d'un corps mort ou lors d'un incendie de forêt- le méthane (CH_4) émis principalement par la décomposition dans les zones humides (marais, forêts tropicales, ...) et la digestion des animaux (en particulier les ruminants et les termites)- le protoxyde d'azote (N_2O) émis par les océans et les sols.

6.3.2 Les changements climatiques et leurs conséquences

6.3.2.1 Evolution de la température : Depuis 1840, on peut constater qu'en 100 ans la terre s'est réchauffée d'environ 0,6°C. Cette augmentation de température n'a pas été constante et s'est faite par des cycles de réchauffement et de refroidissement séparés par plusieurs décennies. La tendance à long terme indique clairement un réchauffement planétaire. Les dix années les plus chaudes depuis 1880 ont été enregistrées au cours ces dernières décennies, notamment en 1998.

Il est prouvé que les activités humaines (augmentation de la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, aérosols) contribuent à ces changements climatiques. On peut prévoir les changements climatiques grâce à des modèles, premièrement basés sur les observations de réalisées depuis 1860 à nos jours, et deuxièmement sur les prévisions de l'augmentation des concentrations des gaz à effet de serre. Pour 2100, on prévoit une augmentation de la température moyenne globale à la surface de la terre d'environ 3°C par rapport à la température actuelle.

6.3.2.2 Niveau de la mer : Une élévation du niveau moyen de la mer d'une cinquantaine de centimètres est prévue pour 2100, en raison du réchauffement des océans, de la fonte des glaciers de montagne, de la fonte des calottes glaciaires, et de la fonte de la couche de glace en Antarctique déjà été observée, due principalement au réchauffement des eaux et au retrait des glaciers de montagnes.

6.3.2.3 Les conséquences sur l'environnement sont nombreuses et variées :

- Inondation permanente des terres de basse altitude et des îles ;
- Perte de certaines terres côtières ;
- Augmentation de la fréquence des inondations temporaires dues à l'augmentation des marées hautes et des tempêtes ;
- Changements dans la vitesse d'érosion des plages, des dunes ou des falaises ;
- Salinisation des estuaires, des eaux souterraines et de surface, des prairies humides et des sols agricoles ;
- Effets sur l'hydrologie des rivières incluant l'inondation des terres (changements des crues).

6.3.2.4 Impact sur la végétation : La majorité des régions ou prairies tropicales dominant actuellement sont destinées à devenir des prairies tempérées ou des déserts en 2080. Les prairies tropicales représentent alors 1% de surface totale des terres contre 8%. Aujourd'hui certains forêts tropicales se transforment en savanes, prairies ou même en déserts (Nord du Brésil) les modèles prédisent que le recul des forêts tropicales débutera dès 2050 résultats d'une diminution importante de la biodiversité.

6.3.2.5 Impact sur les écosystèmes : L'altération du cycle de l'eau impliquant des changements au niveau de ruissellement et de l'humidité, influence les modèles de sédimentation et d'érosion, ainsi que le recyclage de la matière organique et des éléments nutritifs. Ces changements ont des répercussions au niveau de la productivité des plantes, de la compétition entre les espèces et de la biodiversité.

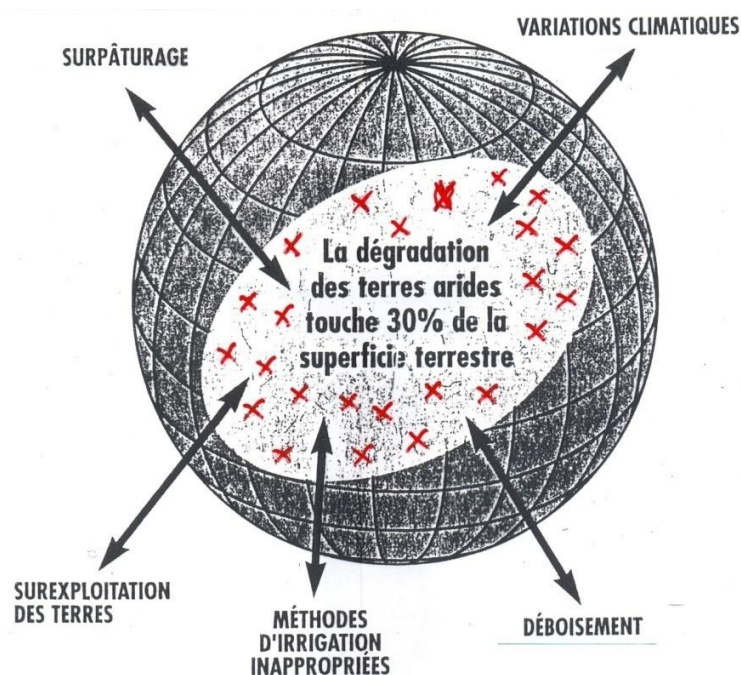
Les changements relatifs à la température de l'eau, au courants, à la qualité de l'eau, à la nourriture, et aux prédateurs pourraient avoir des effets sur les population animales aquatiques (poissons, oiseaux, mammifères).

6.3.2.6 Impact sur la santé humaines : L'organisation mondiale de la santé à averti que des problèmes de stress thermique et des troubles respiratoires occasionnées par le climat et l'appauvrissement de la qualité de l'air risquent de se produire dans les zones urbaines étendues et pourraient mener à un accroissement du taux de mortalité. Le réchauffement et la raccourcissement des saisons froides risquent de permette aux vecteurs de maladies de suivre dans certains régions de l'hémisphère Nord.

Les changements des écosystèmes peuvent permettre à diverses espèces de plantes de s'épanouir et causer des problèmes aux asthmatiques et aux personnes souffrant d'allergies.

6.4 La désertification : Le terme 'désertification' désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines. Cette dégradation des terres en zones sèches se manifeste par une détérioration de la couverture végétale, des sols et des ressources en eau, et aboutit à l'échelle humaine de temps, à une diminution ou à une destruction du potentiel biologique des terres ou de leur capacité à supporter les populations qui y vivent.

6.4.1 Les causes de la désertification :



6.4.2 Quelles sont les régions les plus menacées?

Plus de 110 pays ont des terres arides qui sont potentiellement menacées par la désertification. L'Afrique, l'Asie et l'Amérique latine sont les régions les plus menacées par la désertification.

Particulièrement dans les pays en développement, désertification rime souvent avec accroissement de la pauvreté. En Afrique, un peu plus d'un milliard d'hectares sont modérément ou gravement touchés par la désertification.

Aujourd'hui, nos continents perdent chaque année quelques 24 milliards de tonnes de sol superficiel.

- Zones Arides : 70% des 5.2 milliards d'ha de terre arides sont dégradés.
- En Afrique : +1milliard d'ha soit 73 % du continent des terres arides.
- En Asie : le phénomène s'étend à 1.4 milliard d'ha.
- En Amérique du Nord : 74% des terres en voie de dégradation.
- 5 pays de l'union européenne sont également touchés.

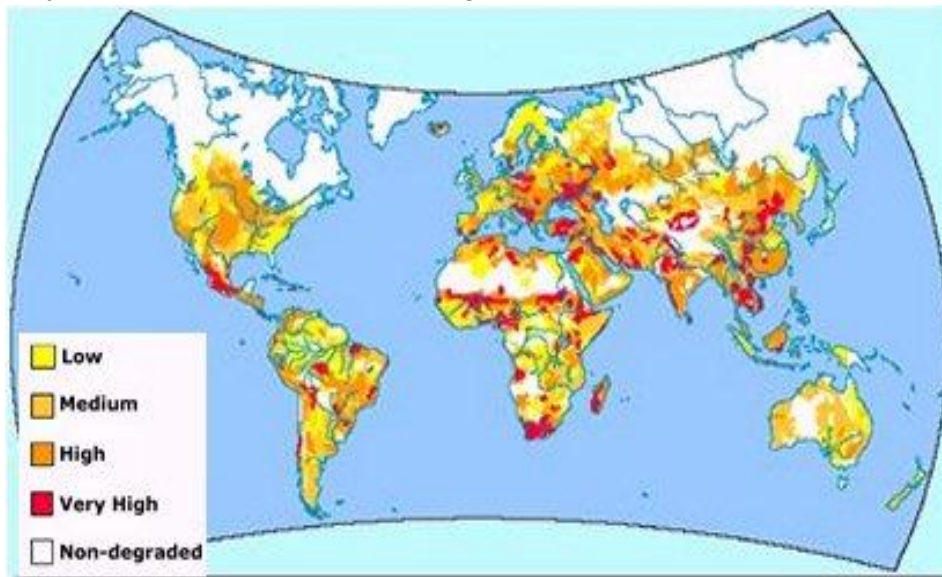


Figure20. Situation de la désertification dans le monde

6.4.3. Aperçu des zones et régions menacées de désertification

