

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة I  
Frères Mentouri Constantine I University  
Université Frères Mentouri Constantine I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie Animale

كلية علوم الطبيعة والحياة  
قسم بيولوجيا الحيوان

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie  
Filière : Sciences biologiques  
Spécialité : TOXICOLOGIE

N° d'ordre :  
N° de série :

Intitulé :

---

**L'impact du parc automobile sur la pollution  
urbaine : évaluation et conséquence**

---

Présenté par : KHEMIS Marwa  
DJAMAA Soundous  
LAOUAR Haoua

Le 21/06/2023

Jury d'évaluation :

Président du jury : Dr. BOUBEKRI Nassima (MCA – Université de Constantine 1)

Rapporteur : Pr. BELMAHI M.H (Chef de service toxicologie – CHU de Constantine)

Examinatrice : Dr. HAMADOU Imene (MCB – Université de Constantine 1)



# *Remerciement*

*Nous remercions dieu le tout puissant pour le courage et la volonté qu'il nous a prodigué.*

*Clé de réussite dans nos études*

*Nous tenons à remercier toutes personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire*

*Plus particulièrement notre encadreur monsieur BELMAHI Mohamed Habib qui nous a encadrés*

*Nous tenon aussi à remercier les membres de jury :*

*Madame BOUBEKRI Nassima*

*Mademoiselle HAMADOU Imene*

*D'avoir accepté d'examiner.*

*Enfin nos respect à tous les enseignants*



# *Dédicace*

*Grace à Dieu, à son aide j'arrive au  
bout de chemin...*

*Je dédie ce travail à*

*Mes très chers parents*

*Karima Ferhat et Mourad*

*Source de tendresse, soutien courage  
et patience.*

*Mes sœurs : Safaa et Sabrina*

*Mon frère : Mohamed Saleh*

*Mes amis et collègue de la promotion*

*Et à la fin, merci à toute personne*

*qui a cru en moi et qui m'avait*

*encouragée, ainsi qu'à toute*

*personne qui avait un doute que j'y  
arriverai.*

*Khemis Marwa*



# *Dédicace*

*Ce n'est qu'à l'aide de dieu tout puissant.*

*Je dédie ce travail aux être les plus chers à mon cœur :*

*A ma mère, pour tous les sacrifices qu'elle me contente, toute la confiance qu'elle m'accorde et tout l'amour dont elle m'entoure, que dieu la protège.*

*A mon père, qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout possible pour m'aider.*

*A mes chères sœurs et mon frère merci d'être à mes côtés par vos amours et vos soutiens.*

*A ma grand-mère que je l'adore et je l'estime beaucoup que dieu te garde toujours devant moi en bonne santé.*

*Djamaa Soundous*





# *Dédicace*

*Avant toute chose, je remercie Allah le miséricordieux.*

*Je dédie ce modeste travail à mes parents qui ont tout sacrifié pour mon bien.*

*A mon père Taher rabi yarhmo, que dieu ait pitié de lui, que j'ai voulu être avec moi dans cette joie*

*À la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, a la plus courageuse dans le monde, à*

*ma source de lumière et de patience qui n'a jamais dit non à mes exigences à mon*

*adorable maman Fatima, que dieu te protège à moi.*

*A mes sœurs qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation*

*de ce travail. Elles m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.*

*A mes frères Zaki et Boubaker qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.*

*À toutes mes amies et ma famille sans exception et  
Spécialement Manel, Asma et Amani*

*Laouar Haoua*



## أثر أسطول السيارات على التلوث الحضري وتقييمه ونتائجه

### الملخص

شهد العالم في السنوات الأخيرة زيادة ملحوظة في معدل التلوث البيئي نتيجة زيادة النشاط البشري والتنمية الصناعية التي تنبعث منها ملوثات بيئية.

أولاً ، سنتناول في أطروحتنا مشكلة تلوث الهواء بشكل عام وكذلك المصادر المختلفة وبعض الملوثات وأثرها على البيئة والبيئة المعيشية والأنظمة المتعلقة بقياسها.

نواصل هذه الأطروحة بوصف قوائم جرد الانبعاثات المختلفة الموجودة ، والتي تشكل أداة أساسية لدراسات الأثر على البيئة والصحة العامة. كما يهدف هذا العمل الخاص بمجال النقل إلى تقييم انبعاثات الغازات الملوثة.

يعتبر النقل البري من أكبر مصادر التلوث البيئي في العالم ، خاصة في الجزائر ، بسبب زيادة الطلب على المركبات لتسهيل النقل ، ونتيجة لذلك ، شهد التلوث في الجزائر زيادة كبيرة.

تعتبر مدينة قسنطينة على وجه الخصوص مركزاً مهماً يستقبل نحوه عدد كبير من المركبات من مختلف الأنواع والأعمار ، كما شهدت المدينة زيادة ملحوظة في عدد السيارات في السنوات الخمس الماضية ، لتكون من بين أولى المدن التي سجلت تزايداً كبيراً في عدد المركبات ، وهذا ما أدى إلى زيادة التلوث في المدينة بسبب الانبعاثات الهوائية المفرطة من المركبات.

### الكلمات المفتاحية :

النقل ، أسطول السيارات ، أخذ العينات ، الإجهاد التأكسدي ، تلوث الهواء ، سمية الملوثات ، أسطول سيارات مدينة قسنطينة

# **The impact of the car fleet on urban pollution, evaluation and consequence**

## **Abstract**

In recent years, the world has witnessed a remarkable increase in the rate of environmental pollution as a result of the increase in human activity and industrial development that emit environmental pollutants.

First, we will address in our dissertation the problem of air pollution in general, as well as the various sources and some pollutants and their impact on the environment, the living environment, and the systems related to their measurement.

We continue this thesis by describing the various emissions inventories that exist, which constitute an essential tool for studies of impact on the environment and public health. This work in the field of transport also aims to assess emissions of polluting gases.

Road transport is one of the largest sources of environmental pollution in the world, especially in Algeria, due to the increased demand for vehicles to facilitate transportation, and as a result, pollution in Algeria has witnessed a significant increase.

The city of Constantine in particular is an important center that receives a large number of vehicles of different types and ages, and the city has witnessed a remarkable increase in the number of cars in the past five years, to be among the first cities to record a significant increase in the number of vehicles, and this is what led to an increase in pollution in the city due to excessive air emissions from vehicles.

## **Keywords:**

Transport, car fleet, sampling, oxidative stress, air pollution, toxicity of pollutants, city car fleet of Constantine

# **L'impact du parc automobile sur la pollution urbaine évaluation et conséquence**

## **Résumé**

Le monde a connu une augmentation remarquable du taux de pollution de l'environnement en raison de l'augmentation de l'activité humaine.

Dans un premier temps, nous aborderons dans notre mémoire la pollution de l'air en général, et les différentes sources et certains polluants et leur impact sur l'environnement. Et les différents inventaires d'émissions existants, qui constituent un outil essentiel pour les études d'impact sur l'environnement et la santé publique.

L'une des sources les plus importantes de pollution de l'environnement dans le monde est la voiture, en particulier en Algérie, en raison de la demande accrue de véhicules pour faciliter le transport, et par conséquent, la pollution en Algérie a connu une augmentation significative. La ville de Constantine en particulier est un centre important qui reçoit un grand nombre de véhicules de types et d'âges différents.

Cela a entraîné une augmentation de la pollution dans la ville

## **Mots clés :**

Transport, parc automobile, prélèvement, stress oxydatif, pollution de l'air, toxicité des polluants, ville parc automobile de Constantine

# Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

**Introduction général** ..... 1

## **Chapitre 1 : Généralités sur la pollution**

I. Définition de la pollution ..... 3

I. 1. Pollution du sol ..... 3

I. 2. Pollution d'eau ..... 3

I. 3. Pollution de l'air ..... 4

II. Le niveau de la pollution atmosphérique ..... 5

II. 1. La pollution à l'échelle planétaire ..... 5

II. 2. La pollution à l'échelle régionale ..... 6

II. 3. La pollution à l'échelle locale ..... 6

III. Les sources de la pollution atmosphérique ..... 7

III. 1. Sources naturelles ..... 7

III. 1. 1. La foudre ..... 7

III. 1. 2. Eruptions volcaniques ..... 8

III. 2. Sources anthropique ..... 8

IV. Classification des principaux polluants de l'air ..... 10

IV. 1. Les polluants primaires ..... 10

IV. 1. 1. Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ..... 10

IV. 1. 2. Le monoxyde de carbone (CO) ..... 10

IV. 1. 3. Le benzène (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) .....	11
IV. 1. 4. Les métaux lourds .....	12
IV. 1. 5. Les particules fines.....	13
IV. 1. 6. Le dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ) .....	14
IV. 2. Les polluants secondaires .....	15
IV. 2. 1. Les oxydes d'azote (NO, NO <sub>x</sub> ) .....	15
IV. 2. 1. a. Les oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) .....	15
IV. 2. 1. b. Les oxydes d'azote (NO) .....	16
IV. 2. 2. L'ozone (O <sub>3</sub> ) .....	17
IV. 2. 3. Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) .....	19
V. Les facteurs influençant la pollution atmosphérique .....	23
V. 1. Le vent .....	23
V. 2. La température .....	23
V. 3. L'humidité .....	24

## **Chapitre 2 : Méthodologie expérimentale**

VI. Méthodologie expérimentale .....	25
VI. 1. Prélèvement des polluants atmosphériques .....	25
VI. 1.1- Prélèvement de manière passif (par diffusion) .....	25
VI. 1.2. Prélèvement de manière actif (par pompage) .....	25
VI. 1. 2. a. Prélèvement de particules en suspension.....	26
VI. 2. Méthode d'analyse .....	28
VI. 2. 1. La fluorescence UV .....	29
VI. 2. 2. Chimiluminescence .....	29
VI. 2. 3. La chromatographie en phase gazeuse .....	30

VI. 2. 4. Spectroscopie atomique (SA) .....	31
VI. 2. 4. a. la spectroscopie atomique d'absorption (SAA).....	32
VI. 2. 4. b. La spectroscopie atomique d'émission (SEA) .....	32
VI. 2. 4. c. La mesure de métaux lourds .....	32
VI. 2. 4. d. La mesure de l'ozone (O <sub>3</sub> ) .....	33
VII. Pollution atmosphérique et stress oxydatif .....	33
VIII. Impact de la pollution atmosphérique .....	37
VIII. 1. Sur l'environnement .....	37
VIII. 1. 1. L'effet de serre et trou d'ozone .....	37
VIII. 1. 2. Sur l'écosystème .....	39
VIII. 1. 2. a. Pluies acides .....	39
VIII. 1. 2. b. Le smog .....	40
VIII. 2. Sur les animaux et les végétaux .....	41
VIII. 3. Sur la santé .....	44
VIII. 3. 1. Morbidité respiratoire .....	46
VIII. 3. 1. a. Asthme .....	46
VIII. 3. 1. b. Broncho-pneumopathie chronique obstructive .....	46
VIII. 3. 1. c. Cancer des poumons .....	47
VIII. 3. 2. Morbidité cardio-vasculaire .....	48
VIII. 3. 3. Effet neurocomportementaux .....	48
IX. Réglementation et conventions vis-à-vis de la pollution atmosphérique .....	49
IX. 1. La convention sur la pollution transfrontalière à longue distance (CLRTAP)...	49
IX. 2. Les normes spécifiques au transport routier dans le monde .....	50
IX. 3. Cadre réglementaire et législatif en Algérie .....	54

IX. 3. 1. État des lieux .....	54
IX. 3. 2. Enjeux de la réglementation relative à la consommation de carburant en Algérie .....	55
IX. 3. 3. Réglementation en étude .....	55

### **Chapitre 3 : Evaluation Statistiques et Discussion**

I. Evolution du parc automobile en fonction d'année selon (ONS) .....	57
I. 1. Evolution du parc automobile national .....	57
I. 2. Evolution du parc automobile dans la wilaya de Constantine .....	58
I. 3. Le parc véhicule de Constantine par rapport au parc national .....	59
II. Evolution du parc automobile par source d'énergie selon (ONS) .....	59
II. 1. Dans l'Algérie selon (ONS) .....	60
II. 2. Dans la wilaya de Constantine selon (ONS) .....	61
III. Répartition du parc automobile de wilaya de Constantine par catégorie au 31/12/2022.....	62
IV. Répartition du parc automobile de wilaya de Constantine par âge au 31/12/2022 .....	63
<b>Conclusion</b> .....	65

Références bibliographiques

## Liste des figures :

<b>Figure 1:</b> Le cycle de la pollution atmosphérique .....	4
<b>Figure 2:</b> Effets des éruptions volcaniques sur l'atmosphère .....	8
<b>Figure 3:</b> Cycle de traitement des oxydes d'azote NO <sub>x</sub> .....	17
<b>Figure 4:</b> Représentation schématique des principaux mécanismes impliqués dans la formation d'ozone troposphérique .....	19
<b>Figure 5 :</b> Principe du prélèvement par filtration .....	26
<b>Figure 6:</b> Schéma de structure d'une Jauge Owen .....	27
<b>Figure 7:</b> Jauge Owen installée sur le toit d'une station de mesures .....	28
<b>Figure 8:</b> Méthode UV pour la mesure du dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ).....	29
<b>Figure 9:</b> Méthode de chimiluminescence pour la mesure du dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ).....	30
<b>Figure 10 :</b> Déséquilibre du statut pro/antioxydant favorisant l'état de stress oxydant.....	33
<b>Figure 11 :</b> Mécanisme de lésion des voies respiratoire par les polluants atmosphériques en induisant un stress oxydatif .....	34
<b>Figure 12 :</b> Mécanisme de toxicité de l'ozone et des particules atmosphérique dans les voies aérienne .....	35
<b>Figure 13:</b> Pro oxidant pathway for NP-induced toxicity.....	36
<b>Figure 14:</b> Transformation de SO <sub>2</sub> en H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	39

<b>Figure 15</b> : Transformation de NO <sub>2</sub> en HNO <sub>3</sub> .....	40
<b>Figure 16</b> : Pénétration des polluants .....	42
<b>Figure 17</b> : Effets de la pollution au dioxyde de soufre .....	42
<b>Figure 18</b> : Effets de la pollution au d'ozone .....	43
<b>Figure 19</b> : Evolution du parc automobile national en fonction d'année selon (ONS) .....	57
<b>Figure 20</b> : Evolution du parc automobile dans la wilaya de Constantine en fonction d'année selon (ONS) .....	58
<b>Figure 21</b> : Répartition du parc de Constantine par rapport au parc national au 31/12/2022..	59
<b>Figure 22</b> : Evolution du parc automobile national par source d'énergie .....	60
<b>Figure 23</b> : Evolution du parc automobile de la wilaya de Constantine par source d'énergie.	61
<b>Figure 24</b> : Répartition du parc de Constantine par catégorie .....	62
<b>Figure 25</b> : Répartition du parc automobile de Constantine par âge .....	64

## Liste des tableaux :

<b>Tableau 1 :</b> Les principaux polluants toxiques présents dans l'atmosphère (sources, contribution et impacts) .....	22
<b>Tableau 2 :</b> Effets des principaux polluants sur l'environnement .....	38
<b>Tableau 3 :</b> Effets des principaux polluants sur la santé .....	45
<b>Tableau 4 :</b> Les directives imposées par l'Union Européenne pour la protection et la réglementation de la qualité de l'air .....	52
<b>Tableau 5 :</b> Normes européennes des émissions de VP (g/km) .....	53
<b>Tableau 6 :</b> Evolution du parc automobile national selon la source d'énergie selon (ONS).....	60
<b>Tableau 7 :</b> Evolution du parc de Constantine selon la source d'énergie .....	61
<b>Tableau 8 :</b> Nombre de véhicule de Constantine selon la catégorie .....	62
<b>Tableau 9 :</b> Nombre de véhicule de Constantine selon l'âge .....	63

## **Liste des abréviations et symboles :**

**AAS : Spectrométrie d'absorption atomique**

**ACEA : Associations de constructeurs automobiles européens**

**BPCO : Bronchopneumopathie chronique obstructive**

**CAFC : Average fuel economy corporation**

**CCNUCC : Convention sur les changements climatiques**

**CFC : Chlorofluorocarbures**

**CLRTAP : Convention sur la pollution transfrontalière à longue distance**

**COV : Composés organiques volatils**

**COVNM : Composés organiques volatils non méthaniques**

**ERK : Extracellular signal-regulated kinases.**

**GC : Chromatographie en phase gazeuse**

**GES : Gaz à effet de serre**

**GWP : Potentiel de réchauffement global**

**ICP-OES : Spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif**

**ICP-MS : Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif**

**JNK : c-Jun Kinase N-terminal**

**MAPK: Mitogen activated protein kinases**

**MOU : Memorandum of Understanding**

**NF-Kb : Nuclear factor –kappa B**

**Nrf2 : Facteur nucléaire2**

**OMS : Organisation mondiale de la santé.**

**PM : Particulate Matte**

**PNUE : Programme des Nations unies pour l'environnement**

**P38 MAPK : Protein class 38 Mitogen activated protein kinases.**

**ROS : Reactive Oxygen Species**

**SAA : Spectroscopie atomique d'absorption**

**UE : Union européenne**

**Vp : Véhicule particulier**

# **Introduction**

# INTRODUCTION GENERALE

Durant les dernières années, l'industrialisation et l'essor des transports ont joué un rôle essentiel dans l'évolution de la société. Ces activités étaient synonymes de progrès, de modernité et d'enrichissement. Mais depuis, la prise de conscience quant aux conséquences environnementales n'a cessé de croître.

En effet, de grandes quantités de substances chimiques sont relâchées dans l'environnement, la plupart d'entre elles étant considérées comme dangereuses. (1)

L'introduction de ces composés implique des risques sérieux non seulement pour l'environnement et les organismes vivants, mais aussi pour la santé humaine.

La pollution atmosphérique est le résultat de multiples facteurs: croissance de la consommation d'énergie, développement industriels, parc automobile croissant, les feux de forêt, incinération des déchets ménagers, déchets industriels, etc. Ainsi, l'utilisation de l'énergie est le principal moteur de la pollution. (2)

La pollution est particulièrement dans les zones urbaines et les zones d'activités.

Le transport a joué un rôle fondamental dans le développement de la société. Ces activités sont synonymes de progrès, de modernité et d'enrichissement. De sorte que de grandes quantités de produits chimiques sont libérées dans l'environnement, la plupart d'entre eux sont considérés comme dangereux. L'introduction de ces composés implique des risques graves pour tout notre écosystème.

Les agglomérations urbaines, ont connu, une triple croissance : celle de la population, celle des activités économiques ainsi que celle du trafic. Ces croissances entraînant une pollution de l'atmosphère. (3)

Le transport terrestre est l'un des facteurs les plus importants qui contribuent à la pollution de l'air. Il est principalement responsable des émissions d'oxyde d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et de monoxyde de carbone (CO), et est relativement important pour le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM).

Malgré les recherches et les progrès réalisés dans le domaine du développement durable et de l'utilisation des énergies alternatives, le domaine du transport routier dépend actuellement de deux principales sources d'énergie : l'essence et le diesel. (2)

Principalement en raison de la facilité de production, de stockage et de distribution de ces carburants, de l'amélioration de la sécurité routière et du coût inférieur par rapport aux autres sources proposées.

Les émissions de dioxyde de carbone du transport routier ont fait l'objet d'une attention particulière en raison de leur augmentation continue. Il peut être réduit de plusieurs manières, par exemple par des améliorations de l'infrastructure routière, de la qualité du carburant et des progrès dans la technologie des véhicules et les systèmes de gestion. (4)

Les transports urbains contribuent à plus de 25 % des émissions totales de dioxyde de carbone, d'oxydes d'azote et de particules dans la plupart des pays.

Il est généralement connu que la plupart des substances émises directement par des composés dans l'air ambiant ou produites indirectement par des réactions photochimiques présentent un risque grave pour la santé humaine.

En 2016, environ 4,2 millions de personnes sont décédées dans le monde en raison d'une exposition à la pollution de l'air extérieur. Les polluants émis ne restent pas dans l'atmosphère à proximité de la source d'émission ou de l'environnement local et peuvent parcourir de longues distances, créant de nombreux problèmes environnementaux régionaux et mondiaux.

Si le réchauffement climatique se poursuit en raison des polluants atmosphériques, les conséquences seront graves en termes de sécurité alimentaire, de disponibilité en eau potable, de risques d'inondations et de tempêtes, avec une éventuelle augmentation des déplacements de population et des conflits d'accès aux ressources. (5)

L'objectif général de ce travail est de cibler les polluants émis du parc automobile et étudier et évaluer leurs impacts sur la pollution urbaine et l'étude de leurs effets sur la san

# **Partie**

# **Bibliographique**

# Généralité

## I. Définition de la pollution

La pollution est un changement de l'environnement, en général liée à l'activité humaine par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques qui sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants, ces substances perturbent le fonctionnement naturel des écosystèmes.

Outre ses effets sur la santé humaine et animale, elle peut avoir pour conséquences la migration ou l'extinction de certaines espèces qui sont incapables de s'adapter à l'évolution de leur milieu naturel. (6)

### I. 1. Pollution du sol

On dit un sol pollué lorsqu'il contient des polluants ou contaminants susceptibles de causer un changement dans l'écosystème constitués par le sol (6).

Cela est dû à la fuite d'eau polluée, d'origine industrielle ou agricole comme l'utilisation d'engrais chimiques, de pesticides, etc. (7).

Les sols pollués sont caractérisés par leur immobilité, contribuant à une invisibilité des substances toxiques. (8)

### I. 2. Pollution d'eau

La pollution de l'eau est la présence de petits organismes, de produits chimiques ou de déchets industriels dans l'eau. Cette pollution est principalement causée par les activités humaines, détériorant la qualité de l'eau et perturbant le milieu aquatique.

Il existe plusieurs types de pollution de l'eau, dont : la pollution agricole avec les nitrates et les phosphates présents dans les engrais et les pesticides, ainsi que les déjections animales. (9)

La pollution de l'eau peut également concerner les interfaces, telles que les estuaires et les zones humides et en particulier leurs sédiments qui peuvent absorber (10)

### I. 3. Pollution de l'air

La pollution de l'air est la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par tout agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère.

Les appareils à combustion d'usage domestique, les véhicules à moteur, les installations industrielles et les incendies de forêt sont des sources courantes de pollution atmosphérique.

Les polluants les plus préoccupants pour la santé publique comprennent les particules en suspension, le monoxyde de carbone, l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre.

La pollution de l'air extérieur et intérieur provoque des maladies respiratoires et autres et elle est une cause importante de morbidité et de mortalité. Les données de l'OMS montrent que la quasi-totalité de la population mondiale (99 %) respire un air dont les valeurs dépassent les limites recommandées par l'OMS et qui contient des taux élevés de polluants.

La qualité de l'air est étroitement liée au climat et aux écosystèmes de la Terre à l'échelle mondiale, lorsque les combustibles fossiles sont brûlés, ils libèrent de grandes quantités de dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre, dans l'air. (11)

Voici le cycle de la pollution atmosphérique :

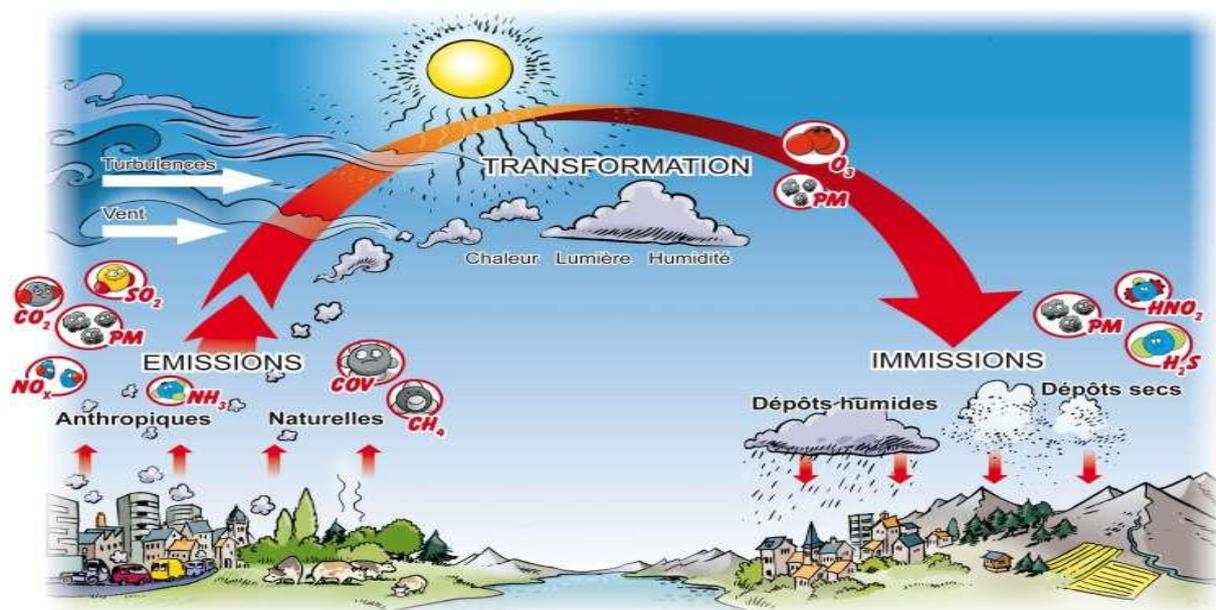


Figure 1 : Le cycle de la pollution atmosphérique (12)

## II. Le niveau de pollution atmosphérique

### II. 1. La pollution à l'échelle planétaire

Les émissions de composés chimiques chlorés suffisamment stables qui ont atteint la stratosphère sont dissociées par le rayonnement ultraviolet et provoquent la destruction de la couche d'ozone. Le chlore, ainsi libéré, s'attaque alors aux molécules d'ozone, entraînant la diminution de ces derniers, provoquant ainsi une augmentation de l'effet de serre.

L'émission de gaz à effet de serre va avoir un impact plus global en participant au réchauffement climatique mondial du fait de leur temps de résidence important (de la décennie au siècle). Par ailleurs, cette pollution se traduit par des baisses de la quantité d'ozone stratosphérique, ainsi qu'un risque de changement climatique global par accroissement de l'effet de serre. (13)

L'accroissement de l'activité humaine, entraîne une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES), favorisant ainsi le réchauffement climatique et en générant l'émission de quatre principaux gaz à effet de serre :

- Le CO<sub>2</sub> provenant principalement de la combustion des énergies fossiles.
- le CH<sub>4</sub> lié aux activités agricoles et à la distribution de gaz naturel.
- Les NO<sub>x</sub> issus de la combustion des énergies fossiles et de l'utilisation de fertilisants.
- Les composés organiques halogénés, dont les principaux sont les chlorofluorocarbures (CFC), utilisés comme gaz propulseur ou réfrigérant et dans des procédés industriels. Notons que leurs émissions ont cessé après la découverte de leur rôle dans la diminution de la couche d'ozone et la mise en place d'un traité international limitant puis interdisant leur utilisation.

Le changement climatique aurait à son tour des répercussions profondes sur l'environnement. Il provoquerait une fonte des calottes de glace polaire qui entraînerait une

hausse du niveau des mers, avec ennoyage des plaines et des agglomérations littorales, et une modification des climats, au niveau tant régional que planétaire, affectant la production agricole.

Le CO<sub>2</sub> est le principal gaz à effet de serre mais ce n'est pas un polluant toxique. Les rejets de CO<sub>2</sub> seraient responsables de 60 % de l'effet de serre et le transport contribue avec 23 % à ces émissions. Une hausse inhabituelle des écarts de température a été observée dans l'hémisphère Nord au cours des cent dernières années. (14)

## **II. 2. La pollution à l'échelle régionale**

La pollution de l'atmosphère peut se manifester à une échelle régionale, dans cette échelle la pollution peut être étendue (de dix à plusieurs centaines de kilomètres, et peut même atteindre mille kilomètres).

Les niveaux de mise au point de pollution dans cette échelle ne sont pas élevés par rapport d'autres échelles et les effets seront dus à des polluants secondaires plus perfides. Sur cette échelle, la contamination ne connaît pas la frontière entre les nations est appelée pollution transfrontière.

Et la pollution issue des fortes concentrations d'ozone observées chaque période estivale peut être classée dans cette catégorie de pollution régionale. (15)

## **II. 3. La pollution à l'échelle locale**

La pollution atmosphérique agit localement sur une extension de quelques kilomètres et se manifeste à proximité des sources de pollution. Néanmoins, à cette échelle il est possible qu'elle se manifeste à deux échelons du territoire: l'échelle urbaine et l'échelle de proximité directement induite par les émissions directes de polluants primaires.

La pollution atmosphérique dans cette échelle se caractérise par l'émission de composés toxiques et cancérigènes impactant plus spécifiquement les populations environnantes.

Les polluants dans cette échelle ont une durée de vie courte, allant de la minute à la journée. A cette échelle, les polluants qui participent le plus à la mauvaise qualité de l'air sont les NO<sub>x</sub>. La pollution dans cette échelle affecte directement la santé humaine et animale par l'exposition

à des substances toxiques, elle peut également agir sur la flore directement par voie chimique ou indirectement par modification des équilibres dans les sols, et enfin sur les matériaux par corrosion et salissure. (14)

### **III. Sources de la pollution atmosphérique**

Il existe deux sources générales de pollution atmosphérique :

#### **III. 1. Sources naturelles**

Ce sont les sources qui n'ont rien à voir avec l'activité humaine. Parmi elles, on peut distinguer les sources biotiques (associées à l'existence d'organismes vivants), l'éruption volcanique (un rejet très important de produits soufrés) est un exemple d'une source naturel. Pour les ressources biologiques, Il n'est pas toujours facile de catégoriser le type de sources. (16)

##### **III. 1. 1. La foudre**

La foudre est la principale source d'émission d'oxydes d'azote dans la partie supérieure de la troposphère. Elle est responsable de plus d'un quart de la production mondiale de NO<sub>x</sub>.

Et cela passe par les hautes pressions et les hautes températures qui règnent le long du canal provoquent la dissociation des molécules d'azote et d'oxygène dont les fragments se combinent pour former des oxydes d'azote.

Généralement, plus la décharge est violente, plus la production de NO<sub>x</sub> est importante. L'apparition de la foudre est souvent associée à la pluie, le NO<sub>2</sub> produit peut réagir avec l'eau pour former de l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>).

Chaque décharge nuage-sol produit en moyenne .1026 molécules de NO (environ 30kg) Si l'on considère que dans le monde, la foudre frappe le sol entre 50 et 100 fois par seconde, la production de NO<sub>x</sub> qui en résulte représente chaque année plus de 100 millions de tonnes. (17)

### III. 1. 2. Eruptions volcaniques

Le volcanisme est une des sources importantes de pollution atmosphérique (18)

L'activité volcanique est responsable du rejet dans l'atmosphère de quantités importantes de cendres, d'oxydes de carbone (CO, CO<sub>2</sub>) ou de soufre (H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>).

Ainsi, Chaque année, 30 millions de tonnes de poussières et d'aérosols sont émises dans l'atmosphère par les volcans. Ces aérosols, dont les gouttelettes mesurent typiquement entre 0,3 et 0,5 µm, se forment généralement par réaction du SO<sub>2</sub> avec l'eau contenue dans l'atmosphère.

Ils peuvent alors catalyser des réactions hétérogènes qui affectent la couche d'ozone stratosphérique comme (la conversion de réserves stables de chlore comme HCl et ClONO<sub>2</sub>, en espèces chlorées photo chimiquement actives comme Cl<sub>2</sub> ou ClNO<sub>2</sub>) (19)

Et c'est ce que montre la figure (2)

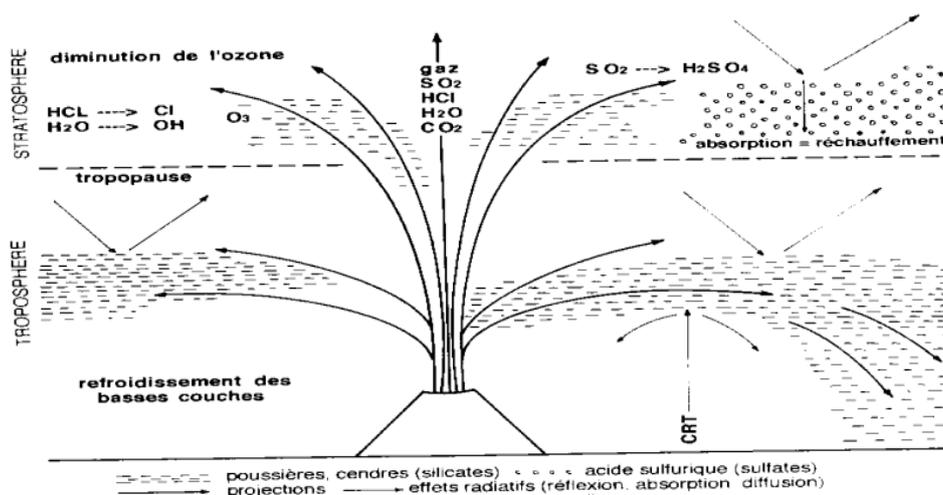


Figure 2: Effets des éruptions volcaniques sur l'atmosphère (20).

### III. 2. Sources anthropiques

En raison de l'activité humaine, il y a eu un changement significatif du climat mondial, ainsi qu'une détérioration significative de l'environnement.

Depuis le début de l'ère industrielle, la composition chimique de l'atmosphère a subi une évolution monstrueuse sans précédent ces dernières années. Cette observation résulte de mesures effectuées soit dans des bulles d'air emprisonnées par les glaciers (pour les climats

anciens), soit directement à partir d'un réseau planétaire qui s'est agrandi au cours des dernières décennies.

La teneur en dioxyde de carbone, qui au cours des 400 000 dernières années a varié entre 180 ppm et 280 ppm, a soudainement dépassé 360 ppm. Selon le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), Les principales industries qui émettent du dioxyde de carbone libèrent plus de 20 milliards de tonnes de ce gaz dans l'atmosphère chaque année.

Les conséquences montrent les effets immédiats de cette pollution anthropique au niveau local et elle affecte une grande partie de la population mondiale qui vit dans les zones urbaines. (20)

Les sources anthropiques de la pollution sont souvent proportionnelles à la densité de population (ex: émissions du trafic routier), Parmi les sources anthropiques, on oppose souvent les sources fixes, émises par des installations ne se déplaçant pas tels que le secteur industriel et résidentiel aux sources mobiles liées aux transports. (21)

Les sources industrielles sont fixes et chacune d'elles produit des polluants différents, par exemple l'industrie du papier qui produit la même quantité et les mêmes types de polluants sans aucun changement dans le processus.

Ces sources anthropiques peuvent généralement être contrôlées en appliquant une technologie spéciale. (20)

Il existe beaucoup de sources anthropique de pollution de l'air comme : automobiles, chaudières de maison, cheminées de maison, brûleurs ouvert, incinération des déchets ... etc. (20)

## **IV. Classification des principaux polluants de l'air**

Les polluants atmosphériques sont classés dans deux grandes familles :

Les polluants primaires et les polluants secondaires. (22)

### **IV . 1. Les polluants primaires**

Les polluants primaires proviennent directement d'une source polluante soit par les activités humaines, soit par des sources naturelles telles que la foudre et les volcans (23)

#### **IV. 1. 1. Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)**

Le dioxyde de soufre provient de la combustion de sources mobiles, charbon, fioul et procédés industriels divers (24)

Ce gaz peut être produit naturellement par les volcans et également par des processus industriels tels que l'industrie métallurgique (25)

Les émissions oxydes de soufre dans l'atmosphère urbaine proviennent principalement du brûlage de combustibles fossiles. Il est principalement rejeté sous la forme de SO<sub>2</sub> (95%) et de SO<sub>3</sub> (1 à 2%). (26)

#### **IV. 1. 2. Le monoxyde de carbone (CO)**

Le monoxyde de carbone (CO), est un produit chimique constitué de carbone et d'oxygène, un gaz incolore, inodore et plus léger que l'air d'environ 3 %. Il est toxique pour tous les animaux à sang chaud et pour de nombreuses autres formes de vie.

En cas d'inhalation, il se combine avec l'hémoglobine du sang : il empêche l'absorption de l'oxygène et provoque l'asphyxie.

Le monoxyde de carbone se forme lorsque du carbone ou des matériaux carbonés sont brûlés dans une atmosphère affamée, mais même lorsqu'il y a théoriquement assez d'air, la combustion n'est pas toujours complète, et les gaz produits contiennent une certaine quantité d'oxygène libre et de monoxyde de carbone.

Le monoxyde de carbone (CO) est le polluant présent en plus grand pourcentage dans l'atmosphère urbaine. Il résulte de la combustion de matières organiques en présence d'un manque d'oxygène.

Le dioxyde de carbone est un gaz asphyxiant car il réagit avec l'hémoglobine dans le sang et en compétition avec l'oxygène forme un composé relativement stable, la carboxyhémoglobine, qui altère le transport de l'oxygène vers divers organes.

Le sang des habitants d'une grande ville contient 1 à 2 % de carboxyhémoglobine due à l'air respirable pollué par les automobiles, alors que le sang des fumeurs en contient plus de 4 à 5%.

Malgré les dispositifs de contrôle des émissions qui visent à maintenir le niveau en dessous de 1 %, les voitures émettent des gaz qui contiennent de grandes quantités de monoxyde de carbone.

Dans l'air, une partie par millième de monoxyde de carbone peut provoquer des symptômes d'empoisonnement, et pas plus de cinq parties par millième peuvent être mortelles en moins de 30 minutes.

Le monoxyde de carbone est impliqué dans les mécanismes de formation de l'ozone troposphérique dans l'atmosphère, de sorte qu'il se transforme en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et contribue au phénomène de réchauffement climatique.

Ce gaz réagit avec les radicaux hydroxyles de l'air, qui le transforment spécifiquement en dioxyde de carbone. (24)

### **IV. 1. 3. Le benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)**

Le benzène est un hydrocarbure aromatique monocyclique, sa formule chimique C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, c'est un constituant naturel du pétrole brut, il est synthétisé à partir d'autres composés organiques présents dans le pétrole.

La présence de benzène dans l'environnement peut être d'une façon naturelle (feux de forêts, activité volcanique) ou d'une façon anthropique.

L'automobile est responsable de la pollution atmosphérique par le benzène (gaz d'échappement, émanations lors du remplissage des réservoirs).

La concentration ubiquitaire du benzène dans l'air est égale à 1 µg/m<sup>3</sup>. (27)

#### IV. 1. 4. Les métaux lourds

Les métaux lourds sont des éléments minéraux d'origine naturelle dont la densité est supérieure à 5 g. On le trouve principalement sous forme de déchets dans l'environnement. Comme le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre, le nickel, le zinc, le cobalt et le manganèse. Les plus toxiques sont le plomb, le cadmium et le mercure. (28)

Les métaux lourds désignent généralement des minéraux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces minéraux sont également appelés oligo-éléments ou oligo-éléments métalliques. Pour que chaque minéral ait ses propres caractéristiques et effets. Nous distinguons : (29)

- L'arsenic (As) : Il vient, aussi bien dans les combustibles minéraux solides que dans le fioul lourd et, d'autre part, dans certaines matières premières utilisées notamment dans des procédés tels que la production de verre, de métaux non ferreux ou de métaux ferreux.
- Le cadmium (Cd) : Pour sa part, il est principalement émis par l'incinération des déchets et par la production de zinc. Ainsi que des procédés industriels (métallurgie, etc.). Il a des effets sur les systèmes respiratoire et digestif.
- Le chrome (Cr) : provient essentiellement de la production de verre, de ciment, de la métallurgie des ferreux et des fonderies.
- Le cuivre (Cu) : provient majoritairement de l'usure des caténares induites par le trafic ferroviaire. Le traitement des déchets et la combustion constituent à des degrés divers les principales sources émettrices de cuivre.
- Le mercure (Hg) : Le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine facilement avec d'autres composés et a une grande volatilité. Il est émis en petites quantités, mais toujours très élevées, par la combustion du charbon et du pétrole et la production de chlore, mais aussi par la combustion des déchets ménagers, hospitaliers et industriels. Dans certains produits (par exemple le mercure pour la production d'acide chlorhydrique). (29)
- Le nickel (Ni) : Il est principalement émis lors de la combustion du fioul lourd qui contient des traces de ce métal.
- Le Sélénium (Se) : Il provient principalement de la production de verre. L'utilisation de fioul lourd contribue également aux émissions dues aux traces de ce métal qu'il contient.

- Le Zinc (Zn) : Il provient de la combustion du charbon et du fioul lourd mais aussi de certains procédés industriels appartenant aux métaux ferreux et non ferreux ainsi que de l'incinération des déchets.
- Le plomb (Pb) : Les transports ont été une source importante d'émissions de plomb dans l'atmosphère, car le plomb a longtemps été ajouté à l'essence pour ses propriétés antidétonantes. En conséquence, les terres le long des routes sont souvent polluées. (29)

Le plomb est émis dans l'atmosphère par le traitement des minerais et minéraux pour l'industrie et, dans une moindre mesure, depuis la commercialisation des carburants sans plomb, par les véhicules à essence. Dans ce dernier cas, le plomb est utilisé comme antidétonant sous forme de plomb tétra méthyle et de plomb tétra éthyle.

#### **IV. 1. 5. Les particules fines**

Ils proviennent soit de la combustion (suie par exemple), soit de certains procédés industriels (cimenterie, fabrication d'engrais, etc.), soit du trafic de véhicules (véhicules diesel principalement). (30)

Les volcans sont à l'origine d'injections de grosses masses de particules dans l'atmosphère, créant des nuages de cendres provenant des projections de lave lors de violentes éruptions sur des centaines voire des milliers d'hectares et produisent des nuages de fumée atteignant parfois plusieurs centaines de kilomètres.

L'érosion éolienne, accentuée par la présence de grandes plaines cultivées, peut également être une source de poussière.

Les particules en suspension dans l'air comprennent la poussière et la fumée noire.

On distingue les PM<sub>10</sub>, particules de diamètre <10 µm, et les PM<sub>2,5</sub> de diamètre <2,5 µm. Ces particules sont des noyaux de condensation et peuvent être porteuses d'autres polluants (ex. dioxyde de soufre et hydrocarbures aromatiques polycycliques).

Ces particules comprennent de très petits liquides et solides provenant de diverses sources naturelles et artificielles. Dans la plupart des cas, les grosses particules (2,5 à 10 microns) sont émises directement dans l'air (comme la poussière, le pollen, la suie de diesel et la fumée), tandis que les particules fines (moins de 2,5 microns) sont formées directement par une réaction

chimique impliquant l'azote, oxydes, SO<sub>2</sub>, vapeur d'eau et composés organiques volatils et hydroxyde d'ammonium.

Les matières particulaires sont une composante majeure du smog, mais elles ne contribuent pas à l'effet de serre.

Les PM<sub>10</sub> sont un mélange physico-chimique complexe. Ils sont constitués de composants d'émission primaires et de composants de formation secondaires d'origine naturelle ou humaine.

Les particules élémentaires se forment à partir des processus de combustion, de l'usure des pneus et des freins, de la circulation des poussières, etc.

Les matières particulaires secondaires sont formées par des processus chimiques à partir de gaz précurseurs (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, composés organiques volatils, etc).

De nombreuses études liées aux problèmes de pollution atmosphérique menées ces dernières années, ainsi qu'aux polluants gazeux traditionnels (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ozone), ont mis en évidence le rôle important de la fraction particulaire solide et ses effets sur la santé humaine (problèmes respiratoires, maladies cardiovasculaires et risque de cancer).

Les effets nocifs des particules sur l'homme sont liés à leur taille et à leur composition chimique. Les particules émises par les véhicules à essence avec ou sans catalyseur et le diesel se situent principalement dans la plage de particules fines de 0,1 à 0,3 microns, dont environ 60 % se déposent profondément dans les poumons.

Le tabac est également une source majeure de particules. Sous le nom de particules, les poussières, les envolées de combustion, la condensation des vapeurs métalliques, les particules de suie, de goudron, de fumée, etc. sont regroupées. Les zones rurales vont de 0 à 10 µg.m<sup>-3</sup>. En période de pollution, les niveaux mesurés de particules en suspension peuvent atteindre plusieurs centaines de microgrammes par mètre cube. (29)

#### **IV. 1. 6. Le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)**

Ce sont des gaz hautement toxiques qui résultent de l'oxydation d'azote en présence d'oxygène à haute température, un phénomène qui se produit lors des processus de combustion dans les moteurs à combustion interne et centrales thermiques. (31)

NO<sub>2</sub> est un précurseur de la formation d'O<sub>3</sub>. Il a un effet significatif en présence d'air et en l'absence de composés organiques. (32)

Lorsque il y a une combustion qui génère des températures élevées il y aura des réactions chimiques entre l'azote atmosphérique et l'oxygène donc le dioxyde de soufre se produits l'oxygène quand une source d'énergie, comme. (33)

## **IV. 2. Les polluants secondaires**

Les polluants secondaires nécessitent un certain temps pour leurs formations durant lequel les masses d'air se déplacent. Et ça explique pourquoi les pointes de polluants secondaires concernent des territoires souvent plus étendus que les pointes de polluants primaires. (20)

### **IV. 2. 1. les oxydes d'azotes (NO, NO<sub>x</sub>)**

#### **IV. 2. 1. a. Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**

Les NO<sub>x</sub> anthropiques sont à l'origine de la production de l'ozone troposphérique par des réactions chimiques avec les hydrocarbures présents dans l'atmosphère et prennent aussi part à la formation de pluies acides.

De plus, ce sont des gaz irritants qui pénètrent dans les plus fines ramifications des voies respiratoires et peuvent entraîner une altération de la fonction respiratoire. (34)

Les oxydes d'azote sont constitués de toutes les espèces chimiques dans lesquelles l'azote est attaché à au moins un atome d'oxygène et à un degré d'oxydation d'au moins 2. La famille des oxydes d'azote comprend l'oxyde nitrique (NO), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), le tétraoxyde de diazote (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) et le trioxyde d'azote (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), qui sont tous des gaz inorganiques.

Les composés les plus étudiés de cette famille, qui sont les polluants majeurs, sont le NO, qui se transforme rapidement en NO<sub>2</sub>, et le NO<sub>2</sub> lui-même, qui est le composé le plus stable et le plus abondant dans l'atmosphère. On se réfère à eux sous l'appellation générale d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) (35).

Dans une moindre mesure, le protoxyde d'azote, N<sub>2</sub>O, est également un polluant car il agit comme un gaz à effet de serre et détruit la couche d'ozone. Une fois émis, les NO<sub>x</sub> se dispersent assez efficacement dans l'air en fonction des conditions atmosphériques (vent, humidité, hauteur du lit de mélange, changements de température, etc.

Leurs concentrations sont de l'ordre des parties par milliard (ppb ou µg/m<sup>3</sup>). Le dioxyde d'azote est quarante fois plus toxique que le monoxyde de carbone (CO) et quatre fois plus toxique que le NO.

Les effets de ces deux gaz sur l'environnement et la santé sont importants, ce qui explique l'importance accordée à la réduction des sources d'émissions et la recherche de moyens pour réduire leur concentration dans l'air. (36)

Les oxydes d'azote jouent un rôle très important dans les réactions physiques et chimiques dans l'air entraînant une pollution photochimique, la formation d'aérosols secondaires et un voile photochimique (smog). Les oxydes d'azote, associés aux composés organiques volatils et sous l'influence du rayonnement solaire, contribuent à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, qui est en partie responsable du réchauffement climatique. En présence d'eau et de composés oxydants, NO et NO<sub>2</sub> sont transformés en acides (HNO<sub>3</sub> nitrique et HNO<sub>2</sub> nitreux).

Le smog, qui génère de l'ozone O<sub>3</sub>, et les pluies acides peuvent avoir des impacts directs sur le patrimoine architectural en milieu urbain. Les oxydes d'azote contribuent au phénomène des pluies acides et donc à l'acidification des milieux aquatiques et à leur eutrophisation. (35)

#### **IV. 2. 1. b. Le monoxyde d'azote (NO)**

Le monoxyde nitrique (NO), également connu sous le nom d'oxyde nitrique, est le principal oxyde d'azote atmosphérique rejeté dans l'atmosphère. C'est un gaz lipophile incolore, presque insoluble dans l'eau, à odeur douce ou piquante selon sa concentration.

Il se forme naturellement en petites quantités dans l'atmosphère à haute température (comme dans les éruptions volcaniques, la foudre et les incendies de forêt) par la réaction entre l'azote (N<sub>2</sub>) et l'oxygène (O<sub>2</sub>) dans l'air.

La majeure partie de l'oxyde d'azote dans l'atmosphère est causée par le brûlage des combustibles fossiles dans le transport routier, l'industrie, l'agriculture et la production d'électricité.

Cependant, bien qu'il représente plus de 90 % des émissions de NOx produites lors de ces processus de combustion, le NOx est minoritaire dans l'atmosphère en raison de son fort taux de conversion en NOx. En fait, NO est un radical très instable qui réagit facilement avec l'O<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub> atmosphériques pour former du NO<sub>2</sub>.

Le NO n'est pas considéré comme toxique à ses concentrations dans l'air ambiant pour l'homme, ce qui explique qu'aucune valeur limite d'exposition à long terme n'est actuellement établie, contrairement au NO<sub>2</sub>.

Selon la figure (3), le NO a le potentiel de s'oxyder dans l'air ambiant pour former du NO<sub>2</sub>, ce qui explique l'intérêt et le contrôle systématique des concentrations émises en NO. À fortes concentrations, l'oxyde d'azote irrite les voies respiratoires et réduit la capacité d'oxygénation du sang. (35)

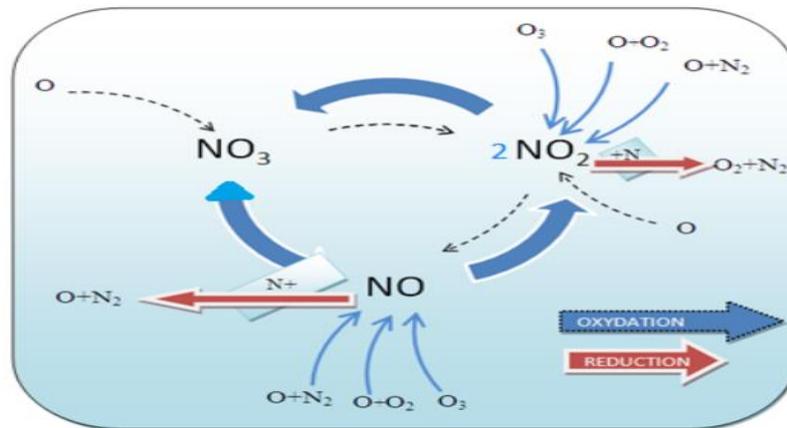


Figure 3 : Cycle de traitement des oxydes d'azotes NOx. (37)

## IV. 2. 2. L'ozone

C'est un polluant secondaire formé sous l'effet catalytique du rayonnement solaire à partir de polluants d'origine industrielle et automobile. O<sub>3</sub> situé dans les dix premiers kilomètres de l'atmosphère, à distinguer de la stratosphère O<sub>3</sub> (10-20 km) qui protège la Terre du rayonnement ultraviolet du soleil et forme la couche O<sub>3</sub>.

Il peut être obtenu sous l'influence d'un rayonnement ultraviolet sur l'oxygène en présence d'oxydes d'azote et de composés organiques volatils.

L'ozone est la forme instable de l'oxygène, produite par les décharges électriques et les étincelles ainsi que par le rayonnement ultraviolet.

L'azote de l'air peut également interférer avec ces phénomènes électriques et se transformer en oxydes d'azote. L'ozone se décompose lentement, mais en même temps c'est un agent oxydant puissant, qui peut affecter de nombreuses substances organiques.

Il est utilisé dans de nombreuses applications industrielles, notamment le blanchiment et la stérilisation. Il est hautement toxique et a une odeur distincte. Ce n'est pas un polluant primaire (émis directement à la source) mais secondaire (causé par l'interaction physico-chimique de composés anthropiques et de facteurs naturels). (38)

L'ozone est l'un des types stables d'oxygène. Il joue un rôle important dans l'atmosphère en filtrant le rayonnement ultraviolet solaire (240 nm <<300nm), extrêmement dangereux pour les plantes et les organismes vivants.

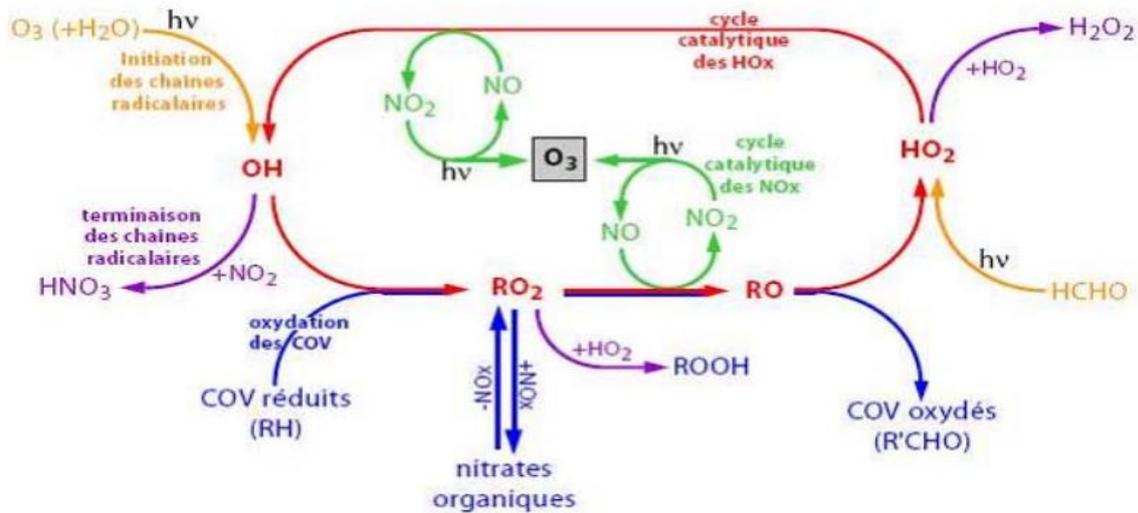
Cet ozone troposphérique est utile et se concentre à 90% à une altitude de 20 à 50 km (avec une concentration maximale de 5 à 6 ppm à partir d'une altitude de 25 km) où il est responsable du "réchauffement" de l'atmosphère à quasi zéro degré Celsius.

Pour évaluer les quantités d'ozone présentes dans l'atmosphère, deux méthodes sont utilisées en examinant soit les "concentrations locales", exprimées en pressions partielles, soit "l'intégration verticale de colonnes infinies" exprimée à des épaisseurs réduites dans des conditions normales de température.

L'épaisseur de l'ozone stratosphérique réduit varie de 1 à 4 mm et l'ozone stratosphérique se forme après la dissociation d'une molécule d'oxygène par le rayonnement solaire ( $\lambda < 250$  nm). C'est ainsi qu'un atome O, le radical libre, se forme, qui se lie ensuite à une molécule d'oxygène.

L'ozone au niveau du sol est un composant majeur du smog. Étant donné que la réaction qui produit l'ozone s'accélère à des températures plus élevées, le réchauffement climatique devrait augmenter les concentrations d'ozone au niveau du sol et créer davantage de smog. L'ozone au niveau du sol n'est pas un gaz à effet de serre. (38)

La figure (4) représente des principaux mécanismes impliqués dans la formation d'ozone troposphérique :



**Figure 4 :** Représentation schématique des principaux mécanismes impliqués dans la formation d'ozone troposphérique. (24)

### IV. 2. 3. Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>

Le dioxyde de carbone atmosphérique provient principalement de la respiration ou de la fermentation des organismes vivants, du dépôt de carbonates dans les océans, de l'altération des silicates sur les continents et de l'activité volcanique.

L'augmentation de la teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère est principalement due aux activités humaines : combustion d'énergies fossiles, déforestation et changements d'occupation des sols, c'est un gaz non toxique, naturellement présent dans l'air atmosphérique, seule sa concentration excessive due à l'utilisation de combustibles fossiles est dangereuse car elle augmente à cause de l'effet de serre.

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore sa molécule est constituée d'un atome de carbone lié à deux atomes d'oxygène (CO<sub>2</sub>) par des doubles liaisons.

L'atmosphère contient des quantités variables de dioxyde de carbone, généralement de 3 à 4 parties pour 10 000 et cette valeur augmente de 0,4 % par an, les plantes vertes utilisent le dioxyde de carbone dans un processus appelé photosynthèse, qui est à la base de la synthèse des glucides.

Le dioxyde de carbone est environ 1,5 fois plus dense que l'air, soluble dans l'eau à raison de 0,9 volume pour un volume d'eau, à 20°C.

Le dioxyde de carbone peut être obtenu de différentes manières : par combustion ou oxydation de composés contenant du carbone, tels que le charbon, le bois, le pétrole, les huiles ou les aliments ; par fermentation des sucres. En décomposant les carbonates sous l'influence de la chaleur ou des acides. Industriellement.

Le dioxyde de carbone est récupéré à partir des gaz de dégagement des hauts fourneaux, des processus de fermentation et de la réaction des acides sur les carbonates et de la vapeur d'eau sur le gaz naturel, et constitue une étape du processus industriel de production d'ammoniac. (39)

La présence de dioxyde de carbone dans le sang stimule la respiration. Par conséquent, ce gaz est ajouté à l'oxygène ou à l'air pour la respiration artificielle, ainsi qu'aux gaz utilisés pour l'anesthésie.

Le dioxyde de carbone est la principale cause de l'effet de serre. La concentration moyenne de dioxyde de carbone dans l'environnement, loin de tout conglomérat ou de toute source locale de pollution, est de 300 ppm.

Dans les villes, où les sources fixes et mobiles sont concentrées, la teneur en dioxyde de carbone peut dépasser 600 ppm. Chez l'homme, les premières manifestations apparaissent lors de l'inhalation d'une atmosphère contenant 2 % de dioxyde de carbone (augmentation de la capacité respiratoire) et s'aggravent avec des concentrations plus élevées.

Cependant, la principale préoccupation du dioxyde de carbone en termes de pollution est l'effet de serre qu'il provoque.

Le dioxyde de carbone est considéré comme responsable de la moitié de l'effet de serre, et les autres gaz impliqués sont le méthane (CH<sub>4</sub>), l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), les chlorofluorocarbures (CFC) et l'ozone troposphérique (O<sub>3</sub>).

Le potentiel de réchauffement global (GWP) associé à ces gaz est variable et est généralement calculé en utilisant le potentiel de réchauffement global (GWP) du dioxyde de carbone comme référence.

L'augmentation de l'effet de serre par émission massive de dioxyde de carbone conduit notamment à un réchauffement du climat à l'échelle planétaire, qui peut avoir de graves conséquences humaines, sociales, économiques et environnementales. (39)

Le tableau numéro (1) représente les polluants atmosphériques et ses sources, contribution, ainsi que leurs impacts :

**Tableau 1** : Les principaux polluants toxiques présents dans l'atmosphère (sources, contribution et impacts). (14)

Principaux polluants atmosphériques	Sources principales	Contribution des secteurs	Principaux impacts
Le Dioxyde de soufre SO <sub>2</sub>	Combustibles fossiles contenant du soufre (installations thermiques, raffineries,...)	Energie: 51% Industrie: 33% Résidentiel: 10% Agriculture: 3%	Santé (troubles respiratoires), milieux naturels et matériaux (pluies acides)
Les oxydes d'azotes NOx	Combustion (transport, installations thermiques....)	Transport routier: 54% Industrie: 13% Résidentiel: 9% Agriculture: 9%	Santé (troubles respiratoires), milieux naturels et matériaux (pluies acides)
Le monoxyde de Carbone CO	Installations de combustion, transport, chauffage domestique	Résidentiel: 36% Industrie: 32% Transport routier: 19% Agriculture: 9%	Santé (effets sur le système nerveux, atteinte des organes sensoriels)
Les composés organiques volatils COV	Utilisation des solvants et carburants, transports, industrie	Résidentiel: 37% Industrie: 36% Transport routier: 14% Energie: 5%	Santé (effets sur le système nerveux et respiratoire)
Les particules	Exploitation agricole, transport (en particulier diesel), industrie	Agriculture: 51% Industrie: 20% Transport routier: 9% Résidentiel: 9%	Santé (troubles respiratoires, intoxications), matériaux (noircissement des bâtiments)
Les métaux lourds Arsenic, Cadmium, Cuivre, Mercure, Plomb,...	Industrie, incinération des déchets, combustion essence	Industrie: As, Cd, Cr Résidentiel: As, Cr Energie: As, Cd, Cr, Ilg Transport routier: Cu	Santé (effets cancérigènes)

## V. Les facteurs influençant la pollution atmosphérique

### V. 1. Le vent

Le vent est un facteur majeur de dispersion des polluants dans l'atmosphère. Il sert à disperser les polluants en deux dimensions : par sa direction, pour diriger les panaches de fumée, et par sa vitesse de dilution et provoquer une dispersion assez rapide des émissions polluantes.

La vitesse du vent augmente avec le gradient de pression entre un cyclone (région de haute pression) et une dépression (région de basse pression). À la surface de la Terre, la vitesse du vent ralentit en raison de divers obstacles, augmente avec la hauteur.

L'épaisseur de cette "couche de frottement" varie de 500 à 1000 mètres. De plus, le "profil" de vitesse du vent ou gamme de vitesses moyennes varie de jour comme de nuit. Pendant la journée, les courants de convection renvoient rapidement l'air en mouvement vers le sol, renforçant ainsi les vents de surface. Par contre, la nuit, l'affaiblissement de la convection augmente les vents de montagne.

Le vent joue un rôle majeur dans la propagation des polluants atmosphériques. Ainsi, avec des vents de force moyenne et de mauvaises conditions de rejet des effluents (la cheminée est trop basse, la vitesse d'éjection des gaz est insuffisante, etc.), le phénomène de chute des panaches vers le sol peut se produire. (40)

### V. 2. La température

Les basses températures augmentent la présence et la concentration des polluants primaires, tandis que les températures plus élevées combinées au rayonnement solaire sont plus favorables à la réaction photochimique. (14)

### **V. 3. L'humidité**

Elle joue un rôle majeur dans le processus de contrôle de la pollution de l'air par l'action des précipitations. Cependant, l'humidité par rapport aux nuages joue également un rôle dans la réduction du rayonnement solaire et limite ainsi les processus photochimiques. (14)

Généralement on l'appelle l'humidité relative (HR). Elle peut varier de 0 à 100%, c'est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné par rapport au maximum qu'il pourrait contenir à une température et une pression données.

Quand l'humidité relative est inférieure à 35% l'air est sec, quand l'humidité relative est entre 35 et 65% l'air est moyennement humide, quand l'humidité relative est à plus de 65% l'air est humide

A l'intérieur d'un même espace, l'humidité varie en fonction des changements de température : elle augmente si la température baisse et diminue si elle s'élève (41)

# **Méthodologie Expérimentale**

## **VI. Méthodologie expérimentale**

### **VI. 1. Prélèvement des polluants atmosphériques**

Le prélèvement de l'air permet d'évaluer la qualité de l'air. Il permet également de connaître l'exposition des travailleurs aux polluants, d'évaluer les risques et de prévenir la pollution de l'environnement. Il est déterminé par la mesure des polluants et des particules dans l'air.

On distingue deux méthodes de prélèvement :

#### **VI. 1. 1. Le prélèvement de manière passif (par diffusion)**

Le prélèvement passif est basé sur le principe de la diffusion passive, dans lequel les particules de polluants atmosphériques traversent des couches d'air séparées par des tubes dans un milieu absorbant contenant des réactifs chimiques spécifiques à ce polluant.

Les tubes passifs fournissent des concentrations moyennes sur la période d'échantillonnage, mais ne permettent pas une surveillance continue des données, une évaluation continue des données ou une évaluation des expositions maximales.

L'échantillonnage passif dépend des conditions atmosphériques (température, humidité, vitesse du vent). (42)

#### **VI. 1. 2. Le prélèvement de manière actif (par pompage)**

Cette technique a l'avantage de permettre l'examen des conditions de prélèvement (volume, fréquence, date et heure, localisation de l'air inhalé, etc.). Il présente également l'inconvénient d'être plus sensible et moins coûteux que le prélèvement passif. (43)

Les échantillons sont aspirés à travers les médias absorbants (barboteurs, filtre, etc.) par une pompe, permettant une analyse quantitative.

Un réseau de surveillance de la qualité de l'air est généralement constitué de stations fixes auxquelles peuvent être affectés un ou plusieurs chariots laboratoires. Les stations de mesure fixes fonctionnent en continu et automatiquement. Il est composé d'instruments de mesure internationalement reconnus (chimiluminescence, ionisation ultraviolette, ionisation de flamme, etc.). (43)

### VI. 1. 2. a. Prélèvement de particules en suspension

Le prélèvement des particules est une étape difficile, cela se fait de plusieurs manières :

#### 1. Prélèvement actif sur un support

Le prélèvement de matières particulaires par filtration est l'une des techniques les plus anciennes de mesure des concentrations de matières particulaires dans l'air ambiant.

Le principe de cette technique est lié au tamisage, à l'inertie, à l'interception et à la diffusion brownienne. Comme le montre la figure (5)

Deux types de filtres sont utilisés : un filtre à membrane et un filtre à membrane de compositions différentes. (44)

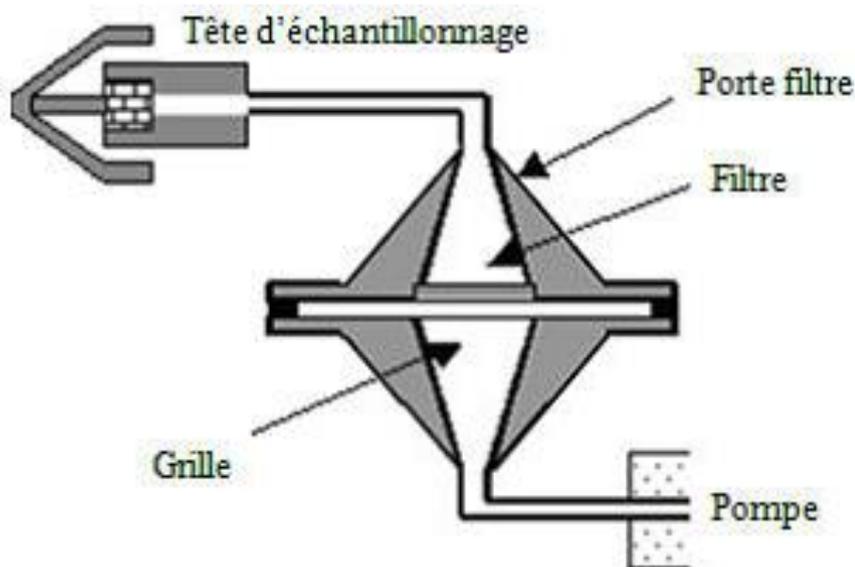


Figure 5 : Principe du prélèvement par filtration. (45)

## 2. Prélèvement par barbotage

Utilisé pour identifier les échantillons par des bulles. Cette technologie a un faible rendement pour les particules de moins de 1  $\mu\text{m}$  de diamètre, qui sont utilisées dans les aérosols.

La concentration massique des polluants n'a pas pu être déterminée. (45)

## 3. Prélèvement par sédimentation

La méthode d'échantillonnage par sédimentation recueille les retombées atmosphériques par sédimentation naturelle, l'échantillonnage le plus courant étant les coussins de sédimentation et les collecteurs de précipitations. (45)

La figure (6) représente la structure d'une jauge Owen

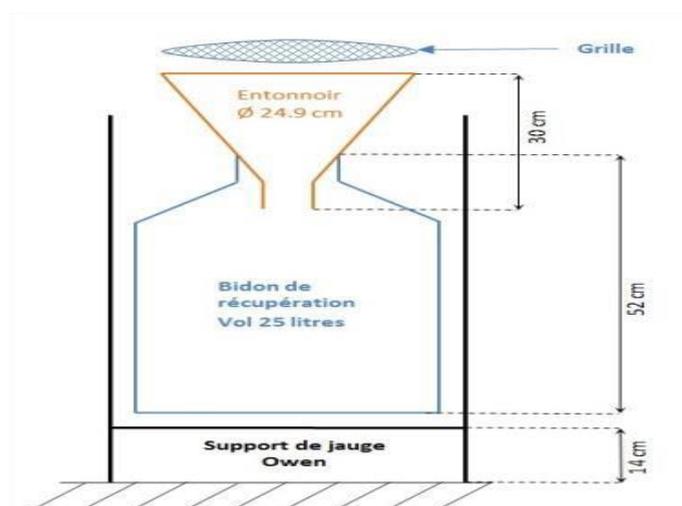


Figure 6 : Schéma de structure d'une jauge Owen (46)

Ce dispositif de prélèvement basé sur la norme NFX43-014, se compose d'un récipient en plastique cylindrique de 25 litres avec un entonnoir sur le dessus. Une grille attachée à l'ensemble empêche les macros particules d'entrer et du plastique noir entoure le récipient de récupération pour limiter d'accumulation solaire. (47)

L'installation d'une Jauge Owen se représente dans la figure (7) :



Figure 7 : Jauge Owen installée sur le toit d'une station de mesures (48)

#### 4. Précipitateurs électrostatiques

Ce type de précipitation utilise un champ électrique pour modifier la trajectoire des particules chargées, particules électroniques attachées à une électrode.

Les grilles sont alors essentiellement analysées par microscopie électronique à transmission. (44)

#### 5. Précipitateurs thermiques

Ce type d'échantillonneur peut être utilisé pour des particules dont la taille est comprise entre 0,005 et 5  $\mu\text{m}$ . (44)

### VI. 2. Méthode d'analyse

Chaque polluant a une technique spécifique pour le mesurer : spectroscopie infrarouge du monoxyde de carbone, photométrie UV ou spectroscopie de l'ozone, radiométrie des PM10, chimiluminescence des oxydes d'azote, fluorescence ultraviolette du dioxyde de soufre.

## VI. 2. 1. la fluorescence UV

La concentration de dioxyde de soufre dans l'air peut être mesurée par le principe de la fluorescence ultraviolette.

Comme le montre la figure (8): dans la chambre de détection d'un appareil de fluorescence ultraviolette, les molécules de SO<sub>2</sub> sont excitées par la lumière d'une lampe UV, qui est filtrée dans la gamme des longueurs d'onde qui génèrent des flashes de dioxyde de soufre (210-230 nm) lorsque les électrons reviennent à leur niveau de base, des rayons UV de faible intensité sont émis Violet de différentes longueurs d'onde (240-420 nm).

Ce rayonnement ultraviolet est détecté par un tube photomultiplicateur. L'intensité du rayonnement de fluorescence est proportionnelle à la concentration de dioxyde de soufre. (49)

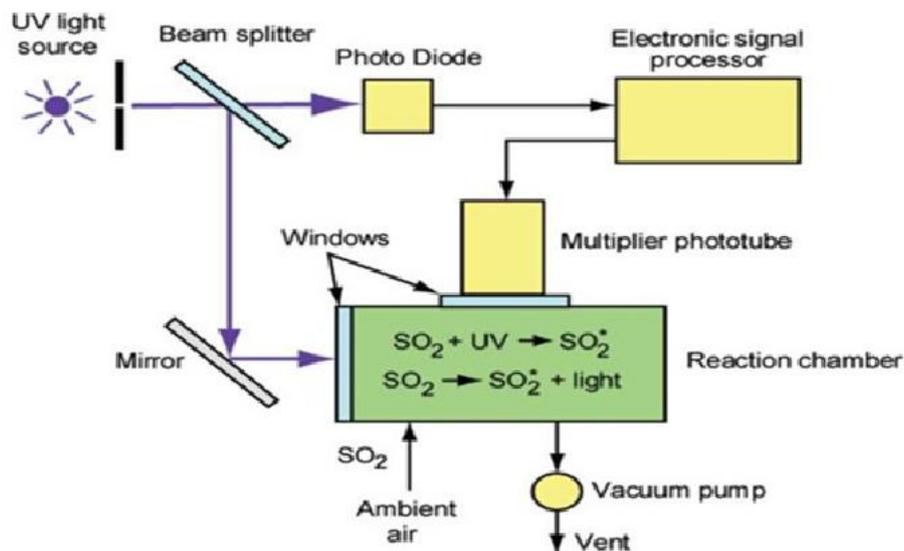


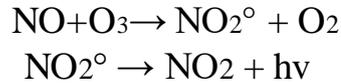
Figure 8: Méthode UV pour la mesure du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). (49)

## VI. 2. 2. chimiluminescence

Les mesures de concentration de NO<sub>2</sub> sont basées sur le principe de la chimiluminescence. L'analyse par chimiluminescence repose sur la propriété des molécules de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) formées à partir de la réaction chimique entre l'oxyde nitrique (NO) et l'ozone (O<sub>3</sub>) de passer par un état excité puis d'émettre de la lumière sous l'influence de cette excitation.

Comme le montre la figure (9): La lumière émise est proportionnelle à la concentration de NO. Pour obtenir la quantité de NO<sub>2</sub>, les molécules de NO<sub>2</sub> sont d'abord réduites en NO en

passant par un convertisseur. L'échantillon est ensuite introduit dans la chambre de réaction.  
(50)



La valeur ainsi obtenue est la valeur des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et la somme de NO et NO<sub>2</sub>.

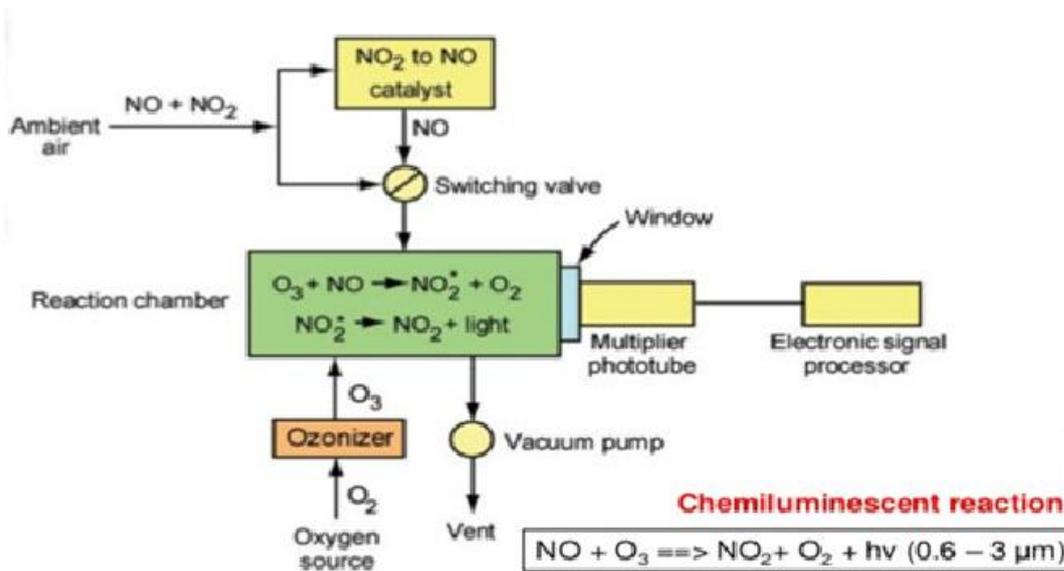


Figure 9: Méthode de chimiluminescence pour la mesure du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). (49)

### VI. 2. 3. La chromatographie en phase gazeuse

La chromatographie en phase gazeuse (GC) est une technique de séparation de mélanges de molécules volatiles, appelées ici « analytes ».

Cette technologie a été développée par A.J.P Martin et R.L.M. SYNGE, récipiendaires du prix Nobel de chimie 1952 pour l'invention de la chromatographie. (51)

Après le rinçage, le mélange est injecté avec une seringue. Après avoir été vaporisé par l'injecteur, le composé est poussé sur la colonne par un gaz vecteur (généralement He ou N<sub>2</sub>).

En fonction de leur affinité avec la phase stationnaire, les composés sont séparés avant d'être détectés en sortie de colonne.

Les outils GC sont souvent combinés avec des spectromètres de masse pour identifier les composés du filtre. (51)

Les composés organiques volatils piégés par adsorption sont extraits par désorption thermique puis analysés par chromatographie en phase gazeuse pour déterminer la concentration en benzène.

La masse de benzène adsorbé est déterminée graphiquement à partir de l'aire du pic du chromatogramme correspondant au benzène et de la courbe d'étalonnage du chromatographe pour cette substance.

La concentration en benzène exprimée en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est alors calculée selon la première loi de Fick selon l'équation suivante (52):

$$C_t = m \text{ benzène} / U.t$$

Dans l'expression finale du résultat, la concentration de l'analyte doit être normalisée par rapport à la température ou réduite à 20 °C (293 °K) selon la formule suivante : (52)

$$C_{20^\circ\text{C}} = C_t \times T / 293$$

#### **VI. 2. 4. La spectroscopie atomique (SA)**

SA est une technique de spectroscopie qui étudie l'absorption ou l'émission de lumière par un atome libre.

Les éléments inorganiques (métaux et non-métaux) présents dans l'échantillon sont identifiés et quantifiés grâce à leur spectre atomique.

Cela n'est possible que si une partie importante de l'échantillon moléculaire, solide ou liquide, est convertie en un gaz atomique. (52)

Les principales techniques de SA :

#### **VI. 2. 4. a. La spectroscopie atomique d'absorption (SAA)**

L'absorption atomique à la flamme est une méthode qui mesure principalement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire nécessite que la mesure soit effectuée à partir d'un analyte (élément étudié) converti à un état d'atome libre.

L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés afin que les combinaisons chimiques dans lesquelles agissent les éléments soient détruites. (53)

#### **VI. 2. 4. b. La spectroscopie atomique d'émission (SEA)**

Un atome excité thermiquement ou électriquement à un niveau d'énergie élevé peut émettre un rayonnement UV-Vis caractéristique. L'analyte est aspiré dans la zone de catalyse où il est vaporisé et atomisé par la flamme, le vide ou le plasma

Ces sources de désintégration fournissent suffisamment d'énergie pour exciter les atomes. Ces atomes excités retournent à des niveaux inférieurs qui émettent un rayonnement (émission ou luminescence). Ensuite, l'intensité du rayonnement émis est mesurée. (53)

#### **VI. 2. 4. c. La mesure de Métaux lourds**

Les méthodes analytiques courantes pour analyser les métaux traces sont la spectrométrie d'absorption atomique (AAS), la spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) et la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS).

Les métaux lourds sont mesurés dans l'air ambiant sous forme de fines particules en suspension de moins de 10 micromètres (PM10) de diamètre.

Ces particules sont collectées par différents dispositifs de prélèvement d'air au niveau de filtres adaptés, qui sont ensuite envoyées pour dosage minéral, dans un laboratoire accrédité COFRAC basé en France. (55)

### VI. 2. 4. d. La mesure de l'ozone (O<sub>3</sub>)

L'ozone dans la stratosphère a la capacité d'absorber le rayonnement ultraviolet du soleil.

La méthode de mesure est l'absorption du rayonnement ultraviolet émis par une lampe au mercure.

Le spectre d'absorption de l'ozone culmine à une longueur d'onde de 253,7 nm. Un détecteur UV situé au bord de la cellule mesure l'énergie UV lorsque l'échantillon est dans la chambre de mesure (intensité  $i$ ).

De même, avant chaque mesure  $i$ , mesurer la densité  $i_0$  de la cellule contenant du gaz sans ozone obtenu en la faisant passer à travers un filtre à ozone sélectif. (56)

## VII. Pollution atmosphérique et stress oxydatif

Les polluants atmosphériques sont plus nocifs pour la santé humaine. L'exposition chronique contribue au développement ou à l'exacerbation de maladies chroniques telles que les cancers (poumon), les maladies cardiovasculaires, respiratoires (BPCO, asthme) et neurologiques. (57)

Comme le montre la figure (10): Le stress oxydatif est défini par un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et les capacités anti oxydantes cellulaires. (58)

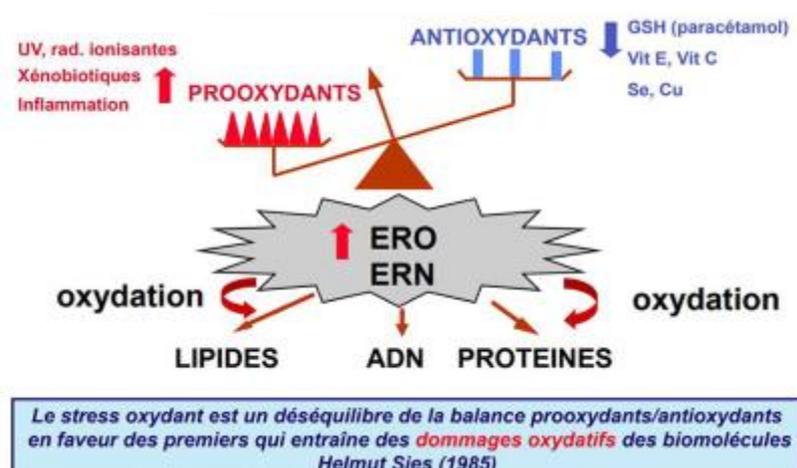


Figure 10 : Déséquilibre du statut pro/antioxydant favorisant l'état de stress oxydant (59)

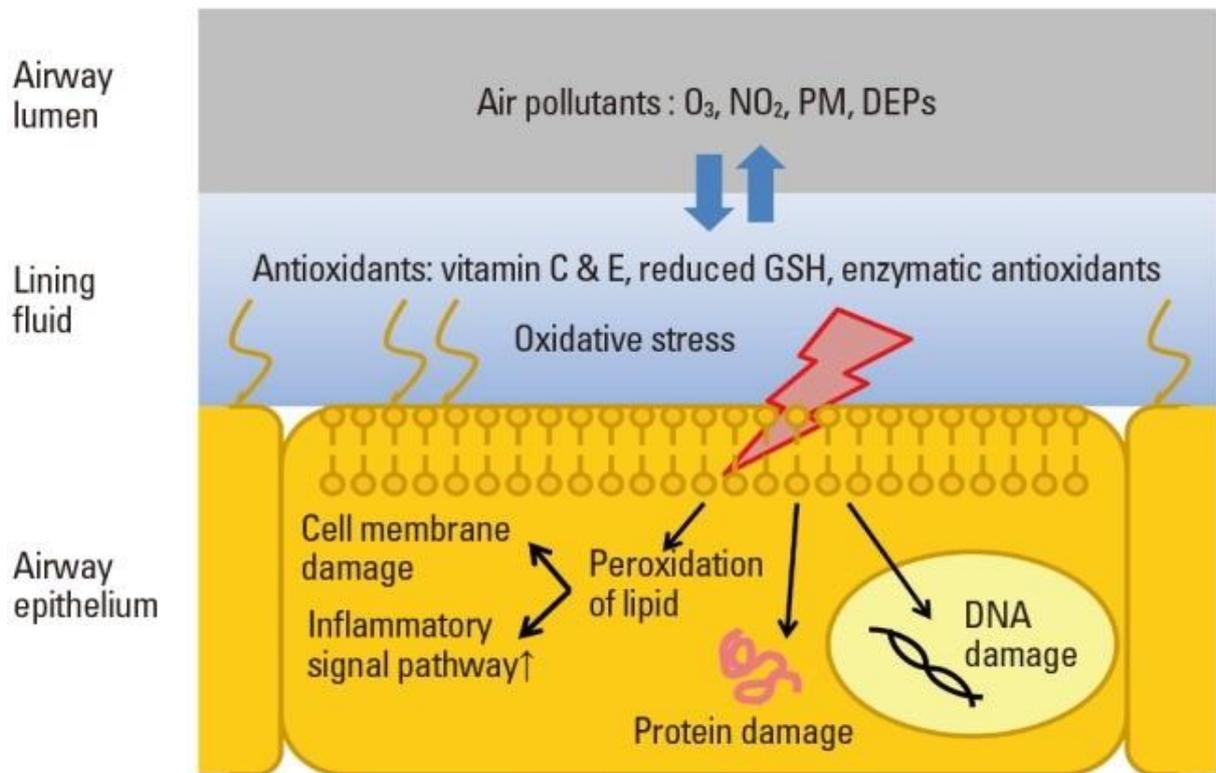
Le stress oxydatif joue un rôle important dans les réponses cellulaires déclenchées par les principaux polluants atmosphériques tels que l'ozone et les particules fines et ultrafines.

Comme le montre la figure (11): Les molécules d'ozone et d'atmosphère agissent par le biais de mécanismes cellulaires et moléculaires connexes. (60)

L'ozone, insoluble dans l'eau, interagit vigoureusement avec les antioxydants abondants dans les fluides granuleux recouvrant les alvéoles et la muqueuse ciliaire des voies respiratoires.

Ces liquides assurent la première ligne de protection, au-delà de laquelle l'ozone peut oxyder directement les molécules biologiques du fluide périphérique grâce à ses électrons libres.

Il peut s'agir d'acides gras polyinsaturés tels que l'acide arachidonique, dont le peroxyde forme des radicaux hydroxyles, de composés stabilisants tels que  $H_2O_2$ , d'aldéhydes, d'hydro peroxydes lipidiques et de produits d'ozone lipidique. (61)



**Figure 11 :** Mécanismes de lésion des voies respiratoires par les polluants Atmosphériques en induisant un stress oxydatif. (62)

L'exposition des cellules aux microparticules entraîne un stress oxydatif. Une fois à l'intérieur des cellules, les microparticules créent un excès d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui peuvent submerger les défenses antioxydantes que les cellules utilisent pour restaurer l'homéostasie. Cela entraîne des conséquences néfastes et irréversibles pour l'organisme.

Les PM 2,5 contiennent des radicaux libres persistants dans l'environnement, notamment en ce qui concerne les particules produites lors de la combustion. Plusieurs produits chimiques organiques enrobés de PM 2,5 peuvent être activés métaboliquement et augmenter les ROS intracellulaires, qui peuvent agir comme une molécule de signalisation et provoquer une translocation du facteur nucléaire de type 2 (Nrf2) dans le noyau, entraînant une altération de la transcription des enzymes antioxydantes. (62)

La figure (12) représente la toxicité d'ozone et des particules atmosphérique :

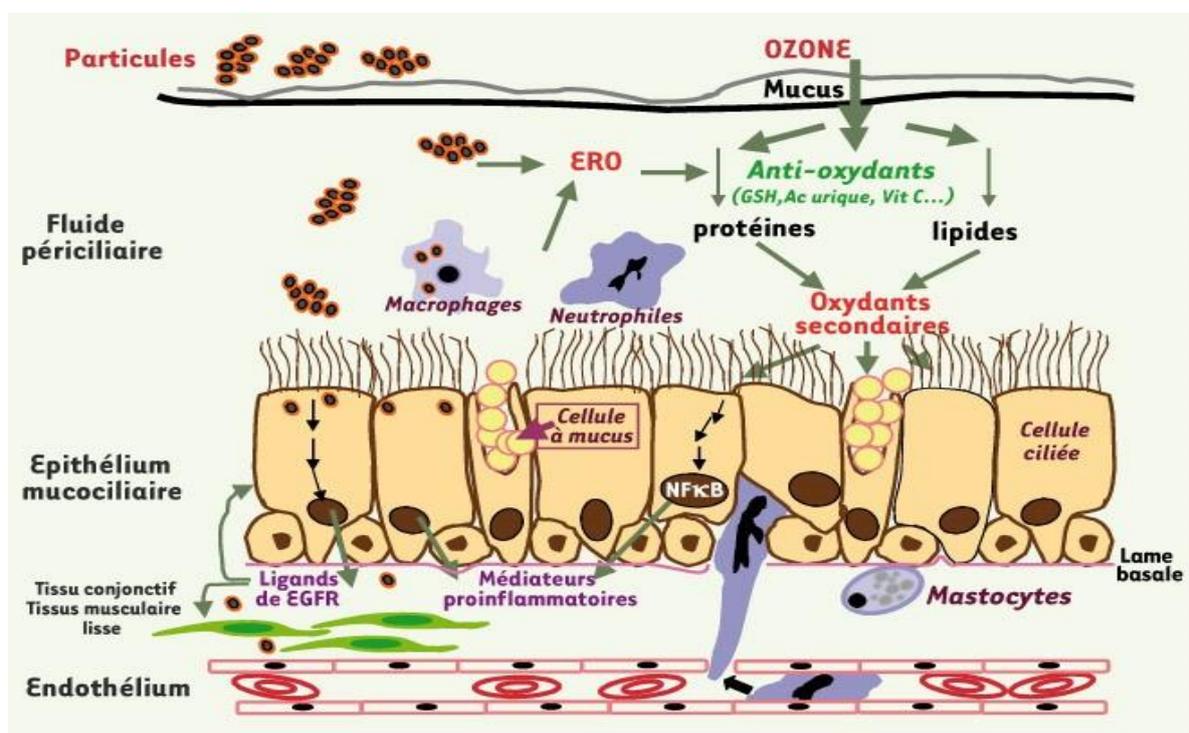


Figure 12 : Mécanisme de toxicité de l'ozone et des particules atmosphériques dans les voies aériennes. (63)

L'exposition a considérablement amélioré les réponses inflammatoires des voies respiratoires via l'activation des ROS de MAPK (ERK, N-terminal c-Jun kinase (JNK), p38MAPK) et des voies de signalisation NF- $\kappa$ B en aval. (64)

Comme le présente la figure (13) Les nanoparticules présentent une toxicité oxydative dépendante du stress. Lors de l'exposition à des nanoparticules, la génération de ROS entraîne des dommages oxydatifs à l'ADN, une rupture de brin, une dénaturation des protéines et une peroxydation des lipides, indiquant des mutations génétiques liées aux NP.

Une production excessive de radicaux libres endommage les membranes mitochondriales, entraînant une nécrose et la mort cellulaire. (65)

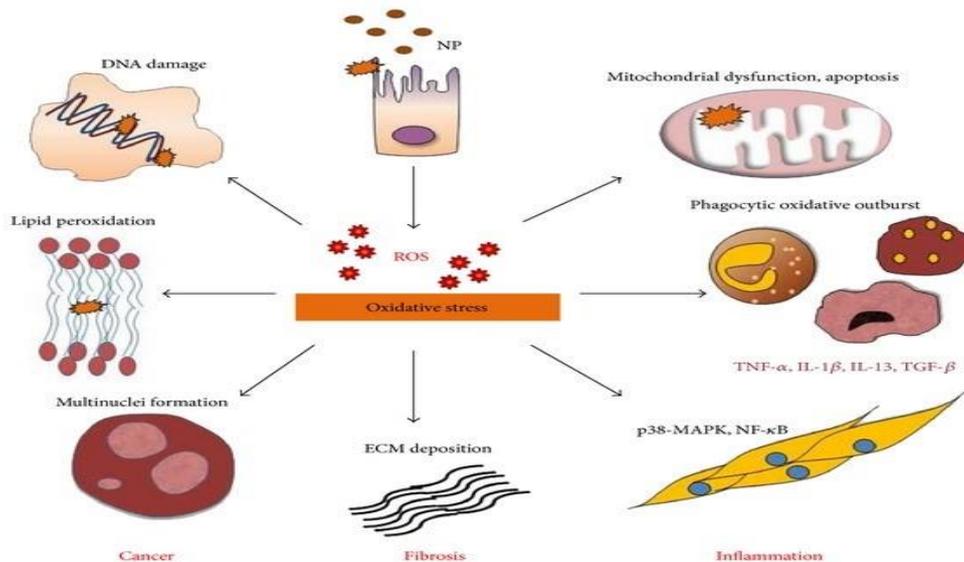


Figure 13: Voie pro-oxidant pour la toxicité induite par les NP. (65)

## VIII. Impact de la pollution atmosphérique

### VIII. 1. Sur l'environnement

La pollution de l'air a de nombreux effets sur l'environnement et divers écosystèmes, notamment :

#### VIII. 1. 1. Effet de serre et le trou d'ozone

Il existe deux principaux phénomènes causés par l'impact de la pollution atmosphérique sur l'ensemble de la planète.

Le premier est la destruction de la couche d'ozone dans la stratosphère en raison du déséquilibre entre la production et la destruction d'ozone.

Le second est le réchauffement climatique, un phénomène naturel dans lequel une partie du rayonnement infrarouge émis par la surface de la terre reçoit le rayonnement du soleil et est absorbé par les gaz de la partie inférieure de l'atmosphère. (66)

On trouve dans l'atmosphère les principaux gaz à effet de serre : méthane ( $\text{CH}_3$ ) et vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), qui permettent de récupérer de l'énergie et d'augmenter la température moyenne de la terre.

L'augmentation des gaz à effet de serre due aux activités humaines piège une partie de ce rayonnement, provoquant une élévation des températures de surface jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit trouvé dans l'effet de serre observé au cours des dernières décennies. (67)

Le changement climatique réchauffe la troposphère, qui est la couche la plus basse de l'atmosphère. Au contraire, la stratosphère se refroidit.

En effet, la plupart des gaz à effet de serre se trouvent dans la troposphère, ils contiennent donc le rayonnement infrarouge émis par la Terre et l'empêchent de chauffer les couches supérieures de l'atmosphère. (68)

Tableau 2 : Effets des principaux polluants sur l'environnement. (68)

LES POLLUANTS	LEURS EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Participation au phénomène des pluies acides par transformation en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air. Dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux bâtiments
<b>Oxyde d'azote (NO, NO<sub>2</sub>)</b>	Participation au phénomène des pluies acides Participation à la formation de l'ozone troposphérique (celui des basses couches) Atteinte de la couche d'ozone stratosphérique Participation à l'augmentation de l'effet de serre
<b>Particules en suspension (PM10)</b>	Effets de salissure des monuments et bâtiments.
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	Participation à la formation de l'ozone troposphérique Dans l'atmosphère, il contribue à l'augmentation de l'effet de serre par transformation en dioxyde de carbone CO <sub>2</sub> .
<b>Composés organiques volatils (COV) dont benzène</b>	Participation à la formation de l'ozone troposphérique (rôle majeur avec les oxydes d'azote) Participation indirecte à l'augmentation de l'effet de serre (par intervention dans des mécanismes conduisant à la formation des gaz à effet de serre).
<b>Métaux (Pb, As, Ni, Hg, Cd...)</b>	Contamination des sols et des aliments Accumulation dans les organismes vivants et perturbation des mécanismes et équilibres biologiques.
<b>Ozone (O<sub>3</sub>)</b>	Diminution des rendements agricoles Dégradation des matériaux (caoutchouc par exemple) Participation à l'augmentation de l'effet de serre

## VIII. 1. 2. Sur les écosystèmes

### VIII. 1. 2. a. Les pluies acides

Les polluants atmosphériques ont des effets négatifs sur les écosystèmes, ils sont en outre responsable de l'acidification et de la surfertilisation des écosystèmes sensibles.

Les apports excessifs d'azote provoquent par ailleurs la surfertilisation de nombreux écosystèmes sensibles à l'azote, tels que les forêts, champs et les pelouses sèches riches en espèces. (69)

L'apport de soufre et d'azote sous forme de précipitations provoque notamment l'acidification des cours d'eau, mais aussi des sols forestiers, quelle que soit l'altitude. (69)

Les pluies acides sont le produit d'une réaction chimique du dioxyde de soufre, de l'oxyde d'azote libéré de l'atmosphère, de l'oxygène et d'autres produits chimiques. Le dioxyde de soufre et l'oxyde d'azote se dissolvent facilement dans l'eau et peuvent être transportés par les vents sur plusieurs kilomètres. Après avoir parcouru une longue distance, les deux véhicules font partie de la pluie, du grésil, de la neige ou du brouillard.

Comme le montre la figure (14), (15) les pluies acides se forment à la suite de la réaction du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) avec l'eau atmosphérique pour former respectivement de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et de l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>). (70)

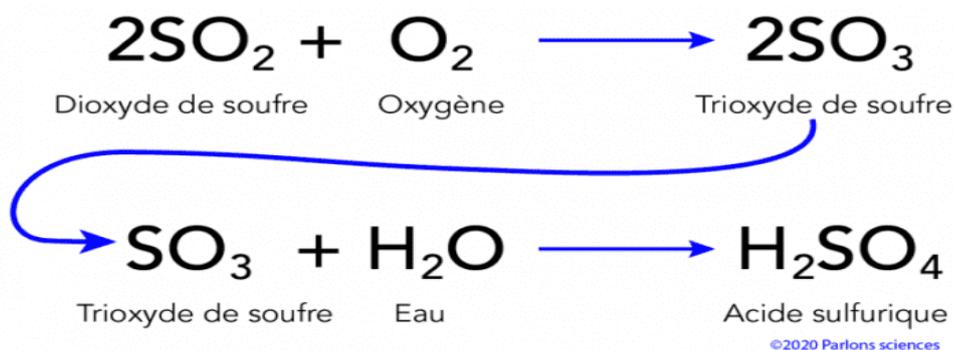


Figure 14 : Transformation de SO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (71)



Ce mélange de polluants atmosphériques peut causer des problèmes respiratoires et cardiaques et de l'asthme. Les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées sont les plus exposés au smog, qui a des effets similaires à ceux du tabac.

De plus, il y a des impacts environnementaux tels que la visibilité, le brouillard et la détérioration de la végétation et des structures. (75)

## **VIII. 2. Sur les végétaux et animaux**

Les plantes sont en première ligne de la pollution atmosphérique car elles vivent statiques et constituent la base du fonctionnement des écosystèmes terrestres et aquatiques. (73)

Les polluants atmosphériques affectent directement ou indirectement les plantes et provoquent des effets aigus ou chroniques avec trois polluants : les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et le dioxyde de carbone (ozone).

Cet effet apparaît sur les feuilles des arbres avec un jaunissement des feuilles, qui ralentit la croissance dans différentes parties de la plante ou sa mort.

L'effet de la pollution varie selon le type de plante et son stade de croissance ainsi que la concentration du polluant et la durée d'exposition.

Comme le montre la figure (16) les polluants s'infiltrent dans les plantes principalement par les feuilles. Il peut également y avoir une légère pénétration à travers les tiges et la tige.

Avant d'atteindre la dalle, le polluant devra d'abord traverser la couche limite qui correspond à la couche d'air non excitée en contact avec elle. (76)

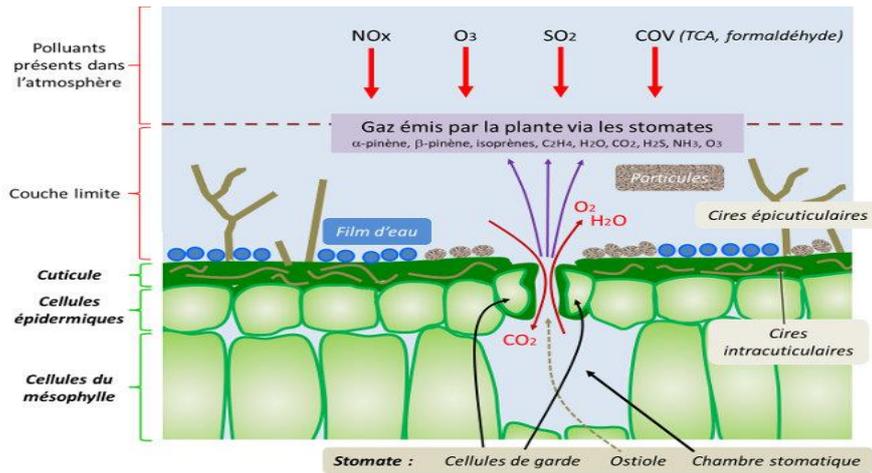


Figure 16 : Pénétration des polluants. (76)

Les polluants gazeux, tels que les autres gaz atmosphériques (dioxyde de carbone, oxygène, etc.) pénètrent dans les plantes principalement par les stomates à la surface des feuilles. Par exemple, l'ozone est connu pour affecter les plantes particulièrement sensibles. Cette pollution « photochimique » peut entraîner la formation de nécrose ou de marbrure à la surface des feuilles et réduire leur capacité à fixer le gaz carbonique lors de la photosynthèse. A long terme, ces effets peuvent entraîner une diminution du métabolisme et de la croissance des plantes, perturbant la chaîne alimentaire. (77)

Le dioxyde de soufre pénètre dans les stomates des feuilles des plantes, où il se dissout dans l'eau et forme des acides qui peuvent perturber les processus biologiques et nuire aux plantes. Les symptômes de dommages causés par des niveaux élevés de dioxyde de soufre comprennent le jaunissement des tissus entre les nervures des feuilles principales ou le brunissement des pointes chez les conifères. (78) comme le montre la figure (17)



Figure 17: Effet de la pollution au dioxyde de soufre. (79)

Au niveau des feuilles ou des aiguilles, l'ozone passe par les stomates, qui sont de petites ouvertures qui permettent au dioxyde de carbone d'entrer et à l'eau de sortir. Le degré de fermeture de la bouche, qui varie selon les espèces, est la première barrière limitant l'entrée de l'ozone dans les cellules des feuilles.

L'ozone lorsqu'il pénètre, il se décompose en espèces réactives de l'oxygène, s'attaquant aux mécanismes physiologiques qui assurent la synthèse des composés organiques nécessaires à l'absorption et à la croissance du carbone. (80) comme le montre la figure (18)



**Figure 18 :** Effet de la pollution au d'ozone. (80)

Lorsque les animaux mangent des plantes couvertes de particules, ils s'empoisonnent. L'empoisonnement au plomb chez les animaux provoque une pneumonie et une perte d'appétit. De plus, les insecticides peuvent causer des difficultés respiratoires, de la somnolence, des spasmes musculaires, des vomissements et une perte de coordination chez les animaux. (81)

Après consommation, nombre de ces polluants s'accumulent et sont stockés dans les tissus animaux. Lorsque des animaux sont mangés par d'autres animaux de la chaîne alimentaire, ces contaminants continuent de s'accumuler et d'augmenter en concentration.

L'effet est généralement indirect, mais il tue progressivement les animaux en modifiant les systèmes biologiques. Les polluants atmosphériques altèrent la fonction endocrinienne, endommagent les organes et réduisent le succès de la reproduction. L'exposition à long terme aux polluants peut déclencher des maladies neurodégénératives. (81)

Ces processus sont appelés bioaccumulation. Les prédateurs de premier plan tels que les ours et les aigles, entre autres, sont particulièrement sensibles à la bioaccumulation de ce type de polluant atmosphérique. (82)

### **VIII. 3. Sur la santé**

La pollution de l'air est l'un des plus grands risques pour la santé.

Il a été démontré que la pollution de l'air cause des maladies et des décès prématurés. Les principaux dangers proviennent de charges excessivement élevées de poussières fines et d'ozone. Les plus touchés sont ceux qui habitent à proximité de routes très fréquentées. (83)

Les polluants atmosphériques affectent la santé directement par la respiration ou indirectement en raison de l'influence de l'environnement (effet de serre, trou d'ozone, pluies acides).

Ces polluants ont des effets à court terme (aigus) et à long terme (chroniques) :

- À court terme : l'effet sur la santé se produit des heures ou des jours après l'exposition.
- A long terme : l'effet survient après une exposition de plusieurs années (cancer).

Selon les estimations de l'OMS, en 2019, environ 37 % des décès prématurés liés à la pollution de l'air extérieur étaient dus à des cardiopathies ischémiques et à des accidents vasculaires cérébraux, 18 % à des maladies pulmonaires obstructives chroniques, 23 % à des infections aiguës des voies respiratoires inférieures, et 11% dus à des cancers des voies respiratoires. (11)

Tableau 3 : Effets des principaux polluants sur la santé. (83)

LES POLLUANTS	LEURS EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Participation au phénomène des pluies acides par transformation en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air. Dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux bâtiments
<b>Oxyde d'azote (NO, NO<sub>2</sub>)</b>	Participation au phénomène des pluies acides Participation à la formation de l'ozone troposphérique (celui des basses couches) Atteinte de la couche d'ozone stratosphérique Participation à l'augmentation de l'effet de serre
<b>Particules en suspension (PM10)</b>	Effets de salissure des monuments et bâtiments.
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	Participation à la formation de l'ozone troposphérique Dans l'atmosphère, il contribue à l'augmentation de l'effet de serre par transformation en dioxyde de carbone CO <sub>2</sub> .
<b>Composés organiques volatils (COV) dont benzène</b>	Participation à la formation de l'ozone troposphérique (rôle majeur avec les oxydes d'azote) Participation indirecte à l'augmentation de l'effet de serre (par intervention dans des mécanismes conduisant à la formation des gaz à effet de serre).
<b>Métaux (Pb, As, Ni, Hg, Cd...)</b>	Contamination des sols et des aliments Accumulation dans les organismes vivants et perturbation des mécanismes et équilibres biologiques.
<b>Ozone (O<sub>3</sub>)</b>	Diminution des rendements agricoles Dégradation des matériaux (caoutchouc par exemple) Participation à l'augmentation de l'effet de serre

Une fois le corps exposé à ces polluants, les principales fonctions sont affectées :

### **VIII. 3. 1. Morbidité respiratoire**

Les polluants atmosphériques pénètrent dans le système respiratoire, provoquant des infections qui conduisent à des maladies telles que l'asthme et La Broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO).

#### **VIII. 3. 1. a. Asthme**

L'asthme est une maladie chronique causée par l'exposition à des polluants atmosphériques tels que le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, les métaux lourds et les particules.

L'asthme est une maladie courante, mortelle et non transmissible qui touche les enfants et les adultes.

L'inflammation et le rétrécissement des minuscules voies respiratoires dans les poumons provoquent des symptômes d'asthme qui peuvent être une toux, une respiration sifflante, un essoufflement, des difficultés respiratoires ou une combinaison de plusieurs. (11)

Les polluants moléculaires de l'air ont un effet exagéré sur l'asthme, notamment les particules ultrafines capables de capter et de concentrer les allergènes (acariens, pollens, graminées). (84)

Selon l'Organisation mondiale de la santé, en 2019, on estime que 262 millions de personnes souffraient d'asthme et que cette maladie a entraîné 461 000 décès. (11)

#### **VIII. 3. 1. b. La Broncho-pneumopathie chronique obstructive**

La BPCO est une maladie inflammatoire chronique des voies respiratoires généralement associée à d'autres maladies. Elle se caractérise par un rétrécissement progressif et une obstruction permanente des voies respiratoires et des poumons, entraînant des difficultés respiratoires. (11)

Les premiers symptômes de la BPCO sont ceux de la bronchite chronique : toux et crachats, surtout le matin. Progressivement, les symptômes s'aggravent et la personne développe un essoufflement à l'effort. Au repos, l'air en quantité suffisante atteint les poumons, mais à l'effort, le rétrécissement des voies respiratoires prévient l'essoufflement. (85)

. L'exposition à la fumée de tabac et à la pollution de l'air intérieur, ainsi que l'exposition professionnelle à la poussière, aux fumées et aux produits chimiques sont des facteurs de risque importants pour la BPCO. (11)

Selon l'Organisation mondiale de la santé, La bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) est la troisième cause de décès dans le monde. Elle a entraîné 3,23 millions de décès en 2019. (11)

### **VIII. 3. 1. c. Cancer du poumon**

Le cancer du poumon est la principale cause de décès par cancer dans le monde. (86)

Selon l'Organisation mondiale de la santé, environ 11 % des décès par cancer du poumon chez les adultes résultent d'une exposition à des agents cancérigènes en suspension dans l'air. (11)

Les gaz d'échappement des moteurs diesel ont récemment été classés cancérigènes. La pollution atmosphérique particulaire semble augmenter légèrement les risques de cancer à long terme. (87)

Certains polluants peuvent être cancérigènes, c'est-à-dire qu'ils provoquent des changements dans l'ADN qui conduisent à des mutations, ce qui augmente le risque de cancer.

Le cancer du poumon résulte d'une exposition à de fines particules PM 2,5, en particulier celles provenant des gaz d'échappement ou des incinérateurs de déchets. (88)

Les particules fines sont si petites qu'elles pénètrent profondément dans les poumons. Cependant, les personnes porteuses de la mutation développent progressivement une inflammation et des tumeurs. (89)

Selon l'Organisation mondiale de la santé, le cancer du poumon à l'origine de près de 10 millions de décès en 2020, soit presque un décès sur six, le cancer est l'une des principales causes de mortalité dans le monde. (11)

### **VIII. 3. 2. Morbidité cardiovasculaire**

Les maladies cardiovasculaires sont la principale cause de décès dans le monde : plus de personnes meurent chaque année de maladies cardiovasculaires que de toute autre cause. (11)

Les particules fines et ultrafines sont les plus nocives pour les maladies cardiovasculaires, du fait de leur petite taille car elles vont affecter leur capacité de pénétration.

Ce risque accru de maladies cardiovasculaires résulte de la très grande sensibilité du cœur et des vaisseaux sanguins à divers gaz (ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone) et aux particules contenues dans l'air pollué.

Ces polluants proviennent principalement des émissions associées aux transports tels que les voitures, les camions et les avions et peuvent atteindre des concentrations très élevées dans les zones à fort trafic et congestionnées. (90)

Selon l'Organisation mondiale de la santé, les maladies cardiovasculaires sont responsables de 17,7 millions de décès, soit 31 % des décès dans le monde. Parmi ces décès, 7,4 millions sont dus à une maladie coronarienne et 6,7 millions à un accident vasculaire cérébral. (11)

### **VIII. 3. 3. Effet neurocomportementaux**

La maladie neurologique est une maladie du système nerveux central ou périphérique. Ainsi, il peut affecter les cellules nerveuses du cerveau, de la moelle épinière, des nerfs périphériques, des jonctions neuromusculaires, du système nerveux autonome, etc.

Certaines maladies neurologiques sont associées au vieillissement, comme la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson. (91)

Les nanoparticules peuvent pénétrer dans le liquide céphalo-rachidien directement à partir du bulbe olfactif. Fait intéressant, les dommages au bulbe olfactif provoquent un dysfonctionnement olfactif et sont un signe avant-coureur de maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer. (92)

Selon l'Organisation mondiale de la santé, plus de 55 millions de personnes développent une démence dans le monde, dont plus de 60 % dans des pays à revenu faible ou intermédiaire avec

10 millions de nouveaux cas chaque année. La maladie d'Alzheimer est la cause la plus fréquente de démence, représentant 60 à 70 % des cas. (11)

## **IX. Réglementation et conventions vis-à-vis de la pollution atmosphérique**

### **IX. 1. La convention sur la pollution transfrontalière à longue distance (CLRTAP)**

La Convention sur la pollution transfrontière à longue distance (CLRTAP) a été adoptée en 1979 à Genève. Il regroupe 51 pays signataires (Commission économique des Nations unies pour l'Europe). Son objectif est de réduire au maximum la pollution de l'air.

Les protocoles édictés dans le cadre de cet accord sont :

- Le protocole d'Helsinki sur le soufre (1985).
- Le protocole de Sofia sur les oxydes d'azote (1991).
- Le protocole de Genève sur les composés organiques volatils (1991)
- Le protocole d'Oslo sur le soufre (1994).
- Le protocole d'Aarhus sur les métaux lourds et les polluants organiques persistants (1998).
- Le protocole de Gothenburg sur la réduction de l'acidification (1999)
- Convention pour la protection de la couche d'ozone adoptée en mars 1985 à Vienne. Son objectif ultime est d'accroître la coopération internationale visant à protéger la santé humaine et l'environnement des effets nocifs résultant ou susceptibles de résulter des activités humaines, qui modifient ou sont susceptibles de modifier la couche d'ozone". A cet accord s'est ajouté en 1987 le Protocole de Montréal qui vise à réduire progressivement la consommation, la production et les exportations de huit substances appauvrissant la couche d'ozone. Elle est entrée

en vigueur le 1er janvier 1989. Ses résultats sont observés aujourd'hui, pour éviter un appauvrissement important de la couche d'ozone stratosphérique, ainsi que des conséquences néfastes pour la santé humaine et l'environnement.

- La Convention sur les changements climatiques (CCNUCC) sous la forme d'un traité international établi en 1992 à Rio de Janeiro lors d'une conférence des Nations Unies. Ce traité vise à stabiliser toutes les concentrations d'émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, sans leur fixer de limite contraignante. De plus, ce traité comporte des dispositions de mise à jour, sous forme de protocole, définissant ainsi des limites d'émissions. La principale mise à jour est le protocole de Kyoto, qui oblige les pays signataires à dresser un inventaire des émissions de gaz à effet de serre.

Ceci en acceptant de réduire ses émissions (en particulier de dioxyde de carbone) à des niveaux inférieurs à ceux de 1990. (14)

## **IX. 2. Les normes spécifiques au transport routier dans le monde**

La nature dangereuse des polluants atmosphériques a poussé l'Union européenne à légiférer : des directives et des normes qui sont établies pour réduire, entre autres, les émissions de polluants du transport routier et les contrôler. (93)

En Californie, des études ont été faites dans les années 1950 pour les premières réglementations relatives à l'élimination des gaz, du dioxyde de carbone et des hydrocarbures, qui n'ont vu le jour qu'en 1959. (94)

Un Memorandum of Understanding (MOU) signé en 1998 et 1999 entre la CEE et les associations de constructeurs automobiles européens (ACEA), japonais (JAWA) et coréens (KAWA) s'engage à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules personnels commercialisés en Europe à 120 g/km par 2008 à un niveau moyen de 165-170 g/km en 2003. (95)

Les normes d'émission, appliquées au niveau de l'UE, fixent des limites maximales pour les polluants émis par les voitures. Les instances internationales parlent des normes "EURO 6" concernant l'homologation des véhicules neufs. Ces normes sont révisées tous les cinq ans en fonction des connaissances actuelles. (96)

Au Canada, il existe des réglementations sur la consommation de carburant mais elles ne sont pas obligatoires, c'est un programme CAFC (average fuel economy corporation).

Pour les démarches d'information, notamment l'obligation de déclaration de la consommation de carburant des véhicules par le constructeur et la troisième publication g/100 km et 95 €/unité par g/km au-delà de 133 g/km. (95)

Enfin, comme aux USA, la réglementation européenne prévoit ce qui suit :

- Engagement des constructeurs à inclure le niveau d'émissions et de consommation de dioxyde de carbone dans le dossier technique du véhicule et dans les points de vente (showrooms) carburant.
- Publication d'un guide de consommation de carburant par pays. Aider et inciter le public à acheter des voitures "économiques" et le conseiller sur la conduite "écologique". (14)

Voici un tableau qui regroupe les directives imposées par l'Union Européenne pour la protection et la réglementation de la qualité de l'air.

**Tableau 4** : Les Directives imposées par l'Union Européenne pour la protection et la réglementation de la qualité de l'air. (93)

Directive	Date de parution	Cible
80/779/EEC (C.E., 1980)	15-juillet-1980	SO <sub>2</sub> et PM <sub>10</sub>
82/884/EEC (C.E., 1982)	3-December-1982	NO <sub>x</sub>
85/283/EEC (C.E., 1985)	7-Mars-1985	
92/72/EEC (C.E., 1992)	21-Septembre-1992	O <sub>3</sub>
1999/30/CE (C.E., 1999)	22-Avril-1999	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> & NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , Pb
2000/69/CE (C.E., 2000)	16-Novembre-2000	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO
2002/3/CE (C.E., 2002)	12-Février-2002	O <sub>3</sub>
2004/107/CE (C.E., 2004)	15-décembre-2004	As, Cd Hg, Ni et HAP
2008/50/CE (C.E., 2008)	21-mai-2008	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> & NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , Pb, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , CO, O <sub>3</sub> .

Le tableau numéro (5) montre l'évolution des nouvelles normes d'émissions des véhicules depuis l'entrée en vigueur des normes européennes en 1991 à ce jour :

**Tableau 5** : Normes européennes des émissions de VP (g/km) (96)

classes	Norme	année		CO	H C	HCN M	HC+ NO X	NO X	PARTICULE S
		Nouvea u type	Tout type						
DIESEL	Euro 1	1992		2.72 0	-		0.97 0	-	0.140
	Euro 2- IDI	1996		1	-		0.7		0.08
	Euro 2- IDI	1999		1	-		0.9		0.1
	Euro 3	01/2000	01/200 1	0.64	-		0.56		0.050
	Euro 4	01/2005	01/200 6	0.5	-		0.3		0.025
	Euro 5	09/2009	01/201 1	0.5	-		0.23		0.005
	Euro 6	09/2014	09/201 5	0.5	-		0.17		0.005
ESSENEC E	Euro 1	1992		2.72	-		0.97		-
	Euro 2	1996		2.2	-		0.5		-
	Euro 3	01/2000	01/2001	2.3	0.2		-		-
	Euro 4	01/2005	01/2006	1	0.1		-		-
	Euro 5	09/2009	01/2011	1	0.1	0.068	-		0.005a
	Euro 6	09/2014	09/2015	1	0.1	0.068	-		0.005a

## IX. 3. Cadre réglementaire et législatif en Algérie

### IX. 3. 1. Etat des lieux

La réglementation algérienne relative au contrôle technique des véhicules neufs est spécifiquement reprise dans les principaux textes suivants (95) :

- Arrêté du 05 - 09 – 1984: conditions techniques de réception.
- Décret N° 88-06 du 19-01-1988 et N° 04-381 du 28 novembre 2004: Règles circulation routière.
- Loi 01-14 du 19 Août 2001: organisation, sécurité et police circulation routière.
- Décret exécutif N° 03-410 du 05-11-2003: Seuils limites des polluants, CO, NO<sub>x</sub>, HC, et particules des véhicules neufs importés et du contrôle technique des véhicules en services.
- Décret exécutif N° 07-390 du 12-12-2007: Modalités d'exercice activité de commercialisation véhicules neufs.

Aucun de ces textes ne limite le niveau de consommation de carburant des véhicules importés. Ces textes n'imposent pas non plus aux concessionnaires d'informer le public du niveau de dépréciation du véhicule.

Certains concessionnaires n'incluent même pas ces informations dans les fiches techniques des véhicules, d'autres indiquent des valeurs d'amortissement sans préciser la base d'estimation, ce qui les rend peu fiables et inexploitable).

Cette situation, malgré certaines mesures fiscales appliquées ces dernières années, n'encourage pas l'importation de voitures économes en énergie, on assiste au contraire à l'émergence de grosses voitures très énergivores sur le marché. Ces véhicules sont souvent de technologie ancienne, car les énergivores sont généralement de technologie ancienne. (14)

### **IX. 3. 2. Enjeux de la réglementation relative à la consommation de carburant en Algérie**

- Sur le plan économique, puisque la consommation de carburant dans le secteur des transports représente la quasi-totalité de la consommation de produits pétroliers en Algérie (environ 10 000 000 de tonnes en 2009) ; L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules permettra de réduire significativement la consommation nationale de carburant. Rappelons, dans ce contexte, les gains réalisés en Europe (15 % entre 1995 et 2007 et 40 % entre 2007 et 2020).
  - Environnement Le secteur des transports est une source majeure de pollution de l'air en Algérie, notamment dans les grands centres urbains où la situation est devenue alarmante. La réduction de la consommation de carburant réduit directement les émissions de polluants, de gaz à effet de serre et de polluants réglementés, améliorant ainsi la qualité de l'environnement
  - Technologique où les véhicules à faible consommation d'énergie sont souvent à la pointe de la technologie. Ainsi, la réglementation sur la consommation de carburant permettra d'améliorer le niveau technologique des moteurs du parc automobile national.
- (14)

### **IX. 3. 3. Réglementation en étude**

Compte tenu de l'intérêt économique, environnemental et technologique de réglementer la consommation de carburant, un comité intersectoriel a été constitué, regroupant tous les départements ministériels concernés, pour proposer une réglementation qui, à l'instar de celles en vigueur dans le monde, devrait viser à : (95)

- Améliorer l'efficacité énergétique des véhicules en fixant des limites de consommation de carburant pour les véhicules importés.
- Informer et éduquer le public sur les questions d'efficacité énergétique en général et celles liées à la consommation de carburant des véhicules en particulier.

En matière d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, il est notamment prévu d'établir des limites de consommation de carburant pour les véhicules neufs de la classe essence et diesel

- Ces seuils s'appliqueront à toutes les voitures particulières importées ou fabriquées en Algérie (d'autres catégories de véhicules seront appliquées ultérieurement en fonction des évolutions au niveau international).
- Ces limites varient selon le type d'énergie utilisée (essence ou diesel).
- Ces seuils seront revus annuellement et leur niveau tiendra compte des réglementations internationales ainsi que des caractéristiques des parcs nationaux.

En cas de non-respect de ces limites, les dispositions prévoient : le paiement d'amendes et la mise en place d'un plan d'actions correctives.

Enfin, le paramètre technique par lequel la consommation de carburant du véhicule sera mesurée est également pris en compte.

En ce qui concerne l'information et la sensibilisation du public, il est notamment prévu:

- Mention obligatoire, dans les fiches techniques des véhicules, de la consommation de carburant et des émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules en ville, sur route et en consommation mixte.
- Élaboration d'un guide grand public indiquant la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> pour tous les véhicules proposés à la vente en Algérie.

Ce manuel comprendra également des règles de conduite environnementales ainsi que toutes les informations utiles pour réduire la consommation de carburant, promouvoir les carburants propres, les avantages fiscaux associés, le contrôle de la pollution des véhicules et plus encore.

(14)

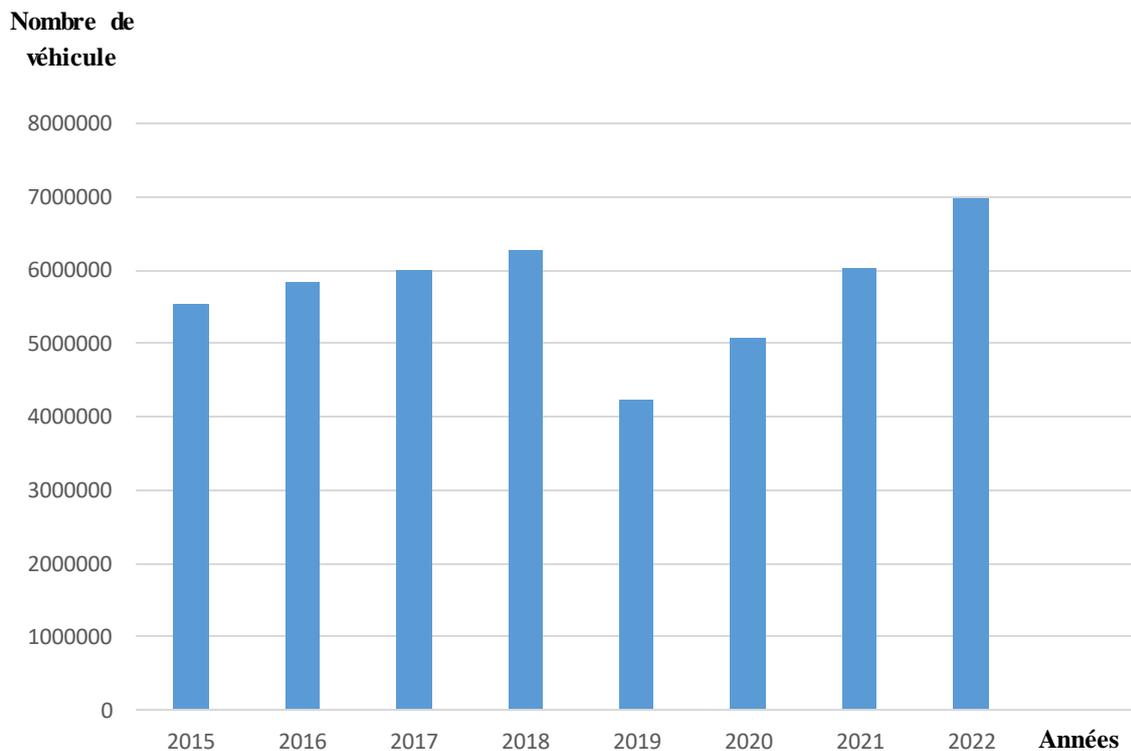
# **Evaluation statistique et discussion**

## I. Evolution du parc automobile en fonction d'année selon (ONS)

Dans notre pays, un tiers de la consommation d'énergie est due au secteur du transport, où l'essence est la source d'énergie de plus de 72,67% des véhicules et surtout 90,04% des voitures particulières. (97)

### I. 1. Evolution du parc automobile national

Le transport national a connu des fluctuations au cours des dernières années, à travers l'ONS on a créé cette courbe de colonne pour suivre l'évolution nationale.

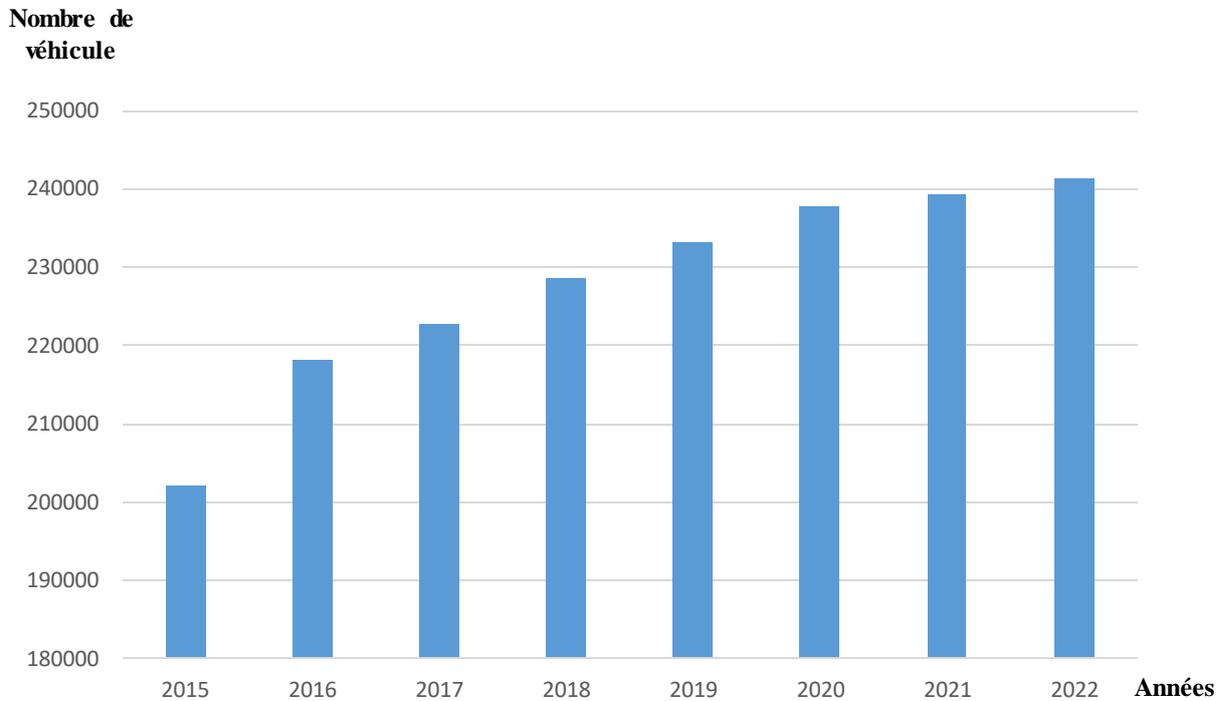


**Figure 19 :** Evolution du parc automobile national en fonction d'année selon (ONS).

Ce graphique montre l'évolution du nombre de voitures en Algérie de 2015 à 2022. On note qu'il y a une augmentation du nombre de voitures de 2015 à 2018. Mais en 2019, on constate une réduction du nombre de voitures, Cela peut être attribué à l'épidémie de COVID 19, qui a isolé l'industrie automobile ainsi que les importations.

## I. 2. Evolution du parc automobile dans la wilaya de Constantine

Au niveau de la wilaya de Constantine, le suivi d'évaluation du nombre du parc automobile a été le suivant :

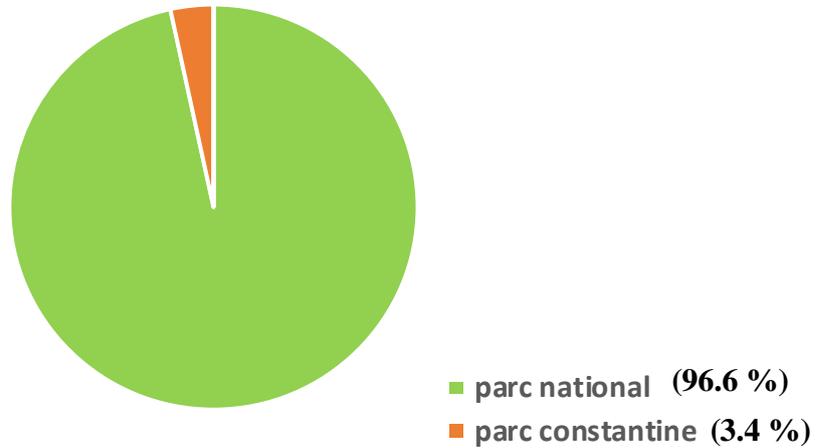


**Figure 20 :** Evolution du parc automobile dans la wilaya de Constantine en fonction d'année selon (ONS).

La figure 20 représente l'évolution du parc automobile au niveau du Constantinois

Nous notons que de 2015 à 2022, il y a une augmentation significative du nombre de voitures, et cela peut être attribué à la densité urbaine et démographique qui s'est produite dans la ville, comme la ville (d'Ali Mendjeli) qui a connu une grande expansion et de nombreux projets de logement, cela conduit à une augmentation des émissions de polluants dans l'air comme CO<sub>2</sub>

### I. 3. Le parc véhicule de Constantine par rapport au parc National



**Figure 21 :** Répartition du parc de Constantine par rapport au parc national au (31/12/2022).

Le secteur des transports de la wilaya de Constantine figure parmi les premières wilayas au niveau national en termes d'intensité de transport.

La figure 21 représente un cercle relatif montrant le pourcentage de transport dans la wilaya de Constantine, qui est estimé à (3.4 %) par rapport au pourcentage national.

Ce pourcentage peut être considéré comme assez important, et cela est dû au fait que la ville est un pôle important qui attire beaucoup de monde, et donc la présence de véhicules en abondance, qui conduit à la présence d'émissions atmosphériques résultant des voitures.

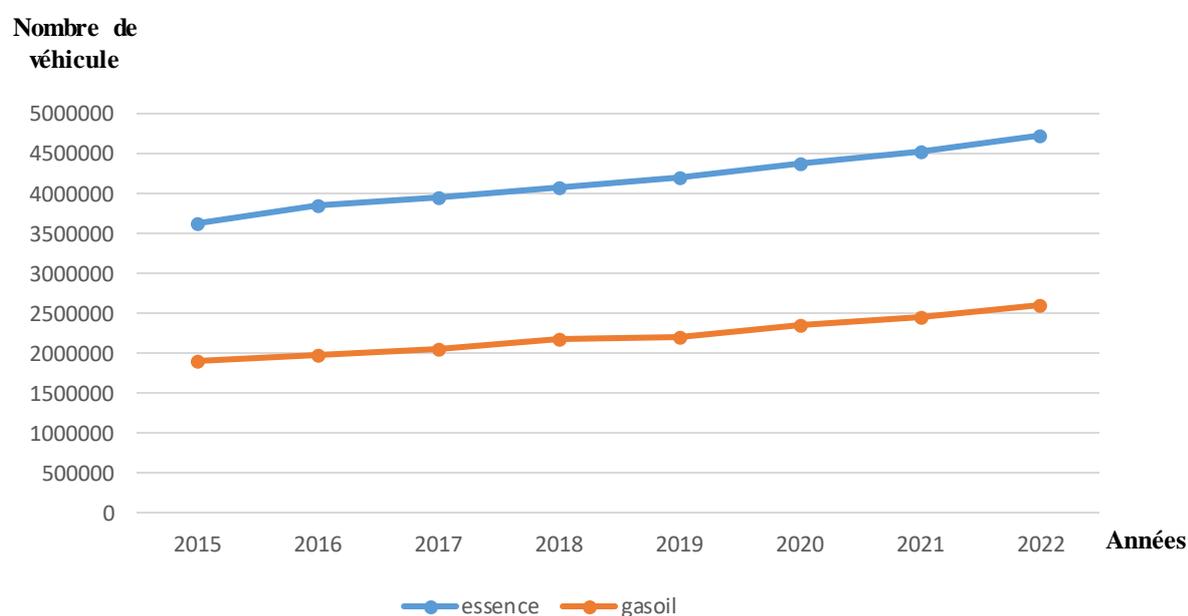
## II. Evolution du parc automobile par source d'énergie selon (ONS)

Il existe de nombreuses sources d'énergie utilisées dans les véhicules, y compris l'essence et le gasoil, et à partir de là, la répartition des véhicules varie en fonction de la source d'énergie.

## II. 1. Dans l'Algérie

**Tableau 6 :** Evolution du nombre du parc automobile national selon la source d'énergie selon (ONS)

Années \ Énergie	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Essence	3640898	3853388	3954817	4074168	4202201	4390845	4525648	4726594
Gasoil	1903059	1985180	2056222	2189801	2219187	2349815	2458945	2600145



**Figure 22 :** Evolution du parc automobile national par source d'énergie.

La figure 22, révèle le taux d'accroissement du parc selon le type de carburant de 2015 à 2022 qui est de 22% pour le carburant essence et de 27% pour le gasoil

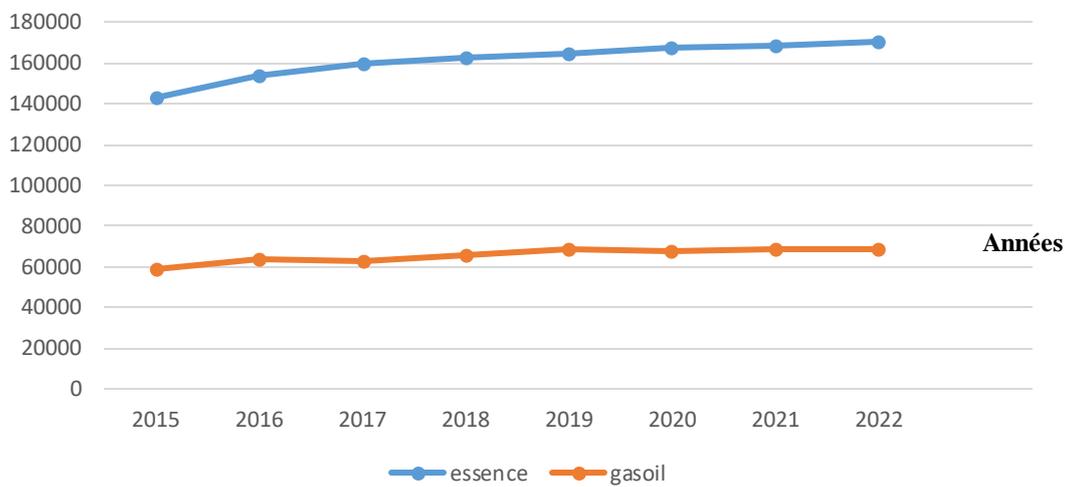
Nous notons que le diesel est la première source en termes de consommation, car les moteurs diesel sont économes en consommation de carburant, donc la plupart des utilisateurs le préfèrent, mais il est nocif pour l'environnement en raison de ses nombreuses émissions nocives.

On remarque que la consommation du gasoil de 2015 jusqu'à 2022 ne cesse d'augmenter, et cela est dû au grand nombre d'autobus qui consomment de le gasoil par rapport au nombre de voitures qui consomment l'essence.

## II. 2. Dans la wilaya de Constantine selon (ONS)

**Tableau 7 :** Evolution du nombre du parc automobile de Constantine selon la source d'énergie selon (ONS)

Années \ Nombre de Véhicule	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Essence	143373	153995	159526	162788	165055	167065	168885	170365
Gasoil	58909	64121	63199	65880	68137	67187	68807	69031



**Figure 23 :** Evolution du parc automobile de la wilaya de Constantine par source d'énergie.

L'étude sur la wilaya de Constantine sur la même période allant de 2015 à 2022 a révélé que le pourcentage d'utilisation des carburantes essences et diesel est équivalente à 15%

### III. Répartition du parc automobile de la wilaya de Constantine par catégorie au 31/12/2022

Tableau 8 : Nombre de véhicule de Constantine selon la catégorie.

Catégorie	Nombre
Véhicule touristique	170544
Camion	8802
Camionnette	39011
Bus	3895
Tracteurs routiers	2091
Tracteurs agricoles	4116
Véhicules spéciaux	865
Remorques	3335
Motos	4327
Engin	4277
<b>Total :</b>	<b>241263</b>

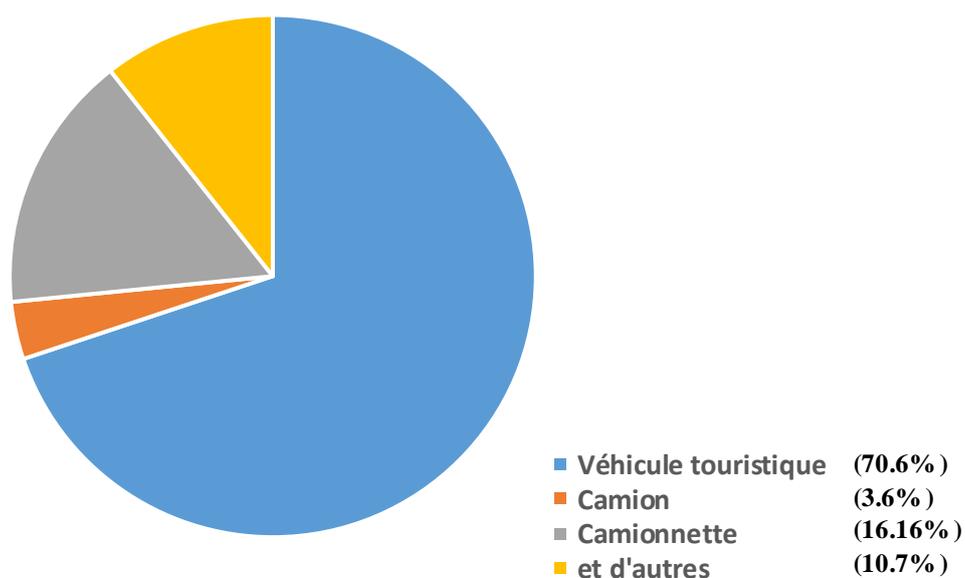


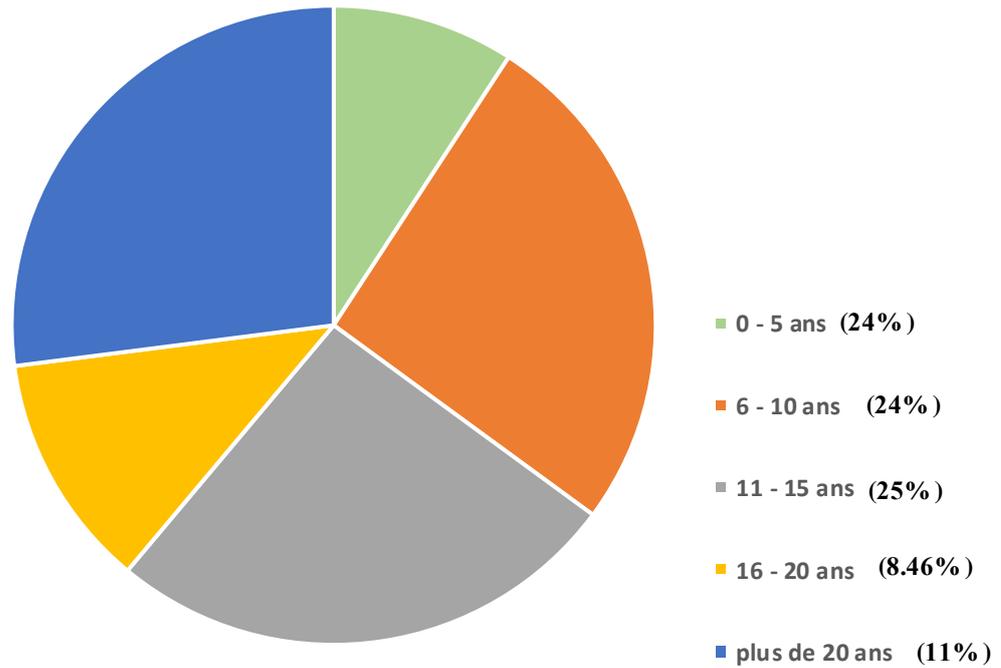
Figure 24 : Répartition du parc automobile de Constantine par catégorie.

La figure 24 est un cercle relatif qui représente la répartition du parc automobile de Constantine par catégorie, où l'on note que ce sont les voitures de tourisme qui constituent la plus grande partie du nombre total de voitures dans la ville de Constantine avec un pourcentage de 3,6 % suivi des camionnettes avec un pourcentage de 16,16 % et suivi des camions avec un pourcentage de 3,6 % . Quant aux autres catégories telles que (les motos les remorques les véhicules spéciaux les tracteurs). Elles sont en petites proportions

#### IV. Répartition du parc automobile de Constantine par âge au 31/12/2022

**Tableau 9** : Nombre de véhicule de Constantine selon l'âge.

<b>Tranche d'âge</b>	<b>Nombre</b>
<b>0 à 5 ans</b>	<b>20422</b>
<b>6 – 10 ans</b>	<b>59136</b>
<b>11 – 15 ans</b>	<b>58794</b>
<b>16 – 20 ans</b>	<b>27154</b>
<b>Plus de 20 ans</b>	<b>61757</b>
<b>Totale :</b>	<b>241263</b>



**Figure 25 :** Répartition du parc automobile de Constantine par âge

La figure représente un cercle relatif pour la répartition du parc automobile de la ville de Constantine selon l'âge des voitures

On note que les voitures de 0 à 5 ans se retrouvent à un taux de 8,5 % et cela se traduit par leur nouveauté sur le marché, ce qui signifie que leur nombre n'est pas important par rapport aux plus anciennes.

Quant aux voitures âgées de 6 à 10 ans, de 11 à 15 ans et de plus de 20 ans, elles sont présentes en abondance sur les lieux, ce qui entraîne une augmentation de la pollution de l'air, de sorte que plus le véhicule est âgé, plus ses émissions nocives dans l'atmosphère qui nous entoure.

**Conclusion**

## Conclusion :

De nos jours, la pollution environnementale est devenue un enjeu majeur en raison de la croissance rapide du développement industriel et technologique qui nécessite une consommation énergétique importante.

En milieu urbain, la pollution est essentiellement d'origine humaine. L'une des causes principales de la mauvaise qualité de l'air dans les villes est la mauvaise combustion des combustibles utilisés au quotidien dans nos maisons, notamment ceux pour cuisiner, se chauffer ou encore s'éclairer.

Le Nord de l'Algérie a connu ces dernières années une urbanisation accélérée des grandes villes avec création de zones d'activités et industrielles qui ont engendré divers problèmes environnementaux. La mobilité s'est accrue et le parc automobile a fortement augmenté.

La voiture est un facteur important de pollution pour différentes raisons : son utilisation bien sûr, en raison du recours aux carburants fossiles et du rejet de particules polluantes dans l'atmosphère, mais aussi sa fabrication et sa destruction. Les transports sont responsables d'environ 30% des émissions de gaz à effet de serre.

La quantité d'émissions de gaz à effet de serre des véhicules occupe une part de pollution non négligeable. D'ailleurs une étude démontre qu'au moins 15 % des rejets de CO<sub>2</sub> proviennent de la pollution automobile.

La pollution d'une voiture concerne également la production de particules fines à l'origine de plusieurs maladies respiratoires et cancers.

Ces polluants proviennent essentiellement des véhicules à moteur diesel.

La voiture rejette aussi des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) qui sont des polluants très nuisibles pour l'homme. De plus, ils sont à l'origine des pics de pollution.

## Références Bibliographiques :

1. Dimitriou, K. Paschalidou, A.K., Kassomenos, P.A. Assessing air quality with regards to its effect on human health in the European Union through air quality indices. *Ecol. Indic.* 27, 108–115. (2013).
2. Sajja, S, Romano, D, A methodology for the estimation of road transport air emissions in Urban Areas of Italy, *Atmospheric Environment*, 34, pp. 5377-5383.(2002)
3. Gorham, R. Air pollution from ground transportation. An assessment of causes, strategies and tactics, and proposed actions for the international community, United Nations 169pp, SD 008. (2002)
4. Boughedaoui, M, Kerbachi, R., Kessali, D., Joumard, R. Mesure de la pollution plombifère dans l'air ambiant d'Alger. *Pollution Atmosphérique*, n°181, 105-111. (2004)
5. Jahnich. M, Le traitement multi médiatique d'un risque pour la santé, étude de cas: le problème des gaz d'échappement. Thèse de doctorat ENS de Cachan, (soutenue le 22 septembre 2003)
6. Claudy. J, Inra. O, Les contaminants des sols : priorités, projets, perspectives, conférence d'orientation du Gis Sol –Paris, Groupement d'intérêt scientifique, p 3,31. (2010)
7. Charlotte Portalis. *Toupictionnaire: Le dictionnaire de politique, pollution : les différents formes* (consulté le 14 janvier 2023) Disponible sur : [https://www.toupie.org/Dictionnaire/Pollution\\_formes.html](https://www.toupie.org/Dictionnaire/Pollution_formes.html)
8. Céline. G, *Visibilité et invisibilité de la pollution des sols dans les territoires (post)industriels.* (2017) Disponible sur : <https://calenda.org/408497.html>
9. Kima. O, *La pollution de l'eau*, (consulté le 15 janvier 2023). (2015)  
Disponible sur : <https://www.mediaterre.org/eau/actu,20150830173937,5.html>
10. OMS (site, pollution atmosphérique), « Zones humides et épuration des eaux », *Zones Humides*, nos 86-87, (2015)
11. Cheymol A, Heene B. *Protection de l'air en valais. Rapport n° 14*, Lavoisier, Paris, 105 p, (2008)
12. Sportisse. B, *Pollution atmosphérique: Des processus à la modélisation.* Springer Verlag France. Paris, 2008. 345 p. (Ingénierie et développement durable). ISBN: 978-2-287-74961-2. (2008).
13. Aouragh. L'Etude de la Qualité de l'Air Urbain au Niveau de la Ville de Batna : Cas du Transport Routier, Thèse doctorat, Université Hadj-Lakhdar, Batna. (Soutenue 2015)

14. Fontan, Les pollutions de l'air, Encyclopédie de l'Environnement, (2020)  
Disponible sur : <https://www.encyclopedie-environnement.org/air/les-pollutions-de-lair/>.
15. S. Lacour, Cours de pollution atmosphérique, école Nationale des Ponts et Chaussées, (2005)
16. Charpin. D, Paironb. J.-C, Annesi-Maesano.I, Caillaud. D, F. de Blay, Dixsauf. G. NO<sub>x</sub> production by lightning over continental United States, Journal of geophysical research, Vol. 106, D21, pp.27701-27710 .(2001)
17. Peiry. J, D. Pollution atmosphérique et impacts environnementaux. (2005)
18. Fire and Mud: Eruption and lahars of Mt. Pinatubo - Philippines, C.G. Newhall, R.S.Punongbayan (eds.), (1997)
19. Boussouara. K, Etude des Emissions Polluantes et des moyens de pollution dans les moteurs à combustion interne, Thèse doctorat, l'université de Constantine, (Soutenue le 01 /07 / 2010)
20. François, S. Méthodologie d'établissement de cadastres d'émissions à l'échelle régionale : Application au cadastre Escompte et à son extension à la région PACA, Thèse de l'université Louis Pasteur-Strasbourg 1-France. (2004).
21. C. Magdeleine. La pollution particulaire au bois de Vincennes : définition, mesure et variations spatiales. Institut de Géographie de Paris : (juin 2000)
22. La pollution de l'air. Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires ACNUS A Bethel. A, Jordan. H, Stenhouse. K, Jason. D. Education à l'énergie, Smog, (Janvier 2020)  
Disponible sur : <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Smog>
23. Mireille Borgie. Les polluants de l'air: quels sont-ils, d'où viennent-ils? sur le site de Passeport Santé (consulté le 5 février 2023). Disponible sur le site : [https://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/Fiche.aspx?doc=pollution\\_air\\_polluant\\_do](https://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/Fiche.aspx?doc=pollution_air_polluant_do)
24. Pascal, L. Effet à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité. Revue française d'allergologie Vol. 49. (2009)
25. Vincent. A. Conception et simulation d'un réacteur fil-cylindre à décharge couronne avec barrière diélectrique adaptée au traitement des oxydes d'azote dans des effluents marqués par un isotope, thèse de doctorat de l'université paris vi Pierre et marie curie, (2002)
26. Environnement industriel et impacts sur la santé. paca.developpement-durable.gouv.fr. La fiche Éco toxicologique de l'INERIS, (2006) Disponible sur : [https://www.paca.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/annexes7\\_cle51e9f7.pdf](https://www.paca.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/annexes7_cle51e9f7.pdf)

27. Fabrégat. S, Les métaux lourds : une pollution de long terme, Actu-Environnement, (Juillet 2010)
28. Mouaïci. k. Étude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia, thèse de doctorat à l'université de Bejaia, (2002)
29. DREA Provence ALPES-Côte D'AZU Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement. Les polluants atmosphériques surveillés et réglementés, (Juin 2019).
30. Arquès P. La Pollution de l'air [Ouvrage]. Edition, (1998)
31. Cheymol A, Heene B. Oxyde d'azote (NOX), Bruxelles environnement-IBGE, Collection Fiches Documentées, Thématique Air, p 22. (Juin 2016)
32. Raven. H, Berg. L.R, Hassenzahl. D.M. Environnement. Traduction de la 6<sup>ème</sup> édition américaine par Colace Pascale Marie, Anne Hancock, Guy Lemperiere, ; p 489-492,499. (2008)
33. Morisseau K. Traitement combiné de polluants atmosphériques par filtration et adsorption pour limiter leur transfert dans l'habitat urbain. Thèse de doctorat. Nantes, Ecole des Mines, (2016)
34. Joseph. K, Denis. C, Frédéric. B, Isabelle. A-M, Denis. Z, Isabelle. R. Définition, sources d'émission et impacts. ADEME (consulté le 15 février, 2023) Disponible sur: [https://expertises.ademe.fr/professionnels/entreprises/reduire-impacts/reduire-emissions-polluants/dossier/composes-organiques-volatils-cov/definition-sources-demission-impacts#:~:text=Les%20compos%C3%A9s%20organiques%20volatils%20\(ou,%C3%AA tres%20vivants%20et%20l'environnement](https://expertises.ademe.fr/professionnels/entreprises/reduire-impacts/reduire-emissions-polluants/dossier/composes-organiques-volatils-cov/definition-sources-demission-impacts#:~:text=Les%20compos%C3%A9s%20organiques%20volatils%20(ou,%C3%AA tres%20vivants%20et%20l'environnement)
35. Yufei. Z, Yuhang. W, Yuzhong. Z & Ja-Ho. K, Arctic sea ice, Eurasia snow, and extreme winter haze in China ; Science Advances; 15 mars 2017: Vol.3, n°3, e1 602751 DOI: 10.1126/sciadv.1602751 (2017)
36. Hugh E.C. Problems and Control of Air Pollution, Reinhold, New York, (1955)
37. Etienne TERRENOIRE « Application des systèmes mm5-chimère et Mm5-Flexpart a la modélisation de l'ozone et des pm10 Sur la région Nord-Pas-de Calais » Thèse de Doctorat .L'université Lille 1 sciences et technologies (2009)
38. Guyonnet. B, Influence des facteurs météorologiques sur la pollution atmosphérique: le cas de l'agglomération Lyonnaise, revue de géographie de Lyon. Vol.71 N°11, p.71-77, (1996).
39. World Health Organization. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. (2005) Disponible sur : <https://www.who.int/airpollution/publications/aqg2005/en/>.

40. Bergeron. A, Naud. C. L'humidité relative et la température, Centre de conservation Québec, (Juin 2016)
41. Bartkow, M. E., K. Booij, et al. "Passive air sampling theory for semi volatile organic compounds." *Chemosphere* 60 (2): 170-176. (2005)
42. Oucher. N, Les polluants indicateurs de pollution atmosphérique et leurs techniques de prélèvements dans l'air ambiant, Attachée de Recherche Division Bioénergie & Environnement, N° 21 (2011)
43. Rorat. A, Lanier. C, Cuny. D, A. Deram, L. canivet. Rapport final, Méthodes de prélèvements et techniques de caractérisations des particules, université de Lille, (septembre 2020)
44. Saliou M. les métaux lourds associant aux particules atmosphériques fines et ultrafines d'une zone industrielle : caractérisation physicochimique et bio accessibilité, thèse de doctorat. L'école nationale supérieure des mines de douai et l'université du littoral-côte d'opale, (12 Décembre 2013)
45. Blanka.H, Joachim.O, Kinga. W-D, Katarzyna. R-M, Mesure des retombées atmosphériques dans le Sud 2015 à 2017, Association Calédonienne de Surveillance de la Qualité de l'Air, Rapport d'étude, (Septembre 2018)
46. Zenata K. Etude d'impact des émissions en particules PM10 et en SO2, cimenterie EQIOM-Rochefort-sur-Nemon, (Mars 2020)
47. Etude de la qualité de l'air par tubes passifs et camion laboratoire, (Janvier 2010)
48. Jaya D, Vinod K. Jena, Deepak S. Concentration estimation of different gaseous pollutants of raipur city, Department of Chemistry, Government Nagarjuna Post Graduate College of Scienc , *Rasayan Journal of Chemistry*, (January 2019)
49. Diaf. N, Bouchaour. M. Chimilunexence, analyse des gaz, analyse des oxydes d'azote, (2013)
50. Guillaume G, la chromatographie en phase gazeuse : principe, (Décembre 2017)
51. Dominique Robin, Mesures de benzène par échantillonnage passif-campagne de septèmes-les-vallons, Air PACA, (Mars 2017)
52. Adouani.I. LA SPECTROSCOPIE ATOMIQUE (SA), Cours de chimie analytique, 3ème année docteur en pharmacie, Département de pharmacie laboratoire de chimie analytique, Faculté de Médecine Université Ferhat Abbas Sétif-1, (2020)
53. Kacimi M. Spectrométrie d'absorption atomique, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire Département Sciences Géologiques, Université Frères Mentouri Constantine 1. (2020) Disponible sur :

<https://fac.umc.edu.dz/fst/fichiers/Cours%20a%20mettre%20en%20ligne%20Absorption%20atomique%20final%20geo%20m1.pdf>

54. André. B, Mesure des métaux lourds dans l'air à Nouméa 2012-2013, Scalaire, Rapport d'étude, (Mars 2015) Disponible sur :  
[https://www.scalair.nc/images/phocadownload2/rapport/Scal-Air\\_Mesure\\_des\\_métaux\\_lourds\\_a\\_Noumea\\_en\\_2012-2013\\_VF.pdf](https://www.scalair.nc/images/phocadownload2/rapport/Scal-Air_Mesure_des_métaux_lourds_a_Noumea_en_2012-2013_VF.pdf)
55. Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère. Essai d'évaluation scientifique. Académie des Sciences. Rapport n° 30, LAVOISIER, Paris, 262 p. (1993)
56. D. Charpina, C. Paironb, Annesi-Maesano, D. Caillaud, F. de Blay e, G. Dixsauf, B. Housset g, J.-C. Meurice h, I. Roussel i, D. Zmirouj, P. Delaval k, J.-C. Dalphinl, La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire. Document d'experts du groupe pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF), (19 mai 2016) Disponible sur : [https://splf.fr/wp-content/uploads/2017/03/Pollution.RMR\\_2016.pdf](https://splf.fr/wp-content/uploads/2017/03/Pollution.RMR_2016.pdf)
57. Migdal. C, Serres. M, Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant, Université Lyon 1, EA 41-69, Laboratoire de recherche dermatologique, pavillon R, Hôpital Édouard Herriot, 69437 Lyon Cedex 03, France, (Avril 2011) Disponible sur :  
[https://www.medecinesciences.org/en/articles/medsci/full\\_html/2011/04/medsci2011274p405/medsci2011274p405.html#:~:text=Le%20stress%20oxydant%20se%20d%C3%A9fin%20it,et%20les%20capacit%C3%A9s%20cellulaires%20antioxydantes](https://www.medecinesciences.org/en/articles/medsci/full_html/2011/04/medsci2011274p405/medsci2011274p405.html#:~:text=Le%20stress%20oxydant%20se%20d%C3%A9fin%20it,et%20les%20capacit%C3%A9s%20cellulaires%20antioxydantes)
58. Cillard. J, Physiopathologie du Stress Oxydant, Faculté de Pharmacie, Université de Rennes, EA 1274 « Mouvement-Sport-Santé », (2011)
59. Armelle. B. Vers une mesure du potentiel oxydant des particules fines, Identification d'un indicateur du potentiel oxydant des particules atmosphériques. (Juin 2016)
60. Byoung. J, Lee. S, Kim. H, Hong. S, Environmental Changes, Microbiota, and Allergic Diseases, Septembre 2014. Vincent. D, Particules en suspension dans l'air : leurs effets sur la santé, (avril, 2019). Disponible sur : <https://www.encyclopedie-environnement.org/sante/particules-air-effets-sante/>
61. Alyona S. Vers une mesure des particules atmosphériques. (Juin 2016)
62. Tao L, Rong H, Zi Chen, Qiyan L, Shouxiang H, Zhou Z, Lin-F, Zhou, Fine particulate matter (PM2.5) : The culprit for chronic lung diseases in China, (September 2018) Disponible sur : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30276364>

63. Vincent. D. Particules en suspension dans l'air : leurs effets sur la santé, (avril 2019)  
Disponible sur : <https://www.encyclopedie-environnement.org/sante/particules-air-effets-sante/Effet>
64. Wang J, Huang J, Wang L. Les particules urbaines déclenchent une inflammation pulmonaire via la voie de signalisation ROS-MAPK-NF-kB-J. Thorac Dis, (2017)
65. Amruta. M, Liying. W, Yon. R .Mechanisms of Nanoparticle-Induced Oxidative Stress and Toxicity, Article, BioMed Research International. (September 2013)
66. Nastasia. M. Qu'est-ce que l'effet de serre ? Définition et explications, Rapport n°5. La connaissance, Paris, 162 p (Janvier 2023). Disponible sur :  
<https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-que-leffet-de-serre-193565>
67. Changement climatique : causes, effets et enjeux, Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, Ministère de la transition énergétique, (Septembre 2018)  
Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/changement-climatique-causes-effets-et-enjeux>
68. Christophe. M, Changement climatique : climat et effet de serre, (Avril 2020) Disponible sur : [https://www.notre-planete.info/terre/climatologie\\_meteo/changement-climatique.php](https://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/changement-climatique.php)
69. Garrec Jean-Pierre. Effet de la pollution atmosphérique sur l'écosystème. Office Fédéral de l'environnement (OFEV), (Octobre 2021) Disponible sur :  
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/effets-de-la-pollution-atmospherique/effets-de-la-pollution-atmospherique-sur-les-ecosystemes.html>
70. Bernice, W. Comment se forme la pluie acide ? Ripley Believes, (Janvier 2023). Disponible sur : <https://fr.ripleybelieves.com/how-is-acid-rain-formed-1642>
71. Anne F. Les pluies acides et la biodiversité. (2020) Disponible sur :  
<https://volcano-foundation.org/fr/acid-rain-biodiversity/>
72. Jean-Yves Nu. Qu'est-ce qu'une pluie acide ? Définition et dangers, Géo-Fr, (Décembre 2018) Disponible sur : <https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-que-une-pluie-acide-definition-etdangers193897#:~:text=Les%20pluies%20acides%20polluent%20les,les%20animaux%20qui%20y%20boivent>
73. Emmanuel, F. Sante-environnement, la pollution atmosphérique se formerait-elle la nuit ? en partenariat avec destination Santé, (Février 2023) Disponible sur :  
<https://destinationsante.com/la-pollution-atmospherique-se-forme-la-nuit.html>
74. Esther, B. Quels sont les effets du smog sur la santé ?, Qu'est-ce que le smog ?

(Décembre 2021) Disponible sur : <https://www.quebec.ca/sante/conseils-et-prevention/sante-et-environnement/effets-de-la-pollution-de-l-air-sur-la-sante#:~:text=respiration%20sifflante%20ou%20difficult%C3%A9%20%C3%A0,troubles%20cardiaques%20et%20pulmonaires%20existants.>

75. Idir, Y. Environnement Canada. Programme Info-Smog. (12 juillet 2010)

76. Garrec Jean-Pierre, Quel est l'impact des pollutions de l'air sur la végétation?

Encyclopédie de l'environnement. (Avril 2019). Disponible sur :

<https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/impacts-polluants-air-sur-vegetation/>

77. Kynyk. J-A, Mastronarde. J-G, McCallister. J-W. Les effets de la pollution de l'air sur les végétaux. Atmo BFC, (Mars 2021) Disponible sur : <https://www.atmo-bfc.org/qui-sommes-nous/actualites/les-effets-de-la-pollution-de-l-air-sur-les-vegetaux>

78. Shannon.L. Russel, Matthew J. Végétation et pollution atmosphériques, Canada.Ca, (Juin 2021) Disponible sur : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/qualite-environnement-economie/ecosysteme/vegetation.html>

79. Jean-Michel Groult, Les plantes et la pollution de l'air, (le 2 juillet 2020) Disponible sur : <https://www.planfor.fr/jardin-conseils,les-plantes-et-la-pollution-de-l-air.html>

80. Kellie A, Andriy V, Samokhvalov, Jürgen Rehm, Selene T, Spence. Pollution : pourquoi l'ozone et les plantes entretiennent une relation des plus toxiques, 20 minutes, (novembre 2021) Disponible sur : <https://www.20minutes.fr/planete/3034543-20210511-pollution-pourquoi-ozone-plantes-entretiennent-relation-plus-toxiques>

81. Marina P. Effet de la pollution atmosphérique sur les plantes et les animaux, Prana air, (Novembre 2021) Disponible sur : <https://www.pranaair.com/fr/blog/effect-of-air-pollution-on-plants-and-animals/>

82. Bayingana K., Tafforeau J. Pollution atmosphérique : effets sur les animaux sauvages. Canada.ca, (Mai 2012) Disponible sur : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/qualite-environnement-economie/ecosysteme/animaux-sauvages.html>

83. Buck. W, Animaux as monitors of environmental quality. VetHumTox, 21,277-284. (1979)

84. : Bontemps F. Pollution de l'air et santé, Quels liens et Quels effets ? Institut pasteur de Lille. (2019) Disponible sur : <https://pasteur-lille.fr/actualites/dossiers/pollution-atmospherique-sante/>

85. BPCO- symptômes, causes, traitements et prévention. L'intelligence médicale au service de soin. (Avril 2023) Disponible sur : <https://www.vidal.fr/maladies/voies-respiratoires/bpco.html>
86. Robert L. Keith, Cancer du poumon, la manuelle ms diversion pour professionnels de la santé, (Juillier 2020) Disponible sur : <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/troubles-pulmonaires/tumeurs-pulmonaires/cancer-du-poumon>
87. Guendouz Amar. Sante : la façon dont la pollution atmosphérique déclenche le cancer du poumon trouve enfin une explication, (septembre 2022) Disponible sur : [https://www.francetvinfo.fr/sante/cancer/sante-la-facon-dont-la-pollution-atmospherique-declenche-le-cancer-du-poumon-trouve-enfin-une-explication\\_5353702.html](https://www.francetvinfo.fr/sante/cancer/sante-la-facon-dont-la-pollution-atmospherique-declenche-le-cancer-du-poumon-trouve-enfin-une-explication_5353702.html)
88. Quisefit.J-P, Gaudichet.A. Pollution de l'air : le lien avec certains cancers du poumon établi, TNF, (septembre 2022) Disponible sur : <https://www.tflinfo.fr/sante/video-avancee-scientifique-le-lien-entre-pollution-et-cancer-demontre-2232660.html>
89. Caroline B, Alix P. Pollution de l'air : le lien avec certains cancers du poumon établi, (septembre 2022) Disponible sur : <https://www.tflinfo.fr/sante/video-avancee-scientifique-le-lien-entre-pollution-et-cancer-demontre-2232660.html>
90. Juneau. M, l'impact dévastateur de la pollution atmosphérique sur la santé cardiovasculaire, Institut de cardiologie de Montréal, (Aout 2017) Disponible sur : <https://observatoireprevention.org/2017/08/24/limpact-devastateur-de-pollution-atmospherique-sante-cardiovasculaire/>
91. Ray. M, maladie neurologique : Qu'est-ce que c'est ? Futura-sciences, (Décembre 2015) Disponible sur : <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/cerveau-maladie-neurologique-15295/>
92. E. januel, B. stankoff, Impact de l'exposition à la pollution atmosphérique sur le risque de survenue et d'aggravation des maladies neurologiques, (mai 2019) Disponible sur : <https://www.edimark.fr/revues/la-lettre-du-neurologue/n-5-mai-2019/impact-de-l'exposition-a-la-pollution-atmospherique-sur-le-risque-de-survenue-et-daggravation-des-maladies-neurologiques-copy>
93. Al barakeh, Z. Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs– méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution. Thèse doctorat, spécialité: génie des procédés. Soutenue le 17 décembre à saint Etienne (2012).
94. Caplain, I. Mesures des émissions polluantes automobiles- Application à la modélisation eulérienne 3D de la formation des oxydants photochimiques dans la troposphère, thèse

doctorat soutenue 11 mai 2005 à Lille (France), spécialité « structure et dynamique des systèmes réactifs ». (2005).

- 95.** MEMA, Ministère de l'énergie et des Mines Autorité de Régulation des Hydrocarbures; Journée d'information sur la rationalisation de la consommation de carburant dans le secteur des transports routiers, (le 25 novembre 2009)
- 96.** European Environment Agency. Air quality in Europe: (reports). Copenhagen (2011)
- 97.** ONS : (Office national des statistiques Algérie) (consulté le 10 juin 2023)

Année universitaire : 2022-2023

Présenté par : KHEMIS Marwa  
DJAMAA Soundous  
LAOUAR Haoua

**Titre: L'impact du parc automobile sur la pollution urbaine évaluation et conséquence**

**Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Toxicologie**

**Résumé**

Ces dernières années, le monde a connu une augmentation remarquable du taux de pollution de l'environnement en raison de l'augmentation de l'activité humaine et du développement industriel qui émettent des polluants environnementaux.

Dans un premier temps, nous aborderons dans notre mémoire la problématique de la pollution de l'air en général, ainsi que les différentes sources et certains polluants et leur impact sur l'environnement, le cadre de vie, et les systèmes liés à leur mesure.

Nous poursuivons cette mémoire en décrivant les différents inventaires d'émissions existants, qui constituent un outil essentiel pour les études d'impact sur l'environnement et la santé publique. Ces travaux dans le domaine des transports visent également à évaluer les émissions de gaz polluants.

Le transport routier est l'une des plus grandes sources de pollution de l'environnement dans le monde, en particulier en Algérie, en raison de la demande accrue de véhicules pour faciliter le transport, et par conséquent, la pollution en Algérie a connu une augmentation significative.

.La ville de Constantine en particulier est un centre important qui reçoit un grand nombre de véhicules de différents types et âges, et la ville a connu une augmentation remarquable du nombre de voitures au cours des cinq dernières années, pour être parmi les premières villes à enregistrer une augmentation significative du nombre de véhicules, et c'est ce qui a entraîné une augmentation de la pollution dans la ville en raison des émissions atmosphériques excessives des véhicules.

**Mots-clefs :** Transport, parc automobile, prélèvement, stress oxydatif, pollution de l'air, toxicité des polluants, parc automobile de Constantine

**Laboratoire de recherche :** /

**Président du jury :** Dr. BOUBEKRI Nassima (MCA – Université de Constantine 1)  
**Rapporteur :** Pr. BELMAHI M.H (Chef de service toxicologie - CHU de Constantine)  
**Examinatrice :** Dr. HAMADOU Imene (MCB - Université de Constantine 1)