

Chapitre IV : les substances polluantes

Objectifs du chapitre IV

A travers ce chapitre l'étudiant va connaître à faire la différence entre les différentes substances polluantes et leurs effets sur l'environnement (effets sur la santé humaine , effets sur les autres êtres vivants, effets sur les différents écosystèmes). Ainsi que l'origine des émetteurs potentiels de ces polluants.

IV.1. Introduction

La pollution de l'environnement représente actuellement un des problèmes majeurs qui menace l'équilibre de la vie sur terre, elle influence en premier lieu sur la santé, le bien-être de l'être humain ainsi que tous les écosystèmes. Malheureusement l'homme est à l'origine de toute pollution et dégradation de l'environnement que soit atmosphérique, eau ou sol, à cause des polluants engendrés par ses différentes activités socio - économiques et industrielles. Actuellement la plupart des substances polluantes sont soumises à des normes de rejet environnemental selon leur durée de vie et leur concentration.

IV.2. Les substances polluantes

Les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d'espace très variables. La durée de vie du méthane CH_4 dans l'atmosphère par exemple est d'environ 12 ans, celle de CO est de 40jr et du SO_2 est de quelques jours à un mois. Mais la concentration de substance varie selon l'endroit qui dépend de sa distance par rapport à la source d'émission. On peut distinguer deux sortes de polluants :

- Les polluants primaires : ce sont des polluants présents à l'endroit de leur rejet .
- Les polluants secondaires sont des polluants qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère.

IV.3. Les différents types de polluants

IV.3.1. Les polluants réglementés

Actuellement il existe 12 polluants réglementés en air extérieur et 2 en air intérieur, compte tenu de leurs effets sur la santé et l'environnement , ils sont considérés comme des indicateurs de pollution atmosphérique et ils sont surveillés par des prises de mesures continues à l'aide des appareils spécialisés, pour l'air extérieur les mesures sont prises généralement par des organisations et des associations de surveillance de la qualité de l'air comme **sama safia** en Algérie , les différents polluants réglementés sont :

- En air extérieur
- SO₂ : le dioxyde de soufre
- CO : le monoxyde de carbone
- NO_x : les oxydes d' azote
- O₃ : l'ozone
- (PM 10) : les particules
- (PM 2.5) : les particules fines
- C₆ H₆ le : benzène
- Pb ; le plomb
- As : arsenic
- Cd : cadmium
- Ni : nickel

- En air intérieur
- CHO : formaldéhyde.
- C₆H₆ : benzène

IV.3.2. Les composés organiques

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV et on fait souvent l'amalgame à tort. Ceci est sans doute dû au fait que l'on exprime souvent les COV en hydrocarbures totaux équivalents méthane, ou propane, ou par rapport à un autre hydrocarbure de référence. Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH₄) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour les quels on emploie alors la notation COVNM (Composés Organiques Volatils Non Méthaniques) on peut distinguer différentes familles de COV à savoir :

- les alcanes (propane)
- les alcènes (connus pour leurs grandes réactivités)
- les diènes et les terpènes (multiples et doubles liaisons)
- les aromatiques mono ou polycycliques
- les composés oxygénés (alcool, cétones, esters ...).

- les aromatiques mono ou polycycliques (benzène, toluène)

Les sources de COV sont très nombreuses, les émissions sont dues à certains procédés industriels impliquant la mise en œuvre de solvants (chimie de base et chimie fine, parachimie, dégraissage des métaux, application de peinture, imprimerie, colles et adhésifs, caoutchouc, etc...), ou n'impliquant pas de solvants (raffinage du pétrole, utilisation de CFC, production de boissons alcoolisées, de pain, etc.). L'utilisation de combustibles dans des foyers contribue un peu aux émissions mais sans aucune comparaison avec les proportions indiquées pour SO₂ et NO_x. On retrouve au premier rang des émetteurs les transports (surtout automobile). On notera également que la biomasse est fortement émettrice (forêts), sans oublier non plus les émissions liées aux produits domestiques (peinture, produits d'entretien, parfums et cosmétiques, journaux, tabac, etc.).

IV.3.3. Les Produits Organiques Persistants (POP)

Dans le cadre de convention de Stockholm, entrée en vigueur le 17 mai 2004, 12 polluants organiques persistants (composés organiques toxiques à basse concentration) ont été interdits et limités strictement leur production et leur utilisation parmi lesquels des insecticides (l'aldine, le chloradine, le DDT, la dieldrine, l'endrine, l'heptachlore, le mirex et le toxaphène), un fongicide (l'hexachlorobenzène (HCB)) et des produits chimiques issus de la production d'autres substances chimiques ou de l'incinération des déchets (les dioxines et les furanes (Diox) et un ensemble d'hydrocarbures chlorés et Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et d'autres produits utilisés dans des applications industrielles comme les additifs au plastique (Polychlorobiphényles PCB), les Trichloroéthylène (TRI), les Trichloroéthane (TCE) et les Tetrachloroéthylène (PER) C'est des produits des résidus industriels souvent toxiques, mutagènes et cancérigènes , qui interfèrent avec notre système hormonal et sexuel. Ils sont semi - volatiles et circulent plus ou moins bien dans l'air, en fonction de sa température . Ils sont lipophiles (faible solubilité dans l'eau mais forte dans les graisses), avec attirance forte pour les tissus adipeux où ils se concentrent généralement (forte bioaccumulation). Ils ont également une durée de vie très longue (persistance dans le milieu).

IV.3.4 . Les métaux lourds

On appelle métaux lourds tous les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer (cuivre, nickel, zinc, plomb, mercure, sélénium...), on les rencontre seuls ou associés, sous forme de métal, à des degrés d'oxydation variables ou sous forme organométallique. Leurs sources sont d'origine naturelle (érosion des sols, éruptions volcaniques, feux de forêts...) ou anthropogéniques (production d'énergie par combustion, pyrométallurgie, incinération des déchets . Chaque métal génère des effets différents sur la santé humaine. Ainsi le mercure, sous la forme de méthylmercure, s'accumule dans la chaîne alimentaire avec des facteurs de concentrations de l'ordre de 10⁶ à 10⁷ . Le plomb organique perturbe fortement le système nerveux et le plomb métal peut conduire au saturnisme. Le cadmium est répertorié comme

très toxique. Le nickel et le béryllium provoquent des allergies cutanées. Le zinc et ses sels sont à l'origine de problèmes respiratoires et intestinaux.

IV.3.5. Les particules

On appelle les particules qui se retrouvent dans l'air les particules en suspension c'est le nom commun pour toutes les particules qui flottent librement dans l'air ambiant. Et on entend parler par le terme aérosol tous les types de particules en suspension telles que fumées, poussières et vésicules. Les aérosols sont classifiés, selon leur mécanisme de formation, en particules primaires et secondaires.

Les particules primaires sont émises directement sous une forme particulière, tandis que les particules secondaires sont issues de la conversion dans l'atmosphère de gaz précurseurs en particules. Les deux types de particules sont sujets à une croissance et à des transformations, ce qui permet la formation de matériel secondaire sur la surface des particules existantes (adsorption). Les particules peuvent être aussi subdivisées selon leur dimension; leur diamètre varie de quelques nanomètres (nm) à des dizaines de micromètres (μm). La taille des particules influe de façon significative sur les caractéristiques physico-chimiques, le mode de formation, l'impact sur la santé et sur l'environnement, ainsi que la dynamique et la durée de vie dans l'air (transport et déposition) de ces particules.

La notation PMX utilisée dans l'étude des particules, se rapporte à la matière particulaire comportant des particules de diamètre inférieur à $X\mu\text{m}$. Sur la base de la capacité des particules à pénétrer dans le système respiratoire et de l'efficacité de collecte propre aux échantillonneurs d'aérosols, on distingue les classes suivantes :

PM10 : ce sont les particules inhalables dont le diamètre est inférieur à $10\mu\text{m}$.

PM 2,5 : cette classe regroupe les particules de diamètre inférieur à $2,5\mu\text{m}$ (appelées particules fines et/ ou respirables) ;

PM 2,5 - 10 : appelées grosses particules. Cette fraction se compose des particules ayant un diamètre compris entre $2,5$ et $10\mu\text{m}$;

PM 1 - 2,5 (classe intermodale): ces particules ont un diamètre compris entre 1 et $2,5\mu\text{m}$. Elles sont essentiellement issues de la remise en suspension des poussières du sol ;

PM1 : sont des particules très fines de diamètre inférieur à $1\mu\text{m}$ qui peuvent pénétrer profondément dans le système respiratoires et atteindre les alvéoles.

Les aérosols atmosphériques jouent un rôle important dans la modification des conditions de vie sur la terre. D'une part, ils contribuent à l'évolution du climat en intervenant sur le bilan radiatif terrestre. D'autre part, ils peuvent être nocifs pour la santé humaine. Ces deux notions sont directement liées aux caractéristiques physicochimiques de l'aérosol.

La profondeur de pénétration et le mécanisme de déposition des particules solides dans l'appareil respiratoire dépendent d'abord de leurs diamètres aérodynamiques et de la morphologie des voies aériennes qui conditionnent les modalités de l'écoulement aérien.

Selon certaines estimations, les risques relatifs de mortalité due aux maladies cardiovasculaires et au cancer des poumons s'accroissent respectivement de 12 et de 14 % par augmentation de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ des $\text{PM}_{2,5}$.

Parmi les effets liés à une exposition de longue durée, nous mentionnerons : accroissement des symptômes des voies respiratoires inférieures et des maladies respiratoires obstructives chroniques, réduction des fonctions pulmonaires chez les enfants et les adultes, et raccourcissement de l'espérance de vie dû principalement à la mortalité cardio - pulmonaire et probablement au cancer des poumons.

IV.3.5. Les chlorofluorocarbones

Les chlorofluorocarbones ou les CFCs sont des composés chimiques connus sous le nom commercial Fréons) c'est des gaz fluorés, dérivés d'hydrocarbures saturés. Ils sont constitués d'atomes de chlore , du fluor et de carbone. Ils sont incolores , inodores , ni toxiques, ni inflammables et ni cancérogènes mais ils contribuent à l'effet de serre et à la destruction de la couche d'ozone.

Les CFCs largement répandus sont les liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, ils sont utilisés aussi comme dissolvants dans les décapants, et comme agents de soufflage dans la production de mousse. Leur durée de vie dans l'atmosphère varie de 20 à plusieurs centaines d'années . Les 5 principaux CFCs connus sont le CFC - 11 (trichlorofluorométhane CFCl_3), CFC - 12 (dichlorodifluorométhane - CF_2Cl_2), CFC - 113 (trichlorotrifluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$), CFC - 114 (dichlorotétrafluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$), et CFC - 115 (chloropentafluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$).

IV.4. Les effets de différentes substances sur l'environnement

IV.4.1. Effets sur la santé humaine

Les polluants atmosphériques peuvent agir à différents niveaux du corps humain au niveau de la peau, c'est le cas notamment des vapeurs irritantes et des phénomènes d'allergie , au niveau des muqueuses, au niveau des alvéoles pulmonaires. Les polluants se dissolvent et passent dans le sang ou dans les liquides superficiels, au niveau des organes certains toxiques véhiculés par le sang peuvent s'accumuler dans des organes.

Et plus les particules sont fines plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et plus leur temps de séjour y est important. Elles ont une double action liée aux particules proprement dites et aux polluants qu'elles transportent (métaux, hydrocarbures, dioxyde de

soufre, etc.). Elles irritent le système respiratoire humain et peuvent contribuer au déclenchement de maladies respiratoires aiguës.

Le SO₂ par exemple entraîne une inflammation des bronches avec un spasme qui provoque une altération de la fonction respiratoire, le NO₂ est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO) NO₂ pénètre profondément dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une même dose sur une longue période. NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang. Le CO se fixe sur l'hémoglobine du sang. Le phénomène est irréversible. On connaît les accidents mortels liés à l'inhalation de CO lors du fonctionnement défectueux de chauffe - eau.

IV. 4. 2. Effet sur les êtres vivants en générale

La pollution de l'air semble avoir des conséquences globales ; en affectant la santé de nombreux êtres vivants évolués, et même d'espèces réputées primitives et résistantes (lichens, algues, invertébrés..). La pollution peut directement tuer des organismes (ex : lichens sensibles à la pollution acide de l'air). Elle a aussi des impacts indirects (par exemple en dégradant les odeurs , hormones ou phéromones avant qu'elles atteignent leurs cibles), ce phénomène pouvant pour partie expliquer le déclin de certaines populations d'abeilles et d'autres pollinisateurs (dont certains oiseaux) constaté dans tous les pays industriels et agricoles. Il pourrait aussi expliquer les difficultés qu'ont les individus de certaines espèces (lézards, serpents, amphibiens, certains mammifères) à se reproduire (mâle et femelles ne se retrouva nt plus ou moins bien) ou de certaines espèces à se nourrir (l'individu ne percevant plus aussi bien l'odeur qui le conduisait à sa source de nourriture)

IV. 4. 3. Effet sur les écosystèmes forestiers et phénomène des pluies acides

Les végétaux sont exposés de manière durable à la pollution atmosphérique. Dans certaines recherches, ils sont d'ailleurs utilisés comme bio-indicateurs (lichens par exemple). Ils peuvent être l'objet d'atteintes aiguës telles que nécroses et d'atteintes chroniques telles que troubles de croissance. A part les forêts, la pollution de l'air touche aussi les céréales et les plantes agricoles, comme les pois, les épinards et le trèfle. Certaines espèces d'arbres fruitiers sont également très sensibles; c'est le cas par exemple des abricotiers. Les végétaux sont exposés à la fois à l'action des polluants en suspension dans l'atmosphère, aux retombées sèches de poussières et de métaux et aux dépôts acides. Ils sont atteints directement par le feuillage et aussi indirectement par l'intermédiaire du sol (lessivage d'éléments nutritifs). Bien que chaque polluant ait un effet spécifique, ce sont surtout les retombées acides qui sont dangereuses pour les végétaux. La couche protectrice des feuilles et des aiguilles peut subir des lésions visibles, telles que fentes et augmentation de la taille des pores.

L'eau de pluie ruisselant à l'intérieur des forêts présente un pH inférieur à celui des pluies normales, qui est due à la présence de la pollution atmosphérique (les oxydes de soufre (SO₂), qui se produits par l'industrie chimique ou lors de la combustion du pétrole et du charbon, l'azote (NO_x) qui proviennent le plus souvent des centrales thermiques et de la combustion

des carburants des véhicules) qui se combinent avec l'humidité de l'air pour créer respectivement de l'acide sulfurique (H_2SO_4) et de l'acide nitrique (HNO_3).

L'augmentation de l'acidité des sols peut entraîner des lésions aux racelles des arbres et se répercuter sur l'activité des micro - organismes, comme les bactéries de l'azote par exemple. En tant qu'oligo - éléments, les plantes ont besoin de composés métalliques à base de cuivre, fer, zinc, etc. mais une accumulation de ces métaux équivaut à un empoisonnement. L'obstruction des stomates par les particules fines contribue aussi au dépérissement des arbres par conséquent la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux dépérissements forestiers.



Figure IV.1: La dégradation des forêts par les pluies acides

IV. 4. 4. Effets sur les matériaux

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments. Les dégradations des matériaux, (métaux, pierres, peintures, tissu, cuir, plastiques, caoutchouc, papiers...), utilisés dans différentes fonctions (bâtiment, grands équipements, matériels mécaniques et électroniques, revêtements...) dues aux particules solides peuvent se produire par abrasion, salissure et corrosion. Ce phénomène se produit par les substances oxydantes et acides supportés par les particules solides. Les peintures peuvent être assombries par les dépôts des particules solides noires. Les surfaces fraîchement peintes sont généralement collantes et retiennent les particules. A côté de la corrosion des matériaux, une autre forme d'impact de la pollution atmosphérique sur le cadre bâti est constitué par le phénomène de salissure de la surface des matériaux du fait du dépôt de particules. Les particules fines, et notamment les particules émises par les moteurs diesel,

paraissent particulièrement efficaces et elles peuvent s'infiltrer à l'intérieur des habitations provoquant la salissure des murs, plafonds, tapis,...etc. Cette dégradation de la bâtie (bâtiment, monuments historiques,...) est l'effet le plus visible.

IV.4.5 . Effets sur les écosystèmes d'eau douce

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. La baisse du pH provoque la mise en solution de métaux contenus naturellement dans le sol, comme l'aluminium toxique à l'état dissous pour presque la totalité des organismes vivants.

IV.4.6 . Effet sur le climat et la visibilité

L'aérosol atmosphérique joue un rôle dans le climat dû à son influence sur l'équilibre radiatif et sur les processus liés à la formation de nuages et aux propriétés radiatives. Les aérosols dispersent et/ou absorbent le rayonnement (effets directs sur le climat) selon leur composition chimique et leur taille. La visibilité est la qualité de l'atmosphère qui permet de voir à une plus ou moins grande distance, mais aussi de voir plus ou moins bien des objets proches et d'en apprécier les détails de couleur ou de texture.

La visibilité est considérée comme un élément de bien - être. La pollution atmosphérique réduit la visibilité par absorption et par diffraction de la lumière. L'absorption est principalement le fait des particules de carbone élémentaire émises notamment par les moteurs diesels, et de gaz tels que le dioxyde d'azote qui donne à l'atmosphère une couleur brune. La diffraction, qui est le fait des particules fines (PM 2.5), est fonction de la taille des particules ; elle est aussi en relation avec l'humidité de l'atmosphère, la composition chimique des particules et leur processus de formation. Les sulfates et les nitrates, composantes importantes des particules PM 2.5 dispersent très efficacement la lumière et contribuent fortement à la réduction de la visibilité. L'effet de l'humidité est aussi important : plus elle augmente, plus la capacité des particules à disperser la lumière augmente.

IV.4.7. Effet sur le climat et phénomène d'effet de serre

Certains polluants atmosphériques, notamment les CFC, détruisent la couche d'ozone . Et certaines activités rejettent dans l'atmosphère des gaz appelés gaz à effet de serre. Ces gaz provoquent un effet de serre sur l'ensemble de la planète, ce qui fait augmenter la température moyenne de la terre. Cette influence des hommes a commencé au début du XX e siècle (début de la période industrielle) et ne cesse d'augmenter.

Le Soleil émet en permanence un rayonnement (mélange de lumière visible, d'infrarouges et d'ultraviolets) qui se propage dans l'espace. Une partie de ce rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère terrestre est absorbée par la surface de la Terre. Celle - ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) en direction de l'espace. Cependant, une partie de ce rayonnement infrarouge est renvoyée en direction de la surface terrestre par certains gaz de l'atmosphère appelés «gaz à effet de serre». Pour schématiser, l'atmosphère et les gaz à effet de serre se comportent comme la vitre qui maintient la chaleur à l'intérieur de la serre d'un jardinier.

Depuis l'ère industrielle, il y a accroissement des concentrations des gaz à effet de serre : - CO₂ lié principalement aux combustions industrielles, domestiques et aux transports. - CH₄ lié principalement aux pratiques agricoles : riziculture par exemple, élevage. - N₂O lié principalement aux pratiques agricoles. - CFC (maintenant bannis), HFC, PFC, SF₆

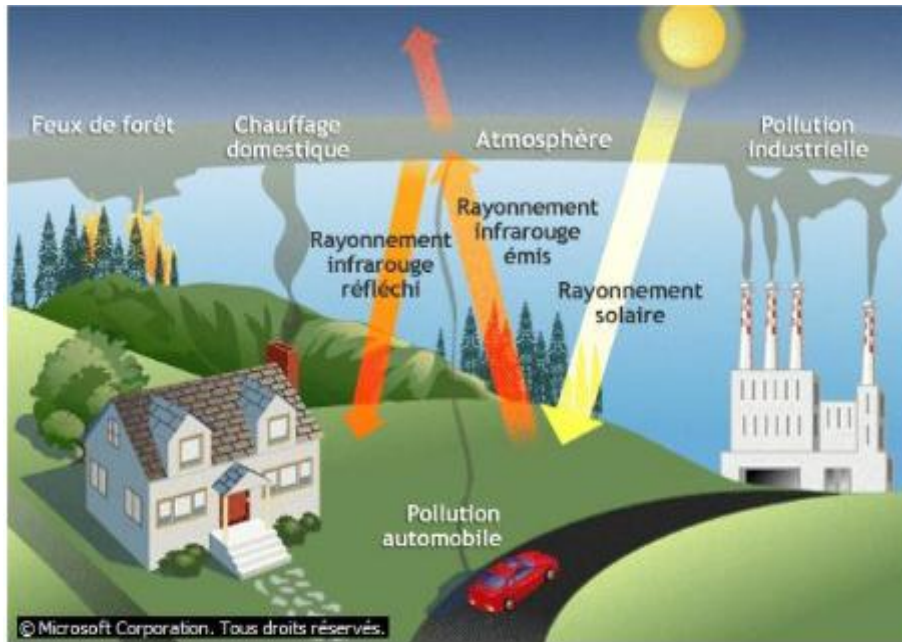


Figure IV .2 : Le principe de l'effet de serre

IV. 4. 8 . Impact sur l'écosystème aquatique et phénomène d'eutrophisation

La pollution des milieux aquatiques peut être engendrée par plusieurs facteurs à savoir les effluents urbains des zones côtières, l'industrie en zones côtières , les rivières et fleuves contaminés , les contaminations par voie atmosphérique (industrie, circulation automobile,...) ou par activités de navigation et d'extraction de gaz et de pétrole en mer . Cette pollution peut être physique ou chimique ou chimique par l'eutrophisation:

-Pollution physique : Ce type de pollution se trouve généralement sous forme de Matières en suspensions (M.E.S) Ce sont des matières minérales (argiles) et des matières organiques.

-Pollution chimique : produits chimiques en solution changeant les caractères de l'eau (acides, bases...) ou directement toxiques pour les organismes (pesticides d'origine agricole...). Et les micropolluants

-Pollution Chimique par l'eutrophisation : L'eutrophisation correspond à une perturbation de l'équilibre biologique des sols et des eaux due au x retombées atmosphériques polluées comme l'excès d'azote d'origine atmosphérique (NO_x et NH₃) par rapport à la capacité

d'absorption des écosystèmes ou à un excès de nutriments (matière organique fermentescible, azote et phosphore) ou à la présence des Matières fermentescibles rejetées en grande quantité dans les eaux d'assainissement et les effluents des industries agroalimentaires (laiteries, abattoirs, conserveries...) , Elle n'est pas directement toxique mais elles entraînent de graves perturbations des cycles biologiques et du milieu naturel lorsqu'elles sont en trop grande quantité ce qui provoque le phénomène l'eutrophisation.



Figure I V .3. Images du phénomène d'eutrophisation au milieu aquatique (source internet) .

IV.5 . Destruction de la couche d'ozone

L'ozone est le composé prépondérant dans la haute atmosphère à une altitude de 25 km. L'ozone stratosphérique est qualifié de bon ozone car il absorbe le rayonnement UV solaire et nous préserve ainsi contre le risque de cancer cutané et autres mutations génétiques. Il préserve également l'activité photosynthétique des plantes.

La baisse anormale des concentrations d'ozone au pôle Sud au sortir de l'hiver polaire, au moment de l'apparition du soleil a été mise en évidence en 1980. Durant la fin de l'hiver austral, au moment où le soleil apparaît, la teneur en ozone diminue de 40 à 60%. Le déficit maximum se situe vers 20 - 25 km.

De nombreux composés peuvent détruire l'ozone (OH, H, NO, Cl, Br , HO₂). Une forte corrélation entre le déficit en ozone et les concentrations en ClO a été mise en évidence. La présence des radicaux Cl et ClO dans la stratosphère est liée à l'émission naturelle de chlorure de méthylène par les océans et aux chlorofluoro carbures (CFC) émis par les activités humaines. Les CFC sont des molécules très stables. Ces molécules sont transportées dans la

stratosphère où elles libèrent le chlore et perturbent ainsi l'équilibre naturel régissant la présence d'ozone à cette altitude .

Le phénomène de baisse annuelle des concentrations d'ozone est plus marqué au pôle Sud, qu'au pôle Nord en raison de conditions différentes. Au pôle Sud, un vortex apparaît pendant l'hiver. Les températures sont de l'ordre de - 80° à - 100 °C. Les nuages contiennent alors de fins cristaux de glace qui fixent le chlore sous forme de HCl et de NO₂ ClO. Dès que le soleil réapparaît, le rayonnement UV libère les radicaux Cl et ClO qui réagissent avec l'ozone rapidement. Au pôle Nord, il n'y a pas formation de Vortex mais formation d'une multitude de trous.

IV.6 . Les pics d'ozone

Les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV) réagissent dans la troposphère, sous l'effet du rayonnement solaire, pour former des polluants photochimiques. Le principal polluant photochimique est l'ozone. Sa présence s'accompagne d'autres espèces aux propriétés acides ou oxydantes telles que des aldéhydes, des composés organiques nitrés, de l'acide nitrique, de l'eau oxygénée. Cette pollution s'observe surtout en été dans les régions périurbaines et rurales sous le vent des agglomérations, et concourt à l'accroissement de la pollution de fond par l'ozone (en hausse d'environ 1% par an sur l'ensemble de l'hémisphère nord).

L'ozone et les polluants photochimiques sont également des espèces phyto-toxiques. L'ozone peut perturber la photosynthèse, altérer la résistance des végétaux, diminuer leur productivité, provoquer des lésions visibles (le tabac Bel W3 est parfois utilisé comme bio - indicateur d'ozone).

L'ozone contribue également avec les dépôts acides et d'autres facteurs défavorables (sécheresses, pauvreté des sols, etc...) aux troubles forestiers observés en Europe et en Amérique du Nord. La pollution par l'ozone demeure préoccupante et chaque année, en période estivale, diverses régions subissent des situations de pointes de pollution photochimique au cours desquelles des seuils jugés nocifs peuvent être atteints, voire dépassés.

IV.7. Les différents types d'émetteurs

Les émetteurs potentiels de polluants, peuvent être d'origine naturelle ou anthropogénique.

IV.7. 1. Les sources naturelles

La majorité des émissions des aérosols (particules atmosphériques) sont attribuées aux sources naturelles, telles que les poussières terrestres suspendues , les océans et les mers, les volcans, les feux de forêt et les émissions gazeuses naturelles. Les particules minérales du sol représentent une grande partie de la fraction naturelle des PM primaires. La composition chimique et la minéralogie de ces particules peuvent subir des variations régionales en fonction de la géologie des secteurs contenant des sources de particules.

En général, ces particules sont constituées des silicates (quartz SiO_2 , argile...etc), carbonates et des petites quantités de sulfate de calcium et des oxydes de fer ($\text{Fe}_2 \text{O}_3$). Ces particules minérales peuvent résulter de la suspension locale des poussières des zones arides (sous l'action du vent) ou du transport à de longues distances de ces poussières. Les émissions volcaniques sont également une source de particules minérales primaires. Cependant, leur contribution dans la concentration des PM dans l'air est limitée dans le temps et l'espace. La fraction primaire des aérosols marins est principalement constituée de chlorure de sodium (NaCl) et des sulfates (essentiellement $\text{Na}_2 \text{SO}_4$, MgSO_4 ou $\text{K}_2 \text{SO}_4$).

Les aérosols marins sont essentiellement produits par les vagues de mer et d'océans. Ils appartiennent au mode des grosses particules. Les sources biogéniques de particules primaires augmentent la concentration des bioaérosols qui sont principalement constitués des débris végétaux, de pollen, des spores, et de petites quantités de micro - organismes (par exemple virus, bactéries, mycète, ou algue). Les virus et les bactéries présentent des tailles $< 2\mu\text{m}$ tandis que les autres sont de grosses particules. Pour les sources biogéniques, il n'est pas toujours évident de classer le type de sources (cas de l'élevage d'animaux).

IV.7.2. Les sources anthropiques

La pollution anthropique de l'air résulte essentiellement des gaz et particules rejetés dans l'air par les véhicules à moteur, les installations de chauffage , les centrales thermiques et les installations industrielles : dioxydes de carbone , de soufre et d'azote , poussières, particules radioactives, produits chimiques (dont certains engrais et pesticides), On peut distinguer plusieurs sources anthropiques parmi les quel les on peut citer :

IV.7.2. 1. Les sources mobiles

Les émissions de particules par les véhicules résultent d'un grand nombre de processus, tels que la combustion, l'usure des freins, des pneus, des roulements, du corps de la voiture et des matériaux des routes, et la suspension des poussières de route et du sol. Le trafic routier est une source effective des particules primaires, la contribution du trafic routier dans l'augmentation des teneurs des PM est fonction de la densité du trafic et de la stabilité de l'air, par exemple lors des heures de pointe . Les éléments qui sont souvent associés aux émissions automobiles sont le Cu, le Zn, le Pb, le Br, le Fe, le Ca et le Ba. La plupart des éléments métalliques émis par le trafic routier ne sont pas des produits de la combustion. Ils sont principalement issus des sources dites de non échappement c'est -à- dire celles qui regroupent l'usure des freins, des pneus, des roulements, et d'autres pièces de véhicules . En plus du trafic routier, les émissions des moteurs des bateaux peuvent être une source significative de matières particulaires et des éléments associés comme le Vanadium et le Nickel contenus dans le pétrole.

IV.7.2. 2. Les sources stationnaires

Les sources de combustion stationnaires les plus significatives sont les installations énergétiques telles que les centrales électriques, l'incinération des déchets, et la combustion résidentielle. Plusieurs procédés industriels, tels que la production sidérurgique, nécessitent

également de la combustion. Les caractéristiques physiques et chimiques des particules émises par ces sources dépendent du processus de combustion lui - même, et du type de combustible utilisé (solide, liquide, ou gaz). Les principales activités industrielles émettrices des particules sont le traitement des métaux et la fabrication des produits chimiques, la manipulation et l'extraction de matériaux et la construction. Les particules issues de ces sources sont en grande partie libérées comme émissions fugitives, car elles ne sont pas rassemblées et ne sont pas libérées d'une façon commandée, mais elles sont émises de plusieurs points et secteurs. Les propriétés chimiques et physiques des émissions fugitives dépendent des processus par lesquels elles sont générées.