

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université d'Ibn Khaldoun – Tiaret –
FACULTE DES SCIENCES DE LA MATIERE
Département de Physique



POLYCOPIE DE COURS

Environnement

Présenté par : Dr. BALEH Hinane

Expertisé par :

- **Dr. IGGUI Kahina**
- **Dr. BENHAOUA Chahrazed**

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2022-2023

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre I : L'environnement

I.1.Définition de l'environnement.....	2
I.2.Les éléments de l'environnement.....	2
I.3. Le système de management environnemental.....	2
I.4.Les impact de l'homme sur l'environnement.....	2
I.5.Effets de l'industrialisation et de la technologie moderne sur l'environnement.....	3
I.6.Les applications de l'homme pour protéger l'environnement.....	4

Chapitre II : Pollution de l'environnement

II.1.Définition de la pollution.....	6
II.2. Les origines de la pollution.....	6
II.3. Sources de la pollution.....	7
II.4. Les types de pollution.....	9

Chapitre III : La pollution de l'air

III.1. L'importance de l'air pour les êtres vivants.....	10
III.2.Les couches atmosphériques.....	10
III.3.Définition de la pollution de l'air	12
III.4. Les polluants atmosphériques.....	12
III.5. conséquences de la pollution atmosphériques sur l'environnement.....	14
III.5.1.L'effet de serre.....	14
III.5.2.Le réchauffement climatique	15
III.5.3.L'Acidification.....	16
III.5.4.Eutrophisation.....	16
III.5.5.Pollution photochimique.....	17
III.5. 6.La destruction de la couche d'ozone.....	17

III.5. 7.Les pluies acides.....	19
---------------------------------	----

Chapitre IV : La pollution des sols

IV.1.Définition	21
IV.2. Les sources de pollution des sols.....	21
IV.3.Conséquences de la pollution des sols pollués.....	21
IV.4.Solutions proposées à la pollution des sols	22

Chapitre V : La Pollution de l'eau

V.1.Introduction.....	23
V. 2.Les sources d'eau.....	23
V.3. Les Sources de pollution de l'eau	23
V.4.Traitement des eaux usées.....	24
V.4.1.Prétraitement.....	24
V.4.2.Traitement primaire.....	26
V.4.3.Traitement secondaire.....	27
V.4. 4.Traitement tertiaire.....	31
V.4.4.5.Traitement quaternaire.....	32

Chapitre VI : La pollution des mers et des océans

VI.1.Introduction.....	36
VI.2.Définition de la pollution marine.....	36
VI.3.Causes et conséquences de la pollution marine.....	36
V.4. La marée noire.....	39
VI.4.1.Définition.....	39
VI.4.2. Causes de la marée noire.....	39

Chapitre VII : Le développement durable

VII.1. Introduction	41
---------------------------	----

VII.2.Définition	41
VII.3.Les fondements du développement durable	41
VII.4.Les principes fondamentaux du développement durable.....	42
VII.5. Objectifs du développement durable.....	4

Introduction :

L'environnement est l'ensemble des milieux naturels qui entoure l'être humain (air, sol, eau) mais aussi l'ensemble des activités humaines qui l'impacte (énergie, technologie...etc). Cependant, la nécessité de l'être humain à améliorer son mode de vie en utilisant l'industrie et la technologie a eu des impacts néfastes sur la planète d'où l'apparition des différents types de pollutions (pollutions atmosphériques, pollution marines et pollution des sols. Ces pollutions ont fait naître plusieurs phénomènes qui détruisent le monde comme le réchauffement climatique, l'effet de serre, les marées noires..etc.

Afin de protéger son environnement, depuis quelques années, l'homme essaye prendre des mesures pour limiter ou éliminer les impacts négatifs de ses activités sur la planète. Pour cela, il a inventé le concept du « développement durable » afin de mieux préserver la terre des menaces qui l'entourent.

Ce document académique est destiné aux étudiants de première année science de la matière et il est structuré d'une manière pratique et simple ; il est regroupé en sept chapitres : la première donne des généralités sur l'environnement, le deuxième chapitre représente une petite introduction à la pollution, ses origines et ses différents types, le troisième chapitre parle de la pollution atmosphérique et de différentes conséquences liées à ce type de pollution. Le chapitre quatre parle de la pollution des sols et le cinquième des la pollution des eaux ainsi que des procédés d'épuration des eaux usées. Dans le chapitre six, on trouve la pollution des mers et des océans et les conséquences de ce type de pollution sur l'environnement et le dernier chapitre est un rapide survol sur le développement durable et ses objectifs

Chapitre I : L'environnement : définition et relation avec l'homme

I.1.Définition de l'environnement

L'environnement est l'ensemble des éléments comme les animaux, les plante, les forêts, l'eau, l'atmosphère, les roches, les habitations, les objets qui entourent un individu. Il peut être aussi défini comme étant l'ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines .

I.2. Les éléments de l'environnement

L'environnement est notre cadre de vie : c'est l'ensemble des éléments naturels, faune, flore, et artificiels comme les constructions humaines, traces de l'activité humaine, et la pollution qui le constituent.

I.3.Le système de management environnemental :

Il constitue un outil de gestion d'une entité (entreprise, collectivité, association, etc.) qui lui permet de s'organiser de manière à estimer, réduire et maîtriser ses impacts sur l'environnement. On parle également de gestion environnementale.

I.4.Les impacts de l'homme sur l'environnement.

L'évolution des conditions de vie, l'augmentation de la population, l'accroissement des dépenses énergétiques, la nécessité d'augmenter la production de nourriture ou de biens de consommation ont conduit à de grandes avancées technologiques dans nos sociétés. Les conséquences de cette situation sont des problèmes environnementaux majeurs tels que la pollution environnementale, l'abattage des arbres ou l'urbanisation des terres.

Les impacts de l'homme sur l'environnement peuvent être divers, on cite :

A) L'Aménagement de l'espace

Il modifie son milieu de vie donc il modifie le paysage. (exemple :la déforestation)

B) L'exploitation des ressources :

L'être humain utilise l'eau pour le système d'irrigation, le pétrole pour l'énergie et la fabrication du plastique, le charbon pour l'énergie, les minerais pour l'industrie et les

produits électronique, la biodiversité (les plantes et les animaux) pour son alimentation le bois et les roches pour les habitations. Toutes ses ressources s'épuisent et risquent de disparaître si l'homme ne freine pas leur utilisations. D'autant plus que l'utilisation des pesticides en agriculture provoque un effet néfaste sur la biodiversité, la pollution des nappes phréatiques et l'utilisation des minerais engendre la pollution des sols d'où l'atteinte à la biodiversité.

I.5. Effet de l'industrialisation et de La technologie sur l'environnement

La grande majorité des activités habituelles de notre quotidien produisent de la pollution de différents types. On utilise de plus en plus d'électricité, de moyens de transport, de médicaments, de produits de nettoyage, du chauffage ou des aliments, et bien qu'on le fasse de manière indirecte, on produit toujours plus de déchets polluants.

L'impact des technologies sur l'environnement sont diverses, on cite :

- La salinisation, l'acidification, l'érosion ou la désertification des sols.



Fig. I.1: Erosion et désertification du sol provoqué par la pollution

- Contribution au changement climatique et production de smog au-dessus des villes.



Fig.I.2. Smog au dessus d'une ville

- Affectation la biodiversité, en provoquant une diminution de la variabilité génétique.
- Pollution de l'eau et sédimentation.
- Déforestation des forêts.
- Décharges de déchets

I.6.Les applications de l'homme pour protéger l'environnement

Pour survivre l'homme doit protéger son environnement. Pour cela il a commencé à penser aux moyens qui lui permettront de bien vivre sans détruire son milieu de vie, parmi les solutions de l'homme pour protéger son environnement on cite :

- L'exploitation non excessive des ressources naturelles.
- L'utilisation des écosystèmes artificiels pour régénérer la biodiversité
- La lutte contre les pollutions.
- Le Recyclage : les progrès technologiques ont permis d'augmenter les processus de recyclage des déchets générés par les différentes activités et il est encore possible d'innover davantage dans ce domaine.
- La technologie permet une plus grande connaissance technique et scientifique de l'environnement, contribuant à la conception et à la création de biens ou de services qui favorisent la conservation de l'environnement.
- Le développement de nouvelles formes d'énergie respectueuses de l'environnement, comme l'énergie solaire ou éolienne.

- Fabrication des systèmes qui permettent de contrôler la consommation d'énergie à la maison ou sur le lieu de travail et qui permettent une élimination écologique des déchets chimiques.
- Invention du concept du développement durable, qui signifie répondre aux besoins d'aujourd'hui sans compromettre les générations futures à répondre aux leurs.

Chapitre II : Pollution de l'environnement

II.1. Définition de la pollution :

La pollution est la dégradation d'un écosystème ou de la biosphère par l'homme. C'est l'introduction d'entités (physiques, chimiques ou biologiques), ou de radiations altérant le fonctionnement de cet écosystème.

Pollution vient du latin *polluere* (*luo*, « baigner », avec le préfixe *por-*) qui signifie « souiller en mouillant », « salir » et surtout « profaner ».



Fig. II.1. Pollution d'une plage de la mer rouge (Egypte) par les bouteilles en plastique

II.2. Les origines de la pollution

La pollution selon ses origines peut être humaine (anthropique) ou naturelle.

a) La pollution d'origine humaine (anthropique) :

Elle possède de nombreuses formes 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, comme les émissions des pots d'échappement ou des installations de combustion ou bien les déchets de produits de consommation courante (emballages, batteries usagées)...etc.

b) la pollution d'origine naturelle (environnementale) :

Contrairement à la première, cette pollution n'est pas causée par l'être humain. Elle est due :

- Aux conséquences directes ou indirectes de catastrophes naturelles, tels que le volcanisme ;
- A une pollution liée à des phénomènes naturels, tels que les éruptions solaires ;
- A une pollution provoquée par les excréments des animaux ou leur décomposition sur les sols et dans les eaux.



Fig.II.2.Pollution naturelle par une éruption volcanique

II.2. Les sources de pollution

Tous les domaines de l'activité humaine sont susceptibles de polluer la planète. Généralement on peut les classer en quatre grands secteurs émetteurs.

1) Les transports

Dans ce secteur, on prend en considération les émissions de polluants inhérentes non seulement au transport routier, mais également aux transports aérien, ferroviaire, maritime ou fluvial.

Ces émissions de polluants sont le fait de la combustion des énergies fossiles, mais aussi de l'abrasion des pièces mécaniques, entre elles ou avec les supports avec lesquelles elles sont en contact, comme la route.

Le secteur des transports fait l'objet d'une attention toute particulière des autorités qui imposent des normes d'émissions toujours plus exigeantes. Les constructeurs ont donc adopté des démarches de recherche-développement vertueuses et produisent des véhicules toujours

plus performants d'un point de vue environnemental. Les émissions liées au transport diminuent donc depuis une quinzaine d'années. Toutefois, ces résultats ont longtemps été contrebalancés par une croissance continue du trafic, dans le domaine du transport routier notamment.

2) Les secteurs résidentiels et tertiaires

Les lieux où nous vivons et où nous travaillons sont également d'importants émetteurs de polluants. Or il existe un lien immédiat entre la production, la consommation d'énergie et les émissions de polluants atmosphériques.

Ainsi, la combustion d'énergies fossiles (charbon ou fioul) ou de biomasse (bois par exemple) génèrent des gaz à effets de serre et/ou des particules fines.

On sous-estime souvent l'impact de la combustion de bois de chauffage sur l'environnement. Ce type de chauffage émet certes peu de gazes à effet de serres, mais il peut émettre de nombreuses particules et composés toxiques qui nuisent à la santé de la population.

3) L'industrie

L'industrie est l'un des plus grands émetteurs de polluants atmosphériques. Cependant, les contraintes législatives qui ont vu le jour depuis une quarantaine d'années ont incité les industriels à accomplir des efforts considérables pour limiter leurs émissions.

Certaines activités, telles que les cimenteries, la métallurgie, les usines d'incinération ou les centrales à charbon, sont d'ailleurs soumises à autorisation et à déclaration annuelle de leurs émissions.

Les industriels ont employé de nombreux procédés (dépollution, innovation, etc.) pour parvenir à répondre aux contraintes réglementaires. Les baisses observées peuvent aussi être fortement corrélées à une baisse de l'activité, qui fait suite à la crise économique.

4) L'agriculture

Comme d'autres secteurs d'activité, l'agriculture est une source de pollution atmosphérique. Elle participe aux émissions vers l'atmosphère de composés azotés, notamment l'ammoniac (NH_3) et les oxydes d'azote (NO_x), de méthane, de particules et de pesticides. Ces émissions sont liées aux pratiques d'élevage (bâtiments, stockage, épandage, etc.) et aux pratiques culturales (préparation du sol, fertilisation, récolte, etc.).

Dans le Grand Est, l'agriculture contribue à 96 % des émissions d'ammoniac, 7 % des émissions d'oxydes d'azote liées à l'utilisation d'engins agricoles, 32 % des émissions de particules PM₁₀ et 17 % des émissions de particules PM_{2,5} (de diamètre inférieur à 2,5 µm).

II.3. Les types de pollution.

La pollution est classée en plusieurs types selon le milieu qu'elle touche :

- La pollution de l'air. ...
- La pollution du sol terrestre. ...
- Pollution de l'eau. ...
- La pollution des déchets nucléaires et chimiques. ...
- Les autres formes de pollution.

Chapitre III : La pollution de l'air

III.1.L'importance de l'air pour les êtres vivants :

L'air est un élément vital de la vie sur notre planète. Ce n'est pas seulement important pour l'être humain, mais pour tous les êtres vivants. L'importance de l'air ne peut être contestée, tout comme celle de l'eau. Pour connaître l'importance de l'air, il faut connaître l'importance des éléments qui le constituent.

L'air se compose de plusieurs gaz, on cite :

L'azote : Ce gaz est celui qui constitue presque toute l'épaisseur de la composition de l'air. C'est dans 78% de l'air atmosphérique. C'est important car, bien que ce soit un gaz inerte pour nous, c'est un composant essentiel des acides aminés et des acides nucléiques. Ces éléments sont essentiels pour les êtres vivants. L'être humain est composé de 3% d'azote.

L'oxygène : Il fait partie d'environ 20% de l'air que nous respirons. Bien que l'azote soit important, l'oxygène est l'élément le plus important pour les êtres vivants. Il est nécessaire pour la respiration. On retrouve également cet élément dans notre corps, notamment dans le système respiratoire.

Le dioxyde de carbone : Bien qu'il soit constamment dit que les concentrations de dioxyde de carbone augmentent en raison de l'augmentation de l'effet de serre et du changement climatique, il n'occupe que 0,03% de l'air. C'est un élément que nous expulsons en tant que déchet pendant le processus de respiration. Il est aussi utilisé pour le processus de photosynthèse pour les plantes.

L'eau : C'est un autre élément vital pour la vie humaine et pour presque tous les êtres vivants. Dans l'atmosphère, on le retrouve également dans un pourcentage de 0,97% sous forme de vapeur d'eau. Sa concentration dépend de l'endroit où nous mesurons. Les concentrations de vapeur d'eau dans l'atmosphère sont plus élevées au niveau de la mer

III.2.Les couches atmosphériques

L'atmosphère terrestre est divisée en quatre couches. Chaque couche est caractérisée par un gradient de température différent en fonction de l'altitude.

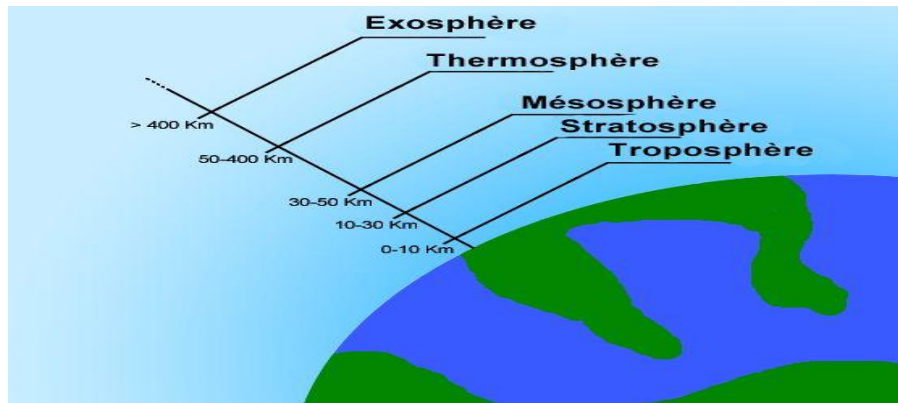


Fig.III.1 : Les couches atmosphériques

La troposphère :

La troposphère (entre 0 et environ 10 km) est la première couche au-dessus de la surface de la Terre et contient environ 85 à 90% de la masse totale de l'atmosphère de la Terre. Elle se caractérise par une baisse de la température avec l'altitude croissante.

Le profil thermique de la troposphère résulte en grande partie du réchauffement de la surface de la Terre par le rayonnement solaire entrant. La chaleur est ensuite transférée dans la troposphère par une combinaison de transfert convectif et turbulent. Le temps se passe dans la troposphère terrestre.

La stratosphère :

Dans la stratosphère (entre environ 10 et 30 km), la température augmente en fonction de la hauteur. Ce réchauffement résulte de l'absorption directe du rayonnement solaire par la couche d'ozone, empêchant ainsi une grande partie du rayonnement ultraviolet nocif du soleil d'atteindre la surface de la Terre.

La mésosphère :

La mésosphère est la couche suivante de l'atmosphère (de 30 à 50 km), caractérisée par des températures qui diminuent à mesure que l'on monte jusqu'à -90°C en moyenne. Beaucoup de météores brûlent dans cette couche en pénétrant dans l'atmosphère de la Terre.

La thermosphère :

La thermosphère s'installe là où les températures augmentent régulièrement avec l'altitude. C'est la couche de l'atmosphère qui est exposée pour la première fois au rayonnement solaire. La thermosphère comprend également l'ionosphère, une région de l'atmosphère remplie de particules chargées, où se trouvent en particulier les aurores.

L'exosphère

La limite supérieure de l'atmosphère terrestre est l'exosphère où l'atmosphère se confond avec l'espace.

III.3.Définition de la pollution de l'air

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est une dégradation de la qualité de l'air. Elle est caractérisée par des mesures de polluants chimiques, biologiques ou physiques (appelés « aérocontaminants »). Elle peut avoir des conséquences importantes sur la santé humaine, sur les êtres vivants et sur le climat.

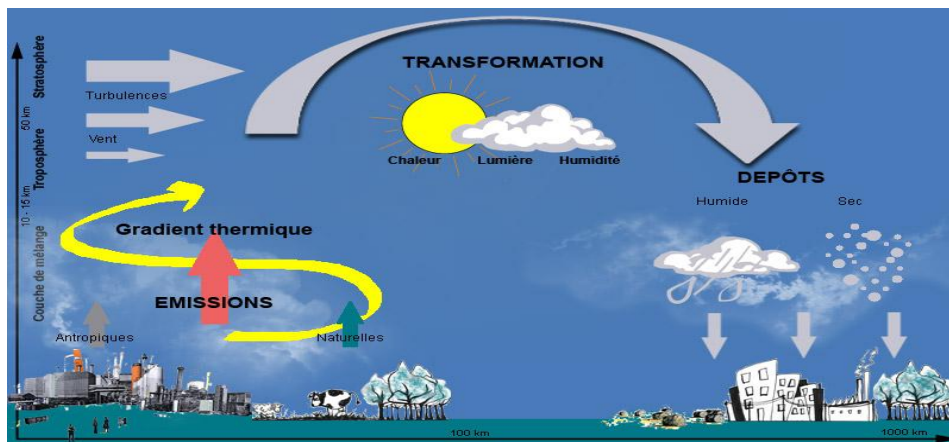


Fig.III.2 .Cycle de la pollution atmosphérique

III.4.Les polluants atmosphériques

III.4.1. Définition

Les polluants atmosphériques sont des substances gazeuses ou particulaires introduites par les activités humaines dans l'atmosphère ou naturellement présentes dans cette dernière mais dont la concentration est accrue par suite de diverses sources technologiques.

III.4.2. Classification des polluants atmosphériques :

A) selon leurs caractéristiques physico-chimiques :

Les effluents gazeux :

Ce sont des gaz dérivés oxygénés du soufre (SO_2 , SO_3 , H_2SO_4), des dérivés oxygénés d'azote (NO , NO_2 , HNO_3 , HNO_2), des oxydes de carbone (CO_2 , CO) ou autres (HF , HCl ... etc).

Les particules :

PM = Elles peuvent être de substances minérales ou organiques. Elles représentent la fraction des liquides ou des solides en suspension dans le milieu gazeux « AEROSOL ». Ces particules sont classées en fonction de leur taille en :

- 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 .

Ces particules sont aussi étudiées selon leur composition chimique. Les métaux lourds (Pb, Cd, Hg, As, Cr, Ni) font partis de ces particules. Ils sont très dangereux pour l'environnement car ils sont non dégradables. Les Composés Organiques Volatils (COV) sont aussi une catégorie de cette famille. Ils regroupent une multitude de substances hydrocarbonées, solvants,.....etc. Dans cette famille de polluants, on trouve aussi les Polluants Organiques Persistants (POPs) qui sont des composés organiques toxiques à basse concentration, semi-volatiles et circulent plus ou moins bien dans l'air. Ils sont lipophiles et persistants dans l'environnement.

C) Selon leur origine

Les polluants selon leur origine sont classés en :

Les polluants primaires : Ce sont des polluants directement rejetés dans l'air, on trouve des gaz comme : H_2S , SO_2 , NO , NO_2 , NH_3 , CO , CO_2 , COV , des Particules comme les métaux (Pb, Hg, Cd, As...) ou des POP (pesticides, dioxines, furanes...)

Les polluants secondaires

Ce sont des polluants qui ont subi une transformation chimique dans l'air à partir de polluants primaires : O_3 , NO_2 , HCHO , H_2SO_4 , HNO_3 .

III.5. Les conséquences de la pollution atmosphérique sur l'environnement :

La pollution atmosphérique est le type de pollution qui a le plus d'impact sur notre planète car ses conséquences affectent le monde entier. Parmi ces conséquences en cite :

L'effet de serre :

III.5.1.L'effet de serre :

L'effet de serre est un phénomène naturel causé par les échanges d'énergie entre le soleil et la terre. Les rayonnements infrarouges (IR) de grande longueur d'onde, sont réfléchis par des composés présents dans l'atmosphère appelés gaz à effet de serre (GES) cela provoque une augmentation de la température de l'air.

Les gaz responsables de cet effet de serre sont : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), la vapeur d'eau (H_2O), l'ozone (O_3), le protoxyde d'azote (N_2O), l'hexafluorure de soufre (SF_6) et les halocarbures (dont les CFC). Une partie du rayonnement infrarouge n'est pas renvoyée vers l'espace. L'énergie absorbée est transformée en chaleur.

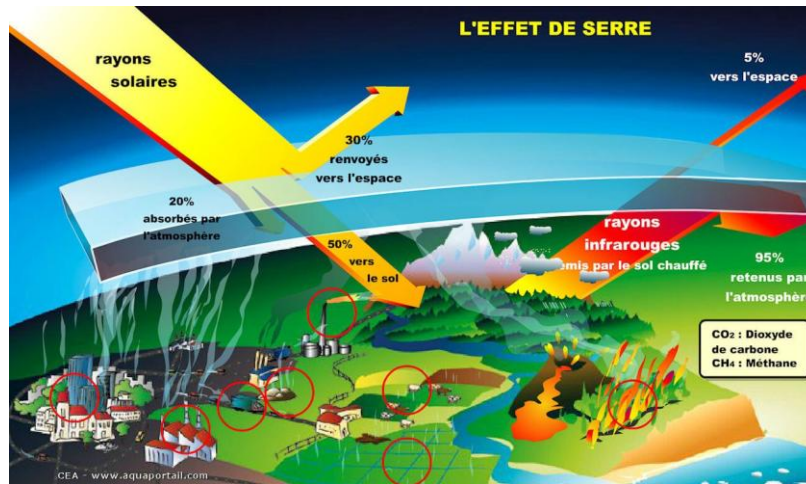


Fig. III.3 : Effet de serre

Les principales causes de cet effet de serre sont les raffineries de pétrole et les centrales nucléaires.

III.5.2. Le réchauffement climatique

Définition :

Le réchauffement climatique est un phénomène global qui est défini comme étant une transformation du climat caractérisée par une augmentation de la température moyenne de la surface de la terre.

Les conséquences du réchauffement climatique

L'augmentation de la température moyenne de la terre donne une modification des équilibres naturels (températures, cycle de l'eau, courants marins et aériens...). Le changement du climat est responsable de plusieurs perturbations. Parmi les conséquences les plus rapides: l'apparition de plus en plus des événements météorologiques extrêmes comme les inondations, les tempêtes, les cyclones, les sécheresses, les feux de forêts et les épisodes caniculaires...)

D'autres conséquences du réchauffement climatiques évoluent d'une façon plus lente comme la fonte des glaces et l'élévation du niveau des mers, l'érosion progressive des côtes, la désertification, la raréfaction des ressources, le bouleversement des écosystèmes et la disparition de certaines espèces.



Fig.III.4 :Inondation en Australie comme conséquence du réchauffement climatique

Ces impacts peuvent être très différents d'une région à l'autre, mais ces phénomènes climatiques concernent toute la planète et s'intensifieront au cours des prochaines décennies.



Fig.III.4. : Fente du glacier McCarty en ALASKA

III.5.3.L'Acidification

L'acidification est l'augmentation de l'acidité d'un sol, d'un cours d'eau ou de l'air en raison des activités humaines. Ce phénomène modifie les équilibres chimiques et biologiques et affecte gravement les écosystèmes. L'augmentation de l'acidité de l'air est principalement

causées par les émissions de SO_2 , NO_x et HCl , qui s'oxydent et donnent les acides HNO_3 et H_2SO_4 . Ces acides tombent sur terre sous forme de pluies dont le pH avoisine 4.

III.5.4.Eutrophisation

L'eutrophisation correspond à une perturbation de l'équilibre biologique des sols et des eaux due à un excès d'azote par rapport à la capacité d'absorption des écosystèmes.



Fig. III.5 : Eutrophisation de l'eau par des algues causée par un excès d'azote

III.5.5.Pollution photochimique

C'est une pollution causée par un mélange complexe de polluants formés dans l'air et le rayonnement ultra violet .Elle fait intervenir des phénomènes catalytiques, liées aux ultraviolets solaires. Le principal polluant photochimique est l'ozone.

III.5. 6.La destruction de la couche d'ozone

➤ **Définition :**

La destruction de la couche d'ozone ou le « Trou de la couche d'ozone » correspond à un amincissement voire une disparition de cette couche qui résulte d'un déséquilibre entre la production et la destruction de l'ozone dans la stratosphère.

➤ **Epaisseur de la couche d'ozone**

L'épaisseur de la couche d'ozone est mesurée en unité Dobson (DU), 1 DU correspondant à 2 686 100 molécules d'ozone par mètre carré. Cette épaisseur diffère de la

latitude et les saisons. La couche est mince au niveau de l'équateur (environ 270 DU) et plus épaisse au niveau des pôles (environ 300 DU), elle est plus mince en automne et plus épaisse au printemps.

➤ **Appauvrissement de la couche d'ozone**

Il existe deux types d'appauvrissement de la couche d'ozone :

- Le premier est global, et désigne un appauvrissement lent et régulier de l'ozone stratosphérique : il est de l'ordre de 4 % par décennie, et se produit constamment depuis les années 1970.

Le second est une perte très importante de l'ozone au niveau des pôles ; ce phénomène est saisonnier et est appelé « **trou d'ozone** »

➤ **Les étapes de destruction de la couche d'ozone :**

1. Emission des (CFC) et autres composés halogènes par les activités humaines et les processus naturels à la surface de la terre ;
2. Accumulation de ces composés chimiques dans l'atmosphère inférieure (troposphère) car ils sont très stables et non réactifs ;
3. Transport de ces composés chimiques vers la stratosphère par la circulation atmosphérique ;
4. Conversion de ces composés en composés réactifs dans la stratosphère par des réactions chimiques impliquant les rayons ultraviolets, ces composés réactifs étant responsables de la destruction de l'ozone stratosphérique ;
5. Elimination de ces composés par l'humidité dans les nuages et la pluie au niveau de la troposphère.

➤ **Les causes de destruction de la couche d'ozone:**

Les causes naturelles

Trois grands processus naturels ont pu affecté la couche d'ozone

- Les rayonnements solaires

- Vents stratosphériques
- Grandes éruptions volcaniques explosives

Causes anthropiques (causées par l'être humain)

L'amincissement de la couche d'ozone est causée par le rejet de l'être humain de certains composants très nocifs dans l'air à citer les chlorofluorocarbures (CFC), les halons, les hydrochlorofluorocarbures, le bromure de méthyle, le tétrachlorure de carbone mais aussi du dichlorométhane CH_2Cl_2 , du perchloroéthylène C_2Cl_4 et du 1,2-dichloroéthane $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$.

- **Conséquences de la destruction de la couche d'ozone**

Effet sur la santé humaine :

L'amincissement de la couche d'ozone stratosphérique engendre l'exposition de l'homme aux rayonnements ultraviolets. Ces UV peuvent provoquer plusieurs types de cancer de la peau chez l'homme dont le carcinome basocellulaire et le cancer épidermoïde. Ils peuvent aussi causer la cataracte et de photokératite des yeux.

Impact sur les écosystèmes :

Les rayons UV affectent aussi la photosynthèse chez les plantes, et modifient les processus biologiques de leur développement et peuvent changer leur temps de floraison.

Impact sur l'environnement :

L'appauvrissement de la couche d'ozone entraîne une diminution de l'ozone dans la stratosphère et une augmentation de l'ozone présent dans la basse atmosphère. L'ozone dans la basse atmosphère est un polluant et un gaz à effet de serre.

Le trou dans la couche d'ozone pourrait contribuer de plusieurs manières au réchauffement climatique

- **Solutions pour protéger la couche d'ozone :**

Le protocole de Montréal :

Le 16 septembre 1987, les Nations unies ont adopté le protocole de Montréal sur les substances qui dégradent la couche d'ozone, il est considéré comme un accord de protection de l'environnement. Il impose aux pays développés et en développement des obligations

d'élimination progressive pour toutes les principales substances appauvrissant la couche d'ozone, y compris les CFC, les halons et les produits chimiques de transition moins nocifs comme les HCFC. Le Protocole vise 96 produits chimiques dans des milliers d'applications dans plus de 240 secteurs industriels.

III.5. 7. Les pluies acides

➤ Définition :

Les pluies acides sont des retombées humides dont l'acidité est anormalement élevée. Ainsi, la pluie, la neige, le brouillard ou encore le smog peuvent être considérées comme des pluies acides.

➤ Localisation des pluies acides :

Les pluies acides se forment principalement dans les régions industrialisées.

En Europe, avant les années 2000, certaines régions industrielles comme la Ruhr, la Lombardie ou les régions minières de l'Angleterre étaient particulièrement concernées par les pluies acides.

➤ Les conséquences des pluies acides

Conséquences sur les milieux aquatiques

L'acidification des eaux, aussi bien celle des rivières, des lacs et des océans, est très dangereuse. En effet, des eaux trop acides empêchent le développement de certaines espèces aquatiques. Toutes les espèces ne peuvent pas s'adapter à un milieu acide, certaines finissent par disparaître et cela peut provoquer une stérilisation du milieu.

Conséquences sur la flore

Pour certains champignons, lichens et autres végétaux l'acidité du milieu favorise leur croissance. Cependant d'autres végétaux souffrent au contraire de ce changement.

Effets sur les bâtiments

Tout comme la faune et la flore, tous les bâtiments ne sont pas conçus pour résister à l'acidité. C'est notamment le cas des bâtiments historiques construits avec des pierres tendres.

comme le calcaire ou le marbre. Les cathédrales de certaines villes d'Europe ont ainsi été touchées par les conséquences des pluies acides au cours du 20ème siècle.

Les solutions contre les pluies acides

- Choisir des modes de transport propres : préférer les transports en commun, améliorer la technologie dans l'industrie automobile ou développer le covoiturage.
- Opter pour des énergies décarbonnées
- Rendre les industries moins polluantes
- Développer une agriculture sans sulfate
- Réhabiliter les zones acidifiées

Chapitre IV : Pollution du sol

IV.1.Définition

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé, des plantes ou des animaux. La contamination se fait alors soit par voie digestive (consommation d'eau polluée par exemple), ou par voie respiratoire (poussières des sols pollués dans l'atmosphère).

IV.2.Les sources de pollution des sols :

Ce sont la plupart du temps les activités humaines qui sont à l'origine des pollutions des sols :

- Les installations industrielles peuvent, dans le cas d'une fuite, d'un accident, ou encore dans l'abandon d'une usine, provoquer une pollution du site.
- L'épandage des produits phytosanitaires et les rejets des bâtiments d'élevage, des exploitations agricoles sont également à l'origine de nombreuses pollutions des sols (notamment par l'azote et les phosphates), qui vont à leur tour amener la contamination des eaux de ruissellement, et par la suite les cours d'eaux.
- Les actions des collectivités territoriales peuvent également être à l'origine d'une pollution des sols : gestion des décharges et des stations d'épuration, utilisation de produits phytosanitaires par les services des espaces verts, gestion de jardins partagés, etc.
- Des événements géographiquement éloignés peuvent également produire des pollutions de sols, qu'il s'agisse d'événements naturels (les retombées des cendres d'un volcan suite à une forte éruption par exemple), ou technologiques (retombées radioactives suite à un essai nucléaire ou une catastrophe, comme lors de l'accident de Tchernobyl).

IV.3.Conséquences de la pollution du sol

La perte de qualité de la terre entraîne une série de conséquences négatives qui vont de leur dévaluation à l'impossibilité de les utiliser pour la construction, la culture ou, tout simplement, pour avoir un écosystème sain.

Dans les conséquences de la pollution du sol on retrouve :

- Perte de la flore et de sa diversité.

- Difficultés expérimentées dans les domaines de l'agriculture et de l'élevage.
- Contamination et perte de la diversité de la faune.
- Détérioration du paysage.
- Appauvrissement global de l'écosystème, qu'il soit marin ou terrestre.



Fig. IV. Pollution du sol

IV.4. Les solutions proposées à la pollution du sol :

La prévention est la meilleure solution pour résoudre le problème de la pollution du sol, mais il est également vrai qu'il n'est pas toujours possible d'éviter ce type de pollution.

La solution au problème de la pollution du sol passe donc par :

- Prévention et sensibilisation.
- L'interdiction des pratiques nuisibles.
- Amélioration des processus de recyclage.
- Amélioration des procédés de purification de l'eau.
- Utilisation des énergies renouvelables.
- Rénovation du système d'égouts.

Chapitre V : La pollution de l'eau

V.1. Introduction

La Terre porte le nom de planète bleue parce que c'est ainsi qu'elle apparaît depuis l'espace du fait que sa surface est couverte d'eau à 70 %. Mais si l'eau est abondante, l'eau douce ne représente que 2.53 % de toute l'eau de la planète et seule l'eau douce soutient la vie terrestre, notamment la vie humaine. L'eau douce est donc un bien rare et précieux qui, s'il est contaminé, peut ne plus pouvoir remplir ses différents rôles écologiques. Or, l'humanité s'approprie une part significative de l'eau douce, la retire aux écosystèmes terrestres dont nous dépendons tant, la rend inaccessible, y compris pour notre propre utilisation, et la contamine. Dans ce contexte, il est crucial de savoir comment l'eau est répartie sur Terre et dans quelles proportions.

V.2. Les sources d'eau

Le volume total d'eau que porte la Terre est de 1,4 milliards de km³ ou 1,4 billions de m³ (1,4.10¹² m³). De ce volume, 2,53 %, soit 35 millions de km³ (ou 35 Gm³), est de l'eau douce (tableau ci-dessous). La majeure partie de l'eau de la planète est salée et est contenue dans les différentes mers et océans. Une petite partie d'eau salée se retrouve aussi dans des aquifères souterrains (1 %) et dans des lacs (0,006 %).

V.3. Les sources de pollution de l'eau

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire.

Cette pollution peut avoir des origines diverses :

- La pollution industrielle : avec les rejets de produits chimiques comme les hydrocarbures ou le PCB rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines

- La pollution agricole : avec les déjections animales mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais et utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines.
- La pollution domestique : avec les eaux usées provenant des toilettes, les produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), les peintures, solvants, huiles de vidanges, hydrocarbures...
- La pollution accidentelle : avec le déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel et qui viennent perturber l'écosystème

V.4. Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées est l'ensemble des procédés visant à dépolluer l'eau usée avant son retour dans le milieu naturel ou sa réutilisation. Les eaux usées sont les eaux qui à la suite de leur utilisation domestique, commerciale ou industrielle sont de nature à polluer les milieux dans lesquels elles seraient déversées. C'est pourquoi, dans un souci de protection des milieux récepteurs, des traitements sont réalisés sur ces effluents collectés par le réseau d'assainissement urbain ou privé. L'objectif des traitements est de minimiser l'impact des eaux usées sur l'environnement. Lorsque les eaux traitées sont réutilisées, on parle de recyclage des eaux usées.

À l'échelle mondiale, le traitement des eaux usées constitue le premier enjeu de santé publique : plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à l'absence de traitement des eaux et au manque d'hygiène induit.

Les traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle, on parle alors de traitement des eaux décentralisé. La plupart des procédés intensifs de traitement fonctionnent selon les mêmes processus de base, mais des différences plus ou moins importantes peuvent exister dans la manière de mettre en place ces processus. Le traitement se divise généralement en plusieurs étapes.

Il existe également des procédés dits extensifs de traitement plutôt adapté aux charges réduites. On distingue les cultures libres : lagunage ; et les cultures fixées : Infiltration-percolation, filtre planté, marais filtrant à écoulement vertical ou horizontal.

Dans ce qui suit nous allons citer les étapes et les procédés employés pour le traitement des eaux usées.

V.4.1. Le Prétraitement

Le prétraitement consiste en trois étapes principales qui permettent de supprimer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement. Toutes les stations d'épuration ne sont pas forcément équipées des trois, seul le dégrillage est généralisé, les autres sont le dessablage et le déshuilage.



Fig. V.1. Dessablage des eaux usées



Fig .V.2.Dégrillage et tamisage des eaux usées

Le dégrillage et le tamisage permettent de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, papier... etc. En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (dans les cas où il y aurait un système de pompage).

Dessablage

Le dessablage permet, par décantation, de retirer les sables mélangés dans les eaux par ruissellement ou amenés par l'érosion des canalisations. Ce matériau, s'il n'était pas enlevé, se déposerait plus loin, gênant le fonctionnement de la station et provoquant une usure plus rapide des éléments mécaniques comme les pompes. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques, la dégradation de celles-ci provoquant des odeurs et une instabilité mécanique du matériau.



Fig .V.3.Dégraissage des eaux usées

C'est généralement le principe de la « flottation par air dissous » qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations. Leur élimination est essentielle également pour limiter les problèmes de rejets de particules graisseuses, les difficultés de décantation ou les perturbations des échanges gazeux.

Le dessablage et le déshuilage se réalisent le plus souvent dans un même ouvrage : l'eau polluée se déplaçant lentement, pendant que les sables décantent au fond les graisses remontent en surface.

Le déshuilage par coalescence permet un niveau de déshuilage très important.

V.4.2.Traitement primaire

En épuration des eaux usées, le traitement primaire est une simple décantation qui permet de supprimer la majeure partie des matières en suspension. Ce sont ces matières qui sont à l'origine du trouble des eaux usées.

L'opération est réalisée dans des bassins de décantation dont la taille dépend du type d'installation et du volume d'eau à traiter. De la même manière, le temps de séjour des effluents dans ce bassin dépend de la quantité de matière à éliminer et de la capacité de l'installation à les éliminer.

La décantabilité des matières dans un bassin est déterminée par l'indice de Mohlman. Cet indice est déterminé chaque jour dans les stations d'épuration importantes afin de vérifier le bon fonctionnement du système.

À la fin de ce traitement, la décantation de l'eau a permis de supprimer environ 60 % des matières en suspension, environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30 % de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO supprimée était induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant.

Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé « boues primaires ».

Le traitement primaire des eaux usées domestiques tend à disparaître en France avec la généralisation du traitement secondaire à boues activées qui comporte déjà une étape de décantation⁵. C'est notamment le cas lorsque les effluents sont régulièrement dilués par des eaux de pluie et donc moins décantables. Il est alors plus économique de se passer de traitement primaire et de surdimensionner le traitement secondaire.

V.4.3.Traitement secondaire

Le traitement secondaire se fait le plus couramment par voie biologique, mais une voie physico-chimique peut la remplacer ou plus souvent s'y ajouter pour favoriser la floculation et coagulation des boues ou permettre, par exemple, la fixation des phosphates.

Traitement par voie biologique.



Fig. V.4. Vue par le ciel d'une station d'épuration

Traitement des composés organiques

Le traitement biologique le plus simple consiste à éliminer les composés organiques tels que sucres, graisses et protéines qui sont nocifs pour l'environnement, puisque leur dégradation implique la consommation de dioxygène, dissous dans l'eau, alors qu'il est indispensable à la survie des animaux aquatiques. La charge en polluants organiques est mesurée communément par la DBO5 (demande biologique (ou biochimique) en oxygène sur cinq jours) ou la demande chimique en oxygène (DCO). Les bactéries responsables de la dégradation des composés organiques sont hétérotrophes. Pour accélérer la dégradation des composés organiques, il faut apporter artificiellement de l'oxygène dans les eaux usées.

La nitrification

Si les réacteurs biologiques permettent un temps de contact suffisant entre les effluents et les bactéries, il est possible d'atteindre un second degré de traitement : la nitrification. Il s'agit de l'oxydation de l'ammoniaque en nitrite, puis en nitrate par des bactéries nitrifiantes. L'ammoniaque est un poison pour la faune piscicole. Les bactéries nitrifiantes sont autotrophes (elles fixent elles-mêmes le carbone nécessaire à leur croissance dans le CO_2 de l'air). Elles croissent donc beaucoup plus lentement que les hétérotrophes. Une station d'épuration doit d'abord éliminer les composés organiques avant de pouvoir nitrifier.

La dénitrification

Une troisième étape facultative consiste à dénitrifier (ou dénitrater) les nitrates résultants de la nitrification. Cette transformation peut se faire en pompant une partie de l'eau chargée de nitrates de la fin de traitement biologique et en la mélangeant à l'eau d'entrée, en tête de traitement. La dénitrification se passe dans un réacteur anoxique, en présence de composés organiques et de nitrates. Les nitrates (nutriments à l'origine de l'envahissement d'algues dans certaines mers, en particulier la Mer du Nord) sont réduits en diazote (N_2) qui s'échappe dans l'air. La dénitrification se fait généralement, sur les petites stations d'épuration, dans le même bassin que la nitrification par syncopage (arrêt de l'aération, phase anoxie). Cette étape tend à se généraliser pour protéger le milieu naturel.

Traitement par voie physico-chimique

Il regroupe l'aération et le brassage de l'eau mais aussi une décantation secondaire (dite aussi clarification). À partir de ce dernier élément, l'eau clarifiée est rejetée (sauf traitement tertiaire éventuel) et les boues décantées sont renvoyées en plus grande partie vers le bassin d'aération, la partie excédentaire étant dirigée vers un circuit ou un stockage spécifique.

Le traitement secondaire peut comporter des phases d'anoxie (ou une partie séparée en anoxie) qui permet de dégrader les nitrates.



Fig. V.5. Traitement par voie physico-chimique des eaux usées

Déphosphoration

Pour limiter l'écotoxicité des rejets d'eaux usées un traitement du phosphore est généralement demandé sur les stations supérieures à 10 000 équivalents habitant. Il peut être

demandé sur des plus petites stations d'épuration suivant la sensibilité du milieu récepteur. Les sources géologiques de phosphore ayant été surexploitées sa récupération commence aussi à être un enjeu économique et industriel.

Cinq types de traitement sont possibles :

Traitement physique : des filtres ou membranes retirent le phosphore de l'eau ;

Traitement chimique : des sels forment des précipités insolubles récupérables (au fond du bassin) ; des composés chimiques à base de calcium ou de fer peuvent être utilisés. Cette méthode reste assez coûteuse et peut accroître le volume de boue à traiter et la consommation d'oxygène ;

Traitement physique et chimique

Traitement biologique du phosphore : il se développe depuis les années 1980: l'EBPR (*enhanced biological phosphorous removal*) qui consiste à l'accumulation de phosphore par des microorganismes, sous forme de polyphosphate par exemple.

Dans une configuration anaérobie - aérobie, les bactéries *Acinetobacter spp.* peuvent bioaccumuler le phosphore et pour cette raison aussi désignée par l'acronyme « PAO » (*phosphorous accumulating organisms*). Ce système élève légèrement le coût d'investissement, mais est favorable à l'environnement et rentable à long terme, mais aussi la raréfaction de cet élément va augmenter son prix.

La compréhension de ce processus biologique doit être poursuivie notamment via des études FISH (*Fluorescence in situ hybridization*) sur les actinobactéries, et via des expériences faites en laboratoire à l'aide de bioréacteurs reconstituant les conditions naturelles de cette accumulation de phosphore à travers des bactéries comme *A. phosphatis*, qui est utilisée à hauteur de 85 % dans les bioréacteurs. La technique de PCR-DGGE permet également d'aider à la compréhension de ce processus d'autant plus qu'elle est très répandue, qualitative et semi-quantitative pour l'évaluation de la communauté microbienne.

Le phosphore est indispensable aux réactions biologiques liées au traitement de la pollution carbonée et azotée. Il s'agit alors d'assimilation biologique. Cette assimilation

correspond à un ratio de 1 g de phosphore pour 100 g de carbone. Si l'on inclut dans le traitement un bassin anaérobie, cette assimilation biologique peut être augmentée. Les bactéries placées en conditions de potentiel redox très bas, surassimilent le phosphore par rapport à leur besoin. Les bactéries peuvent ensuite relarguer le phosphore sur assimilé si elles sont placées durablement dans des conditions de redox plus hautes. À l'inverse, si elles sont extraites rapidement du traitement, c'est une méthode de traitement « sans réactif » du phosphore.

Les traitements mixtes

Les traitements ci-dessus présentés ne permettent pas généralement à eux seuls d'atteindre les niveaux de rejet exigés en sortie de station. Un traitement biologique est donc souvent associé à un traitement physico-chimique (presque toujours par précipitation du phosphore avec des sels métalliques (chlorure ferrique).

La recherche de moyens plus efficaces et des meilleures conditions de milieu (concentration idéale, taux de gaz dissous, température, pH, etc.) se poursuit avec par exemple la possibilité d'étudier l'adsorption sur des biopolymères, biomatériaux, matériaux bioinspirés... dont sous forme d'hydrogels tels que l'hydrogel de chitosane en microbilles.

V.4.4. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire n'est pas toujours réalisé. Il est destiné à améliorer les performances des traitements des matières en suspension, du phosphore ou encore des pathogènes. Ces traitements sont utilisés dans le cas, par exemple, de milieux récepteurs particulièrement sensibles.

MES et matière organique

En sortie des clarificateurs, une décantation supplémentaire est parfois utilisée. Il s'agit de décantations par floculation grâce à l'injection de polymères ou de sels coagulants. Des filtres sont également couramment employés pour différents niveaux de filtration (micro, ultra ou nano)

Azote et phosphore

L'azote organique (N), provenant surtout des déjections animales et humaines et des rejets d'industries agroalimentaires.

L'azote ammoniacal (NH_4^+), qui provient de rejets industriels (chimie en particulier) ou bien de la transformation par des processus biochimiques naturels de l'azote organique des eaux usées domestiques.

L'élimination du phosphore (*la déphosphatation*) se fait soit par un procédé chimique, soit par un procédé biologique. La déphosphatation chimique est réalisée au moyen de réactifs : sels de fer et d'aluminium, et qui donnent naissance à des précipités ou complexes insolubles séparés de l'eau par des techniques de séparation de phase solide-liquide.

La déphosphatation biologique repose sur le transfert du phosphore de la phase liquide (eaux usées à épurer) vers la phase solide (boues) par stockage intracellulaire; la boue s'enrichit progressivement en phosphore jusqu'à des teneurs très importantes. Il est alors très aisé d'assurer l'élimination du phosphore par simple soutirage des boues en excès.

Traitement bactériologique

Cette étape permet de réduire le nombre de bactéries, donc de germes pathogènes présents dans l'eau traitée. Elle peut être demandée dans le cadre d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux et/ou pour protéger des eaux de baignade (en eau douce ou en mer), un captage d'eau potable ou une zone conchylicole, une zone vulnérable aux nitrates, au phosphore et à l'eutrophisation. Ce traitement peut être réalisé en traitement tertiaire par chloration, ozonation, traitement UV ou pour des petites capacités de station d'épuration par une filtration sur sable (sable siliceux et de granulométrie spécifique).

Un lagunage tertiaire de l'effluent en zones de rejets végétalisées (ZRV) n'est pas encore en France règlementairement reconnu comme élément de l'épuration (au sens de l'arrêté du 21 juillet 2015) mais des travaux d'évaluation de leurs performances en termes d'abattement bactérien ou de certains micropolluants.

La désinfection est peu utilisée en France en sortie de station d'épuration car l'eau manque rarement dans ce pays, et la réglementation française ne l'encourage pas, les eaux usées épurées ne faisant pas l'objet de France de réutilisation immédiate en agriculture ou pour l'eau potable.

Dans le monde en 2017, il y aurait environ 7 milliards de m³ d'eaux usées traitées réutilisées ; la France ne comptant que pour 0,1 % de ce volume soit 50 fois moins qu'en Espagne, Italie ou Israël, selon Juan Ochoa (pôle expertise et innovation de Veolia Eau)

Traitement bactériologique par rayonnement UV

Il existe une certaine variété de systèmes sur le marché. Le principe traditionnel de désinfection par rayonnement UV consiste à soumettre l'eau à traiter à une source de rayonnements UV en la faisant transiter à travers un canal contenant une série de lampes submergées. Depuis quelques années, l'on trouve aussi, surtout pour les petites stations de traitement des eaux usées, un système basé sur des réacteurs monolampe, qui offre des avantages au niveau de la maintenance et des coûts d'utilisation.

Traitement par voie physico-chimique

Le traitement tertiaire inclut un ou plusieurs des processus suivants :

La désinfection par le chlore ou l'ozone (pour éliminer les germes pathogènes), sachant que le désinfectant le plus puissant est l'ozone, parce qu'il est capable de désactiver les organismes protozoaires; qui peuvent causer un grand nombre d'épidémies.

La neutralisation des métaux en solution dans l'eau : en faisant varier le pH de l'eau dans certaines plages, on obtient une décantation de ces polluants.

Procédés alternatifs ou extensifs

Des systèmes de lagunages naturels (éventuellement tertiaires, c'est-à-dire uniquement installés en sortie de station d'épuration) permettent d'épurer une pollution organique et éventuellement d'affiner le traitement avant rejet dans le milieu naturel.

Quand la place manque pour un lagunage, des systèmes verticaux et adaptés à de relativement petites quantités d'eaux sales de types *Freewaterbox* (développé en France par Ennesys)

combinent un digesteur bactérien et un photobioréacteur algal contenant des cultures de microalgues sélectionnées pour épurer des eaux grises et produire des composés organiques d'intérêt (biostimulants) dans une approche d'économie circulaire.

V.4.5.Traitement quaternaire

Élimination des micropolluants

Les procédés de traitement listés ci-dessus ne permettent pas d'éliminer les micropolluants des eaux traitées. On désigne par micropolluants les composés traces présents dans les eaux à des concentrations très faibles (de l'ordre du microgramme ou du nanogramme par litre) et qui même en concentrations infimes peuvent exercer un effet nocif sur les organismes aquatiques. Par exemple: les résidus médicamenteux, les hormones, les pesticides ou encore les cosmétiques.

En Suisse, à la suite de l'entrée en vigueur en 2015 d'une modification de la loi fédérale et de l'ordonnance sur la protection des eaux rendant obligatoire l'élimination d'au moins 80 % des micropolluants en sortie de station d'épuration, de nombreux projets pilotes ont été mis en place pour tester les techniques d'élimination des micropolluants.

Deux méthodes de traitement ont été retenues :

- le contact avec du charbon actif : mis en œuvre sous forme de charbon actif en poudre (CAP), en grain (CAG) ou en micrograin (μ -CAG) ;
- l'ozonation continue des eaux usées traitées à la sortie du traitement par voie biologique.

Un dosage de CAP d'environ 18 mg/l ou une ozonation de 0,6 à 1,0 g O₃/g DOC sont nécessaires pour l'élimination des micropolluants. L'ozonation présente le désavantage d'engendrer des produits d'oxydation parfois indésirables tels que le bromate. Les possibles concentrations résultantes de l'ozonation dépendent des propriétés de l'eau traitée.

Traitement des boues d'épurations

Les boues d'épuration (urbaines ou industrielles) sont le principal déchet produit par une station d'épuration à partir des effluents liquides. Le principal traitement des boues est

la déshydratation. Cette déshydratation peut être effectuée par centrifugation, filtre-presse, filtre à bandes presseuses, électro-déshydratation, lit de séchage planté de roseaux, séchage solaire²⁶. Elle permet de diminuer la concentration en eau des boues.

Incinération ou décharge

Les boues sont ensuite au vu de leur toxicité ou degré d'innocuité pour l'environnement stockées ou brûlées en incinérateurs.

Production de biogaz



Fig.V.6. Production des biogaz dans les digesteurs

Les boues peuvent servir à produire du biogaz (méthane) à l'aide de digesteurs en anaérobie.

Chapitre VI : La pollution des mers et des océans

VI.1.Introduction

Les océans couvrent 71% de notre planète. Nous en dépendons tous : pour notre eau, notre alimentation, notre climat et notre air. Près de moitié de la population mondiale dépend directement de la mer pour vivre. Presque chaque coin des océans de la planète est affecté par la pollution, un défi de taille mondial croissant qui a impact environnemental, social et économique aigu

VI.2.Définition de la pollution marine

La pollution marine est définie comme l'introduction directe ou indirecte de déchets, de substances, ou d'énergie, y compris de sources sonores sous-marines d'origine humaine, qui entraîne ou qui est susceptible d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins, avec pour conséquence, un appauvrissement de la biodiversité, des risques pour la santé humaine, des obstacles pour les activités maritimes, et notamment la pêche, le tourisme et les loisirs ainsi que les autres utilisations de la mer, une altération de la qualité des eaux du point de vue de leur utilisation, et une réduction de la valeur d'agrément du milieu marin.

VI.3.Causes et conséquences de la pollution marine

Il faut savoir que lorsque les déchets ne sont pas correctement traités, ils arrivent tôt ou tard dans les océans. Le problème notamment avec le plastique, un matériaux non biodégradable qui se trouve dans l'estomac des baleines , mouettes ,tortues de mer et autres animaux.

Mais les déchets peuvent également être ramenés vers la terre ferme, polluant plages et littoraux. Selon des estimations: entre 4,8 et 12,7 millions de tonnes de déchets plastiques dont une majorité en provenance du Sud-Ouest asiatique, rejoignent chaque année les océans. Au total, au moins 86 millions de tonnes de plastique encombreraient déjà nos mer.



Fig.VI.1.Pollution des profondeurs de la mer par un sachet en plastique



Fig.VI.2.Pollution des surfaces de la mer par des déchets domestiques

Une grande partie ayant déjà sombré au fond des eaux. Ce chiffre n'inclut pas les microplastiques qui polluent les rivières et les océans, dus à l'usure des pneus de camions, lavage des textiles synthétique (ou bien des produits cosmétiques qui contiennent des petites particules de plastique. Ensuite, ils rejoignent à leur tour les ruisseaux par le biais des eaux usées. Les microplastiques peuvent être absorbés par les organismes marins. Leur présence a ainsi été détectée dans le cœur de nombreux animaux.

Il n'ait pas à ignorer qu'une grande partie de la pollution marine est issue de la pollution urbaine, industrielle et agricole.

La pollution industrielle et urbaines vient des agglomérations fluvial ou côtière .Qui n'ont pas de système de collecte et de traitement des eaux usées efficace. Entre 4,8 et 12,7 millions de tonne de déchets entrent dans les océans à cause de la prise en charges et du traitement inadéquat des déchets.

La pollution agricoles provient des pesticides et des engrais utilisé par les agriculteurs et les particuliers .Elle présente elle aussi un problème de taille car les engrais et pesticide s'infiltrant dans les nappes phréatiques ou ruissellent jusqu'à la mer.

Enfin, il ne faut pas oublier que les navires de pêches génèrent eux aussi des déchets. Il arrive en effets que les pêcheur perde des filets en haute mer, quand ils ne sent débarrassent purement et simplement de leurs filets endommagé, par-dessus bord.



Fig.VI.3. Un volatile se trouvant piégé par des huiles sur une plage

La pollution marine a de multiples conséquences sur les écosystèmes, sur la santé humaine et l'économie. Les 1er effets des déchets plastique est un impact visuel : déchets échoués sur les bords des rivières, des plages,amas d'objets flottants en mer... Mais les déchets marins peuvent provoquer des dommages physiques par contact ou par indigestion. Ainsi les filets de pêches, abandonnés ou perdu accidentellement, très résistants, sont une cause de mortalité importante chez les animaux, les associations estiment à 100 000 le nombre de mammifères marins et à 1 000 000 celui des oiseaux qui meurent par étranglement ou étouffement dans ces pièges à travers le monde chaque année. L'ingestion de déchets plastique est une autre cause de mortalité, qui fait chaque année 1,5 millions de victimes. Elle affecte environ 660 espèces. Les oiseaux de mer et les tortues confondent avec des méduses.

Les grands cétacés à fanons, les mollusques filtrent l'eau de mer, ingérant d'importantes quantités de microplastiques. Ces derniers peuvent aussi être ingérés par le plancton, les invertébrés ou les poissons de petites tailles. Les microplastiques entrent ainsi dans la chaîne alimentaire (car ils ne peuvent être digérés) et arrivent jusqu'à nos assiettes.

Les autres conséquences sur les écosystèmes marins est la prolifération d'algues. Cette dernière tient son origine d'une sur-fertilisation due à la présence de nitrates et de phosphate dans l'eau. Il s'agit de nutriments utilisés par l'agriculture afin d'obtenir de bon rendement. Les stations d'épurations sont responsables aussi et parfois ils laissent échapper des restes d'antibiotiques et autres résidus de médicaments consommés par l'homme. Les conséquences de la prolifération d'algues sont une diminution de quantité d'oxygène rejetés dans l'eau. Cela entraîne l'étouffement de nombreux organismes marins. C'est ainsi qu'apparaissent de vastes zones mortes, où plus aucune vie n'est possible. Les marées noires créent aussi des zones mortes. Le pétrole présent à la surface de l'eau bloque la photosynthèse. Les plantes marines ne sont ainsi plus alimentées par le soleil et meurent.

Les conséquences économiques impactent la vie des populations qui dépendent directement de la mer pour vivre. Les pêcheurs subissent de plein fouet la pollution marine et la surpêche par la disparition du poisson qu'elle entraîne.

VI .4.La marée noire

VI.4.1.Définition :

C'est une pollution marine causée principalement par le naufrage des pétroliers dans la mer. Le déversement en mer de quantités importantes de pétrole ou de produits pétroliers forme une nappe qui est poussée par les vents vers les côtes.

VI.4.2. Causes de la marée noire

Trois causes principales peuvent provoquer une marée noire :

Un accident lors de l'extraction du pétrole sur une plateforme (off-shore)

Le naufrage d'un pétrolier

Un accident d'une usine pétrolière en bord de mer.

VI.4.3. Quelques exemples de marées noires dans le monde

Le naufrage du pétrolier l'Amoco Cadiz, en 1978. 220 000 td'hydrocarbures ravagèrent 210 km des côtes bretonnes.

En 1999, le naufrage de l'Erika au large de Penmarch (Finistère) a libéré près de 20 000 t de fioul qui ont pollué 400 km environ de côtes du Finistère, du Morbihan, de la Loire-Atlantique et de la Vendée, et provoqué la mort de plusieurs centaines de milliers d'oiseaux.

En 2002, les 63 000 t déversées par le naufrage du *Prestige*, au large du cap Finisterre (Espagne), ont souillé quelque 1 900 km de côtes de la péninsule Ibérique et de la côte atlantique française.

Des ruptures accidentelles de forages, en mer du Nord (champ d'Ekofisk, 1977), dans le golfe du Mexique (Ixtoc, 1979-1980), au Koweït (Mina al-Ahmadi, 1991), ont également provoqué des déversements d'hydrocarbures aux conséquences comparables.

En avril 2010, l'explosion d'une plate-forme pétrolière dans le golfe du Mexique, à 66 km des côtes de la Louisiane, a provoqué le déversement de quelque 680 000 tonnes de pétrole.

VI.5. Les solutions au niveau mondial pour protéger les océans

Création de la journée mondiale en 1992 et célébrée tous les 8 juin afin de sensibiliser la place primordiale occupée par les océans et d'assurer leur protection. Mais uniquement 12% des océans sont protégés juridiquement.

Les mesures de protection mises en œuvre pas quelques pays :

- La limiter de la pêche.
- La prévention des marées noires.
- La protection de la faune et la flore.
- La création des aires marines protégées.

Comme l'espace de l'Antarctique créé fin 2016 où on y des colonies de manchots Adélie, des pétrels ou encore des phoques de Weddell , le tout sur une surface d'environ 1,5 millions

de km² ce qui constitue la plus vaste aire marine au monde. 5000 zones protégées ont été créées un peu partout sur la planète.

Plus de 190 pays se sont réunis aux Nations Unies pour discuter d'un traité mondial sur la haute mer afin de parvenir à protéger au moins 30% des océans d'ici 2030..

Les solutions au niveau individuel pour lutter contre la pollution des océans

Les déchets d'origine terrestre représentent environ 80% de la pollution marine mondiale. Il faut donc changer le comportement humain par :

- ✓ Réduire son utilisation de plastiques à usage unique
- ✓ Recycler correctement

Le recyclage est un moyen de limiter la quantité de déchets qui finira dans l'eau.

- ✓ Réduire sa consommation de produits de la mer.

En luttant contre la surpêche, on pourra diminuer sa consommation de poisson ou encore éviter les espèces menacées ou d'élevage telles que le thon rouge, la lotte, le saumon sauvage d'Atlantique ou le cabillaud.

- ✓ Réduire l'utilisation de l'énergie fossile.

Pour limiter l'acidification de l'eau et la perte des coraux à l'échelle mondiale.

- ✓ Réduire l'utilisation des produits chimiques
- ✓ Le nettoyage de plage ou de rivière.
- ✓ Soutenir les organisations qui luttent contre la pollution plastique

Chapitre VII : Le développement VII durable

VII.1. Introduction

Le développement durable est le changement que l'être humain doit faire pour la planète et ses habitants pour vivre dans un monde plus sain, en respectant l'environnement sans compromettre l'avenir des générations futures.

VII.2. Définition

Le développement durable ou sustainable development en Anglais, se compose de deux mots :

Développement qui veut dire l'amélioration des performances (économiques, sociales etc...) d'une société.

- **Durable** caractérise une chose qui dure et qui est stable.

Donc le développement durable est une organisation de la société pour répondre à ses besoins du présent sans porter atteintes aux capacités des futures générations à répondre aux leurs.

VII.3. Les fondements du développement durable

Le développement durable est fondé sur trois piliers : Le domaine environnemental, le domaine social et le domaine économique.

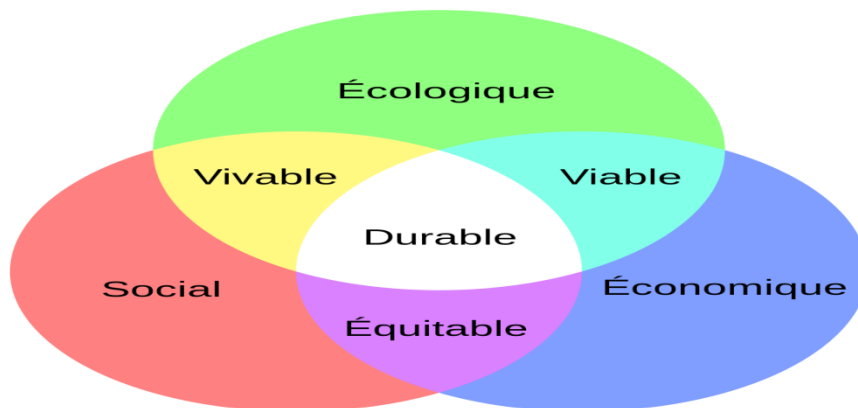


Figure VII.1. Les trois piliers du développement durable

- **La qualité environnementale** des activités humaines pour limiter les impacts environnementaux, préserver les écosystèmes et les ressources naturelles à long terme.
- **L'équité sociale** pour garantir à tous les membres de la société un accès aux ressources et services de base (éducation, santé, alimentation, logement...) pour satisfaire les besoins de l'humanité, réduire les inégalités et maintenir la cohésion sociale.
- **L'efficacité économique** en diminuant l'extrême pauvreté et en garantissant l'emploi du plus grand nombre dans une activité économique dignement rémunérée. L'économie durable est une gestion saine des activités humaines sans préjudices pour l'Homme ou pour l'environnement.

VII.4. Les principes fondamentaux du développement durable

- **Solidarité** entre les pays, entre les peuples, entre les générations, et entre les membres d'une société. Par exemple : économiser les matières premières pour que le plus grand nombre en profite.
- **Précaution** dans les décisions afin de ne pas causer de catastrophes quand on sait qu'il existe des risques pour la santé ou l'environnement. Par exemple : limiter les émissions de CO₂ pour freiner le changement climatique.
- **Participation** de chacun, quels que soient sa profession ou son statut social, afin d'assurer la réussite de projets durables. Par exemple : mettre en place des conseils d'enfants et de jeunes.
- **Responsabilité** de chacun, citoyen, industriel ou agriculteur. Pour que celui qui abîme, dégrade et pollue répare. Par exemple : faire payer une taxe aux industries qui polluent beaucoup.

Ces principes sont parfois incompatibles avec la société de consommation dans laquelle nous vivons. C'est pourquoi, de nombreuses personnes (élus, associations, entreprises, particuliers, jeunes...) demandent que notre système économique soit repensé pour tendre vers une société plus durable afin de préserver la planète et ses ressources.

Le développement durable est non seulement un besoin urgent, qui n'est pas une contrainte mais une réelle opportunité pour redessiner notre société.

VII.5. Objectifs du développement durable.

Les objectifs du développement durables sont approuvés en Août 2015 par les nations unies. Ces objectifs sont au nombre de 17 et visent 168 cibles qui touchent à la pauvreté, à l'environnement, à la paix et à la justice.

Les 17 objectifs du développement durables sont :

- ✓ Éradication de la pauvreté sous toutes ses formes et partout dans le monde en faisant des associations qui aident les pays pauvres en leur approvisionnant de la nourriture, des médicaments...etc.
- ✓ Lutte contre la faim : éliminer la faim et la famine, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir une agriculture durable.
- ✓ Accès à la santé : donner aux individus les moyens de mener une vie saine et aider au bien-être de tous à tous les âges.
 - Accès à une éducation de qualité : veiller à ce que tous aient accès à l'éducation et promouvoir des possibilités d'apprentissage de qualité dans des conditions équitables tout au long de la vie.
- ✓ Égalité entre les sexes : parvenir à l'égalité des sexes en rendant les femmes et les filles plus autonomes.
 - Accès à l'eau salubre et l'assainissement : garantir l'accès de tous à l'eau et l'assainissement et gérer les ressources en eau de façon durable.
- ✓ Recours aux énergies renouvelables : garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et renouvelables à un coût abordable.
 - Accès à des emplois décents : promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein-emploi productif et un travail décent pour tous.
 - Innovation et infrastructures : Soutenir les petites entreprises pour qu'elles se développent, favoriser le développement des entreprises qui respectent l'environnement et fabriquent des produits sains (qui ne nuisent pas à notre planète ni aux populations) et permettre l'accès de tous aux nouvelles technologies.

- Réduction des inégalités : réduire les inégalités entre les pays et au sein de chacun.
- Villes et communautés durables : créer des villes, des logements, des transports ouverts à tous, sûrs, résistants et durables.
- Consommation responsable : instaurer des modes de consommation et de production durables : éviter le gaspillage, diminuer les déchets et les biens de consommation (livres, vêtements...) en réduisant, réutilisant et recyclant. 13.
- Lutte contre le changement climatique : prendre des mesures d'urgence pour lutter contre les changements climatiques et leurs conséquences.
- Protection de la faune et de la flore aquatiques : conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines.
- Protection de la faune et de la flore terrestres : préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la déforestation, la désertification, stopper et inverser le processus de dégradation des terres et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité.
- Justice et paix : promouvoir la paix, assurer à tous l'accès à la justice et mettre en place, à tous les niveaux, des institutions efficaces, responsables et ouvertes.
- ✓ Partenariats pour les objectifs mondiaux : revitaliser le partenariat mondial au service du développement durable et renforcer les moyens de ce partenariat.



Figure VII.2. Les objectifs du développement durable

Références

- [1] : Géographie des mers et des océans , (2014)Edition: Atlante, Publisher: Woessner Raymond .
- [2] :Goeury, D. (2014). La pollution marine.
- [3] :Galgani, F., Bruzaud, S., Duflos, G., Fabre, P., Gastaldi, E., Ghiglione, J., ... & Ter Halle, A. (2020). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. Techniques de l'ingénieur.
- [4] : GODARD, Olivier. (2015)Environnement et développement durable: une approche méta-économique. De Boeck Supérieur,
- [5]: Peretti-Watel, P., & Hammer, B. (2006). Les représentations profanes de l'effet de serre. Natures Sciences Sociétés, 14(4), 353-364.
- [6] : Mahieu, E. (2007). La destruction de la couche d'ozone et ses implications en Région wallonne.
- [7] :Gendron, C., & Revéret, J. P. (2000). Le développement durable. Économies et sociétés, 37(91), 111-124.
- [8] :Dedeurwaerdere, T. (2013). Les sciences du développement durable pour régir la transition vers la durabilité forte. Ministre de la Recherche, Région Wallonne: Namur, Belgium, 70.
- [9] : <https://www.larousse.fr/encyclopedie>
- [10] : Duchène P. (2005) « Cent ans de procédés d'épuration des eaux résiduaires », Techniques Sciences et Méthodes, 177-187.
- [11] : Choubert *J.M.* et al (2017) Élimination de substances prioritaires et émergentes des eaux résiduaires urbaines par ozonation : évaluations technique, énergétique, environnementale 167 .
- [12] : Jennifer A. Brandon, William Jones & Mark D. Ohman, (2019) « Multidecadal increase in plastic particles in coastal ocean sediments », Science Advances, vol. 5 ,9.