

**CHAPITRE IV : LES SUBSTANCES POLLUANTES**

**I/ Introduction**.....2

**II/ Effets globaux de la pollution**.....2

**III/ Polluants atmosphériques**.....2

1. Composés carbonés.....4

2. Composés azotés.....4

3. Composés soufrés.....5

4. Composés organiques.....5

5. Métaux lourds.....5

6. Particules.....6

7. Chlorofluorocarbones (CFC).....6

8. Dioxines et furannes.....7

**IV/ Polluants de l'eau**.....7

**V/ Ozone**.....9

1. Ozone stratosphérique.....9

2. Ozone troposphérique.....10

**VI/ Impacts de la pollution**.....11

1. Effet de serre et réchauffement climatique.....11

2. Pluies acides.....11

3. Smog.....12

4. Eutrophisation.....13

## CHAPITRE IV : LES SUBSTANCES POLLUANTES

### I/ Introduction

Un polluant est une substance liquide, solide ou gazeuse, qui se trouve dans un environnement dans lequel elle ne devrait pas exister, ou qui est présente dans son environnement habituel mais à un taux anormalement élevé, pouvant ainsi avoir un effet nocif, provoquer une nuisance ou une gêne.

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.

### II/ Effets globaux de la pollution

Les effets globaux de la pollution se résument dans ce qui suit :

- **Effets sur la santé** : mort, maladies respiratoires, cancers. Ces effets concernent les humains et les animaux,
- **Effets sur l'environnement naturel** : destruction de la biodiversité, restriction des forêts et des cours d'eau avec la faune et la flore qu'ils contiennent,
- **Effets sur l'agriculture** : destruction des terres agricoles, restriction des activités comme la pêche,
- **Effets sur l'environnement construit par l'homme** : attaque des bâtiments, des monuments historiques, bruit, odeurs,
- **Effets sur l'atmosphère** : réduction de la clarté et de la visibilité de l'atmosphère, phénomènes destructeurs comme le smog ou les pluies acides.

### III/ Polluants atmosphériques

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

- **Polluants primaires** : substances polluantes émises directement de la source

dans l'atmosphère,

- **Polluants secondaires** : ils ne sont pas directement émis des sources mais sont formés dans l'atmosphère à partir des polluants primaires, qui sont alors appelés « précurseurs ».

Il est à noter qu'un polluant peut être à la fois primaire et secondaire.

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,
- Industrie : en raison de ses besoins propres en énergie ou à cause des émissions spécifiques dues aux processus de fabrication ou aux traitements spécifiques,
- Transports : terrestre, aérien et naval. C'est la première cause de pollution mobile et de proximité,
- Traitement des déchets : décomposition des déchets, incinération,
- Activités agricoles : engrais, décomposition des matières organiques,

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

- **Emissions** : les polluants sont émis dans l'atmosphère à partir des différentes sources,
- **Réactions chimiques** : ces réactions ont lieu dans l'atmosphère et créent, modifient ou détruisent les polluants,
- **Transport et dispersion** : les conditions climatiques comme le vent ou la pluie transportent les polluants atmosphériques loin des sources,
- **Déposition** : sur la surface de la Terre par la pluie par exemple.

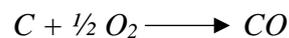
Les facteurs qui influencent la pollution atmosphérique sont la quantité des polluants émis par les sources ainsi que les conditions climatiques. La vitesse du vent a une influence sur la concentration et la diffusion des polluants. L'ensoleillement peut provoquer des réactions photochimiques qui produisent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

Les principaux polluants atmosphériques sont les suivants :

### 1. Composés carbonés

Ce sont le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>.

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. L'émission du CO est le résultat de toute combustion d'un carburant contenant du carbone qui se déroule avec une quantité insuffisante d'air. Il se forme suivant la réaction :



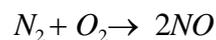
Le fonctionnement normal d'un moteur à essence émet une grande quantité de CO. Les foyers industriels comme les fours n'émettent pas beaucoup de CO. Si la combustion se déroule avec une quantité suffisante ou un excès d'air, tout le CO se transforme en CO<sub>2</sub>.

Le CO<sub>2</sub> est un gaz à effet de serre qui est l'un des premiers responsables du réchauffement climatique. C'est un produit « normal » de la combustion. Il provoque l'étouffement.

### 2. Composés azotés

Ce sont les oxydes d'azote NO et NO<sub>2</sub> généralement désignés sous le nom de NO<sub>x</sub> ainsi que N<sub>2</sub>O et l'ammoniaque NH<sub>3</sub>.

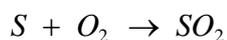
Le NO provient de la combustion. Les réactions qui mènent à sa formation sont complexes mais la plus simple d'entre elles est la suivante :



Ces réactions se déroulent à température élevée. C'est un gaz qui n'est pas très nocif mais il est le précurseur de NO<sub>2</sub> qui est beaucoup plus dangereux : c'est un puissant irritant des voies respiratoires qui provoque la détresse respiratoire et des œdèmes pulmonaires.

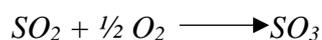
### 3. Composés soufrés

Ce sont des oxydes de soufre  $SO_2$  et  $SO_3$  et plus rarement  $H_2S$ . L'anhydride sulfureux  $SO_2$  est produit par la combustion suivant la réaction :



Le  $SO_2$  se forme lors de la combustion des carburants soufrés comme le gazole, lors du raffinage du pétrole et lors de la fusion des métaux. Il diminue l'immunité et peut agir sur le système respiratoire. En plus de sa toxicité, il provoque les pluies acides.

Il est aussi le précurseur du  $SO_3$  :



### 4. Composés organiques

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.
- Les hydrocarbures imbrulés ou HC imbrulés sont des carburants qui n'ont pas eu le temps de brûler dans les moteurs. Les moteurs à essence sont de grands émetteurs de HC imbrulés.

### 5. Métaux lourds

Ils résultent de l'incinération des déchets ou du carburant. Ce sont des métaux comme le plomb contenu dans certaines essences, le zinc des lubrifiants, le cadmium. Ils attaquent le système nerveux. Le plomb provoque le saturnisme. Ils peuvent se fixer à long terme dans les os et provoquer des maladies.

## 6. Particules

Les particules sont de la poussière solide ou liquide. Elles sont caractérisées par plusieurs groupes :

- Particules dont le diamètre est inférieur à 100  $\mu\text{m}$  : elles sont dites inhalables car elles rentrent dans la bouche et le nez,
- Particules dont le diamètre est inférieur à 10  $\mu\text{m}$  : elles sont dites particules fines, car elles rentrent profondément dans le système respiratoire,
- Particules dont le diamètre est inférieur à 4  $\mu\text{m}$  : elles sont dites respirables car absorbées par le système respiratoire et le sang,
- Particules dont le diamètre est inférieur à 0,1  $\mu\text{m}$  : elles sont appelées ultrafines.

Le moteur Diesel produit beaucoup de particules. En plus d'être nocives pour la santé, elles se déposent sur les bâtiments et monuments et les abiment.

## 7. Chlorofluorocarbones (CFC)

Le chlore présent dans l'atmosphère provient principalement des chlorofluorocarbones ou CFC. En 1928 Thomas Midgely a fabriqué une nouvelle espèce chimique appelée CFC-12 (dichlorodifluorométhane), pour remplacer les produits réfrigérants hautement toxiques et inflammables tels que l'ammoniac. Il a prouvé que le CFC-12 n'était ni toxique, ni inflammable et avait les propriétés thermiques d'un excellent réfrigérant. En 1930, Dupont et General Motors ont commencé à commercialiser les CFC sous le nom du Fréon. D'autres CFC ont été par la suite produits en grandes quantités. Ils ont été utilisés en tant que réfrigérants et propulseurs dans les sprays d'aérosols.

Les CFC se composent de fluor, de carbone et de chlore. Les formules chimiques de quelques CFC sont données dans le tableau 8. 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. Leur utilisation par l'homme entraîne leur présence dans l'atmosphère, ils sont en effet bien mélangés à la troposphère dès la première année de leur émission. Les CFC atteignent la stratosphère à travers la région tropicale de la troposphère, ils sont alors lentement transportés vers la partie supérieure de la stratosphère où ils sont détruits par les radiations UV du Soleil, c'est pour cela que leur concentration est faible dans les hautes altitudes

*Tableau 8. Durée de vie et formules chimiques des CFC*

Nom	Formule chimique	Durée de vie
CFC-11	CFC <sub>l3</sub>	50 ans
CFC-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	100 ans
CFC-113	C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	85 ans
CFC-114	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	300 ans

Une molécule de CFC peut mettre environ une année pour atteindre la région supérieure de la stratosphère à partir de la région tropicale de la troposphère. Cependant, la grande partie de l'air subit une recirculation avant d'arriver à la partie supérieure de la stratosphère, chose qui ralentit la circulation des CFC et réduit le nombre de molécules qui atteint la partie supérieure de la stratosphère. Il est en effet estimé que le temps que met le CFC-12 pour être réduit à 63% est approximativement 120 ans.

### 8. Dioxines et furannes

Les dioxines sont des molécules de polychlorodibenzodioxine (ou PCDD) et polychlorodibenzofuranne (ou PCDF). Elles ont été décelées en 1977 dans les incinérateurs. 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.

### IV/ Polluants de l'eau

L'utilisation de l'eau, quelle qu'elle soit, produit de la pollution. Polluer l'eau est 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 et des produits de cokerie, 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.

## **V/ Ozone**

L'ozone est une molécule formée de trois atomes d'oxygène, sa formule chimique est donc  $O_3$ . Environ 90% de l'ozone de l'atmosphère est contenu dans la stratosphère, les 10% restants existent dans la troposphère. Les différents instruments de mesure montrent que la concentration de l'ozone est la plus élevée entre 15 et 30 km de la surface de la Terre. Etant donné que la plus grande partie de l'ozone est contenue dans la stratosphère, on appelle cette région la couche stratosphérique d'ozone.

Il existe en effet deux « types d'ozone » selon l'endroit où il se trouve : l'ozone stratosphérique qui se trouve dans les hautes zones de l'atmosphère et forme la couche d'ozone est bénéfique. Il est très important pour la vie sur Terre car son rôle est d'absorber les radiations nocives de l'ultra-violet qui proviennent du Soleil. L'ozone formé sur la surface de la Terre qui s'appelle ozone troposphérique est par contre un polluant.

### **1. Ozone stratosphérique**

La stratosphère est une couche de l'atmosphère qui s'étend entre la tropopause et 47 km d'altitude. La température s'accroît lentement dans cette partie de l'atmosphère

Le Soleil émet différents types de rayonnements dont la majeure partie est située dans le domaine visible du spectre électromagnétique dans lequel les longueurs d'onde varient de 400 à 700 nm. Cependant, il produit aussi des rayonnements appartenant au domaine spectral de l'ultra-violet dont la longueur d'onde se situe entre 1 et 400 nm. Ces rayons UV détruisent les molécules d'ADN qui contiennent le code génétique et par conséquent endommagent les cellules ou provoquent encore le développement de formes dangereuses du cancer de la peau. La couche d'ozone a pour rôle d'absorber les rayons UV et donc de réduire considérablement leur présence dans l'environnement immédiat de la Terre.

Dès que le chlore est libéré des CFC par les rayons UV, il peut jouer le rôle de catalyseur dans la destruction de l'ozone. En effet, les atomes Cl réagissent avec le méthane pour former du HCl, qui peut servir à transformer les CFC qui sont non réactifs, à des atomes réactifs de chlore. Ceci montre bien l'ampleur de la destruction de l'ozone par les CFC.

La concentration du HCl est faible dans la partie inférieure de la stratosphère tandis qu'elle augmente sensiblement dans sa partie supérieure. En fait, il a été remarqué une

hausse de cette concentration dès le début des années 1990, ceci va de pair avec les quantités de CFC que rejette l'homme.

La destruction de l'ozone peut aussi se faire dans des cycles qui impliquent la présence d'espèces chimiques contenant de l'azote sous forme réactive des  $\text{NO}_x$ . Les  $\text{NO}_x$  trouvent leurs origines dans la troposphère. Environ 90% du  $\text{NO}_x$  stratosphérique provient du  $\text{N}_2\text{O}$  de la troposphère. Il se dissocie en produisant un radical libre : l'oxygène O.

D'autres espèces chimiques détruisent aussi l'ozone, comme le méthane, le chlore et le brome.

## 2. Ozone troposphérique

La troposphère est située entre la surface de la Terre et l'altitude de 11 km environ. C'est une région caractérisée par la diminution de la température avec l'altitude. L'ozone troposphérique se trouve donc dans les régions immédiates de la surface de la Terre. C'est un polluant secondaire pernicieux qui est toxique pour les humains et les plantes. Il est formé par oxydation des composés organiques volatiles et du CO en présence des  $\text{NO}_x$  suivant le schéma simplifié suivant :



Les  $\text{NO}_x$  et OH jouent le rôle de catalyseurs, c'est-à-dire qu'ils accélèrent la formation de l'ozone sans être consommés. Ces réactions sont photochimiques, c'est-à-dire qu'elles ont besoin de rayons UV pour avoir lieu. C'est pour cela que la pollution d'ozone connaît des pics dans les villes (présence d'émissions des moteurs) quand il fait chaud ou en présence d'humidité.

L'ozone troposphérique provoque l'irritation des yeux, des voies aériennes supérieures, toux, maux de tête, difficultés respiratoires dues au caractère très oxydant de l'ozone. Il est particulièrement dangereux pour les populations à risque.

## VI/ 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.

### 1. 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 CO<sub>2</sub>, 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.

Il est à noter que le réchauffement climatique et la couche d'ozone sont des phénomènes distincts. Leurs causes sont différentes et les méthodes pour les éradiquer aussi.

### 2. Pluies acides

Les pluies acides ont été identifiées au 19<sup>e</sup> siècle par le pharmacien Anglais Robert Angus Smith qui a mesuré des taux d'acidité élevés dans l'eau de la pluie qui tombait sur les zones industrielles anglaises. Plus tard, des biologistes américains et canadiens ont constaté l'altération des eaux des lacs et la diminution de la population des poissons.

Le pH de l'eau est égal à 7. La pluie contient des impuretés et des acides naturels comme le CO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub> 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<sup>+</sup> :



Les activités agricoles répandent dans l'atmosphère de l'ammoniaque qui pourrait neutraliser le  $\text{H}^+$  en le captant pour se transformer en  $\text{NH}_4^+$ , mais cet effet est illusoire car  $\text{NH}_4^+$  à son tour libère  $\text{H}^+$  quand il est dans l'atmosphère.

Dans les régions qui contiennent naturellement des bases comme les océans (riches en ions de carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$ ), 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.

### 3. Smog

Le smog est un terme anglais formé des deux mots : *smoke* qui veut dire fumée et *fog* qui veut dire brouillard. C'est un type de pollution qui se manifeste par du brouillard qui réduit la visibilité. On distingue deux types de smog : le smog industriel et le smog photochimique.

- **Smog industriel** : dans le smog industriel, les émissions de  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  et cause parfois des dégâts importants, comme à Londres en 1952 ou encore à Liège en Belgique en 1930 où 60 personnes sont mortes. La réglementation en matière de pollution permet à l'heure actuelle de réduire ce phénomène, qui persiste cependant dans certains pays comme en Chine.

- **Smog photochimique** : c'est un problème qui persiste. La cause principale est les véhicules de transport urbain émettant des  $\text{NO}_x$  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. C'est un problème récurrent dans les grandes métropoles américaines et européennes.

#### **4. 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.

