



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Dr. Tahar Moulay de Saida

Faculté des sciences
Département de chimie
3^{ème} année Licence Chimie Inorganique

Chimie de l'environnement et des polluants

Préparé par
Dr. OULD KADA Zahra

Décembre 2020

SOMMAIRE

-Introduction générale.....	01
-----------------------------	----

Chimie de l'air, de l'eau et des sols

-Chimie de l'air.....	05
-La chimie atmosphérique.....	06
-Les unités atmosphériques	07
-La qualité de l'air.....	07
-La pollution de l'air	08
-L'origine de quelques substances qui contaminent l'atmosphère	08
-Les effets de la pollution atmosphériques	09
-Chimie de l'eau.....	10
-Les procédés de traitements des eaux polluées.....	12
-Chimie de sol.....	14
-Réactions d'échange	16
-La capacité d'échange.....	18
-La somme des bases échangeables.....	18
-Le taux de saturation.....	19
-L'acidité d'un sol	19
-La pollution de sol	19
-Les polluants du sol les plus courants	19
-Origine de la pollution des sols	19
-Effets de la pollution des sols	20
-Moyens de lutte contre la pollution des sols	20

Polluants chimiques

-Polluants chimiques.....	21
-Les types des polluants	21
1- Polluants atmosphériques	22
-Les principaux polluants atmosphériques.....	22
2- Polluants de l'eau.....	27
3- Polluants des sols.....	29

-Les impacts de la pollution.....	29
-L'effet de serre et réchauffement climatique.....	29
-Les pluies acides.....	30
-Le Smog.....	30
-L'eutrophisation.....	31

Normes, qualité et législation dans le domaine de l'environnement

-Normes, qualité et Législation dans le domaine de l'environnement.....	32
-Norme de qualité environnementale	32
-Organismes de normalisation.....	34
-La conservation de l'environnement administratif.....	35
-Le contrôle judiciaire environnemental.....	35

Hygiène sécurité environnement

-Hygiène sécurité environnement.....	36
-L'hygiène environnementale.....	36
-L'environnement.....	38
-Déroulement du protocole HSE.....	39
- Références bibliographiques	41

Introduction générale

Introduction générale

L'environnement est défini comme la composition de conditions ou bien les facteurs externes directs ou indirects (naturelles, physiques, chimiques ou biologiques.....) qui affectent ou agissent sur les organismes vivants **exemples :**

- Facteurs naturelles (tremblements de terre, les volcans.....)
- Facteurs anthropogéniques (activités industrielles)
- Facteurs biologiques (la respiration, la mort et la décomposition des organismes vivants)
- Facteurs chimiques (les gaz, les vapeurs, la poussière.....)
- Facteurs physiques (rayonnement, chaleur.....)
- Facteurs technologiques (constructions, extractions.....)

L'environnement peut être également défini comme l'ensemble des éléments qui entourent une espèce ; Ces éléments contribuent pour certains à assurer les besoins naturels des espèces.




La notion d'environnement induit le mouvement, le transport de matière par des transferts chimiques entre les différentes interfaces pour les quels la chimie va jouer un rôle moteur. La chimie de l'environnement a pour but de caractériser les processus contrôlant le fonctionnement et l'évolution des écosystèmes naturels

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

Les éléments de l'environnement :

1-L'atmosphère : L'atmosphère est l'enveloppe gazeuse qui entoure la terre, elle est composée d'un ensemble de molécules (N_2 , O_2 , Ar, CO_2 , Ne, He, O_3 , NO_2 , vapeur d'eau.....).

L'atmosphère est constituée de couches qui forment des anneaux autour de la terre ; elle est composée de masses d'air ayant différentes propriétés en terme de :

-  Pression
-  Température
-  Humidité

L'atmosphère a des fonctions protectrices, vu qu'elle absorbe le rayonnement ultra violet nocifs du soleil et qu'elle stabilise la température de la planète.

2- L'hydrosphère : C'est l'ensemble de l'eau de la planète qui couvre approximativement 71% de la surface terrestre. L'eau transporte l'énergie et la matière entre les différentes sphères de l'environnement.

3- La géosphère : La géosphère est la partie de la terre sur laquelle les humains vivent et à partir de laquelle ils extraient la majorité de leur alimentation, des minéraux et des carburants.

4- La biosphère : La biosphère est une couche d'air, d'eau et de sol, relativement fine, qui peut supporter la vie.

5- L'anthroposphère : C'est la partie de l'environnement faite ou modifiée par les humains et utilisée pour leurs activités.

6- La flore et la faune : La faune et la flore sont deux termes collectifs pour désigner respectivement les animaux et les plantes. Les différentes sections de l'environnement interagissent continuellement avec la flore et la faune.

L'action et la présence **de l'homme** partout sur la planète et l'utilisation des ressources (renouvelables / non renouvelable) ont des effets directs sur la biodiversité et sur les réserves de matières de la terre.

- les pollutions apparentes, c'est - à - dire les traces de composés synthétisés par l'homme dans les milieux naturels ; ces impacts sur l'environnement sont liés à plusieurs facteurs, dont ceux évoqués le plus souvent sont la démographie et le développement économique.

L'homme a aussi des effets favorables sur l'environnement. , il prend peu à peu conscience des dangers qu'il fait courir à la planète et commence à restaurer des milieux qu'il a transformés (par les actions dans tous les domaines de l'environnement comme : la législation de l'écologie dans presque tous les pays du monde, le recyclage des déchets, les Stations d'Épuration des eaux, la protection des forêts contre la désertification et la déforestation.....).

La Pollution de l'environnement :

La pollution est la dégradation d'un milieu naturel par des substances extérieures, introduites de manière directe ou indirecte. La santé humaine, la qualité des écosystèmes et de la biodiversité aquatique ou terrestre peuvent être affectés et modifiés de façon durable par la pollution.

Les sources de pollution :

Les sources de pollution sont nombreuses et l'identification de ces sources, de différentes substances polluantes et de leurs effets sur les écosystèmes est complexe. Elles peuvent provenir de catastrophes naturelles ou résulter de l'activité humaine, les pollutions chimiques, les accidents nucléaires.....

a) **La pollution industrielle :**

- les vapeurs rejetées par les usines contiennent des gaz toxiques qui retombent avec la pluie ; on parle alors de pluies acides qui sont néfastes pour les écosystèmes.
- sans oublier la poussière industrielle, les eaux polluées résultantes des usines qui utilisent puis rejettent l'eau pour son processus ainsi les déchets industriels contenant des éléments nocifs

b) **La pollution urbaine :**

- les gaz d'échappement contiennent des éléments toxiques (oxyde de carbone CO_x , des hydrocarbures et des oxydes d'azote NO_x )
- Les eaux usées qui transportent des corps en suspension (rejets organiques) et des corps en solution (exp : les phosphates issus des produits ménagers)
- les infiltrations qui ont pour l'origine essentiellement des eaux de pluie, entraînent vers les nappes phréatiques tous les produits tombés ou jetés sur le sol (huiles de vidange, acide de batteries, métaux lourds –piles- et autres produits chimiques...)
- Les déchets solides sont en quantité croissante et les centres d'enfouissement (décharge) sont de plus en plus saturés

c) **La pollution biologique :**

Par définition, une pollution biologique est issue du milieu lui-même ; c'est par le surdéveloppement de micro-organismes ou de végétaux micro ou macroscopiques qu'un déséquilibre du milieu environnant peut entraîner une mortalité élevée chez les autres organismes présents. Ce surdéveloppement est généralement la conséquence d'une action humaine : enrichissement en nitrates d'un milieu (rejets organiques), développement de virus, de bactéries, modification de la température d'un milieu (par exemple rejet d'eau chaudes), introduction d'espèces invasives.....

d) **Pollution agricole :**

Les engrais et les pesticides contiennent des produits azotés et les phosphates, ces derniers qui provoquent des déséquilibres dans les milieux qui reçoivent les eaux de ruissellement ou d'infiltration issues de l'agriculture ce sont des éléments qui nourrissent par excès des algues bien souvent indésirable qui prennent la place de toute autre forme de vie à cause de leur surdéveloppement.

e) **pollution maritime (les marées noires) :**

Les marées noires sont des accidents qui sont bien souvent la cause de négligences au niveau de l'entretien des navires ou la conséquence d'erreurs de navigation qui provoquent des

collisions entre navires ou des échouages et sans oublier les accidents chimiques et les dégazages.

Les types de pollution :

Selon les milieux, il existe trois types de pollution :

- la pollution atmosphérique
- la pollution de l'eau
- la pollution de sol

Et bien sure, il existe d'autre formes de pollution comme: la pollution par les déversements de pétrole, la pollution par les déchets nucléaires et la pollution lumineuse et la pollution sonore.

**Chimie de l'air,
de l'eau et des sols**

Chimie de l'air

L'air que nous respirons tous les jours est un mélange gazeux qui constitue l'atmosphère terrestre. Une partie des constituants sont en proportions variables (**exemple** : la vapeur d'eau, le gaz carbonique) ; Ils sont considérés comme des impuretés. L'air débarrassé des impuretés a une composition remarquablement constante : 99% d'azote et d'oxygène, 0,9% d'argon, et d'autres gaz présents à l'état de trace. L'état original peut être perturbé par la présence de composés chimiques supplémentaires, sous la forme de gaz ou de particules, et en des proportions qui pourraient avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Ils proviennent de nos activités humaines et parfois de phénomènes naturels. Cette perturbation se traduit par la notion de pollution atmosphérique.

L'atmosphère terrestre est une couche d'air qui entoure la Terre sur une épaisseur moyenne de 600 km (Son épaisseur est difficile à mesurer car l'air se raréfie au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude). L'air de l'atmosphère se raréfie à mesure que l'altitude augmente. On distingue dans l'atmosphère cinq couches (figure 01) d'altitudes différentes :

- **La troposphère:** Cette couche instable et turbulente, contient les trois quarts de l'air atmosphérique qui permettent la vie sur Terre. Elle est le siège des phénomènes météorologiques. La vie sur la Terre dépend étroitement de cette mince pellicule gazeuse (dépend de la composition des gaz N₂, O₂, Ar, CO₂, CH₄, NO₂, H₂, SO₂, Kr, Ne, H₂O et O₃).
- **La stratosphère:** C'est là que se trouve la couche d'ozone. Cette couche sert de bouclier protecteur en empêchant la majorité des rayons ultraviolets (UV) d'atteindre la surface de la Terre et de nous brûler.
- **La mésosphère:** Cette couche est caractérisée par sa température qui diminue rapidement jusqu'à - 90°C. La mésosphère est séparée de la thermosphère par une fine couche appelée la mésopause
- **La thermosphère et l'ionosphère (l'exosphère):** Dans ces zones, les températures sont très élevées et peuvent atteindre plus de 1000°C.

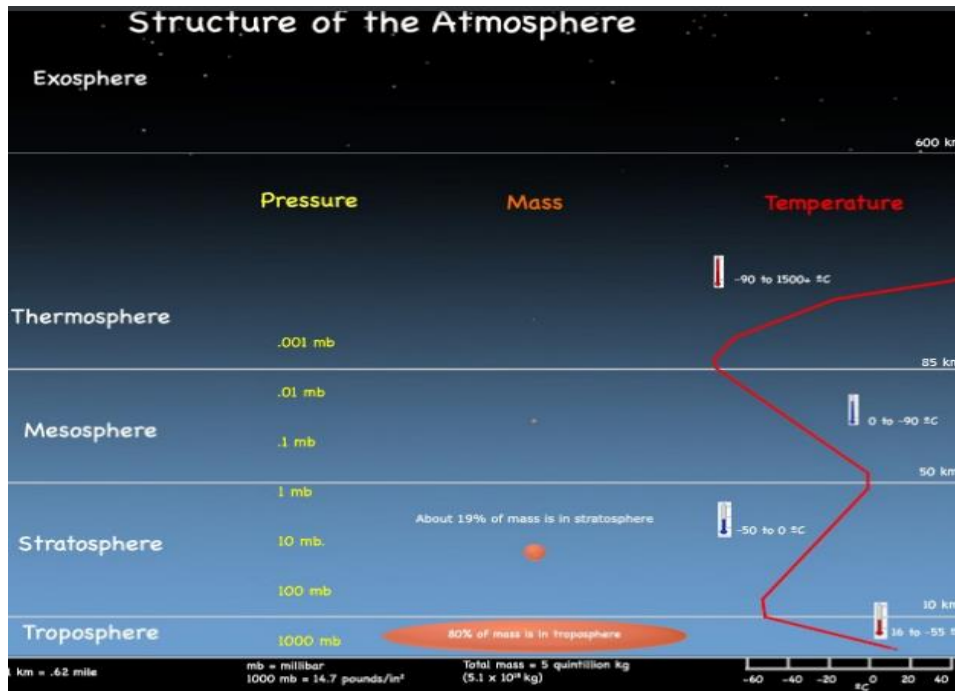


Fig. 1 : Les couches atmosphériques

Dans la **physique de l'atmosphère** l'air est un fluide en perpétuel mouvement et en continue évolution thermique. L'atmosphère est considérée comme un ensemble d'un nombre théoriquement infini de particules.

À chaque instant t , chaque particule est caractérisée par :

- Un vecteur de vitesse \mathbf{V} qui est, par définition, le vecteur vent ;
- Une masse volumique ρ , une température \mathbf{T} , une pression p ;
- Une concentration en vapeur d'eau et (à l'intérieur des nuages et des précipitations) des concentrations en eau liquide et en glace.

Ces paramètres, encore appelés **variables atmosphériques**, définissent l'état de la particule à l'instant considéré.

Par suite, **l'état de l'atmosphère** entière à un instant donné n'est autre que l'ensemble des états des différentes particules. En d'autres termes, il est défini par :

- ❖ l'ensemble des vecteurs vents appelé champ de vent (ou de mouvement) ;
- ❖ l'ensemble des masses volumiques, appelé champ de masse volumique ;
- ❖ l'ensemble des pressions, appelé champ de pression ;
- ❖ l'ensemble des températures, appelé champ de température.

La chimie atmosphérique :

Fait intervenir l'étude des processus complexes, et son impact sur la qualité de l'air, sur l'environnement et sur la santé humaine qui est difficile à quantifier.

L'atmosphère est un réacteur chimique loin de l'équilibre, En fait, est très loin de l'équilibre parce qu'un certain nombre de forces extérieures l'empêchent d'atteindre cet équilibre :

- ❖ l'énergie solaire, qui entretient les réactions photochimiques de dissociation qui se produisent pendant le jour.
- ❖ la biosphère, qui produit des émissions de composés réactifs ; par exemple, beaucoup d'hydrocarbures sont produits par les forêts, et des quantités importantes d'oxydes d'azote sont produites par les sols. Les concentrations atmosphériques d'oxygène et de CO₂ sont déterminées par des processus liés à la biosphère ;
- ❖ l'activité humaine est un phénomène qui perturbe la composition chimique de l'atmosphère et qui, par ailleurs, introduit des problèmes sur la qualité de l'air

Les unités atmosphériques :

Concentration :

C'est la masse des molécules d'un composé contenue dans un certain volume d'air. Exemple : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (quantité absolue)

Rapport de mélange :

C'est la fraction du composé parmi toutes les molécules d'air. **Ex :** S'il y a 40 molécules d'ozone dans 1 million de molécules d'air, le rapport de mélange est de 40 parties par million (40 ppm). Cette quantité est relative

Unité spécifique à l'ozone :

l'unité Dobson (DU) est une unité de mesure de la masse surfacique (la masse par unité de surface kg/m^2) de l'ozone atmosphérique

La qualité de l'air :

Un problème majeur pour nos sociétés on parle beaucoup du climat, qui est un problème très important, mais on oublie parfois que la qualité de l'air est un problème urgent qui touche des populations entières. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, trois millions de personnes meurent chaque année à cause de la pollution l'air

La modélisation de la qualité de l'air à l'échelle globale nous permet aujourd'hui de simuler la répartition de l'ozone (Généralement les quantités d'ozone sont importantes dans les zones industrielles mais aussi dans les zones où l'on brûle de la biomasse), des aérosols atmosphériques, de la présence des gaz à effet de serre, et de toutes les émissions de la biosphère.

Il existe des rétroactions importantes entre la composition chimique de l'atmosphère et le climat. Ces interactions font intervenir des processus qui lient la chimie avec la température, la dynamique de l'atmosphère, et aussi les émissions par la biosphère terrestre. Ces processus

ne sont pas tous très bien connus, en particulier l'effet de la biosphère sur la composition chimique de l'atmosphère.

Des progrès restent à faire. Il existe des solutions qui permettront à la fois d'améliorer la qualité de l'air et de préserver le climat. La réduction de l'ozone dans la troposphère est un exemple, la réduction de la suie dans l'atmosphère en est un autre. Ce sont des mesures qui auront un effet sur le climat et sur la qualité de l'air à très court terme, mais qui ne doivent pas nous faire oublier qu'en définitive, à long terme, c'est la réduction du CO₂ qui est importante si on veut limiter les effets de l'activité humaine sur l'atmosphère du futur.

La pollution de l'air :

La composition de l'atmosphère terrestre a été modifiée (polluée) par l'activité humaine, et certaines de ces changements sont dangereux pour la santé humaine, les récoltes et les écosystèmes.

La pollution atmosphérique peut être définie comme l'ajout de substances dangereuses à l'atmosphère, ayant pour conséquence une détérioration de l'environnement, de la santé humaine et de la qualité de vie.

L'origine de quelques substances qui contaminent l'atmosphère :

On sait que la cause principale est l'usage des combustibles fossiles comme source d'énergie ; mais il existe d'autres causes de contamination de l'atmosphère, les deux modalités d'émission de pollution atmosphérique correspondent respectivement :

- ❖ le premier a des sources de pollution ponctuelles (directes)
- ❖ le deuxième a des sources de pollution diffuses (indirectes)

Il existe deux types des polluants :

Polluants naturels (ce sont des gaz ou particules toxiques comme les C.O.V, les oxydes de soufre, les pollens ; qu'ils sont émis par des phénomènes ou bien des accidents naturelles).

Les polluants naturels ne restent dans l'atmosphère qu'une courte période de temps et n'entraînent pas de modification atmosphérique permanente.

Polluants générés par les activités humaines : il existe un nombre important de polluants **ex :**

- les oxydes d'azote NO_x
- l'oxyde de soufre SO₂
- les oxydes de carbone CO_x
- les composés organiques volatils C.O.V
- le smog photochimique
- certains produits chimiques dans les engrais et les pesticides

➤ les chlorofluorocarbures **C.F.C**

Les effets de la pollution atmosphériques :

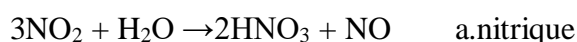
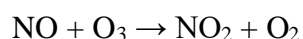
La pollution de l'air a des conséquences différentes sur notre santé ainsi sur notre environnement, ces effets dépendent de la quantité et de la durée des polluants ; parmi ces polluants on peut citer par exemple :

- ❖ Les **SO_x**, **NO_x**, **CO_x** sont responsables des pluies acides (neiges, pluies, brouillards) qui altèrent les écosystèmes, acidifient les sources d'eaux, changent les propriétés des sols, menacent la faune et la flore aquatique.....

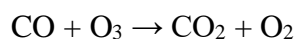
Les SO_x :



Les NO_x :

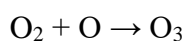
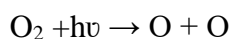
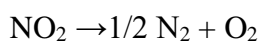


Les CO_x

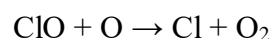
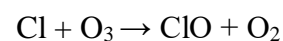
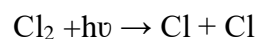
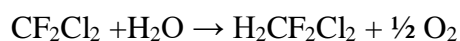


- ❖ les **NO_x**, **CO_x**, **C.O.V**, **CFC**, **BrCH₃** sont responsables de l'augmentation de l'ozone, ils abiment les plantes, ils résultent des problèmes graves sur la santé humaine, ils sont responsables des changements climatiques (effet de serre)

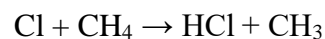
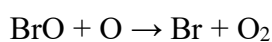
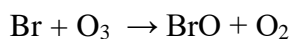
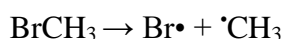
Les NO_x :



Les CFC :



Les BrCH₃ :



Chimie de l'eau

La terre, vue de l'espace, apparaît comme une planète recouverte en grande partie d'eau, ce qui explique son surnom de planète bleue. A première vue, l'eau est partout, mais sa disponibilité semble limitée. L'eau suivant les conditions de pression et de température, peut se retrouver sous trois états : solide, liquide et gazeux ; sous forme d'océans, fleuves, rivières et lacs, de neige et de glaciers, on la trouve également dans l'atmosphère et dans les nappes souterraines (97% de l'eau est présente sous forme d'eau salée et moins de 1% représente de l'eau douce, les eaux souterraine ne représentent que 2 à 3% de l'eau douce, et la glace représente 2% de l'eau).

L'eau est un composé chimique qui résulte de l'union de deux atomes d'hydrogène, et d'un atome d'oxygène pour former la molécule H_2O . Les deux atomes d'hydrogène sont situés sous un angle de 105° ; C'est cette composition de l'eau qui est à l'origine de ses propriétés spécifiques comme :

- Ses états physiques
- Sa stabilité thermique (L'énergie de formation /La température de décomposition)
- Sa capacité thermique
- Sa conductivité thermique
- **Sa Tension superficielle**
- **Sa densité**
- Son pouvoir solvant.....

L'hydrochimie, la chimie de l'eau ou la chimie aquatique décrit et s'intéresse à l'étude de la composition chimique de toutes les eaux dans la nature (la qualité de l'eau) et les processus de leurs changements sous l'influence de facteur physiques, chimiques et biologiques.

Des paramètres clés tels que la température, le pH, le potentiel redox, la conductivité électrique et la teneur en éléments (oxygène, cations, anions et complexes non chargés) et en composés organiques sont déterminés pour une première évaluation sur la qualité, l'origine de l'eau et aussi sur la contamination possible.

L'hydrochimie est étroitement liée à la géochimie, à l'hydrogéologie, à l'hydrologie terrestre, à la pétrographie, à la minéralogie, à la pédologie, à l'hydrobiologie.

Les eaux sont classées en quatre catégories de qualité :

- ❖ **Catégorie A₁ (A)** : les eaux de bonne qualité
- ❖ **Catégorie A₂ (B)** : les eaux de qualité moyenne

❖ **Catégorie A₃ (C)** : les eaux momentanément polluées

❖ **Catégorie A₄ (D)** : les eaux de mauvaise qualité

Les critères de classement prennent en compte de nombreux paramètres de différentes natures ; ils concernent :

- Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau
- La présence de substances indésirables ou toxiques
- La présence de pesticides
- La qualité microbiologique
- Les trois paramètres de la bioélectricité (pH, rH₂ et r₀)
- La couleur de l'eau

La qualité de l'eau et leur impact sur l'environnement apparaissent comme deux problèmes liés à l'évolution de l'humanité ; L'approvisionnement en eau potable à partir des cours d'eau est de plus en plus difficile en raison de la nature, de la quantité et de la nature chimique des contaminants rejetés dans le milieu par suite des activités urbaines, industrielles et agricoles; en plus de l'apparition de nouveaux produits chimiques non biodégradables qui rend l'épuration naturelle très difficile.

Les trois grandes sources de pollution de l'eau sont :

Les rejets domestiques [phosphore (lessives), matières organiques, substances médicamenteuses, les cosmétiques.....]

Les rejets industriels [métaux (Pb, Cd, Ni...), les micropolluants organiques (composés bromés), les hydrocarbures]

Les rejets agricoles [nitrates (engrais), phosphores (pesticides)...]

Concernant les impacts, les risques ou bien les dangers de la pollution de l'eau sur la santé humaine on peut citer quelques exemples selon la nature du contaminant (dans le tableau suivant)

Tableau : Quelques polluants et leurs dangers

polluant	danger
Matières en suspension	Le risque de contamination
Polluants organiques	Développement d'organismes pathogènes
Azote, phosphore	Cancers
Métaux	Troubles respiratoires, digestifs, nerveux, problèmes cutanés, cancers
pesticides	Malformations, cancers

Sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne, on est passé de l'emploi des eaux de source et de nappe à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface. Ainsi, il y a actuellement un développement des techniques de dessalement de l'eau de mer, et des méthodes de traitement des eaux usées.

L'eau peut contenir des matières différentes selon différents états :

Les matières gazeuses elles sont présentes dans l'eau sous deux formes (Libre/Dissoute)

Ex :

- L'azote N_2
- L'oxygène O_2
- Le gaz carbonique CO_2

Les matières en suspension (matières insolubles) Ces matières peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales). A ces composés s'ajoutent les microorganismes tel que: les virus.

Les matières en solution (matières solubles) L'ensemble des sels minéraux qui peut dissoudre dans l'eau (exp: sulfates, chlorures, oxydes...).

Les procédés de traitements des eaux polluées :

Les procédés de base peuvent être classés en plusieurs catégories :

Procédés physique :

- ❖ **Le dégrillage** (pour arrêter les corps flottants et les gros déchets)
- ❖ **Le tamisage** (pour arrêter les déchets de taille moyenne)
- ❖ **La décantation** (laisser déposer les matières en suspension plus lourdes que l'eau)
- ❖ **La filtration** (par des membranes pour les matériaux en poudre ou en grains)
- ❖ **La flottation** (consiste à faire remonter les polluants à la surface en utilisant de l'air sous pression)

Procédés physico-chimique :

Ce procédé permet, par l'ajout de réactifs (indicateurs) des procédés de décantation ou de filtration, d'agréger les matières en suspension

Procédés chimique :

- ❖ **L'oxydation** (par des agents agit sur les métaux, sur les matières organiques et détruit ou inactive totalement ou partiellement les germes, les virus et les bactéries)
- ❖ **La substitution** des ions pour la dénitratisation
- ❖ **La neutralisation** ou l'acidification agissent sur le pH

Procédés biologique :

La désinfection est l'étape la plus importante. Elle a pour but de neutraliser tous les virus et bactéries pathogènes (par l'utilisation des bio-filtres ou les filtres bactériens ou bien les lits bactériens)

Chimie de sol

Le sol est la partie la plus superficielle de l'écorce terrestre, à l'interface entre la géosphère, la biosphère et l'atmosphère. Le sol est un mélange de matières minérales, végétales et animales, qui se forme au cours d'un long processus, car en effet il possède quatre principaux types des constituants : les constituants minéraux, venant de l'altération de la roche-mère, les constituants organiques, venus de la décomposition d'êtres vivants, les constituants gazeux circulant dans ses interstices, et enfin la solution du sol, formée d'eau et d'ions

De plus, le rôle du sol est fondamental ; Le sol est un milieu essentiel pour de nombreux êtres vivants, il constitue un véritable réacteur biologique dont les principaux processus concernent la transformation de la matière ; La matière joue pourtant un rôle considérable sur les propriétés chimiques et physiques des sols par exemple la perméabilité, la stabilité structurale, la capacité de rétention et de circulation de l'eau

C'est Pour ça l'identification de la composition et l'origine d'un sol nécessite une étude sur ses diverses caractéristiques :

- La couleur
- La texture (sèche ou humide)
- L'agrégation (la structure)
- La porosité (son teneur en calcaire)
- Le contenu en ions et le pH
- La perméabilité du sol
- La capacité de rétention en eau
- Le pouvoir absorbant
- L'activité biologique

Parmi les constituants des sols, les colloïdes argileux et humiques étroitement associés, possèdent des propriétés d'échange d'anions et surtout de cations. La capacité d'échange, le pH et le degré de saturation en cations métalliques de cette capacité d'échange constituent les caractères importants des sols, lesquels sont également le siège de diverses autres réactions, comme celles d'oxydoréduction. Constamment modifiée par l'alimentation des plantes et les apports d'engrais, la phase liquide du sol contient des électrolytes, et il en résulte des échanges continuels entre les phases solide (appelée parfois complexe absorbant) et liquide. Celle-ci se déplace sous l'effet de la transpiration des végétaux, et les flux ioniques qui en résultent

s'ajoutent aux processus de diffusion pour amener au contact des racines les éléments nutritifs dont elles ont besoin.

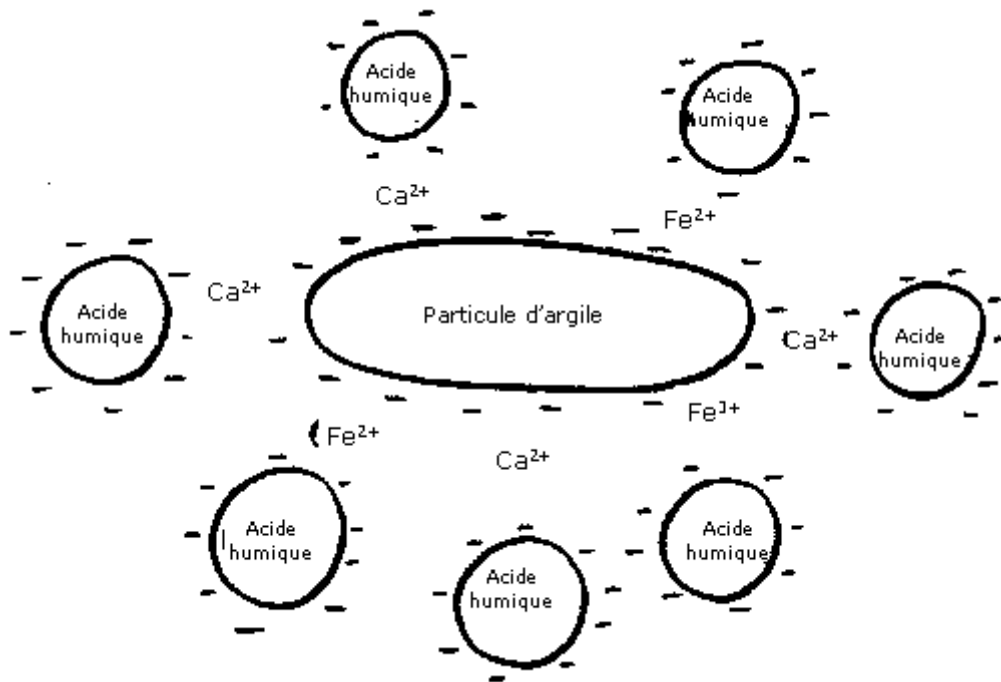


Fig. 2 : un complexe argilo-humique

Tableau :

Structure	Texture	Complexe argilo-humiques	Propriétés
Particulaire	Eléments grossiers (sable)	Peu nombreux	-Faible rétention de l'eau -Porosité élevée -Faible rétention des ions
Compacte	Eléments fins (argiles, limons fins)	Peu nombreux	-Forte rétention de l'eau -Porosité faible, résistance à la pénétration des racines -Faible rétention des ions
Grumeleuse ou fragmentaire	Mixte	Très nombreux	-Forte rétention de l'eau -Bonne porosité, bonne pénétration des racines -Forte rétention des ions

Les différentes structures du sol et leurs propriétés :

Un sol est le résultat d'une altération superficielle d'une roche mère, et d'un enrichissement en matières organiques issue d'êtres-vivants, du fait de la décomposition de la litière par des organismes décomposeurs. On a ainsi 3 facteurs entrant en jeu dans la formation d'un sol :

- **la roche mère** : ses propriétés physiques (sa composition chimique) ont une influence directe sur la nature et sur la rapidité de l'évolution d'un sol
- **les végétaux** : fournisseurs de l'essentiel de la matière organique présente dans le sol, et qui influencent aussi son évolution
- **le climat** : qui affecte les deux facteurs précédents, par la température en ce qui concerne l'altération de la roche mère, et les précipitations se déroulant au niveau du sol.

Un sol possède donc une dynamique et des échanges, dépendantes des divers facteurs qui constituent son milieu.

Réactions d'échange :

Echange ionique :

L'absorption ionique dans le sol peut être considérée comme réversible (un équilibre entre le complexe adsorbant et la solution du sol) ; certains ions du complexe passent en solution (désorption) et sont remplacés par d'autres ions, qui étaient auparavant en solution (adsorption).

La fixation des ions suit l'ordre préférentiel (l'intensité avec laquelle ces ions sont retenus) suivant :

Anions: $SO_4 > F > NO_3 > Cl > Br > \dots\dots$

Cations: $Li < Na < Mg < Ca < Ba < Al < H$

Mais cette fixation est différente pour chaque type de l'argile et de l'humus.

Pour l'adsorption, Cet ordre préférentiel de fixation, d'une grande importance pédologique, peut s'expliquer ainsi :

L'intensité de fixation dépend de la valence (les ions bivalents sont plus énergiquement retenus que les ions monovalents) et de l'hydratation des ions (les ions faiblement hydratés c'est-à-dire entourés d'une faible couche d'eau sont mieux fixés que les ions fortement hydratés)

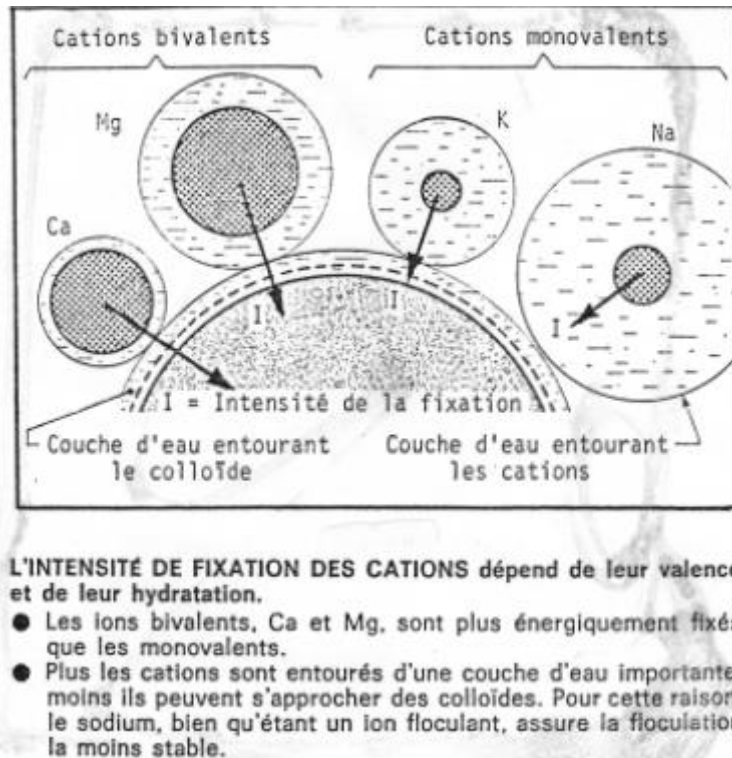


Fig. 3 : la fixation des cations (valence et degré d'hydratation)

Pour chaque ion, il existe un équilibre entre la quantité de cet ion fixée sur le complexe adsorbant et la concentration de cet ion dans la solution du sol.

Les cations habituellement fixés sur le complexe sont :

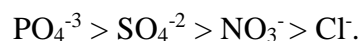
- Les ions H^+

Les ions, parmi lesquels :

- ❖ Certains sont fixés en quantité importante : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+
- ❖ D'autres en quantité généralement plus limitée :
 - l'ion ammonium NH_4^+
 - Les oligo-éléments : Mn^{++} , Zn^{++} , Cu^{++}
 - Le fer Fe^{++} ou Fe^{+++}
 - L'aluminium Al^{+++}

Concernant la sorption et l'échange des anions, dans les eaux de drainage, on trouve beaucoup d'anions NO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} ,Apparemment donc ces ions ne sont pas retenus par le pouvoir adsorbant du sol. De fait, chacun sait que les nitrates sont très facilement perdus par lessivage.

Pourtant, les anions PO_4^{-3} sont très bien retenus. Certains anions peuvent donc être fixés, et leur énergie de fixation serait la suivante, par ordre décroissant :



Plusieurs mécanismes expliquent cette fixation (figure 03).

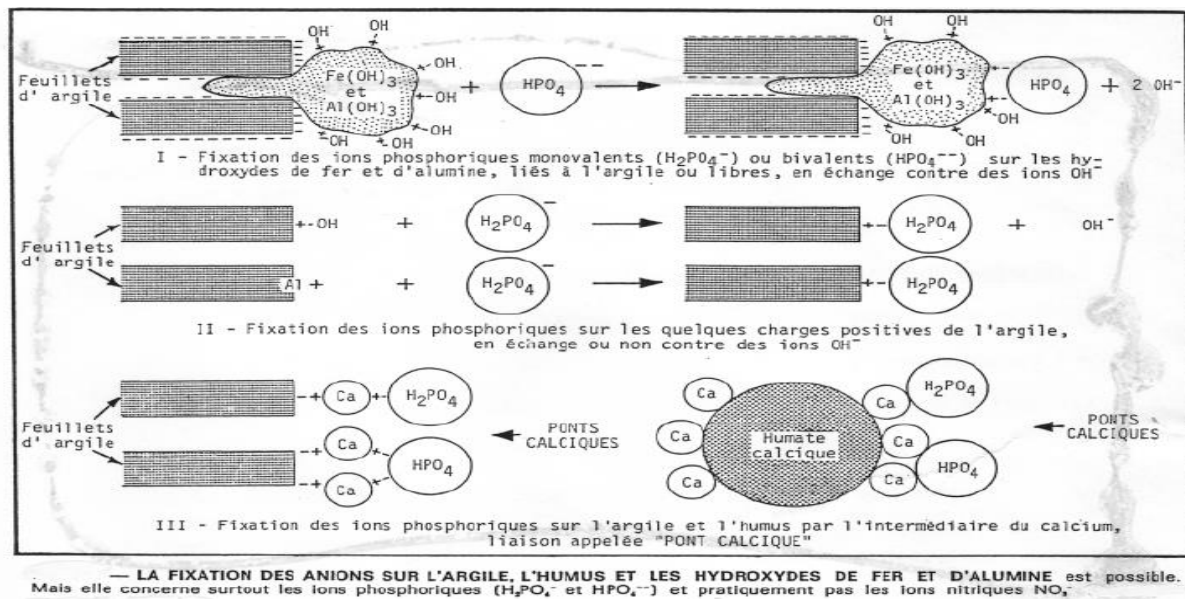


Fig. 4 : les modes de fixation des anions

Chaque complexe adsorbant est caractérisé par les valeurs suivantes :

La capacité d'échange (T ou CEC) :

La capacité totale d'échange ou capacité d'échange de cations est la quantité maximale de cations qu'un sol peut adsorber (pour 100 g de matière sèche). Autrement dit, cette mesure représente le total des charges négatives du sol disponibles fixation des cations (bases échangeables).

On l'exprime en milliéquivalents (meq) pour 100 g de matière sèche. L'équivalent d'un corps étant le rapport **[masse atomique (en g)/valence de ce corps]**

Exemple : un sol qui a une CEC de 20 meq pourrait retenir :

En Ca^{++} : $20 \text{ meq} \cdot 40/2 = 400 \text{ mg de Ca / 100 g de sol}$

En Na^+ : $20 \text{ meq} \cdot 23/1 = 460 \text{ mg de Na / 100 g de sol}$

En Fe^{+2} : $20 \text{ meq} \cdot 56/2 = 560 \text{ mg de Fe / 100 g de sol}$

La CEC d'un sol dépend de la **nature** de sol et du **pH** de ce sol.

La somme des bases échangeables (S) :

Il s'agit de la somme des quantités de cations basiques échangeables, fixés sur le complexe à un moment donné. On l'exprime également en meq pour 100 g de matière sèche.

$$T = S + \text{Al}^{+3} + \text{H}^+$$

La différence **[T-S]** appelée l'insaturation (représente la quantité des ions H^+ et Al^{+3} fixés) **Le**

Le taux de saturation (V% ou S/T) :

Le taux de saturation est le rapport [somme des bases échangeables / CEC], exprimé en %. Ce taux est variable d'un sol à l'autre, et, pour un même sol d'une année à l'autre.

Pour Chaque valeur du taux de saturation (100%, 95%, 80%, 50%, 30%, [15%, 0%]), on ajoute un adjectif au nom du sol (Saturé, quasi- saturé, méso-saturé, oligo-saturé, dé-saturé, hyper-dé-saturé)

L'acidité d'un sol : Est définie par La concentration en H^+ . Parmi les expressions les plus courantes de l'acidité des sols :

A. l'acidité actuelle (acidité active) :

Cette valeur est un reflet approximatif de la quantité d'ions H^+ libres se trouvant dans **la solution du sol**

B. l'acidité potentielle :

Exprime la somme des ions H^+ fixés sur le **complexe adsorbant**

➤ **L'acidité totale** du sol est composée de l'acidité potentielle et de l'acidité actuelle.

La Pollution de sol : L'utilisation de fertilisants chimiques, de pesticides a pollué les sols et a dégradé leur qualité ; La pollution des sols ou l'accumulation des composés chimiques toxiques, des sels, des organismes pathogènes, aura une influence néfaste sur la vie animale et végétale.

La contamination des sols peut entraîner des risques pour la santé humaine, que ce soit par contact direct ou par la contamination des eaux.

Les polluants du sol les plus courants :

- ❖ Les métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn.....)
- ❖ Les hydrocarbures
- ❖ Les hydrocarbures polycycliques (HAP)
- ❖ Les huiles minérales
- ❖ Les hydrocarbures halogénés volatils
- ❖ Les organochlorés (pesticides, insecticides, fongicides)

Origine de la pollution des sols :

1-pollution par les métaux lourds :

Les métaux lourds comme le cadmium, le plomb, le chrome, le cuivre, le zinc ou le mercure représentent la grande source de pollution des sols. Tous les sols contiennent naturellement des métaux lourds. Cependant, leur concentration peut être augmentée par : les industries, l'agriculture, l'incinération des déchets.....

2-pollution par les pesticides et les contaminants organique :

Les pesticides utilisés en agriculture polluent directement les sols en touchant les organismes qui y vivent.

Les moyens d'entrée dans le sol des polluants organiques sont la déposition à partir de l'atmosphère, l'épandage direct sur les terres, la contamination par les eaux usées et l'élimination des déchets.

Les contaminants organiques sont les pesticides et de nombreux autres composés comme les huiles, les goudrons.....

Effets de la pollution des sols :

La pollution des terres agricoles par les métaux lourds réduit les rendements agricoles et augmente la concentration de ces métaux dans les récoltes, ce qui les introduit dans la chaîne alimentaire. Les polluants organiques directement appliqués aux sols ou déposés à partir de l'atmosphère sont absorbés par les plantes ou entraînés vers les plans d'eau ; donc ils affectent la santé humaine et animale.

Certains métaux lourds et métalloïdes sont connus pour leurs pouvoirs neurotoxiques et cancérogènes par ingestion ou inhalation.

Certains hydrocarbures, en particulier le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont reconnus pour leur effet cancérogène et mutagène.....

Moyens de lutte contre la pollution des sols :

Les techniques pour dépolluer un sol sont réparties en trois catégories :

Traitement physicochimique : pour nettoyer un site il faut passer dans le sol des agents chimiques qui permettent de stabiliser les polluants présents dans le sol

Traitement thermique : pour enlever les composés organiques qui polluent le sol il faut chauffer le sol (650°-1000°C)

Traitement biologique : grâce à un apport d'oxygène, on stimule le mécanisme des micro-organismes afin qu'ils dégradent les polluants du sol.

Polluants chimiques

Polluants chimiques

Un polluant désigne un agent physique, chimique ou biologique qui provoque une gêne ou une nuisance dans le milieu liquide, solide ou gazeux. Au sens large, le terme désigne des agents qui sont à l'origine d'une altération des qualités du milieu, même s'ils y sont présents à des niveaux inférieurs au seuil de nocivité. Pour les polluants qui ont un effet nocif sur les organismes vivants, on réserve le terme de contaminants. Des conventions internationales réglementent le rejet des polluants selon leur toxicité. Un polluant est dit altéragène. On peut désigner sous le terme de polluant toute substance artificielle produite par l'homme et dispersée dans l'environnement, mais aussi toute modification d'origine anthropogène affectant le taux ou (et) les critères de répartition dans la biosphère d'une substance naturelle propre à tel ou tel milieu.

Les polluants représentent un déséquilibre dans la composition d'un milieu. Ils reflètent une instabilité anormale. Les polluants peuvent être classés en polluants atmosphériques, polluants de l'eau et polluants du sol.

Les types des polluants :

Les polluants peuvent être classés :

- ❖ selon leur nature (substance solide, liquide ou gazeuse), d'origine minérale ou organique, ou rayonnement (ultraviolet, radioactivité) ou industrielle, anormalement présent dans un environnement donné
- ❖ selon leurs cibles dans l'environnement (plantes, champignons)
- ❖ selon leurs cibles internes à un organisme (ex: un neurotoxique affecte le système nerveux ou une de ses parties)
- ❖ selon leur mode d'action (directe, indirecte ou synergique)
- ❖ selon la durée de leurs effets
- ❖ selon leur taille (micropolluants ou macropolluants) ou l'importance de la dose posant problème
- ❖ selon les compartiments de l'écosystème qu'ils affectent (polluants de l'air, de l'eau, des sols) :

1- Polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques sont les polluants de l'air sous forme de gaz (ou de fumées et vapeurs) ou de particules.

Les principaux polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles bien distinctes :

Les **polluants primaires** et les **polluants secondaires**.

- les **polluants primaires** : sont directement issus des sources de pollution (trafic routier, industries, chauffage, agriculture...).

Il s'agit par exemple :

- ❖ Des oxydes de carbone.
 - ❖ Des oxydes de soufre.
 - ❖ Des oxydes d'azote.
 - ❖ Des hydrocarbures légers.
 - ❖ Des composés organiques volatils (COV).
 - ❖ Des particules (PM10 et PM2.5).
 - ❖ Des métaux (plomb, mercure, cadmium...).
- les **polluants secondaires** : ne sont pas directement rejetés dans l'atmosphère mais proviennent de réactions chimiques de gaz entre eux (à partir des polluants primaires, qui sont alors appelés précurseurs). C'est le cas notamment :
 - ❖ Des particules secondaires.
 - ❖ De l'ozone.
 - ❖ Du dioxyde d'azote.....

Il est à noter que Certains polluants comme le dioxyde d'azote et les particules sont à la fois des polluants primaires et secondaires.

Les principales causes de la pollution atmosphérique sont :

 soit **naturelles** comme :

- les éruptions volcaniques
- les feux naturels à grande échelle....

 soit **liées à l'activité humaine** comme :

- la production de l'énergie thermique (au niveau domestique ou industriel)
- combustion des combustibles fossiles
- les gaz d'échappement des moyens de transports (terrestre, aérien et naval)

- le traitement des déchets (décomposition des déchets, incinération)
- les activités agricoles (engrais, décomposition des matières organiques, l'épandage des pesticides...)

Les mécanismes de la formation de la pollution atmosphérique sont les suivants :

1. **émissions** : les polluants sont émis dans l'atmosphère à partir des différentes sources,
2. **réactions chimiques** : ces réactions ont lieu dans l'atmosphère et créent, modifient ou détruisent les polluants,
3. **transport et dispersion** : les conditions climatiques comme le vent ou la pluie transportent les polluants atmosphériques loin des sources,
4. **déposition** : sur la surface de la Terre par la pluie par exemple.

Les facteurs qui influencent la pollution atmosphérique sont **la quantité** des polluants émis par les sources, **la durée** d'existence des polluants dans le milieu ainsi que les **conditions climatiques** [par exemple la vitesse du vent a une influence sur la concentration et la diffusion des polluants ; L'ensoleillement peut provoquer des réactions photochimiques qui produisent des polluants secondaires et La température inverse qui consiste à la création de zones de blocage empêche la diffusion des polluants....]

Les principaux polluants atmosphériques sont les suivants :

❖ **les Composés azotés :**

Ce sont les oxydes d'azote NO et NO₂ généralement désignés sous le nom de NO_x ainsi que N₂O et l'ammoniaque NH₃.

Les émissions d'oxydes d'azote (monoxyde d'azote plus dioxyde d'azote) apparaissent dans toutes les combustions, à haute température, de combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole...). Le monoxyde d'azote (NO) n'est pas toxique pour l'homme aux concentrations auxquelles on le rencontre dans l'environnement mais le dioxyde d'azote (NO₂) est un gaz irritant des voies respiratoires qui provoque la détresse respiratoire et des œdèmes pulmonaires.

Le secteur du trafic routier est responsable de plus de la moitié des émissions de NO_x et le chauffage de près de 20%.

Le dioxyde d'azote provient quant à lui de l'oxydation du monoxyde d'azote rejeté dans l'atmosphère par l'ozone. Mais une partie du dioxyde d'azote est également émise telle quelle dans l'atmosphère.

❖ **les Particules PM (Particules en suspension) :**

Les microparticules (la poussière solide ou liquide), de la taille du micromètre (µm) ne sont pas visibles à l'œil nu. Ce sont celles qui sont mesurées dans l'air à travers :

- Les **particules PM10**, de taille inférieure à 10 μm (6 à 8 fois plus petites que l'épaisseur d'un cheveu ou de la taille d'une cellule) et qui pénètrent dans l'appareil respiratoire.
- Les **particules fines** ou **PM 2.5**, inférieures ou égales à 2,5 μm (comme les bactéries) et qui peuvent se loger dans les ramifications les plus profondes des voies respiratoires (alvéoles).

Ces particules ont des effets sur la santé, principalement au niveau cardiovasculaire et respiratoire. Elles ont trois origines :

- Les rejets directs émises dans l'atmosphère, toutes activités domestiques, entreprises, commerces, artisanat, en particulier le chauffage (dont le chauffage au bois) produisent un quart des PM10 rejetées dans l'air; Idem pour le trafic routier.
- Les remises en suspension des particules qui s'étaient déposées au sol sous l'action du vent ou par les véhicules le long des rues.
- La transformation chimique de gaz. Par exemple, dans certaines conditions, le dioxyde d'azote pourra se transformer en particules de nitrates et le dioxyde de soufre en sulfates.

L'Ozone (O₃) :

A très haute altitude, dans la haute atmosphère, l'ozone protège les organismes vivants en absorbant une partie des rayons UV. Mais à basse altitude, là où nous vivons et respirons, c'est un polluant qui irrite les yeux et l'appareil respiratoire, et qui a des effets sur la végétation.

L'ozone est un polluant, qui pose problème essentiellement en été, car pour produire beaucoup d'ozone la chaleur et un ensoleillement suffisant sont nécessaires. En effet, ce polluant n'est pas directement émis dans l'atmosphère mais se forme par réaction chimique à partir d'autres polluants, en particulier les oxydes d'azote et des hydrocarbures, sous l'action des rayons UV du soleil.

Les Composés soufrés SO_x :

Ce sont des oxydes de soufre SO₂ et SO₃ et plus rarement H₂S. Les émissions de dioxyde de soufre SO₂ dépendent de la teneur en soufre des combustibles (gazole, fuel, charbon...). Ce gaz irrite les muqueuses de la peau et des voies respiratoires supérieures. A plus de 50% il est rejeté dans l'atmosphère par les activités industrielles, dont celles liées à la production d'énergie comme les centrales thermiques. Mais il est également émis par le chauffage résidentiel, commercial ou des entreprises. En plus de sa toxicité, il provoque les pluies acides. Il est aussi le précurseur du SO₃

Les Composés organiques volatils COV :

Ils sont volatils ou aromatiques, ou encore carbonylés ou carboxyles :

- Les hydrocarbures aromatiques comme le benzène contenu dans l'essence produisent des leucémies, des troubles du système nerveux et hépatique.
- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP modifient les gènes et provoquent des cancers.
- Les aldéhydes et formaldéhydes sont irritants et intoxiquent les gènes. Plusieurs familles de polluants font partie des COV comme :
 - Les **BTEX** (benzène, toluène, éthyl de benzène, xylène), autrement appelés HAM (Hydrocarbures aromatiques monocycliques).
 - Les **HAP** (Hydrocarbures aromatiques polycycliques).
 - Les **aldéhydes**, dont le formaldéhyde, polluant principalement relevé en air intérieur.

Les COV sont émis par le trafic automobile, par les processus industriels, par le secteur résidentiel, par l'usage domestique de solvants, mais également par la végétation.

Les Métaux lourds :

Cette famille comprend le plomb (Pb), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni). Les métaux proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères mais aussi de certains procédés industriels.

Ces polluants peuvent s'accumuler dans l'organisme, avec des effets toxiques à plus ou moins long terme.

Ils attaquent le système nerveux. Le plomb provoque le saturnisme. Ils peuvent se fixer à long terme dans les os et provoquer des maladies.

Les Composés carbonés :

Ce sont le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO₂. Le monoxyde de carbone CO est un gaz inodore et incolore qui est toxique car il bloque l'hémoglobine. Il entraîne des vertiges, nausées et pertes de connaissance qui peuvent entraîner la mort.

Les émissions de monoxyde de carbone sont liées à des combustions incomplètes (gaz, charbon, fioul ou bois), elles proviennent majoritairement des gaz d'échappement des véhicules. Si la combustion se déroule avec une quantité suffisante ou un excès d'air, tout le CO se transforme en CO₂.

Le CO₂ est un gaz à effet de serre qui est l'un des premiers responsables du réchauffement climatique. C'est un produit de la combustion. Il provoque l'étouffement.

Les Chlorofluorocarbones (CFC) :

Le chlore présent dans l'atmosphère provient principalement des chlorofluorocarbones ou CFC.

Les CFC se composent de fluor, de carbone et de chlore (CFC-11 : CFCl_3 , CFC-12 : CF_2Cl_2 , CFC-113 : $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$, CFC-114 : $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$). Ils ne sont ni solubles dans l'eau ni réactifs.

Cette stabilité fait qu'ils ne peuvent être détruits que par des radiations UV hautement énergétiques.


Les Dioxines et furannes :

Les dioxines sont des molécules de polychlorodibenzodioxine (PCDD) et polychlorodibenzofuranne (ou PCDF). Les dioxines proviennent des phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques ou les incendies de forêts. Elles proviennent surtout de la combustion, des huiles usagées ou apparaissent au cours du refroidissement des gaz de combustion lors du processus d'incinération des déchets. Ce sont des polluants organiques persistants dans l'environnement.


Elles peuvent être stockées dans les graisses animales et entrent ainsi dans la chaîne alimentaire. Ces espèces sont dangereuses pour la santé : elles diminuent l'immunité provoquent des lésions dermiques et des cancers.


2- Polluants de l'eau


Polluer l'eau est de modifier sa composition et ses caractéristiques physico-chimiques en y ajoutant des produits solubles ou insolubles. Ceci entraîne la perturbation de l'équilibre biologique et empêche l'utilisation de l'eau pour la consommation. Les rejets industriels en eau sont les eaux qui sont rejetées par les usines après avoir contribué au processus de fabrication. Ces eaux appartiennent à différentes catégories :

 **eaux de fabrication** : ces eaux contribuent à la fabrication des différents produits.

Elles sont en contact avec des solides, des liquides et des gaz et deviennent ainsi chargées de produits toxiques. Les rejets de ces eaux sont continus ou discontinus,

 **rejets des circuits de refroidissement** : ces eaux ne sont en général pas polluées et peuvent être recyclées. Les rejets de purge des circuits de refroidissement sont par contre très minéralisés.

 **eaux de lavage et de nettoyage** : elles sont abondantes et chargées de détergents ou d'hydrocarbures, **eaux usées** : elles contiennent des matières organiques biodégradables, de la graisse quand il s'agit des eaux des cantines. Elles peuvent être traitées et recyclées. Les boues de stations d'épuration sont utilisées pour la fabrication du biogaz.

 **rejets accidentels** : ils sont ponctuels et parfois très polluants. Les types de pollution de l'eau sont les suivants :

- **pollution insoluble** : de particules ou de liquide insoluble qui provoque le changement de couleur, la nuisance à l'appareil respiratoire des poissons et rend l'eau opaque aux rayons du soleil ce qui nuit aux plantes en empêchant la photosynthèse
- **pollution toxique** : les produits toxiques sont nombreux : les produits minéraux comme les métaux lourds, les acides et les bases, et les produits organiques
- **pollution organique** : rejets des eaux usées et des eaux de l'industrie agroalimentaire. Elles ne sont pas toxiques en elles-mêmes mais favorisent la prolifération des bactéries lors de leur décomposition,
- **pollution azotée et phosphorée** : résultat du déversement des engrais, d'industrie agroalimentaire et des laveries industrielles. Les composés azotés et phosphorés perturbent l'équilibre biologique du milieu aquatique, et rendent l'eau impropre à la consommation,

- **pollution radioactive** : c'est le rejet de produits radioactifs dans l'eau à proximité des centrales nucléaires,
- **pollution thermique** : elle consiste à rejeter des eaux à des températures élevées, en sachant que les poissons ne résistent pas à une température supérieure à 35°C.

Le prélèvement et l'échantillonnage sont nécessaires pour contrôler la qualité de l'eau et pour connaître le niveau de pollution. Le traitement des eaux avant rejet est préconisé dans toutes les activités industrielles.

3- Polluants des sols

Les principaux polluants des sols sont :

➤ **Les effets du dépôt acide**

Sur les sols, les pluies acides ont une série de conséquences :

- Lessivage des éléments nutritifs des sols,
- Elimination des éléments nutritifs essentiels aux plantes,
- Diminution des micro-organismes,
- Sortie du sol de métaux toxiques.

Les pollutions diffuses via le transport atmosphérique :

Les polluants toxiques concernés sont essentiellement les divers pesticides employés à des fins agricoles, et la catégorie des polluants organiques persistants (POP) qui ne se détruisent pas et se concentrent via les chaînes trophiques.

Les pesticides :

Selon le mode d'épandage choisi, les pesticides peuvent diffuser hors de leur zone cible et contaminer les sols. On entend par pesticide toute substance phytosanitaire utilisée dans la lutte contre les ennemis des plantes

Les Polluants organiques persistants :

Les Polluants Organiques Persistants (POP) sont des molécules complexes qui, contrairement aux autres polluants atmosphériques, ne sont pas définis à partir de leur nature chimique, mais à partir de quatre propriétés qui sont la toxicité, la persistance dans l'environnement, la bioaccumulation, le transport sur de longues distances.

Les métaux lourds :

Un cas particulier est la pollution par le plomb rejeté dans l'atmosphère par certaines industries et également par la combustion de l'essence pour automobile où il était utilisé comme anti-détonnant.

Les impacts de la pollution :

La pollution produit des phénomènes nocifs et destructeurs pour l'environnement, la santé et la vie en général. C'est le résultat de ces phénomènes qui a poussé les humains à prendre la pollution au sérieux et à préserver l'environnement.

L'Effet de serre et réchauffement climatique :

La pollution entraîne un changement climatique. Ce phénomène est bien connu et prouvé par les scientifiques depuis longtemps. Il résulte du déséquilibre entre l'énergie sortante et

l'énergie entrante dans la surface de la Terre qui devraient être constantes. Tout apport de rayonnement supplémentaire provoque un déséquilibre et une hausse de température. Les gaz qui produisent le réchauffement climatique sont le CO₂, le méthane, les CFC et l'ozone troposphérique. Leur réduction pourrait diminuer considérablement le réchauffement climatique. Le changement de climat global augmente les effets de la pollution atmosphérique en élevant la température, chose qui contribue à former l'ozone troposphérique. Il augmente aussi les effets de stagnation qui altère la qualité de l'air. De la durée de vie des gaz à effet de serre dépend l'impact du changement climatique qui dure ainsi des années, des décennies ou des siècles.

Les Pluies acides :

La pluie contient des impuretés et des acides naturels comme le CO₂ ainsi que des bases naturelles comme l'ammoniaque et le carbonate de calcium. A l'état normal, la pluie doit avoir un pH compris entre 5 et 7. Les pluies acides produisent des pH inférieurs à 5. Ceci se produit quand de grandes quantités de polluants comme le SO₂ et les NO_x sont dans l'atmosphère. Ce sont les premiers responsables de ces pluies. Ces deux polluants s'oxydent dans l'atmosphère en formant des acides qui, en se dissolvant dans l'eau des nuages libèrent des ions H⁺

Les activités agricoles répandent dans l'atmosphère de l'ammoniaque qui pourrait neutraliser le H⁺ en le captant pour se transformer en NH₄⁺, mais cet effet est illusoire car NH₄⁺ à son tour libère H⁺ quand il est dans l'atmosphère. Dans les régions qui contiennent naturellement des bases comme les océans (riches en ions de carbonate CO₃²⁻), les pluies acides sont rapidement neutralisées et n'ont presque pas d'effets sur l'environnement. Mais pour les régions qui n'ont pas assez de capacité à neutraliser les acides, ces pluies causent de sérieux dégâts dans les plantes, les cours d'eau comme les lacs et les fleuves et dans les sols et terres agricoles.

Le Smog :

On distingue deux types de smog : le smog industriel et le smog photochimique.

- **Smog industriel :** dans le smog industriel, les émissions de SO₂ jouent un rôle capital. Il se forme dans les zones industrielles froides et humides. Les basses températures contribuent au phénomène d'inversion qui bloque les polluants tandis que l'humidité favorise l'oxydation rapide du SO₂ pour former de l'acide sulfurique et des particules de sulfate. Ce type de pollution est très fréquent dans les zones où il y a combustion produisant du SO₂ et cause parfois des dégâts importants.

- **Smog photochimique** : c'est un problème qui persiste. La cause principale est les véhicules de transport urbain émettant des NOx et des COV qui réagissent en présence des UV pour former de l'ozone. Ce type de smog est fréquent en été quand l'ensoleillement est important et le vent est faible, favorisant la stagnation des polluants.

L'Eutrophisation :

L'eutrophisation est un phénomène qui touche les milieux aquatiques à circulation réduite. Elle est le résultat d'accumulation d'éléments qui nourrissent les algues, comme l'azote et le phosphore. Ces éléments provoquent la prolifération importante de certaines algues, ce qui conduit à la désoxygénation du milieu aquatique en question, y rendant ainsi toute vie impossible. Les raisons de l'eutrophisation sont :

- ❖ les rejets de matières organiques dans les cours d'eau,
- ❖ le déversement d'engrais dans les cours d'eau,
- ❖ le déversement des eaux de pluie urbaines chargées en matières organiques.

**Normes, qualité
et législation dans
le domaine
de l'environnement**

Normes, qualité et Législation dans le domaine de l'environnement

La normalisation est un processus qui permet d'élaborer une norme à partir des usages et des meilleures pratiques. Elle apparaît comme un outil particulièrement adapté pour accompagner la mondialisation des échanges, l'interpénétration des technologies et la globalisation des questions d'environnement et de sécurité, qui rendent plus que jamais indispensable le développement des normes.

Les normes consacrent l'entrée de la protection de l'environnement dans les réalités usuelles de la vie économique et industrielle, dans le domaine de « l'opérationnel » au sens propre. Les normes peuvent se révéler de précieux outils pour l'application de politiques publiques et de réglementations : loin de s'y substituer, elles peuvent en faciliter la mise en œuvre pratique. Ce gain d'efficacité tient à l'esprit de concertation et au principe de consensus qui président à la préparation des normes. Les grandes orientations de la normalisation environnement sont définies dans ses aspects généraux par le comité d'orientation stratégique environnement.

Une norme est définie en fonction d'une spécification technique approuvée par un organisme reconnu à activité normative pour application répétée ou continue à un moment donné... en conséquence, peut être révisée à tout moment en fonction de l'évolution d'une technique. Outre cette éventualité, les normes sont soumises à révision quinquennale afin de répondre au mieux à l'évolution d'un produit

Les normes concernent tous les domaines techniques et donnent une indication spécifique sur le domaine concerné : normes « Qualité », « Environnement », « Bâtiment », « Santé », « Energie », « Sécurité », « Matériaux », « Agroalimentaire », « Risque »...

Une norme valorise les produits en garantissant ses performances, sa composition et la limitation de son l'impact sur l'environnement. Elle différencie sur le marché le produit qui peut s'en prévaloir. Le consommateur est sensible à la présence d'une norme sur l'étiquetage et son achat va de préférence au produit qui est « normé ».

La norme apparaît nettement comme un outil « marketing » facilement compris et indiscutable lors d'une négociation commerciale. Ce constat n'a pas échappé aux industriels et a stimulé leur implication dans le processus de normalisation.

Norme de qualité environnementale [NQE] :

C'est la concentration d'un polluant dans le milieu naturel qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement. La norme de qualité environnementale, intervient dans la détermination de l'état chimique.

Aucun site, installation industrielle ou tertiaire n'échappe à la **réglementation environnement**. Les textes de **réglementation environnement** sont nombreux et peuvent être nationaux (charte de l'environnement, lois, code de l'environnement, règlements et actes administratifs) ou internationaux (traités et conventions internationales, directives et règlements).

Cette réglementation environnement, ainsi que des normes environnementales, peuvent définir des prescriptions à la fois techniques, administratives et fiscales dans des domaines divers, tels que :

- ❖ Réglementation déchets,
- ❖ Réglementation bruit,
- ❖ Réglementation eau,
- ❖ Réglementation air,
- ❖ Réglementation paysage,
- ❖ Réglementation ICPE

Une **ICPE** est une installation dont l'exploitation présente des risques pour l'environnement.

Un site peut être classé ICPE en fonction de la nature :

- des substances présentes sur le site (oxygène, acétylène, liquides inflammables...),
- de ses activités (élevage, travaux du bois, atelier de réparation...).

L'exploitation d'une ICPE est soumise à un contexte réglementaire fort qu'il convient de maîtriser. En effet une installation classée peut être soumise au régime de la déclaration ou de l'autorisation, qui sont deux procédures administratives différentes à suivre pour pouvoir exploiter en toute légalité. Les sanctions en cas d'exploitation illégale d'une ICPE vont de l'amende à la fermeture de l'installation, voire à des peines d'emprisonnement.

Le néglige de la **réglementation environnement** applicable ou ne pas suffisamment la comprendre, c'est s'exposer à des risques importants de sanctions juridiques (amende, interdiction d'exploiter voire même sanction pénale), de dégradation de son image de marque, de risques financiers (augmentation des primes d'assurance, perte de clients...) avec le risque d'accidents.

Il est donc essentiel pour tout organisme de connaître et de se mettre en conformité à la **réglementation environnementale**.

L'amélioration de la qualité des produits et des services, la préservation de la santé et de la sécurité des personnels et des utilisateurs, la protection de l'environnement sont la préoccupation constante des entreprises.

Leur activité est encadrée par des textes législatifs, réglementaires, normatifs, qu'il est nécessaire de connaître, d'interpréter, d'appliquer au niveau international.

Organismes de normalisation :

Ex :

L'ISO (International Organization for Standardization) est l'organisation internationale de normalisation :

Elle est le **plus grand producteur** et éditeur mondial de **Normes internationales**. L'ISO est une **organisation** qui jette un pont entre le secteur public et le secteur privé.

L'ISO établit un **consensus** sur des solutions répondant aux exigences du monde économique et aux **besoins plus généraux de la société**.

Plus de 18 000 Normes internationales ISO ont ainsi pu être élaborées et 1 100 sont publiées chaque année.

Le CEN (Comité européen de normalisation) harmonise les normes élaborées en Europe : Le CEN élabore des normes techniques (normes EN ou euronorms). La marque EN est une Key mark, un certificat de qualité pour les produits et services. Les euronorms sont ensuite reprises par les membres du CEN qui les diffusent en tant que normes nationales (en France, l'**AFNOR** les diffuse sous la référence NF EN)

Placée sous la tutelle du ministère chargé de l'Industrie, l'Association française de normalisation (**AFNOR**) est l'organisme officiel français de normalisation et représente la France auprès de l'ISO.

L'AFNOR édite la collection des normes NF. Elle garantit la **qualité** et la **sécurité** des **produits** et **services** certifiés à partir de critères plus exigeants que les normes ISO en vigueur.

En **Algérie** à l'instar de la majorité des pays du monde l'intérêt porté à la législation en matière de respect et de préservation de l'environnement. La loi relative à la protection et à la législation dans le domaine de l'environnement date du **25 décembre 1994** (Création du Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable et fixant ses attributions, son organisation et son fonctionnement). Depuis, les pouvoirs publics ont consenti dans ce domaine des efforts effectifs et une politique très ambitieuse a été mise en œuvre et continue à évoluer.

Dès le début des années 2000, un nouveau droit de l'environnement centré sur les besoins du citoyen est né, à commencer par la loi relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, promulguée en juillet 2003, fondée sur les principes dégagés au niveau international a intégré le concept de développement durable. Autre innovation de la

loi : elle institue le plan national d'action environnementale et de développement durable (PNAE-DD); pour protéger la santé humaine et la qualité de l'environnement.

A cet égard, des étapes ont été franchies, à savoir, la mise en place d'une législation, de structures chargées des questions de l'environnement, la création de l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR) et l'introduction de la donne environnemental dans le secteur éducatif. Ainsi, l'implication des acteurs des activités économiques, et surtout industrielles, entre autres, sont mise à l'épreuve et leur engagement est de taille pour la réduction de la pollution par l'introduction de nouveaux mécanismes et des technologies nouvelles pour la préservation des ressources naturelles et l'environnement, notamment: l'air, l'eau, et les sols, la santé et la sécurité des travailleurs.

Le législateur algérien a opté pour une formule à double usage pour promulguer les lois relatives à la protection de l'environnement. D'une part En détermine les mesures protectrices qui luttent contre l'atteinte à l'environnement et d'autre part En détermine les sanctions pénales prises à l'encontre des contrevenants.

La conservation de l'environnement administratif :

La loi portant protection de l'environnement n'est pas une loi unifiée ou juridique dans une seule législation, il s'agit plutôt d'un ensemble de législations diverses qui rentrent dans le cadre des textes de la loi administrative qui portent sur la santé publique et l'hygiène en générale et tout ce qui a trait au développement durable.

L'autorité du contrôle administratif est considérée comme le plus efficace dans le domaine de la conservation du contrôle de l'environnement.

Le contrôle judiciaire environnemental :

Les activités qui causent la détérioration de l'environnement engendrent deux sortes de responsabilités, la première est **civique**, connue comme l'impact civique classé par la loi comme un acte de détérioration vis-à-vis de la loi. La deuxième responsabilité est **pénale** c'est-à-dire le nécessité de soumettre de l'auteur de cette détérioration aux sanctions pénales prévues par la loi.

Hygiène et sécurité dans l'environnement

Hygiène sécurité environnement

L'accident est une manifestation du risque qui est susceptible d'engendrer des dommages sur des personnes, des installations et/ou de l'environnement. **La Sécurité** signifie la prévention contre tout ce qui concerne les accidents ou du risque inacceptable. La Sécurité désigne l'ensemble des moyens humains, organisationnels et techniques réunis pour faire face aux risques techniques, physiques, chimiques et environnementaux pouvant nuire aux personnes et aux biens sans avoir un but de profit.

Au sein des activités professionnelles, nous nous intéressons pour développer une politique qui contrôle les aspects liés aux risques professionnels au sein des entreprises afin de conduire à un système de management intégré. Cette politique [Qualité, hygiène, sécurité, environnement (**QHSE**), aussi appelé Hygiène (santé), sécurité, sûreté, environnement (**HSSE**), Qualité, sécurité, environnement (**QSE**) ou Hygiène, sécurité, environnement (**HSE**)] a pour objectif de mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection de la santé des populations, de réduire les risques au travail : accidents, maladies professionnelles, bruit, pollution, etc. et d'augmenter la qualité des produits et services..., de la préservation des installations et de l'environnement

L'Hygiène, la Santé et la Sécurité au Travail tiennent aujourd'hui une place de plus en plus prépondérante dans la stratégie et le management de l'entreprise, pour éviter les accidents du travail (**AT**) ou bien maladies professionnelle (**MP**).

Hygiène est un terme qui concerne le nettoyage et la propreté. Dans le cas de l'hygiène environnementale, le concept est associé à la préservation individuelle et collective des conditions sanitaires du milieu afin d'éviter qu'il nuise à la santé des personnes (dans le cadre de la lutte contre les maladies contagieuses).

L'hygiène environnementale ou du travail est une discipline de la prévention qui consiste à étudier les milieux de travail dans le but d'**anticiper**, d'**identifier**, d'**évaluer** et de **contrôler** les risques pour la santé. L'analyse de risques permet de déterminer le degré de gravité du risque et les moyens nécessaires pour le réduire à un niveau acceptable si l'on ne peut l'éliminer complètement.

L'hygiène environnementale traite certaines tâches, par exemple :

- la détermination de la qualité de l'air intérieur,
- l'échantillonnage de contaminants,
- l'évaluation de postes de travail,

- l'analyse de l'environnement sonore,
- l'évaluation de la contrainte thermique,
- l'évaluation de l'éclairage.....

Le rôle de l'**hygiène du travail (en milieu professionnel)** est précisément de prévenir et de maîtriser les risques liés aux activités professionnelles. L'hygiène du travail a notamment pour objectif de protéger et de promouvoir la santé des travailleurs, de protéger l'environnement et de favoriser un développement sûr et durable.

Le concept de **sécurité** au travail appuie son existence sur un postulat de départ assez simple: toute activité professionnelle engendre des risques pour la sécurité d'un travailleur, à des degrés plus ou moins élevés. Encadrée par la loi, la notion de sécurité au travail ne cesse de donner naissance à de nouvelles réglementations, de nouvelles mesures, des innovations. Bien que les chiffres de la sécurité au travail révèlent que l'homme est en cause dans plus de deux tiers des accidents de travail, la tâche des dirigeants d'entreprises est de réduire au maximum les risques afin de protéger leurs salariés et de préserver leur intégrité physique et morale.

Pour assurer la sécurité au travail pour les entreprises dans chaque pays, des mesures ont été imposées aux chefs d'entreprise dans la perspective d'améliorer la sécurité au travail. C'est notamment le cas avec:

- ✚ La création d'un comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (CHSCT) dans les entreprises qui emploient de nombreux salariés;
- ✚ L'obligation pour toute entreprise de réaliser un document unique (DU) d'évaluation des risques professionnels ;
- ✚ Des mesures incitatives à l'amélioration des conditions de travail, facteurs d'une meilleure productivité des salariés.

Les moyens, le personnel, les organisations diffèrent d'une entreprise à une autre, mais concernant la sécurité, les principes à appliquer restent les mêmes.

La culture de sécurité est un ensemble de manières de faire et de manières de penser largement partagées par les acteurs d'une organisation à propos de la maîtrise des risques les plus importants liés à ses activités.

La sécurité n'est pas le rôle d'un spécialiste, mais celle de chacun ; La sécurité efficace est intégrée aux opérations, aux processus, comme à toutes les activités de l'entreprise.

Tout accident peut être évité; Chacun est responsable de sa sécurité et celle des personnes qui l'entourent. La sécurité est avant tout une affaire de comportement individuel, à tous les niveaux, en commençant par les responsables.

L'entreprise existe dans un **environnement** dont elle fait partie intégrante. Par ailleurs, les activités de l'entreprise se développent en interdépendance étroite avec l'environnement qui lui impose des contraintes. Les structures internes de l'entreprise, en vue de faire face aux incertitudes, s'adaptent aux types et aux conditions de l'environnement, qui n'est ni statique, ni homogène.

L'environnement est composé de tous les éléments et acteurs extérieurs susceptibles d'affecter l'activité de l'entreprise (une influence direct ou indirecte sur elle). Ces facteurs extérieurs peuvent apparaître comme des contraintes ou des opportunités. L'environnement de l'entreprise a de multiples composantes qui le rendent complexe. On distingue généralement trois types:

1-le macro-environnement : environnement général de l'entreprise qui intègre les aspects sociologiques, économiques, juridiques, techniques

2-le micro-environnement : environnement spécifique de l'entreprise constitué de ses clients, de ses fournisseurs, de ses sous-traitants, de ses concurrents...

3-Le méso-environnement : représente les caractéristiques du jeu concurrentiel dans le secteur. Un secteur d'activité ne se trouve pas dans le même état selon les pays où l'on peut observer des différences au niveau de l'intensité de la demande.

L'environnement de l'entreprise est constitué de l'ensemble des forces extérieures à l'entreprise qui agissent et réagissent au profit ou à l'encontre de l'entreprise.

Un environnement Politique : Les décisions politiques sur les thèmes de la fiscalité ou du social par exemple vont se répercuter sur le comportement des acteurs de l'entreprise.

Un environnement Economique : On retrouve ici les grandes tendances liées à la conjoncture économique comme la croissance, l'inflation, le chômage ou encore la politique monétaire qui vont se répercutées sur l'activité de l'entreprise.

Un environnement Socioculturel : Les facteurs démographiques, culturels, morales ou l'évolution des modes de vie peuvent en partie expliquer le comportement de l'entreprise et de son marché.

Un environnement Technologique : Il comprend les nouvelles avancées technologiques, les dépenses de recherche et développement publics ou privées qui augmenteront la productivité des entreprises.

Un environnement Ecologique : Il reflète à la fois l'évolution des réglementations liées à la protection de l'environnement et celle des nouvelles attentes des clients sur la dimension éthique des entreprises. On peut aussi y intégrer les ressources naturelles que va utiliser l'entreprise.

Un environnement Légal : Toutes les sociétés devront respecter les lois, règlements et autres décrets qui vont régir l'exercice de l'activité économique.

Dans le monde du travail des entreprises modernes la mise en œuvre d'une politique - hygiène, sécurité et environnement (HSE)- est devenue indispensable tant les enjeux sont multiples; c'est pour ça les sociétés s'engagent à mener l'application plus stricte de la réglementation (code du travail) et les opérations de cette politique dans le monde entier d'une manière socialement responsable, éthique et durable pour protéger l'environnement et assurer la sécurité et la santé de ses employés, clients et communautés environnantes.

Les entreprises reconnaissent l'importance d'une politique HSE car son efficacité permet de réduire les risques d'accidents, les nuisances de l'environnement (la population, l'eau, le sol, la faune et la flore).

Ces dernières années, l'intérêt pour l'hygiène, la sécurité et l'environnement (HSE) s'est incroyablement accrue au sein de l'entreprise. Une politique d'HSE efficace réduit le risque d'accidents, ce qui influe directement sur l'efficacité d'une entreprise. L'HSE présente une importance majeure pour l'ensemble de l'entreprise.

Outre les enjeux réglementaires et humains que l'on connaît bien, la mise en place d'une politique HSE dans les entreprises, si élaborée et déployée en impliquant le personnel, présente des avantages :

- ❖ **économiques :** on évoque souvent les coûts liés aux accidents du travail ou bien aux maladies professionnelles (AT/MP) évités, mais encore trop peu de la rentabilité de la prévention ;
- ❖ **sociaux :** amélioration remarquable du dialogue social, de la communication interne, de l'image de l'entreprise ;
- ❖ **travailler dans de bonnes conditions** -HSE- permet également de garder les talents et attirer lors du recrutement...
- ❖ **Protection** de la santé humaine et de l'environnement par : La prévention, l'élimination et la réduction des risques.

Déroulement du protocole HSE :

Le management HSE d'une entreprise repose sur un audit de la situation et des pratiques en cours, de manière à en évaluer les éventuelles lacunes et à définir et programmer un ensemble d'actions sur le court, le moyen et le long terme. Comme pour beaucoup de politiques liés aux problématiques de la responsabilité sociale et environnementale au sens large, la meilleure méthode est celle des quatre phases, chaque cycle venant enrichir le précédent :

1. **Planifier** : à partir de la situation de l'entreprise au regard des problématiques concernées, par la participation à la définition de la politique HSE du site en termes de l'identification des objectifs à atteindre, de moyens et programmer un calendrier de réalisation.
2. **Réaliser** : mettre en œuvre le processus de management HSE conformément au plan établi (Rédiger et maintenir à jour les consignes HSE; Diffuser toute la documentation utile; la formation du personnel en matière de prévention HSE ; Diriger les actions de communication HSE)
3. **Évaluer** : analyser les résultats obtenus ou non grâce à un tableau d'indicateurs pertinents (Contrôler l'efficacité de la politique par la vérification du respect des consignes; l'effectuation quotidienne des tournée sur le site; l'analyse des dysfonctionnements HSE et la participation à la tenue à jour des statistiques et à la publication du rapport annuel du Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail).
4. **Ancrer, améliorer ou bien Corriger** : valider et consolider les acquis, ajuster et corriger les stratégies pour l'obtention complète des résultats en cours d'acquisition, établir des objectifs supplémentaires en fonction de la nouvelle situation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] J. Baudart, N. Paniel. Sources et devenir des micro-organismes pathogènes dans les environnements aquatiques. Revue Francophone des laboratoires, (2014), 459, 29-39.
- [2] A. Micollier, D. Lafon. Environnement et santé : les principaux ministères et Organismes publics impliqués. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement, (2005), 66, 279-293.
- [3] C. Schmidt, L. Pavé. Environnement : modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire, Nature Sciences Sociétés, (2002), 10, 5-25.
- [4] S. Bruno. Pollution atmosphérique - des processus à la modélisation. Springer. 2008.
- [5] H.B. Brahim. Environnement et développement durable. 2010.
- [6] D. Guyonne. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes : Application dans un contexte d'Evaluation détaillée des risques pour les ressources en eau, BRGM. 2001.
- [7] K. Emilian. Traitement des pollutions industrielles. Edition Dunod, 2^{ème} édition. 2009.
- [8] E. Christian. La Pollution de l'air. Edition Dunod. 2008.
- [9] S. Gramond, La fonction sécurité, collection activité et sécurité, 3^{ème} Edition. 2014.
- [10] G. Brigitte, C. Christian, M. Françoise. Cours d'eau et indices biologiques. Edition Educagri, 2^{ème} édition. 2003.
- [11] A. Olivier. Chimie et pollution des eaux souterraines. Edition Tec & Doc. 2005.
- [12] S.M. Louise. La Pollution de l'air intérieur. Edition Dunod, 2^{ème} édition. 2007.
- [13] I. Corréard, P. Anaya et P. Brun. Sécurité, hygiène et risques professionnels. Dunod, Paris. 2011
- [14] A. Maurel. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Edition Lavoisier. 2001.
- [15] <https://www.un.org/french/un60/60ways/environment.shtml>
- [16] https://conseils.xpair.com/consulter_savoir_faire/filtration_air/differents_types_polluants.htm
- [17] <https://monographs.iarc.fr/agents-classified-by-the-iarc/>