

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE



Université D^r Moulay Tahar -Saida

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés

Polycopie Pédagogique des cours de Pollution



D^r Fatima Zohra CHOUMANE

Année 2020-2021

PREAMBULE

« La terre est en train de mourir. Elle se noie, elle est écrasée sous un déluge de pesticides et de pollutions toxiques. La science ne la sauvera pas. La technologie ne la sauvera pas. Elles sont ses ennemis, la véritable source de l'horreur et de la contagion. Nous devons nous opposer à elles. Tout de suite ».

*La Vendetta Lazare de Robert Ludlum - **Robert Ludlum***

Public cible :

« S'il est nécessaire d'éduquer les futures générations sur les principes de respect et de préservation de notre environnement écologique, ce polycopié revêt une importance majeure dans les objectifs globaux de la formation «génie de l'environnement, chimie, et à tout public s'intéressants à l'étude de l'environnement ».

« Pour commander à la nature, il faut commencer par obéir à ses lois »

Objectifs de l'enseignement

- Donner un aperçu historique sur l'évolution de la notion d'environnement ainsi que le rôle de l'homme dans la modification de son environnement écologique.
- Faire découvrir les problèmes de pollution et de gestion de notre environnement
- Présenter les différentes formes de pollution ainsi que leurs conséquences sur l'environnement. remèdes, influences de la gestion de notre environnement;
- Ce cours parle des problèmes environnementaux, son objectif est de vous permettre d'utiliser les connaissances chimiques pour comprendre les problèmes environnementaux, et de vous aider à comprendre du point de vue d'un chimiste, comment améliorer la qualité de l'environnement.

Contenu :

Ce polycopié contient des résumés de cours des différentes formes de pollution ainsi que leurs conséquences sur l'environnement remèdes, et l'influences de la gestion de notre environnement.

Ce polycopié de cours représente des cours que j'ai assuré au sein du département de génie des procédés de l'université D^r Moulay Tahar de Saida. C'est un travail qui émane de mon expérience en tant qu'enseignante des cours de pollution.

Mots-clés

Pollution, environnement, eaux, sols, atmosphère, prévention, développement durable,

Contenu de la matière

Chapitre 1 : Pollution des Eaux

Cycle de l'eau ;

Mesure de la qualité des eaux ;

Sources, Mécanismes et symptômes de la pollution des eaux courantes et des lacs ;

Influence de la pollution sur les êtres vivants ;

Oxygénation et désoxygénation ;

Eutrophisation ;

Notions sur le traitement et l'épuration des eaux usées ;

Prévention de la pollution des eaux.

Chapitre 2 : Pollution des Sols

Bases en sciences du sol ;

Causes et conséquences de la dégradation/pollution des sols ;

Comportement des éléments traces dans le sol ;

Comportement des polluants organiques dans le sol ;

Analyse de risques et législations ;

Techniques de décontamination et études de cas.

Chapitre 3 Pollution de l'Air

Mise en situation : Environnement-Pollution-Développement durable-Énergie

Consommation d'énergie primaire et émission de CO₂;

Notions fondamentales de l'atmosphère et des paramètres météorologiques ;

Evolution de la qualité de l'air et effet sur les organismes ;

Composants chimiques de l'air atmosphérique ;

Polluants chimiques ; Pollution par NO₂ ; Formation des polluants ;

Quelques conséquences de la pollution de l'air : Effet de serre ; Smog photochimique ; Trou d'ozone.

Références bibliographiques:

1. Presses Universitaires de Bordeaux, 2003 : <http://www.openedition.org/6540>
2. Dr. Dejene Ayele TESSEMA, « Chimie environnementale », African Virtual University, 2011.
3. Olivier Atteia, « Chimie et pollutions des eaux souterraines », Ed. Lavoisier & Doc, 2015.
4. Emilian Koller, « Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues ». Ed. Dunod, 2009.
5. Françoise Nési, « La pollution des sols : Soil Pollution », 2010.
6. Louise Schriver-Mazzuoli, « La Pollution de l'air intérieur : Sources, Effets sanitaires, Ventilation », Ed. Dunod, 2009.
7. https://fr.vikidia.org/wiki/Cycle_de_l%27eau
8. https://fr.wikipedia.org/wiki/Couche_d%27ozone
9. <http://encyclopedie-dd.org/encyclopedie/neige-neige-gouvernance-neige/2-4-les-changements-globaux-effet/l-effet-de-serre-c-est-la-vie.html>

Problématique



Tout comme notre univers physique est divisé en substances solide, liquide et gazeuse, notre environnement physique est, par convenance, divisé en atmosphère, géosphère, hydrosphère, biosphère, anthroposphère et faune et flore.

L'observation courante de notre environnement écologique et les éléments qui le constituent (air, eau, terre..), nous invitent à réfléchir sur son avenir et surtout sur le capital naturel que nous donnerons aux générations futures : Des ressources hydrauliques surexploitées, de l'air pollué, des zones rurales détruites par l'envahissement de l'urbanisation, des océans et des mers polluées, des ressources minières et énergétiques maladroitement utilisées, de la faune et de la flore en voie de d'extinction...

La pollution est un problème d'actualité présent dans tous les pays du monde, cependant, ce problème ne constitue en aucun cas un problème récent ou un phénomène épisodique car ses origines remontent aux périodes préhistoriques. C'est un problème toujours présent, d'actualité. Mais qu'est-ce que la pollution ? Quelles sont les causes et ses conséquences ? Quels sont les moyens de lutte contre ce fléau.

Polluer signifie étymologiquement profaner, souiller, salir, dégrader.

La pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures introduites de façon directe ou indirecte.

La pollution est un changement brusque ou à long terme des taux de composantes de l'air, de l'eau ou du sol, par une activité humaine (industrie, agriculture, etc.) qui provoque la dégradation de l'environnement humain. La santé humaine, la qualité des écosystèmes et de la biodiversité aquatique ou terrestres peuvent être affecté et de modifiées de façon durable par la pollution.

Les différents types de pollution

- *La pollution de l'eau*
- *La pollution des sols*
- *La pollution de l'air*

Chapitre 1 : Pollution des Eaux



1. Introduction

L'eau est une substance d'importance vitale dans toutes les sections de l'environnement. Elle couvre environ 70% de la surface de la terre et se retrouve dans toutes les sphères de l'environnement. Elle est un composant essentiel de toutes les structures vivantes. Elle transporte l'énergie et la matière au travers des diverses sphères de l'environnement. Elle transporte les nutriments des plantes du sol vers leur organisme via leurs racines.

Les propriétés de l'eau sont plus aisément comprises en considérant la structure et les liaisons dans la molécule d'eau.

2. Cycle de l'eau

Depuis qu'elle est apparue sur terre, il y a 4 milliards d'années, la quantité d'eau présente sur la planète n'a pas changé. C'est toujours le même volume d'eau qui ne cesse de se transformer. L'eau effectue donc un cycle hydrologique qui la fait passer successivement par différentes étapes.

Evaporation : La chaleur du soleil transforme l'eau de la mer en vapeur d'eau (gaz invisible suspendu dans l'air).

Formation des Nuages : La vapeur d'eau s'élève et refroidit. Le froid transforme cette vapeur d'eau en petites gouttes d'eau qui forment les nuages. Ensuite, le vent pousse les nuages au-dessus des terres.

Précipitations : L'eau des nuages retombe soit sous forme de pluie, de bruine, de pluie verglaçante ou, s'il fait plus froid, sous forme de neige, de grésil ou de grêle.

Remarque

La pluie est une précipitation qui atteint le sol sous forme de gouttelettes d'eau liquide. En général, leur taille se situe entre 3 et 6 mm

La bruine est une précipitation liquide composée de très petites gouttelettes d'eau de diamètre compris entre 0,2 et 0,5 mm. La bruine tombe si lentement, qu'elle semble en suspension dans l'air.

La pluie verglaçante est formée de gouttelettes de pluie qui gèlent au contact du sol dont la température est inférieure à 0 °C. La pluie verglaçante produit alors une mince couche de glace, qu'on appelle verglas

La neige est une précipitation formée de cristaux de glace blancs ou transparents regroupés en formes géométriques complexes de tailles variables.

Le grésil est une précipitation sous forme de petites boules de glace de 1 à 5 mm de diamètre. Les gouttes de pluie gèlent sous forme de petites boules glacées avant d'atteindre le sol.

La grêle est une précipitation qui prend la forme de billes de glace (grêlons) dont le diamètre peut varier entre 5 millimètres et une dizaine de centimètres.

Ruissellement : L'eau tombe sur la Terre et forme les rivières et les fleuves

Infiltration : Une partie de l'eau qui est retombée sur la Terre s'enfonce sous la terre!

Retour à la mer : Les rivières se déversent dans les fleuves, qui eux-mêmes, se jettent dans la mer. Et le cycle recommence!

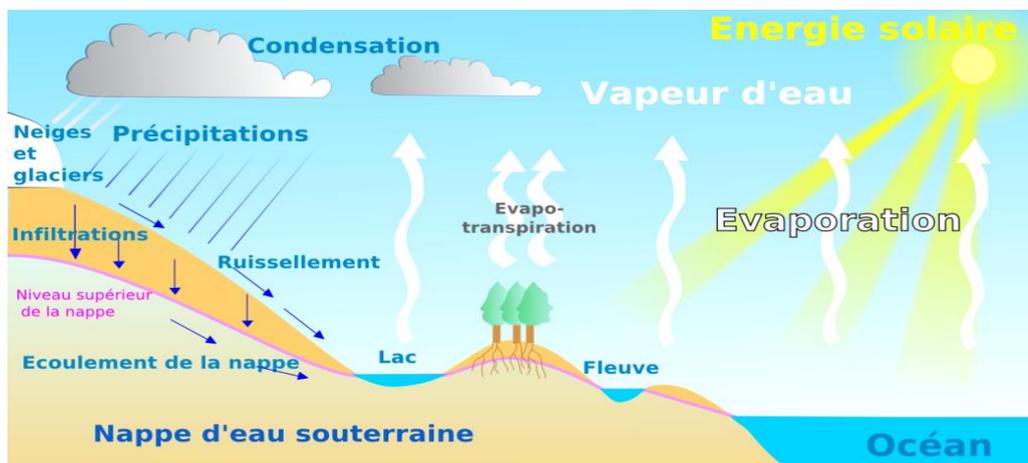


Figure 1. Cycle de l'eau dans la nature (7)

3. Mesure de la qualité des eaux

La Qualité de l'eau peut être évaluée par des paramètres physiques et chimiques, les indicateurs chimiques et physiques de qualité sont :

➤ *Paramètre de qualité physique de l'eau*

L'odeur, la couleur, le goût (la saveur), la matière en suspension, la turbidité, plus la température (car elle influence la plupart des réactions chimiques, elle gouverne la présence des espèces biologiques).

➤ *Paramètres de qualité chimique de l'eau*

L'eau est appelée le solvant universel. Les paramètres chimiques sont liés au pouvoir de solubilisation de l'eau. La quantité totale de solides dissouts, l'alcalinité, la dureté, la présence des fluorures, des métaux, des composés organiques,

4. Les sources de pollution de l'eau

D'où vient la pollution de l'eau ?

De toutes les ressources existant sur notre planète, l'eau est la plus précieuse. Sans elle, la vie sur Terre n'existerait pas : elle est essentielle à la croissance de toute chose sur notre planète. Bien que nous sachions cela, nous n'en tenons pas compte, continuant à polluer rivières, lacs et océans. Ainsi nous endommageons lentement mais sûrement notre planète au point où des organismes disparaissent à une vitesse alarmante. En plus de causer la mort des organismes, la pollution atteint également notre approvisionnement en eau potable. Pour lutter contre la pollution des eaux, nous devons comprendre ces problèmes et faire partie de la solution.

L'eau du robinet peut être contaminée et affecter notre santé. Elle peut contenir des bactéries et des virus. Parmi les bactéries retrouvées dans l'eau potable (eau que l'on boit) il y a : *E. coli*, *Salmonella* et *Campylobacter*. Ces bactéries sont produites lorsque des déchets humains ou animaux sont contaminés et se retrouvent dans l'eau. Ceci arrive souvent à la suite de pluies abondantes.

Les bactéries *E. coli*, *Salmonella* et *Campylobacter* qui se retrouvent parfois dans l'eau potable peuvent entraîner une forme grave de diarrhée, des symptômes semblables à ceux de la grippe et une fièvre légère.

D'autres produits se retrouvent parfois dans notre système d'eau potable et peuvent la contaminer. Les pesticides servent à limiter ou éliminer les mauvaises herbes, les insectes et les rongeurs. Ces pesticides peuvent polluer l'eau. Ils peuvent traverser le sol et se rendre à nos sources d'eau. Les impacts sur la santé des pesticides dans l'eau ne sont pas encore bien connus.

Différents métaux peuvent aussi être retrouvés dans l'eau potable. L'aluminium, présent de façon naturelle, peut polluer l'eau. Le traitement de l'eau est aussi une source d'aluminium

dans l'eau. De petites quantités d'aluminium restent dans l'eau et on pense qu'elles peuvent entraîner des effets sur la santé.

Les personnes atteintes de la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer ont souvent de fortes concentrations d'aluminium dans certaines parties de leur cerveau.

L'eau du robinet peut aussi être contaminée par le plomb. Ce métal peut être retrouvé dans les tuyaux qui servent à transporter l'eau. La consommation de plomb peut avoir des effets sur la santé. L'exposition prolongée peut entraîner la tension artérielle et des troubles de reproduction chez les adultes. Le plomb peut empêcher le développement intellectuel des fœtus, des bébés et des jeunes enfants.

5. Mécanismes et symptômes de la pollution des eaux courantes et des lacs ;

On retrouve de l'eau dans les rivières et les ruisseaux, dans les lacs et les océans ainsi que dans la terre (eau souterraine). L'eau qu'on retrouve à ces endroits est soit salée ou douce (non salée).

- **Causes de la pollution de l'eau :**

Rejets de produits chimiques par les usines (ex : azote, phosphate), de produits ménagers (d'entretien), engrais, déchets (ex : bouteilles plastiques), marées noires...

6. Influence de la pollution sur les êtres vivants ;

Conséquences : Maladies (ex : choléra), cancers (ex : en Inde, les habitants boivent l'eau polluée et parfois en meurent), disparition des espèces (ex : en Chine, le dauphin).

La pollution de l'eau est reliée aux différents piliers du développement durable :

***pour le social :** Quand les populations consomment une eau polluée, cela a des conséquences sur leur santé. Dans les pays pauvres, l'accès à une eau de bonne qualité est très difficile car les installations pour assainir l'eau coûtent chères.

***pour l'environnement :** cela touche la biodiversité et fait disparaître des espèces.

***pour l'économie :** de plus en plus d'eau potable disparaît, cela va donc créer des conflits et le prix de l'eau va augmenter.

7. Oxygénation et désoxygénation ;

- **Le dioxygène dans l'eau**

La plupart du dioxygène élémentaire que l'on trouve dissout dans l'eau provient de l'atmosphère mais aussi de la photosynthèse des algues. Vu que de nombreux organismes aquatiques ont besoin de dioxygène pour vivre, les plans d'eau doivent en contenir une certaine quantité à l'état dissous.

- **Gaz dissouts dans l'eau**

Les plans d'eau naturels renferment un certain nombre de gaz dissouts. Parmi ces gaz, l'O₂ et le CO₂ sont d'importance vitale pour les plantes et les animaux aquatiques. Par exemple, l'O₂ est essentiel pour les poissons et le CO₂ pour les algues photosynthétiques. Certains gaz peuvent aussi entraîner des problèmes, comme le diazote, qui peut tuer les poissons en se retrouvant sous forme de bulles gazeuses dans leur sang.

7.1. Désoxygénation

La diminution de l'oxygène des eaux côtières, également connue sous le terme « désoxygénation », peut être provoquée par des phénomènes globaux tels que l'augmentation de la température causée par le réchauffement climatique (la solubilité de l'oxygène diminue lorsque la température de l'eau augmente), ou par des phénomènes locaux comme les apports excessifs de nutriments liés aux activités humaines (résidus d'engrais azotés, manque d'assainissement). D'autre part, la concentration en dioxygène dissout peut diminuer pour différentes raisons. La quantité de dioxygène produit par la photosynthèse des algues pendant le jour est utilisée par les algues elles-mêmes pour leur processus métaboliques. De ce fait, la contribution de la photosynthèse des algues à la quantité de dioxygène dissout n'est pas très élevée. Donc la capacité d'un plan d'eau à se réoxygéner lui-même à partir de l'atmosphère est une caractéristique essentielle.

8. Eutrophisation

L'eutrophisation est le phénomène d'asphyxie des écosystèmes aquatiques résultant de la prolifération d'algues, qui consomment tout l'oxygène nécessaire à la vie de l'écosystème. Ce phénomène résulte d'un apport trop riche de substances nutritives dans la rivière ou dans le lac concerné. Cette pollution de l'eau est principalement due au phosphore (contenu dans les phosphates, présents dans les lessives notamment) et à l'azote (contenu dans l'ammonium et les nitrates présents dans les engrais).

Ce phénomène s'intensifie avec la profondeur du lac ou de la rivière, notamment des lacs profonds qui sont naturellement peu oxygénés. La propagation des bactéries aérobies (elles se développent en l'absence d'oxygène) qui se nourrissent des algues en décomposition provoque la disparition de l'oxygène, ainsi que la production de méthane et de sulfure d'hydrogène.

Le phénomène d'eutrophisation est fortement aggravé et accéléré par les rejets agricoles, domestiques ou industriels dans les cours d'eau et les lacs. Appelé dystrophisation, cet état se traduit par l'accumulation des algues et des bactéries aérobies, qui absorbent l'oxygène présent dans l'eau et provoquent la mort de tous les écosystèmes aquatiques : une

dystrophisation peut détruire tout un écosystème en quelques années. Des zones mortes d'une très grande superficie résultent de ces phénomènes.

Pour lutter contre l'eutrophisation et la dystrophisation, il s'agit : d'arrêter tous les rejets de substances nutritives dans le cours d'eau pollué d'enlever les algues qui pullulent dans le cours d'eau d'aérer de façon mécanique le cours d'eau, pour accélérer le processus d'épuration globalement, de réduire ou de stopper la présence de phosphates ou de nitrates dans les engrais ou les produits ménagers.

9. Notions sur le traitement et l'épuration des eaux usées ;

9.1. Procédés du traitement des eaux usées

La station d'épuration est une installation qui sert à dépolluer l'eau usée pour éviter la destruction totale des écosystèmes aquatiques et naturelles due aux effluents pollués. L'épuration est une technique qui consiste à éliminer les matières indésirables que l'eau véhicule en vue de son déversement dans le milieu naturel ou sa réutilisation des fonctions diverses. Les principales opérations unitaires de traitement des eaux sont les suivants :

A. Prétraitement

L'épuration physico-chimique vise à débarrasser de l'eau usée les éléments grossiers.

1- Le relevage

Le transport des eaux usées dans le collecteur se fait généralement par gravité sous l'effet de leur poids. Une station de relèvement permet d'acheminer les eaux dans la station d'épuration lorsque ces derniers arrivant à un niveau plus bas que les installations dépollution. Cette opération de relèvement des eaux s'effectue grâce à des pompes submersible ou vis d'Archimède.

2- Les prétraitements (dégrillage, dessablage et déshuilage)

A l'arrivée de la station d'épuration, les eaux brutes doivent subir avant leur traitement proprement dit, les traitements préalables de « dégrossissages » constituée par une série d'opération physiques ou mécaniques afin d'extraire de l'effluent, la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait un gêne pour les traitements ultérieurs.

L'importance des équipements à mettre en œuvre dépendra de la nature des effluents (présence de sable ou autres matières flottantes).

Les principales opérations de prétraitements sont :

- Dégrillage ;
- Dessablage ;
- Déshuilage.

- **Dégrillage**

Le dégrillage est une opération qui permet de protéger la station contre l'arrivée intempestive de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation, de séparer et évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements suivants ou en compliquer l'exécution.

Les grilles doivent être placées en biais dans le canal pour éviter les inondations lors de l'engorgement de la grille par les pluies, chaque grille doit être équipée d'un by-pass.

L'opération est plus ou moins efficace en fonction de l'écartement des barreaux de la grille. Le dégrillage est assuré soit par une grille à nettoyage manuelle, soit par une grille à nettoyage automatique dite grille mécanisée.

- **Dessablage**

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les sables de façon à éviter les dépôts dans les conduites, à protéger les pompes contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements.

- **Déshuilage**

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide destinée à réduire les graisses et huiles qui tendent à remonter en surface. L'élimination des huiles est indispensable parce qu'elles sont facilement biodégradables et présentent l'inconvénient de former une couche à la partie supérieure du bassin d'aération et empêchent ainsi la pénétration d'oxygène ce qui limite le travail et l'évolution des bactéries.

L'élimination des huiles s'effectue par déversement ou par entraînement sur bande sans fin et par raclage pour les graisses.

B. Les traitements primaires

L'eau résiduaire brute est généralement une suspension hétérogène de matières solides dont la nature (organique, minérale), les dimensions des particules sont grossières, finement dispersées ou à l'état colloïdal avec des densités très diverses.

- **Décantation**

Les traitements primaires ont pour but la séparation liquide-solide par une simple gravité, c'est un processus faisant appel à la grosseur et au poids spécifique des particules.

La décantation primaire présente un intérêt en épuration dans la mesure ou sans addition préalable de réactifs chimique, elle assure l'élimination par sédimentation des matières en suspension décantables.

Le phénomène de sédimentation peut se manifester différemment selon la concentration de la suspension, les caractéristiques des particules et les interactions possible entre elles.

- **Flottation**

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide- liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient.

C. **Traitement physico chimique : Coagulation –floculation**

Le principe de la coagulation est basé sur la déstabilisation des particules colloïdales en suspension dans les effluents par l'ajout d'un agent coagulant facilitant ainsi leur agglomération. Ce procédé est toujours suivi par la floculation pour favoriser les contacts entre les particules déstabilisées qui s'agglutinent pour former un floc facilement éliminable par décantation et filtration. Des coagulants inorganiques donnent des résultats satisfaisants comparés aux coagulants organiques.

- **Coagulants**

Ce sont des produits qui neutralisent ou inversent les charges de surface des matières en suspension. Ces produits sont surtout des composés minéraux tels que sulfate d'alumine et les sels ferriques.

- **Floculants**

Ce sont des produits qui ont des actions inter particules par pontage. Ces floculants sont pour la plupart constitués de polymères à haut poids moléculaires possédant des groupes réactifs de charges inverses à celle de la suspension à traiter.

D. **Epuration biologique**

- **Les traitements secondaires**

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote et phosphore). Dans la majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique.

- **Lit bactérien**

Le principe d'épuration utilisé s'inspire des méthodes mises à l'épreuve dans l'épuration par le sol. Les lits bactériens sont constitués par accumulation des matériaux

poreux sur une hauteur comprise entre 1,5m et 4m tels que scories, pouzzolanes, cokes, mâchefers.

Ces matériaux arrosés d'eau décantée se recouvrent après quelques semaines par des colonies microbiennes qui assurent l'épuration des eaux usées.

La couche inférieure du lit constituée de matériaux plus grossiers pour favoriser l'évacuation De l'effluent épuré.

- **Epandage**

L'épandage est la méthode d'épuration la plus anciennes (19^{ème} siècle), on s'accorde à penser d'arroser le sol avec l'eau usée dans le but d'épurer l'eau et d'engraisser le sol par les substances nutritives contenues dans l'effluent.

Ce procédé comporte plusieurs inconvénient : l'utilisation de grande surface de terrain, génère de mauvaise odeur, peut causer le risque de colmatage des sols, ce procédé est non utilisé en période pluvieuse, causé le risque de contamination de la nappe et la dispersion des germes pathogènes.

- **Lagunage**

Le lagunage est une technique d'épuration qui met en œuvre de vastes bassins naturels, dans lesquels l'eau va séjourner pendant une période plus ou moins longue, on distingue deux types de lagunage :

- **Le lagunage aérobic**

Le lagunage aérobic s'effectue dans des bassins peut profonds ou l'effluent séjourne de 2 à 3 mois, la dégradation des matières organiques est assurée par des algues et des bactéries dans ces bassins, la photosynthèse des algues donne un volume important d'oxygène qui maintient le milieu en aérobiose.

- **Le lagunage anaérobic**

Il s'effectue dans des grandes fosses profondes de 3 à 4 m. La dégradation des matières organiques est réalisé par des bactéries anaérobies dans un milieu dépourvu d'oxygène.

La technique de lagunage présente les avantages dont il permet d'atteindre de bon abattement de la charge organique quelque soit la filière utilisée (aérobic-anaérobic), favorise la production minimale des boues en excès et permet une épuration à charge organique très élevée.

- **Disques biologiques**

Le procédé à disque biologique peut être rangé parmi les systèmes d'épuration biologique aérobic ou la culture bactérienne est fixée sur un support constitué par plusieurs disque espacés en parallèles autour d'un axe commun fortement ce qu'on appelle « tambour».

Les disques sont partiellement immergés ceux-ci tournent autour d'un axe horizontal à vitesse de 1 à 2tr/min toujours dans le sens de circulation de l'eau. Ils sont généralement en polystyrène expansé et mesurent 2m à 3m de diamètre. La rotation permet le contact entre les micro-organismes qui se développent fixés aux disques et l'effluent puis l'aération de cette biomasse.

E. Traitements tertiaire

Des traitements tertiaires permettant d'éliminer les composés restant après le traitement secondaire. Ces composés peuvent être des métaux, des composés organiques non biodégradables ou encore des ordures apparues durant le traitement secondaire. Leur rendement est en générale très satisfaisant puisque ces procédés permettent d'abattre de 75 à 90% de la DCO restant après le traitement secondaire, jusqu'à 97% des composés aromatiques et jusqu'à 98% de la couleur.

Selon le niveau du rejet final recherché, ou la réutilisation envisagée ; ces traitements sont basés essentiellement sur les procédés de désinfection, qui peut être chimiques ou physiques.

- ***Désinfection chimique***

Il y a différents types de désinfectants : Le dioxyde chlore ClO_2 , l'ozone, l'hypochlorite de sodium. Les acides et les bases forte ($pH < 3$ et $pH > 11$) tuent toutes les bactéries pathogènes mais, malheureusement, endommagent en même temps l'équipement avec lesquels les eaux entrent en contact.

- ***Désinfection physique*** : Caractérisée par deux techniques :

- a- Désinfection par la chaleur** : est une pratique recommandée ou l'eau potable est concernée, mais c'est une méthode insatisfaisante ou les eaux sont impliquées.

- b- Désinfection par rayonnement ultraviolet UV**

Elle consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets. L'irradiation par une dose suffisante de rayonnement UV permet la destruction des bactéries, virus, germes, levures, champignons, algues... etc. Les rayonnements UV ont la propriété d'agir directement sur les chaînes d'ADN des cellules et d'interrompe le processus de vie et de reproduction des micro-organismes.

Ce traitement est très efficace puisqu'il n'entraîne pas l'apparition de sous-produits de désinfection toxique pour le milieu naturel contribuant à la sauvegarde des zones aquatiques sensible.

F. Prévention de la pollution des eaux

La réduction de la pollution des eaux passe essentiellement par l'application de bonnes pratiques par les usagers de l'eau et des milieux aquatiques

Épurer les eaux avant leur rejet direct.

Réduire les risques:

Réduire l'usage des pesticides : produits phytosanitaires..

Encadrer l'usage des fertilisants : réglementer l'utilisation des engrais lors de la fertilisation des sols.

Éviter les transferts des eaux polluées aux milieux aquatiques.

Encadrer l'usage des substances dangereuses.

Protéger les captages d'eau.

➤ **Comment se protéger des dangers de l'eau ?**

Voici des conseils pour éviter d'être malade à cause de la pollution de l'eau.

- Faire analyser l'eau de son puits une fois par année.
- Ne jamais boire l'eau d'un ruisseau ou d'une rivière.
- Vérifier l'état de l'eau avec le service de santé avant de se baigner à la plage.
- Ne pas jeter de déchets dans l'eau.
- Chaque matin, laisser couler l'eau du robinet de la cuisine et de la salle de bain pendant au moins 30 secondes afin d'enlever le plomb qui vient des tuyaux.
- Utiliser de l'eau froide pour cuisiner et pour boire car l'eau chaude transporte le plomb des tuyaux.

Chapitre 2 : Pollution des sols



1. Bases en sciences du sol

La géosphère est la partie de la terre sur laquelle les humains vivent, et la partie de laquelle ils extraient la majorité de leur alimentation, des minéraux et des carburants. Elle est divisée en plusieurs couches:

- le noyau interne solide: riche en fer
- le noyau externe en fusion
- la lithosphère; qui est constituée du manteau supérieure et de l'écorce terrestre.

1.1. Définition

Pour le pédologue, le sol est un produit d'altération et organisation des couches supérieures de la croûte terrestre. Il est formé d'une fraction minérale et de matière organique (humus), sa formation est un phénomène multidimensionnel contrôlé par une combinaison de certains facteurs tels que, le climat, le temps, la végétation et le relief (topographie), organismes vivants.

1.2. Horizons pédologiques d sols

Le sol est caractérisé par une succession de couches superposées appelées horizons dont l'ensemble constitue le profil pédologique. Ils se distinguent les uns des autres par leur couleur, leur structure, leur texture et autres caractères morphologiques.

Dans le profil d'un sol, on distingue plusieurs horizons, à chacun sa dénomination et son symbole, les principaux sont les suivants:

- **horizon (O)**: riche en matière organique (litière végétale).
- **horizon (A)**: c'est un horizon riche en débris organique et en humus de couleur sombre.
- **horizon (E)**: c'est un horizon de lessivage.
- **horizon (B)**: c'est l'horizon d'accumulation des éléments nutritifs, lessivés des horizons supérieurs, il est riche en fer, aluminium et argile,
- **horizon (C)**: c'est une roche faiblement altérée, constitué des fragments de roche mère décomposées, souvent saturé en eau,
- **horizon (R)**: la roche mère en place (l'écorce terrestre), c'est le substratum rocheux dur.

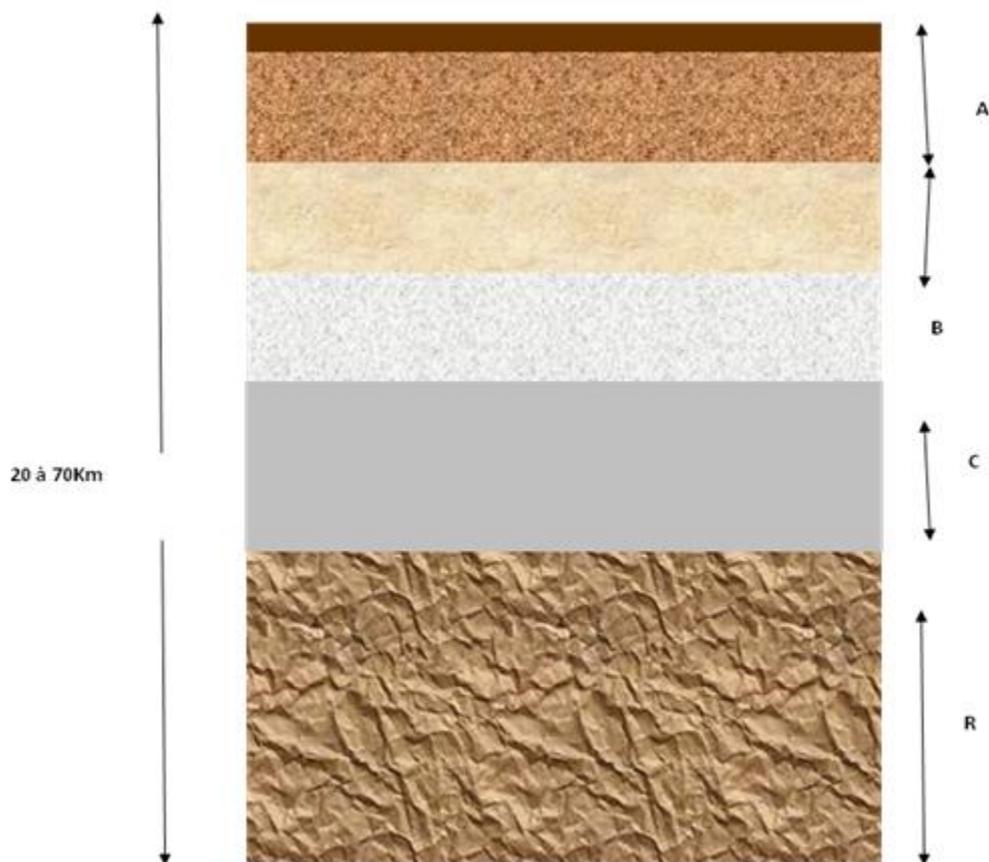


Figure 2. Horizons du sol

1.3. Constitution des sols

Le sol est constitué de deux fractions essentielles:

- **Fraction minérale:** La fraction minérale des sols provient de la destruction de la roche mère qui subit un double processus:
 - désagrégation mécanique qui donne des fragments
 - altération chimique, provoquant la formation des minéraux argileux et des ions solubles (Fe^{2+} , Al^{3+} ...).
- **Fraction organique :** La matière organique du sol est composée de molécules issues de débris végétaux et animaux incorporés au sol, à l'exclusion toutefois des racines vivantes, des bactéries et des champignons.

Classiquement, on regroupe les matières organiques du sol en quatre classes :

- la matière organique vivante, végétale et animale
- les débris végétaux et les cadavres des animaux qui sont regroupés sous le terme de matière organique fraîche.
- les composés organiques intermédiaires, encore appelés produits transitoires ou matière organique en cours d'évolution entre la matière organique fraîche et les composés finaux.
- les composés organiques stabilisés: les matières humiques qu'on désignera sous le terme générique d'humus.

La composition chimique et la structure physique des sols (sa formation) sont déterminées par un certain nombre de facteurs, comme:

- le type de roches : on distingue
 - les roches basiques
 - les roches acides
 - les roches magmatiques
 - les roches sédimentaires
- les minéraux et d'autres matières géologiques à partir desquelles les sols sont initialement formés.
- Le type de végétation qui pousse sur le sol est également important.

1.4.Composition du sol

Le sol est composé de quatre éléments:

- La fraction minérale qui représente 45% d'un sol
- La matière organique environ 5%
- L'eau environ 25%
- L'air environ 25%

1.5. Caractéristique des sols

- La couleur : il peut être de différentes couleurs: sols noirs, ou brun foncé, riche en matière organique rouge orangé, riche en oxyde de fer sol gris , bleu ou vert, saturé en eau,
- Texture : la texture des sols dépend d % de trois éléments ; le sable, le limon et de l'argile
- Agrégation: les particules des sols s'assemblent entre elle pour former des groupes plus grands appelés agrégats naturels
- Porosité la partie du sol qui n'est pas solide est constituée des pores, de taille et forme différentes,
- Contenu en ions: la surface des sols retient des ions , il ya un échange des ions , la capacité d'échange est une mesure importante de la fertilité d'un sol
- Le pH: le pH détermine le type des plantes qui pourront y accroître avec succès.

2. Pollution des Sols

La dégradation du sol peut être considérée comme une accumulation de plusieurs effets (quelquefois opposés) provoqués par les polluants anthropologiques sur les diverses transformations physiques, chimiques et biologiques se déroulant dans le sol.

La pollution des sols représente une menace nouvelle apparue progressivement: depuis l'essor de l'industrie chimique (on considère qu'entre 12 et 15 % de la surface totale dégradée sont dus à la dégradation chimique), on note une multiplication des sites contaminés par les dépôts de déchets toxiques ou d'anciens lieux de production, pollution qui auparavant n'était connue que dans les environs des sites miniers et métallurgiques.

3. Causes de la dégradation / pollution des sols

3.1. Pollution d'origine humaine

Les pollutions d'origine humaine, dites aussi anthropiques, ont de nombreuses formes en pouvant être locales, culturelles, ponctuelles, accidentelles, diffuses, chroniques, génétiques, volontaires, involontaires, etc.

Cette pollution est une diffusion directe ou indirecte dans l'environnement de polluants. Ce sont souvent des sous-produits involontaires d'une activité humaine, on précise que les principaux responsables de la pollution et de la destruction des sols sont l'urbanisation et l'extension des infrastructures de transport, l'agriculture extensive, les émissions de l'industrie, de l'artisanat et du transport, et enfin les activités de loisir. De manière générale tout le système de gestion des déchets a abouti à charger le sol: émissions des usines d'incinération, décharges, mâchefers, etc.

Les substances sont qualifiées de polluants lorsqu'elles exercent une influence négative sur la fertilité du sol. C'est le cas notamment des métaux lourds et des composés organiques chlorés peu dégradables (polluants persistants)

En effet le sol peut être pollué par :

Des infiltrations continues, des fuites répétées ou des déversements accidentels à partir des dispositifs de stockage et de transport de matières premières ou de déchets. Les réservoirs de fuels, huiles de vidanges, les décharges, les canalisations, etc.... sont autant de sources de pollutions organiques ou inorganiques.

Des épandages ou pulvérisations localisés dans le cadre de pratiques agricoles, l'entretien de voiries et de sites industriels. Ces activités représentent également des sources de pollution importantes, représentées par plusieurs familles de substances, voire des mélanges complexes de produits chimiques et d'agents microbiologiques.

Des retombées au sol d'émissions atmosphériques proches ou lointaines, notamment des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), HAM (Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques), dioxines, furannes, métaux lourds...

3.2.Pollution due à l'environnement:

Ces pollutions peuvent être:

- Les conséquences directes ou indirectes de catastrophes naturelles, tels que le volcanisme.
- Une pollution liée à des phénomènes naturels, tels que les éruptions solaires;
- Une pollution d'un captage d'eau potable par un animal qui fera ses besoins à proximité, ou qui serait mort et en décomposition dans l'eau. La nature et le degré de contamination d'un sol sont donc très variables selon l'origine de la pollution, les activités locales, la topographie du lieu, etc.... Les pollutions multiples sont courantes.

Un polluant dans le sol devient dangereux s'il devient mobile et qu'il atteint sa cible (hommes, eaux souterraines ou superficielles, écosystèmes,...). Un sol pollué devient alors un problème de santé publique si le polluant atteint la nappe phréatique ou le cours d'eau avoisinant, si ceux-ci sont destinés à l'alimentation en eau potable

4. Effets de la pollution des sols

La dégradation des sols: peut avoir différentes causes:

- la salinisation des sols: (diminution de productivité)
- les produits chimiques: (affecte les propriétés chimiques et physiques des sols)
- Dégradation par érosion aggravée: ce phénomène correspond à un mouvement des sédiments et matières organiques d'un endroit à un autre.

5. Conséquences de la dégradation du sol

Aujourd'hui, la dégradation du sol participe à plusieurs grands problèmes environnementaux qui perturbent la planète.

- **La biodiversité:** le sol est un milieu vivant, sa dégradation provoque une perte d'espèces à la surface de la terre et dans les milieux aquatiques
- **La désertification:** la perte du sol dans les milieux semi arides conduit à la création de vaste zone stérile et des conditions de sécheresse aggravée par la diminution de la réserve hydrique du sol.
- **L'érosion :** pratiquement, toute l'eau qui tombe sur une surface terrestre entre en contact avec le sol, l'eau peut s'infiltrer et percoler vers la nappe phréatique et les cours d'eau, elle lessive une partie de ce qui est soluble dans le sol (nitrate, pesticide...)

Les conséquences de l'érosion à court et long terme :

- **Impact sur site :** réduction de la fertilité et de productivité du sol,
- **impact hors site:** perte de semence (à cause d'une forte pluie,)

6. Comportement des éléments traces métalliques ETM dans le sol

Tous les sols contiennent naturellement des métaux lourds, cependant, leur concentration peut être augmentée par:

- L'industrie chimique: de l'acier et de fer
- L'agriculture: irrigation avec des eaux polluées
- Incinération des combustibles fossiles
- Trafics routiers: gaz d'échappement, l'usure des pneus

Les principaux éléments traces métalliques (ETM) trouvés dans les différentes roches sont: le cadmium, le mercure, le plomb et le cuivre

Les formes chimiques des ETM en solution peuvent être classées en quatre catégories:

- Métal ionique libre M^{n+}
- Métal sous forme hydroxylée $M_j(OH)_i^{n-1}$
- Métal complexé à des ligands inorganique $M_j(L_{inorg})_i^{n-1}$
- Métal complexé à des ligands organique $M_j(L_{org})_i^{n-1}$

Dans les sols, les ETM se répartissent entre la phase solide et la phase liquide, la totalité des ETM se concentrent dans la fraction solide du sol (entre la phase organique et minérale)

- **Argiles:** On trouve une fraction importante dans les argiles, inclus dans le réseau silicaté ou adsorbés sur les argiles.
- **Carbonate de calcium:** En sol calcaire, les carbonates de calcium interviennent dans la fixation des ETM soit par adsorption ou par précipitation,

- **Les oxydes:** les oxydes de fer et de manganèse représentent la phase de rétention des métaux
- **la matière organique:** elle participe à la rétention des ETM sous forme des complexes
- **Les précipités:** les ETM peuvent se précipiter dans le sol pour former des composés peu soluble, tel que les phosphates, les hydroxydes,

7. Comportement des polluants organiques dans le sol

Les contaminants organiques sont:

Les pesticides, les huiles, les goudrons, les hydrocarbures chlorés, les PCB, les dioxines....

Les moyens d'entrées des polluants organiques dans les sols sont:

- La déposition à partir de l'atmosphère
- L'épandage direct sur les terres
- La contamination par les eaux usées
- Élimination des déchets

Exemple:

l'utilisation des pesticides peut entraîner :

- La diminution du rendement des récoltes,
- Le lessivage des produits chimiques toxiques dans les eaux souterraines;
- Menace des ressources en eau potable,

Les amendements les plus utilisés sont à base de phosphogypse, c'est un déchet de l'industrie de l'acide sulfurique, qui est souvent jeté à la mer, et que l'on peut utiliser avec profit pour lutter contre la salinité des sols d'origine sodique. Ce phosphogypse est riche en cadmium et en uranium.

8. Législation

Malgré les réglementations, l'Algérie reste un pays très en retard dans le domaine de la protection de l'environnement, loi n° 83-03 du 05 février 1983: relative à la protection de l'environnement.

9. Techniques de décontamination des sols.

La dépollution ou la décontamination des sols consiste à rendre le sol et le sous sol d'une zone apte à un nouvel usage.

Il existe plusieurs méthodes permettant d'extraire les polluants présents dans le sol, elles dépendent:

- du type de polluant (organique, inorganique, ETM,..)
- De la nature du terrain (perméable, granuleux, présence d'eau..;)

Une fois le site est bien caractérisé, les procédés qui sont utilisés sont:

Traitement thermique, Traitement Biologique, Traitement physico chimique,

Exemples:

- Photo-extraction;
- Confinement (utilisation d'une barrière étanche)
- Mise en décharge,
- Solidification,
- Extraction,
- Lavage (par solubilisation, oxydo réduction,)
- Pyrolyse et incinération
- Venting (injection de l'air dans le sol exemple: pour les polluants comme l'essence et les solvants chlorés)
- Bioréacteurs

10. Conservation des sols:

On peut conserver les sols par utilisation durable du sol (rotation des cultures)

Chapitre 3 : *Pollution de l'air*



1. Généralités

Dans le passé, les pollutions de l'air étaient en général dues à des problèmes de fumées, qui concernaient avant tout le dioxyde de soufre et les poussières. Déjà les romains se plaignaient de la saleté de l'air de leur ville. Les problèmes devinrent de plus en plus importants quand on commença à rechercher du charbon à partir du 13^e siècle, principalement dans les villes. Par exemple, en 1578, ELISABETH I (Reine d'Angleterre et d'Irlande entre 1558 et 1603) interdisait la combustion du charbon à Londres, pendant que le parlement siégeait; et dans une loi édictée en 1627 à Lyon, Au plus tard depuis le milieu du 20^e siècle, de nouvelles pollutions et de nouveaux dangers qui leur sont liés ont eu pour origine les nombreux moteurs à combustion présents dans le trafic routier et aérien.

2. Définition

La pollution de l'air, provoquée par des polluants dits atmosphériques (rejet de pots d'échappement, des usines...etc). Pour vivre, un être humain a besoin d'environ entre 10 000 et 15 000 litres d'air chaque jour. Cela représente entre 12 et 18 kg d'air. La composition normale de l'air est : 78 % d'azote (N), 21 % d'oxygène (O), 01 % d'autres gaz.

Quand cet air est modifié par des éléments qui sont nuisibles à notre santé et à notre environnement (les polluants), on dit que l'air est pollué.

3. Pollution de l'air

On peut définir la pollution atmosphérique comme étant "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives"

4. Le développement durable

est un concept très récent par rapport à l'ancienneté des préoccupations liées aux pollutions de l'air qui, depuis 1810, en France, ont suscité non seulement une prise de conscience mais également tout un cortège de dispositifs législatifs dont l'initiative, depuis l'Acte Unique, est, actuellement, largement entre les mains de l'Union européenne. C'est l'hygiénisme, avec toutes ses ambiguïtés, qui a fourni un cadre pour la maîtrise des pollutions.

La santé demeure un levier majeur pour établir une politique préventive dans le cadre de l'émergence progressive de la notion de santé environnementale telle qu'elle a été initiée, notamment, par la LAURE (Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l' Energie de décembre 1996) souvent qualifiée de « loi de santé publique ».

Le développement durable est un enjeu majeur pour l'humanité, il s'articule entre les préoccupations écologiques respectueuses de l'environnement, sociales, et économiques

Le respect de la qualité de l'air s'est appuyé sur la maîtrise des énergies fossiles et la diminution des émissions. Pourtant, les préoccupations sanitaires restent fondamentales dans la gestion de la qualité de l'air même si la santé humaine ne s'impose que très modestement au sein du développement durable. Actuellement, la qualité de l'air et la santé sont obligatoires dans le cadre de la gestion du territoire à toutes les échelles.

➤ **L'air et le développement durable : une alliance qui s'écarte du registre sanitaire**

La maîtrise des pollutions atmosphériques repose essentiellement sur la prise en compte de l'impact des polluants sur la santé humaine. Les critères sanitaires sont, plus ou moins bien intégrés à travers les normes.

Cependant, le développement durable, a contribué à renouveler la problématique de la qualité de l'air qui s'est élargie aux dimensions de la planète et a bénéficié des incitations en faveur de la maîtrise des énergies fossiles. Cette stratégie planétaire s'est appuyée sur la mise en œuvre d'une réglementation mondiale et sur le développement de recherches et d'innovations dont la qualité de l'air a beaucoup bénéficié. Un parallélisme, voire même une synergie entre l'évolution du concept de développement durable et la problématique de la qualité de l'air s'impose.

5. Développement durable- énergie et émission de CO₂



En alertant le monde entier sur les dangers d'un développement fondé sur l'utilisation massive des matières premières et énergétiques à bas prix, le développement durable a encouragé les économies d'énergies fossiles pour limiter les émissions polluantes puisque la plupart des polluants atmosphériques sont issus de processus de combustion.

La consommation d'énergie a un grand impact sur notre environnement et notre santé,

Les principales conséquences sont:

- La pollution atmosphérique
- Réchauffement climatiques
- Émission de dioxyde du carbone dans l'atmosphère

Le développement des industries, l'incinération des déchets, la circulation routière, sont les principales sources de la pollution atmosphérique

6. L'atmosphère

L'atmosphère, dérivée du mot grec *atmos* (vapeur) et *sphaira* (sphère), est l'enveloppe de gaz et de poussières microscopiques entourant le globe terrestre. Il s'agit d'un milieu très mince, complexe et fragile auquel la vie sur terre est très liée.

○ Pourquoi étudier l'atmosphère ?

Les êtres humains vivent sur terre, L'atmosphère nous donne l'oxygène que nous respirons et emporte le dioxyde de carbone que nous rejetons.

L'atmosphère est une couche protectrice et un filtre les formes les plus dangereuses des rayons du soleil et retient la chaleur qui sort de la surface de la Terre. L'atmosphère transporte l'énergie de l'équateur aux pôles pour rendre l'ensemble de la planète plus habitable et transporte l'humidité qui s'évapore des lacs et des océans jusqu'aux terres arides. L'atmosphère fournit le diazote nécessaire aux bactéries fixatrices d'azotes.

- **L'atmosphère terrestre**

est essentiellement composée de 78 % de diazote et de 21 % de dioxygène. Cependant, l'air contient également d'autres composants plus minoritaires tels que la vapeur d'eau, les gaz rares (Argon, Néon, Hélium...) et le dioxyde de carbone. Elle contient également des particules suspendues solides et liquides appelées aérosols. Le pourcentage d'eau dans l'atmosphère est variable. Les gaz rares sont chimiquement inertes et n'interviennent dans aucun processus physico-chimique.

Tableau1 : La composition de l'atmosphère

Gaz constituants de l'air sec	Volumes (en %)
Azote (N ₂)	78,09
Oxygène (O ₂)	20,95
Argon (A)	0,93
Dioxyde de carbone (CO ₂)	0,035
Néon (Ne)	1,8 10 ⁻³
Hélium (He)	5,24 10 ⁻⁴
Krypton (Kr)	1,0 10 ⁻⁴
Hydrogène (H ₂)	5,0 10 ⁻⁵
Xénon (Xe)	8,0 10 ⁻⁶
Ozone (O ₃)	1,0 10 ⁻⁶
Radon (Rn)	6,0 10 ⁻¹⁸

- D'un point de vue thermodynamique, l'air atmosphérique peut être considéré comme un mélange de deux gaz : l'air sec et la vapeur d'eau.
- La gravité terrestre retient l'atmosphère autour de la Terre, et par conséquent la pression atmosphérique et la densité diminuent avec l'altitude au-dessus de la surface de la terre
- De façon générale, le climat terrestre dépend étroitement des effets qui existent entre la chaleur du Soleil et l'ensemble de l'atmosphère.

7. Les couches de l'atmosphère

En partant de la surface vers l'espace, L'atmosphère peut être découpée en **cinq couches** qui sont:

- *la troposphère,*
- *la stratosphère,*

- la *mésosphère*,
- la *thermosphère*
- l'*ionosphère*. (*exosphère*)

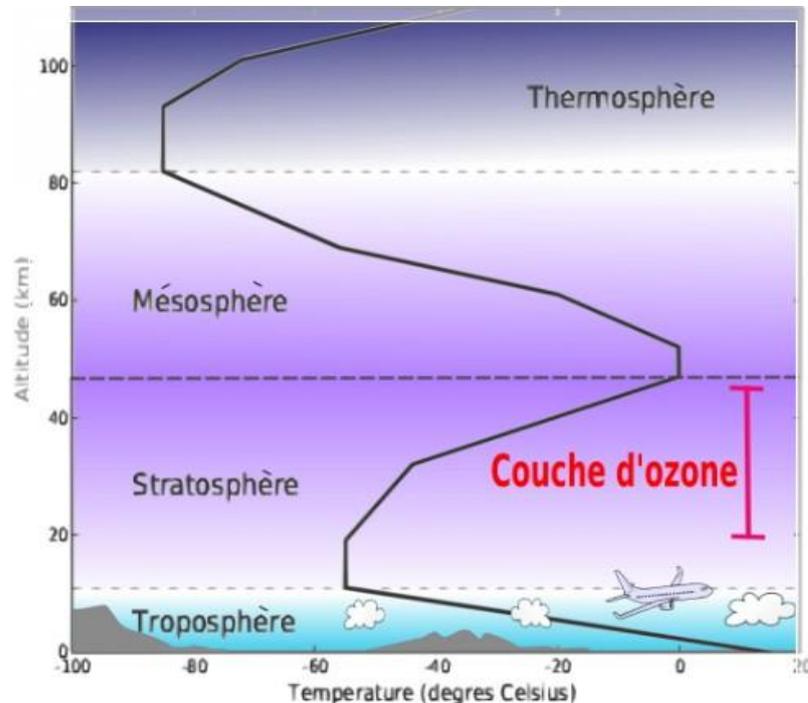


Figure 3. Les couches de l'atmosphère (8)

- ❑ **La troposphère** : est la zone de l'atmosphère terrestre située entre la surface du globe et une altitude d'environ 8 à 15 kilomètres. Elle représente 80% de la masse de l'atmosphère, la frontière entre la troposphère et la stratosphère s'appelle la tropopause.
- ❑ **La stratosphère** : située au-dessus de la troposphère et caractérisée par une faible croissance de la température avec l'altitude.

(La stratosphère terrestre s'étend, en moyenne, entre 12 et 50 km d'altitude. Elle renferme la quasi-totalité de l'ozone atmosphérique O₃ et très peu de la vapeur d'eau.

L'ozone de la couche supérieure de l'atmosphère filtre la lumière UV en dessous de 360nm. par contre l'ozone est un polluant indésirable dans la troposphère, il est toxique pour les plantes et les animaux.

Le réchauffement est causé par l'ozonosphère, qui absorbe les radiations ultraviolettes du Soleil, ce qui a pour conséquence de chauffer les couches supérieures de la stratosphère. Le bas de la stratosphère est caractérisé par un équilibre entre la chaleur transmise de la couche d'ozone par conduction et la chaleur transmise de la troposphère par convection.

- ❑ **La mésosphère** : Elle ne contient pas de la vapeur d'eau, elle ne contient que peu d'ozone, elle est située entre la stratosphère et la thermosphère et caractérisée par une décroissance de la température avec l'altitude.

La mésosphère est située entre 50 km d'altitude, au-dessus de la stratosphère et 90 km d'altitude.). C'est à sa limite supérieure qu'on trouve les températures les plus basses de l'atmosphère terrestre : elle peut atteindre 200 kelvins, soit - 73 °C C'est une zone de transition entre la Terre et l'Espace.

- ❑ **La thermosphère** : Zone de l'atmosphère d'une planète située au-dessus de la mésosphère et caractérisée par une forte croissance de la température avec l'altitude. (La thermosphère terrestre est située entre 85 et 600 km d'altitude. La température varie suivant l'activité solaire et l'alternance jour-nuit, les stations spatiales sont localisées au milieu de la thermosphère

- ❑ **Exosphère / ionosphère** : est la zone de la haute atmosphère d'une planète, caractérisée par la présence de particules chargées (électrons et ions), formées sous l'effet du rayonnement solaire. La base de l'ionosphère se situe entre 350 et 800 km d'altitude suivant la température à la thermopause, qui est liée à l'activité solaire. L'hélium et l'hydrogène y sont les éléments prépondérants. Elle s'étend jusqu'à la limite extrême de l'atmosphère, soit 50 000 kilomètres. On ne trouve plus là que quelques atomes d'hydrogène.

8. Evolution de la qualité de l'air et effet sur les organismes

La qualité de l'air peut être modifiée par des polluants qui peuvent être d'origine naturelle ou d'origine anthropique, c'est-à-dire liés à l'activité humaine. La pollution de l'air a des effets sur la santé et l'environnement. Le droit européen fixe des valeurs limites pour certains polluants dans l'air à partir des études épidémiologiques, conduites notamment par l'Organisation mondiale de la santé.

La surveillance de la qualité de l'air ambiant est obligatoire dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants et porte en priorité sur les polluants réglementés par le Code de l'environnement:

- dioxyde de soufre (SO₂) ;
- oxydes d'azote (NO_x), dont dioxyde d'azote (NO₂) ;
- ozone (O₃) ;
- particules ;
- monoxyde de carbone (CO) ;
- benzène (C₆H₆) ;

- plomb (Pb), arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni), mercure (Hg) ;
- hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

9. Paramètres météorologiques

Se sont des mesures physiques liées aux variations du climat, les variables à mesurer sont:

- la température,
- la pression,
- la vitesse et direction du vent,
- la pluviométrie,
- la hauteur et le type de nuage,
- les précipitations,
- la visibilité

10. Les polluants de l'air :

Les polluants de l'atmosphère sont émis sous forme de gaz, de fines particules ou de gouttelettes. Ces principales substances polluantes sont : les oxydes d'azote et de soufre, l'oxyde et le dioxyde de carbone, les suies carbonées, les hydrocarbures et les métaux lourds comme le plomb, présent notamment dans certains types d'essence; On distingue :

- les particules primaires, directement émises dans l'atmosphère.** Elles sont majoritairement issues de toutes les combustions incomplètes liées aux activités industrielles ou domestiques, ainsi qu'aux transports. Elles sont aussi émises par l'agriculture (épandage, travail du sol, etc). Elles peuvent également être d'origine naturelle :(érosion des sols, pollens, feux de biomasse, etc.).

Exemple:

- monoxyde d'azote : Les oxydes d'azote (NO_x) regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils sont émis lors de la combustion (chauffage, moteurs thermiques des véhicules...). Les engrais, les sols (processus biologique),
- dioxyde de soufre : Le dioxyde de soufre est produit à partir de la combustion d'énergies fossiles (fioul, charbon, gazole, etc.). Quelques procédés industriels (production d'acide sulfurique, production de pâte à papier, raffinage du pétrole, etc.). Ils peuvent également être émis par la nature (volcans).
- monoxyde et dioxyde de carbone : de grandes quantités de monoxyde et dioxyde de carbone sont rejetées dans l'atmosphère du fait des activités humaines comme la combustion déforestation et utilisation de bois de chauffe) et des combustibles fossiles

(pétrole, charbon et gaz naturel) ; s'ajoutent à ces émissions les rejets industriels, et les gaz d'échappement.

- poussières, aérosols : Elles sont majoritairement issues des combustions , des activités industrielles ou domestiques, au transports. Elles sont aussi émises par l'agriculture (épandage, travail du sol, etc). Elles peuvent également être d'origine naturelle :(érosion des sols, pollens,).
- métaux lourds : La plupart des métaux lourds sont des éléments constitutifs de la croûte terrestre. Ils peuvent être mis en suspension en plus ou moins grande quantité, par exemple par érosion ou au cours d'éruptions volcaniques ou de feux de forêts. Ils proviennent de l'incinération des déchets, secteur routier, activités métallurgiques
- composés organiques volatils, hydrocarbures aromatiques polycycliques

b) **les particules secondaires, formées dans l'atmosphère** suite à des réactions physico-chimiques pouvant impliquer

- le dioxyde de soufre (SO₂), acide sulfurique
- les oxydes d'azote (NO_x)
- les composés organiques volatils (COV) : Les composés organiques volatils (COV) constituent une famille très large de produits comme le benzène, l'acétone, le perchloroéthylène... qui se trouvent à l'état de gaz ou s'évaporent facilement dans les conditions classiques de température et de pression lors de leur utilisation. Les COV sont émis par les solvants, automobiles, industrie pétrochimique
- Particule d'ozone : est un gaz indispensable à la vie terrestre. Naturellement présent dans l'atmosphère, en revanche un polluant atmosphérique nocif pour la santé humaine, les animaux et les végétaux, à cause de son caractère oxydant.

L'ozone est un polluant secondaire, résultant de transformations photo-chimiques complexes entre certains polluants comme les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone et les composés organiques volatils (COV).

11. Conséquence de la pollution de l'air

a) Smog : Définition



La pollution atmosphérique qui réduit la visibilité est souvent appelée Smog : brouillard de fumée, Sa formation et sa persistance dépendent de divers facteurs, parmi lesquels les conditions météorologiques et la topographie de la région.

Le smog peut recouvrir les grandes villes pendant des jours ou des semaines. Il est constitué d'un mélange de plusieurs substances, pour la plupart dangereuses pour la santé.

Il ya plusieurs sortes de Smog

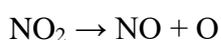
- **Le smog industriel** : Les principaux polluants du smog industriel sont: Les dioxydes du soufre, la combustion du charbon, du fuel...
- **Le smog photochimique** : Le smog photochimique : est un smog brun orangé foncé, dont la cause principale est l'élévation de la concentration en ozone troposphérique, principalement en milieu urbain et en été.

L'ozone est produit par une réaction photochimique au cours de laquelle les hydrocarbures volatils COV, et les oxydes d'azote se combinent sous l'effet de la lumière solaire, ce qui conduit à la formation du smog photochimique.

En fonctionnement normal, le moteur à allumage émet surtout du monoxyde d'azote (NO), la seule forme qui puisse se former aux hautes températures atteintes dans la flamme du moteur. A l'échappement toutefois, lors de son mélange avec l'air, une faible fraction de ce monoxyde d'azote, réagit avec de l'air pour former le dioxyde d'azote



Le dioxyde d'azote est un gaz sensible à la lumière du soleil qui provoque sa décomposition :

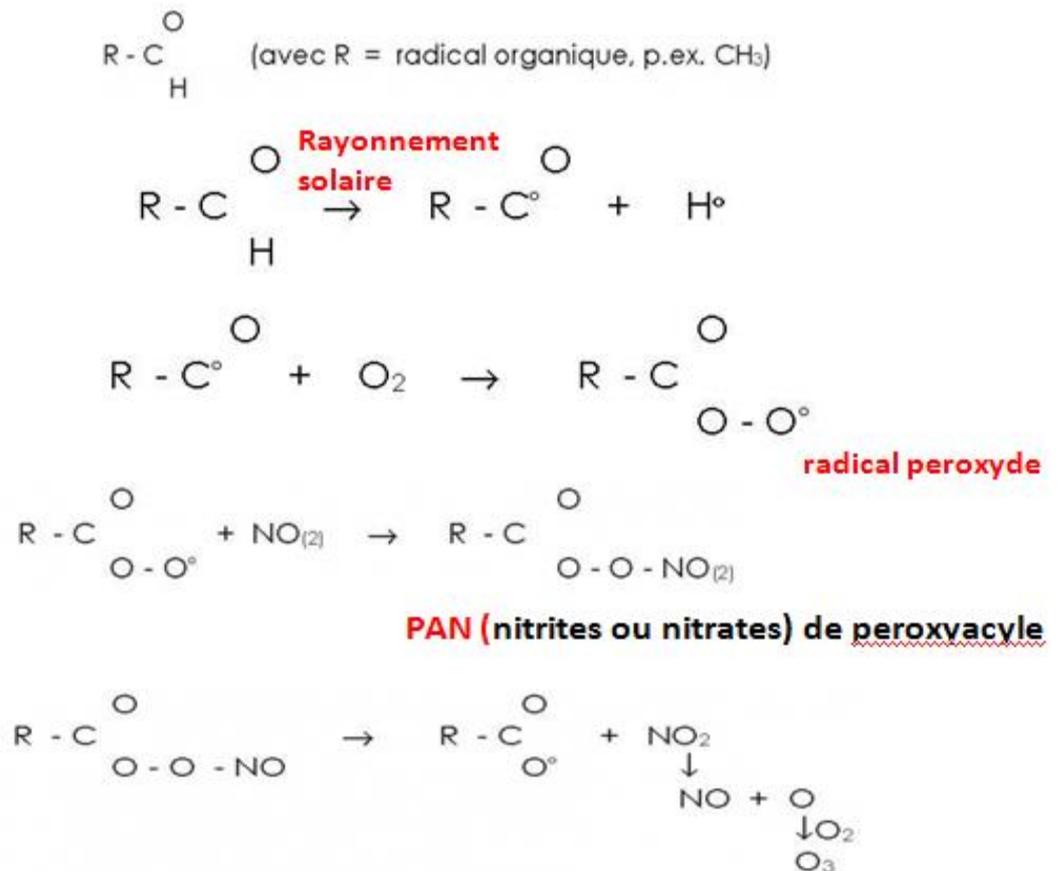


En stratosphère, ce qui se passe, l'atome d'oxygène réagit très rapidement avec une molécule d'oxygène pour former de l'ozone :



Les concentrations en ozone sont très faibles. Il y aura un peu de dioxyde d'azote dans l'air, Il va intervenir un deuxième polluant par l'échappement automobile reconnus très actifs dans le développement du smog les hydrocarbures (COV)

N.B. COV sont des substances typiques d'une combustion incomplète

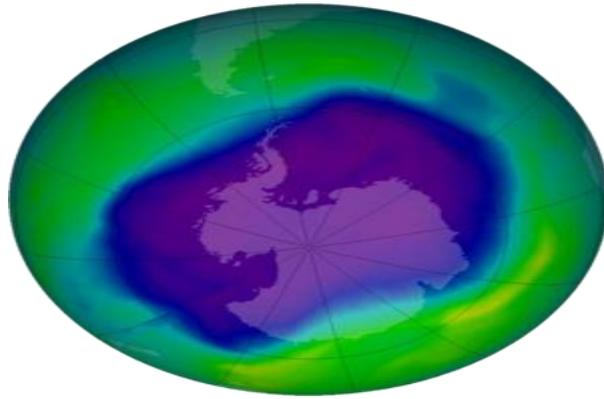


La molécule qu'on appelle nitrites (ou nitrates) de peroxyacyle que la langue anglaise désigne par l'acronyme PAN en association avec d'autres dans l'air, forment un brouillard toxique, elles sont phyto-toxiques et cancérogènes.

L'ozone est un gaz très toxique à forte concentration et il se forme dans le smog photochimique : c'est un polluant de l'air *troposphérique* car il s'attaque aux muqueuses et aux plantes.

Deux précurseurs du smog photochimique: Sont les NOx et les COV.

b) *Couche d'ozone*



Dans la stratosphère, l'ozone protège la biosphère des rayons ultraviolets du soleil. Il est formé par des réactions chimiques de haute énergie déclenchées par des rayons solaires de très courte longueur d'onde (UV lointains) qui arrivent à « casser » les molécules d'oxygène de l'air :



Chaque atome d'oxygène s'unit à une molécule d'oxygène pour donner l'ozone :



L'ozone absorbe ainsi un rayonnement ultraviolet pour se décomposer en une molécule d'oxygène plus un atome d'oxygène. $\text{O}_3 + \text{UV (proche)} \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}$

Le rayon UV disparaît dans l'opération : c'est une énergie consommée pour casser la molécule de O_3 .

L'ozone arrête les rayons UV de plus grande longueur d'onde (**UV proche**), également trop nocifs. Il joue le rôle d'un filtrant.

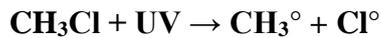
La partie inférieure de la stratosphère, contient de très hautes concentrations d'ozone (O_3), plus de 90 %. Cette partie de l'atmosphère terrestre est connue comme la couche d'ozone. Cette couche absorbe environ tous les rayonnements solaires (entre 97 et 99 %) dans la fréquence des UV, ceux qui sont nocifs pour la vie sur Terre. C'est une protectrice

➤ **La destruction de l'ozone**

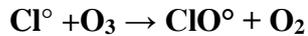
Diverses substances sont susceptibles de réagir avec l'ozone. L'atome de chlore est amené dans la stratosphère par diffusion, depuis la surface de la terre,

Le chlorure de méthyle (CH_3Cl) une molécule stable et très peu soluble dans l'eau, ce qui lui garantit une durée de vie très élevée dans la troposphère. Arrivé à haute altitude, le

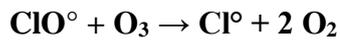
chlorure de méthyle, qui est normalement stable dans l'air, subit lui aussi l'attaque des rayons UV de grande énergie et se décompose pour libérer un atome de chlore.



Cet atome réagit alors avec l'ozone suivant :



Ensuite se déroule encore :



On constate qu'un seul atome de chlore suffit à détruire deux molécules d'ozone.

Chaque atome de chlore peut être recyclé de nombreuses fois en détruisant ainsi des milliers de molécules de O_3 .

Cependant le chlore doit aussi pouvoir disparaître du circuit, sinon il arriverait à épuiser tout l'ozone stratosphérique.

Effectivement, le chlore lui aussi réagit avec différents gaz pour former des espèces relativement stables. Soit, par exemple, avec du méthane



➤ **Perturbation de la couche ozone par excès de substances anthropiques : le N_2O et les CFC**

a) Perturbation par excès N_2O

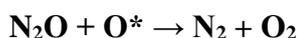
L'oxyde de diazote ou oxyde nitreux N_2O est produit par l'action de microorganismes du sol sur la matière organique : son émission est augmentée par l'apport d'engrais azotés artificiels. C'est un gaz très stable en troposphère puisque son temps de vie moyen dans l'air est de l'ordre de 150 ans.

Il a tout le loisir de migrer vers la stratosphère où l'action des rayons UV de courte longueur d'onde arrive à le décomposer :



O^* symbolise ici un atome d'oxygène excité :

L'apport d'un excès de N_2O ouvre de nouvelles voies de destruction :



Cette réaction fait apparaître une molécule active, qui provoque la disparition de l'ozone :



b) Perturbation de la couche ozone par les CFC (8)

Les chlorofluorocarbures ou CFC sont des gaz composés dérivés des alcanes, où tous les atomes d'hydrogène ont été substitués par des atomes de chlore et de fluor. Ils font partie des gaz qui contribuent à la dégradation de la couche d'ozone.

❑ Propriétés

Les chlorofluorocarbures sont en effet :

- ininflammables, les CFC ne peuvent pas prendre feu contrairement
- très peu coûteux à fabriquer : mais a fortement augmenté après leur interdiction ;
- extrêmement stables et inertes, presque autant que des gaz nobles, grâce à la nature de leurs liaisons entre les différents atomes les composant, qui font intervenir les nuages électroniques de ces derniers ; ce sont des liaisons covalentes fortes.

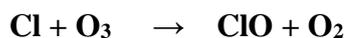
❑ Applications industrielles des CFC

Les CFC étaient utilisés dans plusieurs secteurs industriels :

- l'industrie du froid ;
- l'industrie des nettoyeurs industriels ;
- l'industrie des propulseurs ;
- l'industrie des mousses isolantes.

❑ CFC et trou d'ozone

Les CFC jouent un rôle significatif dans le développement du trou de la couche d'ozone. Une fois libérés dans l'atmosphère, ils ne sont pas détruits dans la troposphère par des réactions chimiques, et finissent par gagner la stratosphère, où ils sont photodissociés et où ils libèrent les atomes de chlore qui attaquent l'ozone :



❑ Un seul produit halo carboné est naturel

Le chlorure de méthyle, CH_3Cl est d'origine naturelle marine. Il est aussi certainement un composé de la fumée qui apparaît lors de la combustion des végétaux, qu'il s'agisse de brûlage des terres, ou de la culture sur brûlis.

c) Effet de serre



L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète.

Sans l'effet de serre, la température de la Terre ne dépasserait pas les -18°C . Ce phénomène naturel qui permet d'avoir une température moyenne de 15°C sur Terre, favorise le développement de la vie ce fragile équilibre est menacé.

Les activités humaines affectent la composition chimique de l'atmosphère et entraînent l'apparition d'un effet de serre additionnel, responsable en grande partie du changement climatique actuel. **L'activité humaine provoque une augmentation de l'effet de serre donc de la température.**

Une partie de l'énergie envoyée par le soleil est renvoyée vers l'espace pendant que l'autre est absorbée par l'atmosphère ou par le sol.

Au contact du rayonnement reçu, la terre s'échauffe. A l'inverse, la Terre se refroidit en renvoyant vers l'espace de la chaleur sous la forme d'un rayonnement infra rouge.

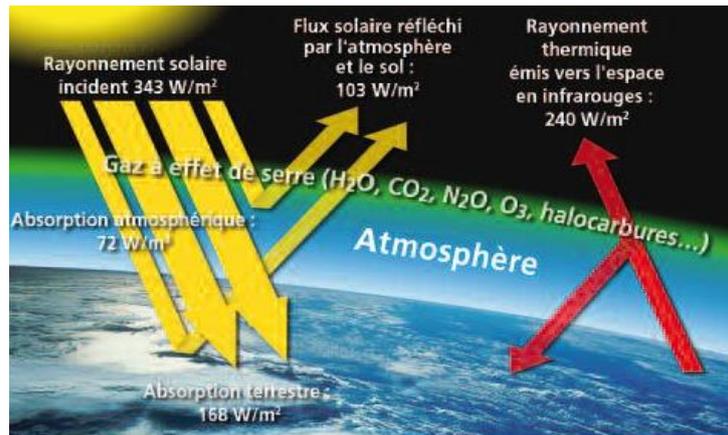


Figure 4. Représentation de l'effet de serre (9)

La plus grande partie de ce rayonnement est piégée par certains gaz présents naturellement dans l'atmosphère (gaz à effet de serre) réchauffant ainsi la basse atmosphère.

❑ Principaux gaz à effet de serre:

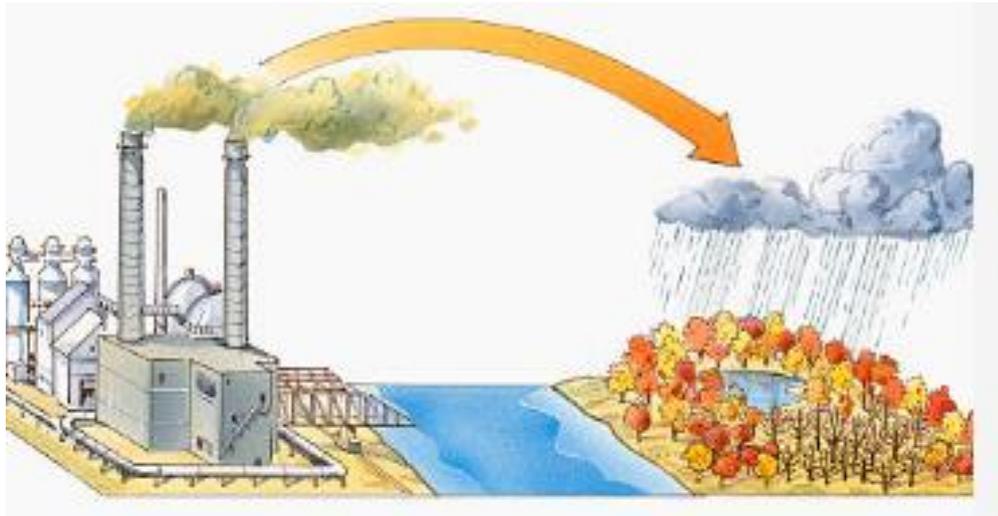
- vapeur d'eau
- dioxyde de carbone
- ozone
- méthane
- oxyde nitreux
- Hexafluorure de soufre

❑ Quels dégâts peuvent causer l'effet de serre?

Il peut causer la montée des eaux,

- des inondations,
- des grandes désertifications,
- des tempêtes plus fréquentes dans les pays des tropiques,
- la fonte des glaciers,
- des vagues de chaleurs ...

d) Les pluies acides



❑ Formation des pluies acides

Les pluies acides sont des précipitations atmosphériques humides ou sèches qui contiennent un taux d'acidité plus élevé que la normale et peuvent inclure des précipitations humides comme de la pluie, de la neige ou du brouillard, mais aussi des précipitations sèches comme de la fumée et de la poussière.

Les pluies acides résultent essentiellement de la pollution de l'air par le dioxyde de soufre (SO_2) produit par l'usage de combustibles fossiles riches en soufre, ainsi que des oxydes d'azote (NO_x) qui se forment lors de toute combustion de l'atmosphère, produisant de l'acide nitrique.

Il s'agit d'un problème global, car les polluants qui en sont à l'origine peuvent être transportés par le vent sur de longues distances. Même si elles peuvent sembler être un problème effrayant contre lequel vous ne pouvez rien faire,

La pluie acide est normalement acide avec un pH de 5 à 5,6. Cette faible quantité d'acide provient principalement de l'absorption du CO_2 gazeux naturel dans l'air et ceci à cause de l'effet de serre. Par contre, les pluies aujourd'hui sont dix fois plus acides pH de 4,6 à 4,0 que la normale, principalement à cause de l'addition de SO_2 , NO_x dans l'atmosphère.

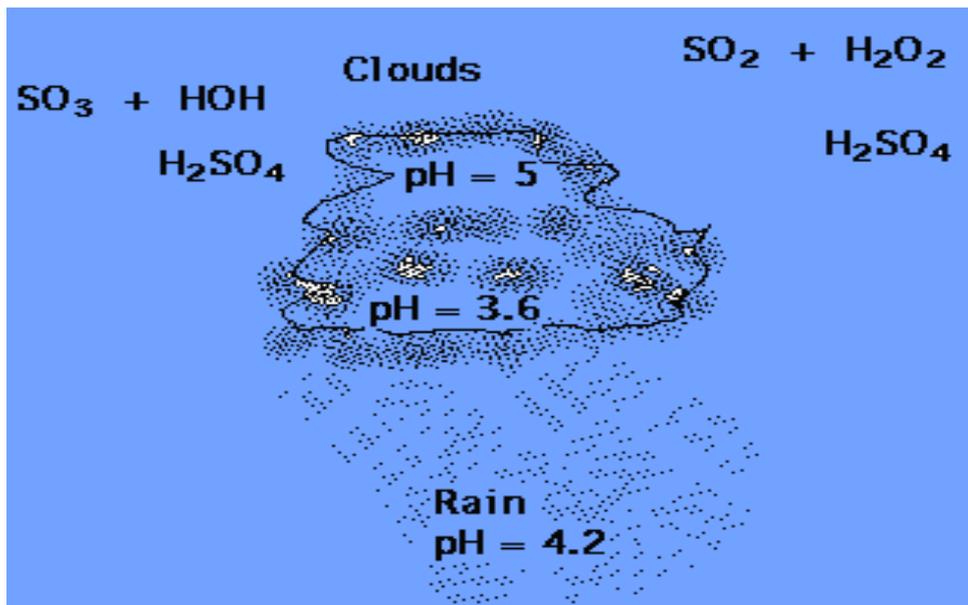


Figure 5. Représentation de la formation des pluies acides (2)

❑ **Comment lutter contre ce phénomène?**

Il existe quelques changements que nous pouvons effectuer dans notre vie quotidienne pour améliorer la situation et la plupart d'entre eux concernent nos choix en tant que consommateurs. Nous pouvons aussi jouer un rôle important en éduquant les autres, en les informant à propos des pluies acides et en leur indiquant quoi faire pour faire partie de la solution.

- **Conclusion**

Pour conclure, l'être humain, en raison de ses actions polluantes, engendre une dégradation non négligeable de l'écosystème, cela provoque la mort de nombreuses espèces animales comme végétales, le danger concernait tous les êtres vivants y compris les hommes car il est partout.

L'avenir reste sombre car presque tous les indicateurs de la qualité écologique sont au rouge et la plupart semblent devoir se dégrader (détérioration des sols, pollutions des nappes phréatiques, croissance de la quantité des déchets et dissémination des points noirs de pollution). Mais, heureusement les mentalités changent et les hommes sont de plus en plus sensibles à la prise en compte législative et politique de la pollution. Pour remédier à cela et lutter contre ces pollutions diverses, il reste à tenir compte des concepts de principe de précaution et de développement durable.