

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Science de l'Environnement et
des Science Agronomique



السنة الجامعية: 2022/2021

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم علوم المحيط والعلوم الفلاحية

Matière : **Pollution Atmosphérique et son Impact sur la Biosphère**

Programme

INTRODUCTION

Chapitre I: Les Emissions et Emetteurs de pollution atmosphérique

1. Les différents types d'émetteurs

1.1. Les sources non-anthropiques ou naturelles

1.2. Les sources anthropiques

2. La nomenclature Corinair

Chapitre II : Les substances polluantes

1. Introduction

2. Durée de vie des polluants dans l'atmosphère

3 Les différents types de polluants

3.2 Les polluants réglementés

3.3. Les polluants gazeux

3.4 Les composés organiques

3.5 Les métaux lourds

3.6 Les particules

3.7 Les Chlorofluorocarbones

3.8 La spéciation chimique

Chapitre III : Les effets des différentes substances

1. Effets de la pollution de l'air sur la santé humaine

2. Les effets de la pollution de l'air sur l'environnement

3. Effets sur les matériaux

Chapitre IV : Conséquences écologiques des pollutions atmosphériques

1. Effet de serre et changement climatique : échelle mondiale

2. Conséquence de l'ozone

3. Les pluies acides

Chapitre III : Les effets des différentes substances

1. Effets de la pollution de l'air sur la santé humaine

Les polluants de l'air peuvent affecter la santé de l'ensemble de la population. Certaines personnes sont toutefois plus sensibles que d'autres aux polluants et risquent davantage d'en ressentir les effets nuisibles.

L'oxygène dont nos organes ont besoin pour fonctionner est contenu dans l'air. Nous respirons en moyenne chaque jour 15 000 litres d'air. Celui-ci arrive dans nos poumons, puis il est envoyé dans le sang, qui l'achemine dans toutes les parties de notre corps. On comprend donc mieux ici l'importance que l'air que nous respirons soit le plus pur possible.

Toutes les molécules de pollution, passant par notre nez ou notre bouche, trouvent un chemin vers une zone de notre corps et créent une perturbation. L'accumulation de ces polluants, quand ils ne sont pas éliminés, augmente logiquement le risque que quelque chose dysfonctionne.

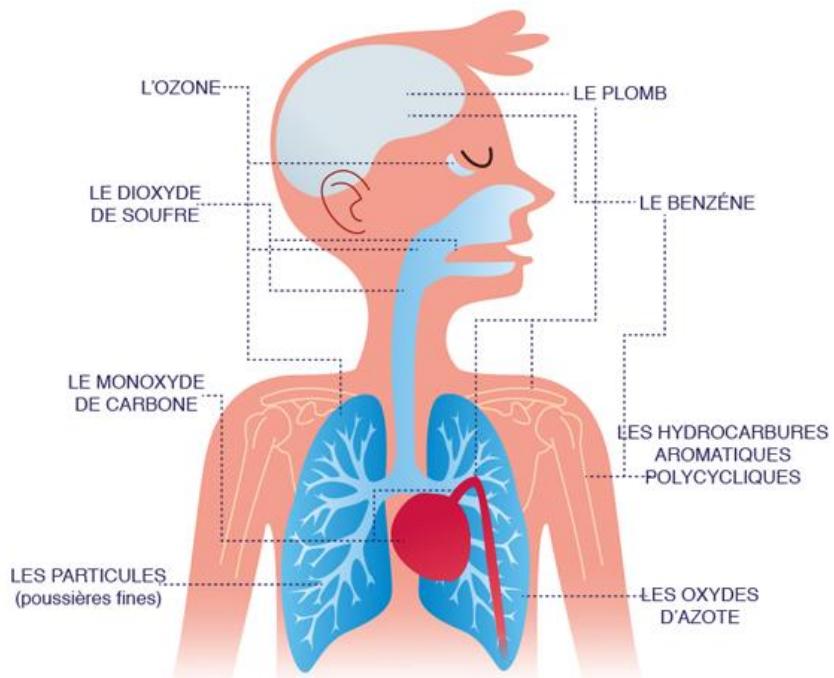


Figure 4 : appareil respiratoire et effets de différents polluants de l'air

1.1.Symptômes

Les personnes qui respirent de l'air pollué peuvent présenter divers symptômes. Ceux-ci varient selon la sensibilité de chaque personne à la pollution de l'air. À court terme, les principaux symptômes sont les suivants :

- Irritation des yeux;
- Respiration sifflante ou difficulté à respirer ;
- Irritation et inflammation des voies respiratoires (toux);
- Augmentation de l'essoufflement, en particulier durant l'activité physique.

La sévérité de ces symptômes dépend notamment de l'état de santé de la personne ainsi que du niveau de pollution auquel elle est exposée. Une mauvaise utilisation de certains médicaments pourrait également contribuer à faire apparaître ces symptômes et les aggraver.

1.2.Facteurs de risque

Les risques de ressentir des malaises causés par la pollution de l'air augmentent :

- Lorsque la qualité de l'air extérieur est mauvaise ;
- Lorsqu'un avertissement de smog est en vigueur ;

- Quand la chaleur est accablante ;
- Lors d'activités physiques intenses ou de sorties de longue durée, alors que les gens respirent une grande quantité d'air.

1.3. Personnes à risque

Certaines personnes ont plus de risques de présenter des symptômes si elles sont exposées à une mauvaise qualité de l'air ou à du smog :

- Les personnes atteintes de problèmes respiratoires comme :
 - l'asthme,
 - l'emphysème,
 - la bronchite chronique,
 - une autre maladie pulmonaire obstructive chronique, etc.;
 - Les personnes atteintes de maladies cardiaques comme l'angine;
 - Les personnes qui ont déjà eu une crise cardiaque;
 - Les personnes atteintes de maladies chroniques comme le diabète;
 - Les femmes enceintes.
 - Les bébés et les enfants de moins de 5 ans;
 - Les personnes âgées;
 - Les personnes qui font de l'exercice intense à l'extérieur ou qui travaillent régulièrement à l'extérieur.
- Ces personnes peuvent respirer une grande quantité d'air pollué.

1.4. Seuil de toxicité des polluants dans l'air

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants (SO_2 , Poussières, NO_2 , Pb, O_3) tiennent compte de leurs effets sur la santé. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) décrète les règles qu'il faudrait respecter pour les divers polluants :

- Certains effets sont associés à des **seuils**, c'est à dire qu'on peut déterminer une valeur de concentration dans l'air **en dessous** de laquelle la substance n'est pas dangereuse.
- Pour certaines substances, il n'existe pas de seuil au sens médical du terme, mais il existe des seuils réglementaires (niveau de pollution acceptable, mais non démunie de conséquences).

Pour déterminer les seuils (déployé pour information, alerte, protection de la santé..), on se base sur des études **toxicologiques et épidémiologiques**. La toxicologie vise à étudier par une analyse **phénoménologique** ce qui fait qu'une substance est bien tolérée et l'autre non, à découvrir à partir de quelle dose une molécule deviendra dangereuse. L'épidémiologie consiste à analyser statiquement les relations entre une exposition et des effets.

1.5. Toxicité de certains polluants de l'air

Les effets sur la santé ayant été les plus étudiés sont les **effets à court terme** liés à des concentrations élevées. Des études sont également menées pour évaluer les conséquences à long terme d'une exposition à un niveau de pollution plus faible. Ci-dessous, sont présentés les effets des polluants les plus courants :

1.5.1. L'intoxication par le monoxyde de carbone (CO)

L'intoxication par le monoxyde de carbone (CO), est l'une des intoxications fatales les plus fréquentes, qui a lieu par inhalation. Le CO est un gaz incolore et inodore libéré par la combustion incomplète d'hydrocarbures (incendies domestiques, voitures mal ventilées, chauffages au gaz, les fours, les chauffe-bains, la combustion du gaz naturel (méthane ou propane) ...). A signaler ainsi, que l'inhalation de la fumée du tabac entraîne aussi la présence de CO dans le sang, mais ceci de façon très insuffisante pour entraîner des signes d'intoxication.

- Symptomatologie

L'intoxication par le monoxyde de carbone (CO) est à l'origine de symptômes aigus tels que céphalées, nausées, sensation de malaise, angor, dyspnée, troubles de conscience, convulsions et coma. Des symptômes

neuropsychiatriques peuvent se développer plusieurs semaines plus tard.

Les symptômes d'une intoxication par le monoxyde de carbone (CO) ne sont pas toujours spécifiques, ils tendent à dépendre du taux maximal de carboxyhémoglobinémie (HbCO):

- Pour des taux compris entre 10 et 20% peuvent apparaître des céphalées et des nausées.
- A des taux > 20% entraînent souvent des états vertigineux mal définis, une faiblesse généralisée, des difficultés de concentration et des troubles du jugement.
- Des taux > 30% entraînent en général une dyspnée d'effort, une douleur thoracique (en cas de coronaropathie), et un syndrome confusionnel.
- Des taux encore supérieurs peuvent provoquer une syncope, des convulsions et une obnubilation.
- Enfin, habituellement avec des taux > 60%, peuvent survenir une hypotension, un coma, une défaillance respiratoire et le décès.

Le patient peut également présenter nombre d'autres symptômes, dont des troubles visuels, des douleurs abdominales et des troubles neurologiques focaux. En cas d'intoxication sévère, la symptomatologie neuropsychiatrique (p. ex., démence, psychose, syndrome parkinsonien, chorée, syndromes amnésiques) peut se développer quelques jours à quelques semaines après l'exposition et devient permanente.

- Physiopathologie :

On connaît que l'inhalation de CO cause des accidents mortels comme lors du fonctionnement défectueux de chauffe-bain. Cependant, les mécanismes de la toxicité au CO ne sont pas complètement compris. Ils semblent être impliquer :

- Fixation de CO sur l'hémoglobine du sang en écartant et remplaçant l'oxygène (parce que le CO a une plus grande affinité pour l'hémoglobine que l'oxygène).
- Diminue la libération d'oxygène par l'hémoglobine aux tissus,
- Inhibition de la respiration mitochondriale
- Possibles effets toxiques directs au niveau du système nerveux cérébral

- Diagnostic et traitement :

Le diagnostic repose sur le dosage de la carboxyhémoglobine ((HbCO) et des gaz du sang artériel avec détermination de la saturation en oxygène. Le traitement repose sur la supplémentation en oxygène. La prévention est souvent possible par l'installation de détecteurs de monoxyde de carbone dans les habitations.

1.5.2. L'intoxication par le plomb

L'intoxication par le plomb est le plus souvent un trouble chronique et peut ne pas entraîner de symptômes aigus. Avec ou sans symptômes aigus, l'intoxication finit par avoir des conséquences irréversibles (p. ex., troubles cognitifs, neuropathie périphérique, insuffisance rénale d'aggravation progressive).

- Symptomatologie:

L'intoxication par le plomb n'entraîne souvent que peu de symptômes à la phase initiale, mais peut cependant être responsable d'encéphalopathie aiguë ou d'altérations fonctionnelles irréversibles, aboutissant fréquemment à des déficits cognitifs chez l'enfant. Les symptômes de l'empoisonnement par le plomb peuvent être aussi proportionnels au taux de plomb, mais il n'existe aucun taux de plomb considéré comme sûr.

- Le risque de déficits cognitifs augmente lorsque le taux de plomb dans le sang (PbB) est ≥ 10 mcg/dL ($\geq 0,48$ micromoles/L) pendant une période prolongée, bien que les valeurs seuils puissent être encore plus basses.
- D'autres symptômes (p. ex., crampes abdominales, constipation, tremblements, troubles de l'humeur) peuvent survenir si la plombémie est > 50 mcg/dL ($> 2,4$ micromoles/L).
- L'encéphalopathie est peu fréquente si la plombémie est > 100 mcg/dL ($> 4,8$ micromoles/L).

- Diagnostic et traitement :

Le diagnostic repose sur le dosage du plomb dans le sang total. Le bilan comprend une FNS, un ionogramme, un dosage de l'urée et de la créatinine sériques, une glycémie et une plombémie. Il faut demander une rx abdominale à la recherche des particules de plomb qui sont rx-opaques. Des rx des os longs sont prises chez les enfants. Cependant, le diagnostic d'intoxication par le plomb est souvent tardif comme les symptômes sont souvent non spécifiques

Le traitement consiste à interrompre l'exposition au plomb et parfois à traiter par un chélateur tel que le succimer (DMSA) ou l'édéate de calcium disodique (EDTA), avec ou sans dimercaprol. Ainsi on peut envisager même une irrigation de l'ensemble de l'intestin si présence de plomb dans le tractus gastro-intestinal.

1.5.3. Les particules

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.

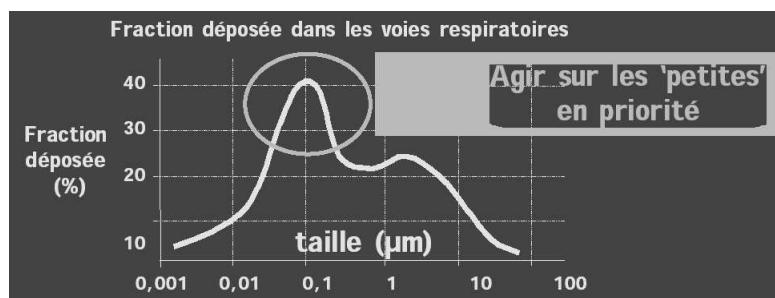


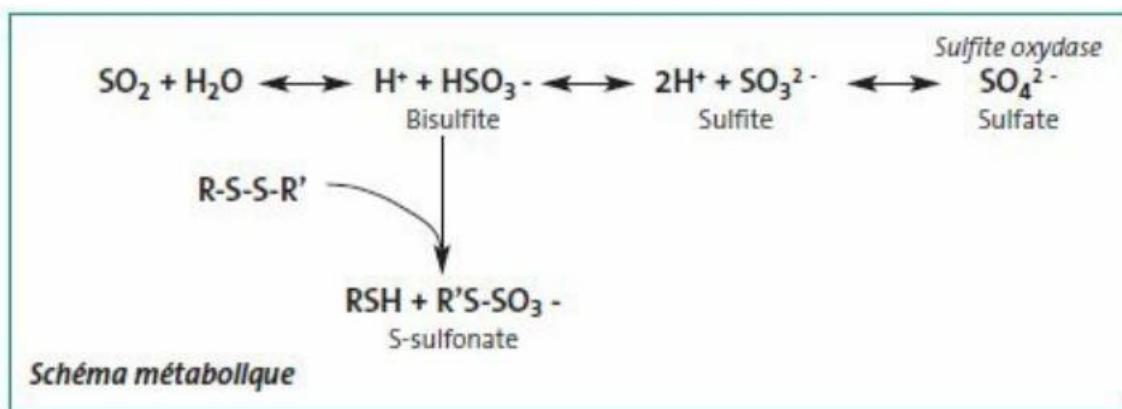
Figure 5 : Fraction de particules déposées dans les voies respiratoires en fonction de la taille des particules - Source Ademe

1.5.4. Le SO₂

Le dioxyde de soufre est un gaz toxique par inhalation. Il produit une irritation sévère de la muqueuse du tractus respiratoire avec lésions cellulaires et œdèmes laryngotrachéal et pulmonaire. Il provoque de graves lésions irréversibles pour la peau et les yeux.

Le dioxyde de soufre est bien absorbé par voie respiratoire et rapidement hydraté. Il est distribué largement dans l'organisme où il est métabolisé par le foie en sulfates et sulfonates éliminés dans les urines.

Chez l'homme, les taux plasmatiques en S-sulfonates sont en corrélation avec les taux atmosphériques de dioxyde de soufre pour une exposition à des concentrations allant de 0,8 à 15,7 mg/m pendant 120 h. La sulfite oxydase humaine pourrait avoir un effet protecteur en empêchant la réaction des sulfites avec les molécules biologiques. Les sulfates formés sont éliminés dans l'urine.



1.5.5. Les oxydes d'azote (NO et NO₂)

Les oxydes d'azote sont des irritants respiratoires puissants qui peuvent provoquer de graves lésions pulmonaires. Ils induisent une vaso- et une bronchodilatation.

Les oxydes d'azote pénètrent dans l'organisme essentiellement par inhalation mais les passages percutanés sont possibles.

Le monoxyde d'azote se fixe dans le sang à l'hémoglobine pour former de la nitrosylhémoglobine, puis de la méthémoglobin, avant une élimination principalement par les reins sous forme de nitrates. Le peroxyde d'azote et le tétraoxyde d'azote ne sont pas à l'origine de nitrosylhémoglobine.

Le NO₂ est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO), il pénètre profondément dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une même dose sur une longue période. Le NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.

1.5.6. Les COV

Les COV ont sur la santé humaine un double impact :

- a) Leur incorporation, le plus souvent par inhalation, parfois par digestion ou pénétration cutanée, peut être à l'origine d'une multitude de pathologies assez graves. La pénétration des COV dans l'organisme est susceptible de produire, par réaction avec des protéines ou des acides nucléiques, divers métabolites toxiques qui se répandent dans les organes.
 - Ingérés à forte dose, les COV peuvent provoquer des intoxications aigües qui se manifestent par des irritations de la peau, du nez, de la gorge et des yeux ou par des atteintes au système nerveux central donnant lieu à des vertiges, des maux de tête et des nausées. Ce type d'intoxication est le plus souvent transitoire, quoique létale dans de très rares cas.
 - De forts soupçons de cancérogénité pèsent sur les COV. Le benzène, fortement associé à des cas de leucémie, est considéré par le Centre International de Recherche sur le Cancer comme un cancérogène certain, de même que le formol, dont l'inhalation augmente significativement les risques de cancer du nasopharynx.
 - Les hydrocarbures aromatiques tels que les BTX (benzène, toluène, xylènes) peuvent provoquer des troubles du système nerveux, des irritations des organes respiratoires et des troubles cardiaques et digestifs.
 - Enfin, certains COV pourraient nuire à la reproduction et au développement prénatal et postnatal. Les substances les plus préoccupantes à cet égard seraient le toluène et les éthers de glycol.
- b) Il est établi que les COV nuisent à la santé de façon indirecte, en favorisant la formation d'ozone dans la basse atmosphère dont les effets toxiques sont connus (cf. fiche « ozone »).

1.5.7. L'Ozone

L'ozone troposphérique est un gaz agressif qui, à fortes concentrations, peut pénétrer jusqu'aux voies respiratoires les plus fines et causer de graves problèmes sanitaires. Des concentrations qui dépassent 180 µg/m³ en moyenne horaire sont surtout dangereuses pour les enfants, les personnes âgées, les insuffisants respiratoires et les asthmatiques. A partir de 240 µg/m³, il existe un risque élevé pour la population entière. Ainsi, des efforts physiques intenses à l'extérieur sont à éviter lors de périodes caractérisées par des concentrations élevées en ozone.

On connaît d'après des études, que l'exposition à l'ozone cause toutes sortes d'effets indésirables. Une brève exposition peut causer, entre autres, une irritation des yeux, des voies nasales et de la gorge, une toux et des maux de tête. Une exposition à une forte concentration peut causer une diminution des fonctions pulmonaires.

Selon l'American Lung Association, une exposition à l'ozone occasionne les affections immédiates suivantes:

- Respiration courte et précipitée ;
- Douleur thoracique reliée à une inhalation profonde ;
- Respiration sifflante et toux ;
- Prédisposition accrue aux infections respiratoires ;
- Inflammation des poumons et des voies respiratoires ;
- Risques accrus d'une crise d'asthme ;
- Besoin accru d'un traitement médical et d'une hospitalisation chez les personnes atteintes d'une maladie pulmonaire, telle que l'asthme ou la bronchopneumopathie obstructive chronique.

1.5.8. Les POPs

Les conséquences de la présence de POPs qui ont pu être observées sur les animaux sont les suivantes : stérilité plus fréquente et baisse de l'effectif des populations, dysfonctionnements hormonaux, mutations sexuelles, déficiences du système immunitaire, anomalies de comportement, tumeurs et cancers, graves malformations congénitales. L'homme connaît également de graves problèmes : cancers et tumeurs, troubles du système nerveux, déficiences du système immunitaire, augmentation de cas de stérilité et modification de comportements sexuels, diminution de la production de lait chez les mères, augmentation des maladies type diabète, etc.

2. Les effets de la pollution de l'air sur l'environnement

Les êtres humains ne sont pas les seuls à être touchés par la pollution de l'air. Les plantes, les animaux et les bâtiments peuvent également subir les répercussions de la pollution atmosphérique. Les effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement peuvent se ressentir à différentes échelles géographiques.

2.1. Impacts sur les écosystèmes

De manière aiguë ou chronique, les polluants atmosphériques ont de lourds impacts sur les biocénoses (plantes et animaux) et leurs biotopes constituant les écosystèmes. Ces polluants peuvent également parcourir des distances importantes et atteindre des écosystèmes sensibles.

2.1.1. Impacts sur les biocénoses :

De manière ponctuelle, par exemple lors des forts épisodes de pollution à l'ozone, des nécroses ou des tâches apparaissent sur les feuilles des arbres. Sur une période d'exposition prolongée à l'ozone, un affaiblissement des organismes et un fort ralentissement de la croissance sont observés, et à terme cela impact le rendement des cultures agricoles.

Le déclin soudain des forêts constatées surtout depuis 1980 semble relever de causes tout à fait inhabituelles. Les responsables considèrent que la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux déclinements forestiers, dont principalement la pollution acide et l'ozone.

La pollution de l'air affecte également la faune : déclin de certaines populations pollinisateur, difficultés de certaines espèces à se reproduire ou à se nourrir. Elle modifie la physiologie des organismes, l'anatomie et les caractéristiques du biotope et des populations.

2.1.2. Impacts sur les biotopes :

Sous l'effet des oxydes d'azote (NO_x) et du dioxyde de soufre (SO₂), les pluies, neiges, brouillards deviennent plus acides et altèrent les sols et les cours d'eau (perte des éléments minéraux nutritifs). Ces apports engendrent un déséquilibre de l'écosystème. Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité puis par la perturbation du fonctionnement général des écosystèmes.

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. Outre le problème d'eutrophisation, 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.

Les métaux lourds contaminent également à la fois les sols et les réserves d'eau douces. Leur accumulation dans les sols et les eaux laissent craindre une contamination de la chaîne alimentaire. Ce type de pollution s'observe au niveau local (proximité de certains sites), mais aussi à l'échelle régionale et continentale, notamment pour certains métaux comme le mercure.

2.2. Impact sur les matériaux

Les processus naturels d'altération des murs et des bâtiments sont essentiellement dus aux conditions climatiques (variations de températures, humidité...) mais aussi à l'action des êtres vivants (bactéries, champignons, lichens...).

Les pierres utilisées pour la construction des monuments sont principalement des calcaires dont on connaît la réactivité aux agents atmosphériques. L'observation des façades ou des statues montrent un noircissement réparti de façon non uniforme dû au dépôt de particules en suspension. Les particules polluantes voient leur origine dans la combustion partielle des carburants fossiles, du bois, ainsi que des déchets.

Tableau 15 : Principaux effets des polluants atmosphériques sur la santé et l'environnement

Polluants	Origine	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
Ozone troposphérique (O₃)	L'ozone est une forme particulière de l'oxygène. Contrairement aux autres polluants, l'ozone n'est pas émis par une source particulière mais résulte de la transformation photo-chimique de certains polluants de l'atmosphère, issus principalement du transport routier, (NOX et COV) en présence des rayonnements ultra-violets solaires. Les concentrations élevées d'ozone s'observent principalement l'été, durant les heures chaudes et ensoleillées de la journée.	C'est un gaz irritant. Des expositions courtes à des valeurs élevées (250µg/m ³) peuvent provoquer des affections respiratoires (bronchites,...) surtout chez les personnes sensibles.	En quantité très élevée, l'ozone peut avoir des conséquences dommageables pour l'environnement. Il contribue à l'acidification de l'environnement qui perturbe la composition de l'air, des eaux de surface et du sol. Ainsi, l'ozone porte préjudice aux écosystèmes (dépérissement forestier, acidification des lacs d'eau douce, atteinte à la chaîne alimentaire,...) et dégrade les bâtiments et les cultures.
Oxydes d'azote (NO_x)	Les NOX proviennent surtout des véhicules et des installations de combustion. Ces émissions ont lieu principalement sous la forme de NO (90%) et dans une moindre mesure sous la forme de NO ₂ .	Le NO n'est pas toxique pour l'homme au contraire du NO ₂ qui peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper activité bronchique. Chez les enfants et les asthmatiques, il peut augmenter la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.	Les NOX interviennent dans la formation d'ozone troposphérique et contribuent au phénomène des pluies acides qui attaquent les végétaux et les bâtiments.
Composés organiques volatils (COV)	Les COV hors méthane (NMVOC) sont gazeux et proviennent du transport routier (véhicules à essence) ou de l'utilisation de solvants dans les procédés industriels (imprimeries, nettoyage à sec,...) ou dans les colles, vernis, peintures,... Les plus connus sont les BTX (benzène, toluène, xylène).	Les effets sont divers selon les polluants et l'exposition. Ils vont de la simple gêne olfactive et une irritation, à une diminution de la capacité respiratoire. Le benzène est un composé cancérogène reconnu.	Les COV interviennent dans la formation d'ozone troposphérique et contribuent au phénomène des pluies acides qui attaquent les végétaux et les bâtiments.
	Il provient essentiellement de la combustion de carburant fossile pour le transport, le chauffage et les activités industrielles.	Il n'a pas d'effet connu sur la santé.	L'augmentation de la concentration en CO ₂ accroît sensiblement l'effet de serre et contribue à une modification du climat planétaire.

Polluants	Origine	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
Dioxyde de soufre (SO₂)	Il provient essentiellement de la combustion des matières fossiles contenant du soufre (comme le fuel ou le charbon) et s'observe en concentrations légèrement plus élevées dans un environnement à forte circulation.	C'est un gaz irritant. Des expositions courtes à des valeurs élevées (250µg/m ³) peuvent provoquer des affections respiratoires (bronchites,...) surtout chez les personnes sensibles.	En présence d'eau, le dioxyde de soufre forme de l'acide sulfurique (H ₂ SO ₄) qui contribue, comme l'ozone, à l'acidification de l'environnement.
Ammoniac (NH₃)	L'ammoniac est un polluant surtout lié aux activités agricoles. En milieu urbain, sa production semble être fonction de la densité de l'habitat. Sa présence est liée à l'utilisation de produits de nettoyage, aux processus de décomposition de la matière organique et à l'usage de voitures équipées d'un catalyseur	Le NH ₃ présent dans l'air n'a pas d'effet toxique sur la santé. Mais attention, sous forme liquide (NH ₄ OH), l'ammoniaque se révèle très corrosif ! Mélangé avec de l'eau de Javel (chlore actif), il peut alors provoquer des dégagements gazeux toxiques (chloramines).	Comme l'ozone, le NH ₃ contribue à l'acidification de l'environnement.
Poussières ou Particules en suspension Incluant les Particules fines (PM10) et très fines (PM_{2,5})	Elles constituent un complexe de substances organiques ou minérales. Les grosses particules (supérieures à 10µm) sont formées par des processus mécaniques tels que l'érosion, les éruptions. Les PM10 (inférieures à 10µm) et PM2,5 (inférieures à 2,5µm) résultent de processus de combustion (industries, chauffage, transport,...).	Leur degré de toxicité dépend de leur nature, dimension et association à d'autres polluants. Les particules fines peuvent irriter les voies respiratoires, à basse concentration, surtout chez les personnes sensibles. Les très fines pénètrent plus profondément dans les voies respiratoires. Certaines particules peuvent avoir des propriétés mutagène ou cancérogène.	Les poussières absorbent et diffusent la lumière, limitant ainsi la visibilité. Elles suscitent la formation de salissure par dépôt et peuvent avoir une odeur désagréable.
Polluants organiques persistants (POPs) Incluant les dioxines, les HAP, les pesticides,...	La production de dioxines est principalement due aux activités humaines et sont rejetées dans l'environnement essentiellement comme sous-produits de procédés industriels (industrie chimique des organochlorés, combustion de matériaux organiques ou fossiles,...). Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont rejettés dans l'atmosphère comme sous-produits de la combustion incomplète de matériaux organiques.	De fortes concentrations de POPs ont des effets carcinogènes reconnus sur la santé. Depuis peu, on constate que les POPs peuvent aussi avoir des effets à très faible concentration. Perturbateurs endocriniens, ils interviennent dans les processus hormonaux et les perturbent : malformations congénitales, capacité reproductive limitée, développement physique et intellectuel affecté, système immunitaire détérioré.	Les POPs résistent à la dégradation biologique, chimique et photolytique et persistent donc dans l'environnement. Par ailleurs, ils sont caractérisés par une faible solubilité dans l'eau et une grande solubilité dans les lipides ce qui cause une bio-accumulation dans les graisses des organismes vivants et une bioconcentration dans les chaînes trophiques.

Chapitre IV: Conséquences écologiques des pollutions atmosphériques

1. Effet de serre et changement climatique : échelle mondiale

1.1. Définition

L'effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l'atmosphère du rayonnement de chaleur émis par la terre sous l'effet des rayons solaires. Il permet une température sur Terre bien supérieure à celle qui régnerait en son absence (+ 33°C environ).

1.2. Les gaz à effet de serre

Le groupe de gaz responsables de ce phénomène est présent dans l'atmosphère à l'état de traces ; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O). C'est parce que les teneurs atmosphériques de ces gaz sont naturellement très faibles que les émissions dues aux activités humaines sont en mesure de les modifier sensiblement, entraînant, a priori, un renforcement de l'effet de serre, et par suite, des modifications possibles du climat.

Bien que la vapeur d'eau constitue le plus important gaz à effet de serre, les activités humaines n'influent pas de façon sensible sur sa concentration atmosphérique, qui est naturellement très variable. En revanche, des études ont montré que les concentrations en CO₂, CH₄, et N₂O ont augmenté fortement par rapport à leurs niveaux de l'ère préindustrielle. L'homme, par ailleurs, a introduit de nouveaux gaz à effet de serre très puissants dans l'atmosphère : les chlorofluorocarbones (CFC) également responsables de la destruction de la couche d'ozone. Enfin, on sait désormais que l'ozone troposphérique, formé à partir des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de Composés Organiques Volatils (COV) joue également un rôle important.

Pour permettre de comparer entre eux les effets des différents gaz, les experts utilisent le "Potentiel de Réchauffement Global" (PRG) qui est le rapport du forçage radiatif d'un gaz à celui du CO₂. Par construction, le PRG du CO₂ est donc 1. Le PRG du CH₄ est évalué à 21, celui du N₂O à 320, ceux de certains gaz du groupe des CFC dépassent 5 000... Bien que le CO₂ soit le moins puissant des gaz à effet de serre, sa contribution se révèle toutefois la plus forte, du fait de l'ampleur des émissions. En effectuant la somme des émissions de gaz à effet de serre, pondérée par leur PRG, on obtient une évaluation de l'impact global des activités humaines sur l'effet de serre, exprimé en unité CO₂-eq. Le forçage radiatif est l'unité permettant d'estimer l'ampleur du mécanisme susceptible de conduire à un changement climatique. Il représente la perturbation du bilan énergétique du système sol-atmosphère.

La pondération par le PRG permet de prendre en compte le temps de résidence dans l'atmosphère ainsi que la capacité d'absorption des différents gaz. Les coefficients de conversion dépendent du temps d'intégration pris en compte pour évaluer le changement climatique. En général, on évalue le calcul se fait à 100 ans. Les PRG (Tonnes équivalents CO₂) de ces différents gaz tels que définis par le GIEC sont ceux de 1995 selon les décisions prises à ce jour par la Conférence des Parties :

- CO₂ = 1
- CH₄ = 21
- N₂O = 310
- HFC = variables de 140 à 11 700 selon les molécules considérées (valeur pondérée de 5 411 en 1990 et de 1 751 en 2003)
- PFC = variables de 6 500 à 9 200 selon les molécules considérées (valeur pondérée de 7 293 en 1990 et de 7 193 en 2003)

- SF6 = 23 900

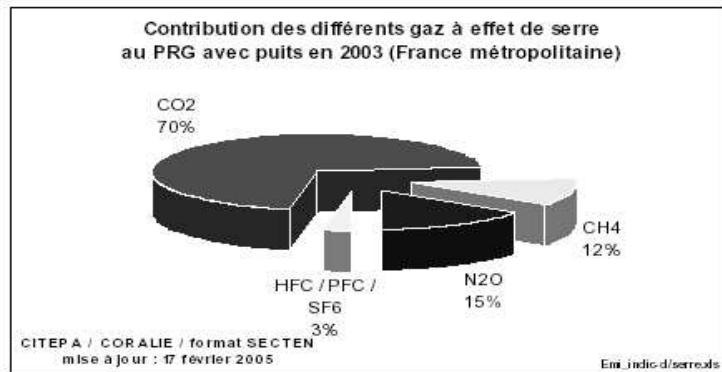


Figure 6 : Contribution des émissions de différentes substances aux réchauffement climatique - Source CITEPA

1.3.1. Impact de l'effet de serre

a. Sur la température:

- La température a déjà augmenté de 0.5 °C en un siècle ce qui peut paraître peu mais on se rend déjà compte des dégâts que cela cause. Si on ne fait rien la température va continuer à augmenter (d'ici un siècle on estime qu'elle va augmenter de 5 °C).
- Par la faute de la hausse de la température, la nature va être bouleversée ; là où il pleut beaucoup les précipitations seront encore plus fortes et inversement pour les zones à faibles précipitations.
- On estime que le niveau de la mer remontera de 1 mètre ce qui provoquera l'inondation du littoral de tous les continents, là où vit l'immense majorité de la population.



Figure 07 : L'augmentation du niveau de la mer remarquée dès 1880 jusqu'à 2000.

- La température des océans change.
- Les courants océaniques vont changer.
- Il y aura de plus en plus de catastrophes naturelles (cyclone, tempêtes, raz-de-marée...).

b. Sur la population:

- Les habitants des villes submergées (les habitants du littoral) par les océans perdront tous leurs biens et certains mourront.

- A cause des sécheresses et des inondations, les habitants des régions sinistrées souffriront de famine.
- Les Inuits verront leur période de chasse diminuer et certains de leurs gibiers (par exemple, l'ours est menacé de disparition d'ici un siècle) disparaître.

c. Sur l'économie:

- Les inondations toutes les constructions seront à refaire ce qui représentera un budget élevé.
- Le recul de la banquise va permettre aux bateaux de passer au Nord de l'Amérique et de l'Asie. Ils pourront ainsi gagner du temps dans le transport des marchandises et du pétrole.
- Avec le réchauffement de l'arctique il sera plus facile de creuser des puits de pétrole et on pourra même faire des forages en mer.

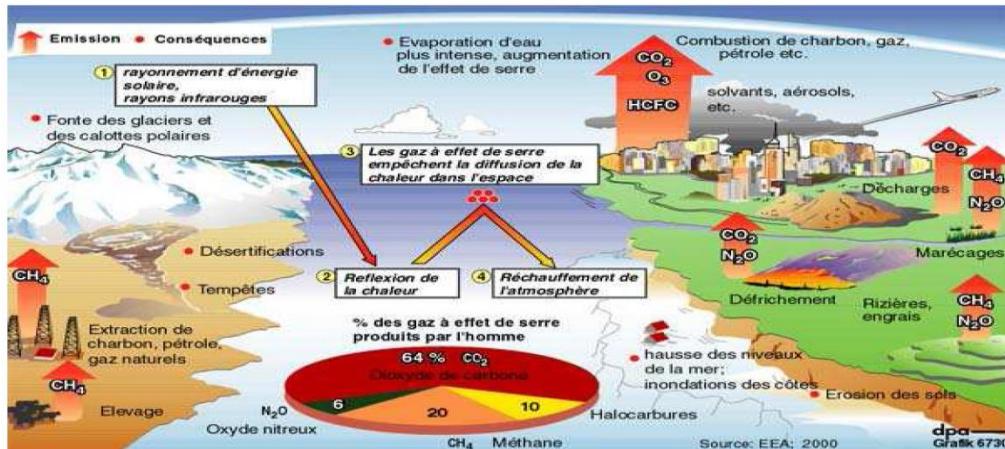


Figure 08 : émissions et conséquences des gaz à effet de serre (Source:EEA;2000)

2. Conséquence de l'ozone

2.3. Définitions

L'ozone (O₃) est une forme chimique particulière de l'oxygène, très instable et réactive. L'ozone est notamment généré par le bombardement de la molécule oxygène stable O₂ par les ultraviolets (UV).

La couche d'ozone est une couche protectrice, située dans la stratosphère terrestre, entre 20 et 50 km d'altitude. Elle possède une forte concentration en ozone, un gaz qui agit comme un filtre de protection face aux rayonnements ultraviolets venant du soleil.

2.4. Les pics d'ozone ; échelle locale

2.4.1. Pollution à l'ozone et formation des pics

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. Elle contribue 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).

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 desquels des seuils jugés nocifs peuvent être atteints, voire dépassés, tant vis à vis de la santé de l'homme que des végétaux. De telles

situations peuvent s'observer de 1 à 2 jours par semaine en été, notamment dans les régions très ensoleillées.

La pollution à l'ozone (pics d'ozone) est liée à un excès d'ozone dans les couches basses de l'atmosphère. Ce problème est à distinguer du trou dans la couche d'ozone qui correspond à un manque d'ozone dans les couches stratosphériques pour faire barrière aux rayonnements solaires.

2.4.2. Les impacts

L'ozone et les polluants photochimiques sont également des espèces phytotoxiques. 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 bioindicateur 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.

2.5. Destruction de la couche d'ozone ; échelle mondiale

2.5.1. Définition

C'est un terme qui désigne la destruction dans la couche d'ozone lorsque le niveau décelé dépasse 50% (diminution drastique de la quantité d'ozone dans l'atmosphère offset par diminution de l'épaisseur de la couche d'ozone de 3mm à 1,5mm).

2.5.2. Le trou d'ozone

Le trou dans la couche d'ozone est une image. À proprement parler, il ne s'agit pas d'un trou, mais d'un appauvrissement plus ou moins prononcé de la couche d'ozone (ici au-dessus de l'Antarctique), et qui limite d'autant la protection qu'elle nous offre contre les rayonnements ultraviolets du Soleil.

En Antarctique, le trou dans la couche d'ozone est un phénomène annuel qui survient en hiver et au printemps à cause des températures extrêmement basses qui règnent dans la stratosphère et de la présence de substances nocives pour l'ozone.

2.5.3. Les causes de trou d'ozone :

- Les composés halogénés synthétiques :

Les substances à l'origine de la perdition d'ozone stratosphérique sont des halocarbures. Il s'agit de composés halogénés synthétiques, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas produits par la nature (chlore, brome, iodé et fluor). Ils regroupent toutes les Substances Appauvrissant la Couche d'Ozone (SAO ou SACO), soit :

- les chlorofluorocarbures (CFC),
- les hydrochlorofluorocarbures (HCFC),
- les bromofluorocarbures (aussi appelés halons),
- le méthylchloroforme (1,1,1-trichloroéthane),
- le tétrachlorométhane ou tétrachlorure de carbone (CCl₄),
- le bromure de méthyle (CH₃Br),

Ainsi que les substances de remplacement des SAO, soit :

- les hydrofluorocarbures (HFC),
- les perfluorocarbures (PFC).

Les ChloroFluoroCarbones (CFC) sont les molécules les plus nocives au couche d'ozone, par contre ; ces molécules restent très stables et ne présentent donc aucune toxicité chimique pour l'homme. On les a utilisées très largement dans un grand nombre de processus industriels et de produits de consommation :

- liquide de refroidissement dans les systèmes frigorifiques (domestiques, industriels et commerciaux) et les conditionnements d'air
- solvant et gaz propulseur dans les aérosols
- solvant pour le nettoyage d'appareils mécaniques et électroniques
- agent gonflant pour la production de mousses plastiques

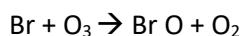
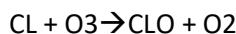
- Les causes naturelles :

- le cycle des tâches solaires (11 ans) influe de 1 à 2 % entre le maximum et le minimum d'un cycle typique
- les émissions volcaniques d'aérosols de sulfate
- la vapeur d'eau contribue également à la destruction de l'ozone stratosphérique via les nuages
- les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) d'origine naturelle

2.5.4. les impacts de trou d'ozone :

- **Les maladies génétiques** : qui sont des maladies dues à une ou plusieurs anomalies sur un ou plusieurs chromosomes qui entraînent un défaut de fonctionnement de certaines cellules de l'organisme comme le xeroderma pigmentosum.
- **L'impact sur le plancton** : moins l'ozone est présent dans l'atmosphère, plus les rayons UV atteignent l'océan, moins la concentration de chlorophylle dans l'eau est importante, signe d'une moindre présence de phytoplancton.
- **Cécité et maladies optiques** : La cécité est l'absence de vision d'un ou des deux yeux.
- **Maladies immunitaires** : Ces maladies résultent d'un dysfonctionnement du système immunitaire. C'est le cas par exemple de la sclérose en plaques
- **Rougeole et malaria** : la rougeole est une maladie virale très contagieuse transmise par voie respiratoire.
- **Réduction de la photosynthèse.**

2.5.5. Quelques réactions de destruction d'ozone



3. Les pluies acides

3.3. Définition

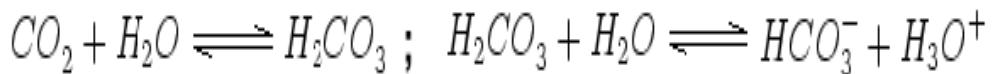
"Les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide. On distingue les retombées humides (pluie, neige, brouillard, smog...) des retombées sèches (particules fines, gaz). Cette expression a été utilisée pour la première fois par Robert Angus Smith en 1872.

Une pluie sont rendues trop acide (c'est-à-dire un pH inférieur à 5.6; voir plus loin) par son contact avec la pollution atmosphérique.

3.4. Causes de formation des pluies acides

3.4.1. Formation naturelle

Les précipitations sont naturellement acides, car le dioxyde de carbone (CO_2) qui se trouve dans l'air se dissout dans les gouttes d'eau, devient de l'acide carbonique (H_2CO_3) ce qui abaisse le pH aux environs de 5,6. Ceci car l'acide carbonique n'est pas stable.



3.4.2. Formation liée à la pollution

Les pluies acides proviennent essentiellement de la pollution de l'air, dont les humains sont responsables. Il s'agit de l'émissions dans l'air des oxydes de soufre (SO_2 et SO_3) et d'azote (NO et NO_2) qui sont les principaux composés des pluies acides. Ces polluants réagissent dans l'atmosphère avec le dioxygène et l'eau pour former respectivement de l'acide sulfureux H_2SO_3 et de l'acide nitrique HNO_3 .

- $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3 ; \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{NO}_x + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3$

D'autres acides peuvent intervenir dans une moindre mesure : acide chlorhydrique, acide fluorhydrique, ammonium, acide formique, acide acétique...

L'acidification peut être due à des émissions locales de ces polluants, mais aussi à des polluants transportés sur des centaines, voire des milliers de kilomètres.

La provenance des polluants constituant les pluies acides a deux origines principales :

- Des sources naturelles ou semi-naturelles : émissions volcaniques soufrées, oxydes d'azote produits par la foudre, gaz issus de certaines formes de décomposition biologique terrestres, ou émis par les océans, feux de forêts...
- Des sources anthropiques, dont l'industrie, les centrales thermiques, le chauffage et les transports...

3.5. Impact des pluies acides

Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides (pas d'effet tampon). Ceci peut se répercuter par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, des carences nutritives engendrant des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres.

Au cours des années 1970-1980 de nombreux massifs forestiers ont été touchés par des troubles et des déperissements anormaux en Europe. En France, jusqu'à 25% des arbres pouvaient être considérés comme endommagés à des degrés divers dans certaines régions, notamment dans les Vosges. Il est admis que les retombées acides ont contribué à ces dommages, souvent en combiné avec des facteurs de stress naturels (sécheresses, insectes pathogènes,..), et parfois de manière prédominante dans les régions d'Europe centrale particulièrement polluées en dioxyde de soufre.