

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université « Abbes Laghrou » - Khenchela

Faculté des Sciences et Technologies

Département des Sciences de la Matière



N° de série :

Mémoire de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master(LMD)

Spécialité : Chimie

Option : Chimie analytique

L'origine de la pollution par l'ozone dans un milieu urbain

Réalisé par : BAKHOUCHE Rayan

HADFI Malika

Dirigé par : Dr. TROUCHE Ahmed

Membres de jury

Examineur : Dr. Hazil Nawel

Université Khenchela

Examineur : Dr.Badis Zakaria

Université Khenchela

Septembre 2021

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur : Mr. TROUCHE Ahmed pour nous avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité.

Enfin, nous remercions tous nos enseignants du département SM de l'université ABBES LAQHROUR KHECHELA, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à notre formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Résumé	
TABLE DES MATIERES.....	
Liste des figures:.....	
Liste des tableaux	
Introduction générale:.....	1

Chapitre I: La pollution atmosphérique

I.1 Définition de La pollution atmosphérique	3
I.2 Classification des polluants :	4
I.2.1 Classification des polluants atmosphériques selon leurs sources	4
I.2.1.1 les sources naturelles :	5
I.2.2 Les sources anthropiques.....	8
I.2.3 Classification des polluants selon leurs mécanismes de formation :.....	10
I.2.3.1 Les polluants primaires	11
I.2.3.2 Les polluants secondaires :	17
I.3 Echelles spatio-temporelles de pollution :	20
I.3.1• échelle locale	21
I.3.2• échelle régionale.....	21
I.3.3• échelle continentale.....	21
I.3.4 La pollution par l'ozone :	21
I.3.4.1 propriétés physiques et chimiques	21
I.3.4.2 Mécanismes de formation d'ozone :	22
I.3.4.3 Les effets de l'ozone sur la santé et l'environnement:	27
I.4 l'influence des paramètres météorologiques sur la formation et la dispersion de l'ozone dans l'air :	28
I.4.1 Le vent:	28
I.4.2 La température:	28
I.4.3 La pression:	28
I.4.4 L'humidité :	28
1.4.5 La nébulosité:.....	28
1.4.6 Les précipitations:	29
I.5 Les rétro trajectoires:.....	30

Chapitre II: Partie pratique

II-1 Localisation géographique de la baie de Bousmail	33
II-2 Variation journalière :	35
II.3 variation hebdomadaire:.....	35
II.4 Rose de pollution :	36
II.5 Le retro trajectoires	39
Conclusion générale :	41
Références bibliographiques:	43

Liste des figures :

Figure I.1: Décès prématurés imputables à l'exposition à l'ozone dans les zones urbaines en 2000 et 2030 (OECD, 2008).....	4
Figure I.2: Fumées industrielles	10
Figure I.3: Sources d'émission de SO ₂ durant l'année 2010. Source : CITEPA5	12
Figure I.4: Evolution des moyennes annuelles de SO ₂ en France dans des sites urbaines et industrielles. Source: BDQA ⁶	12
Figure I.5: Représentation schématique des principaux mécanismes impliqués dans la formation de l'O ₃ troposphérique. – Camredon and Aumont (2007).....	25
Figure II.6: (a) et (b).....	35
Figure II.7: (c) et (d).....	36

Liste des tableaux

Tableau II.1: Analyse statistique des résultats expérimentaux.....	33
Tableau II.2: Correlation is significant at the 0.05level (2-tailed)	34



Introduction générale

Introduction générale

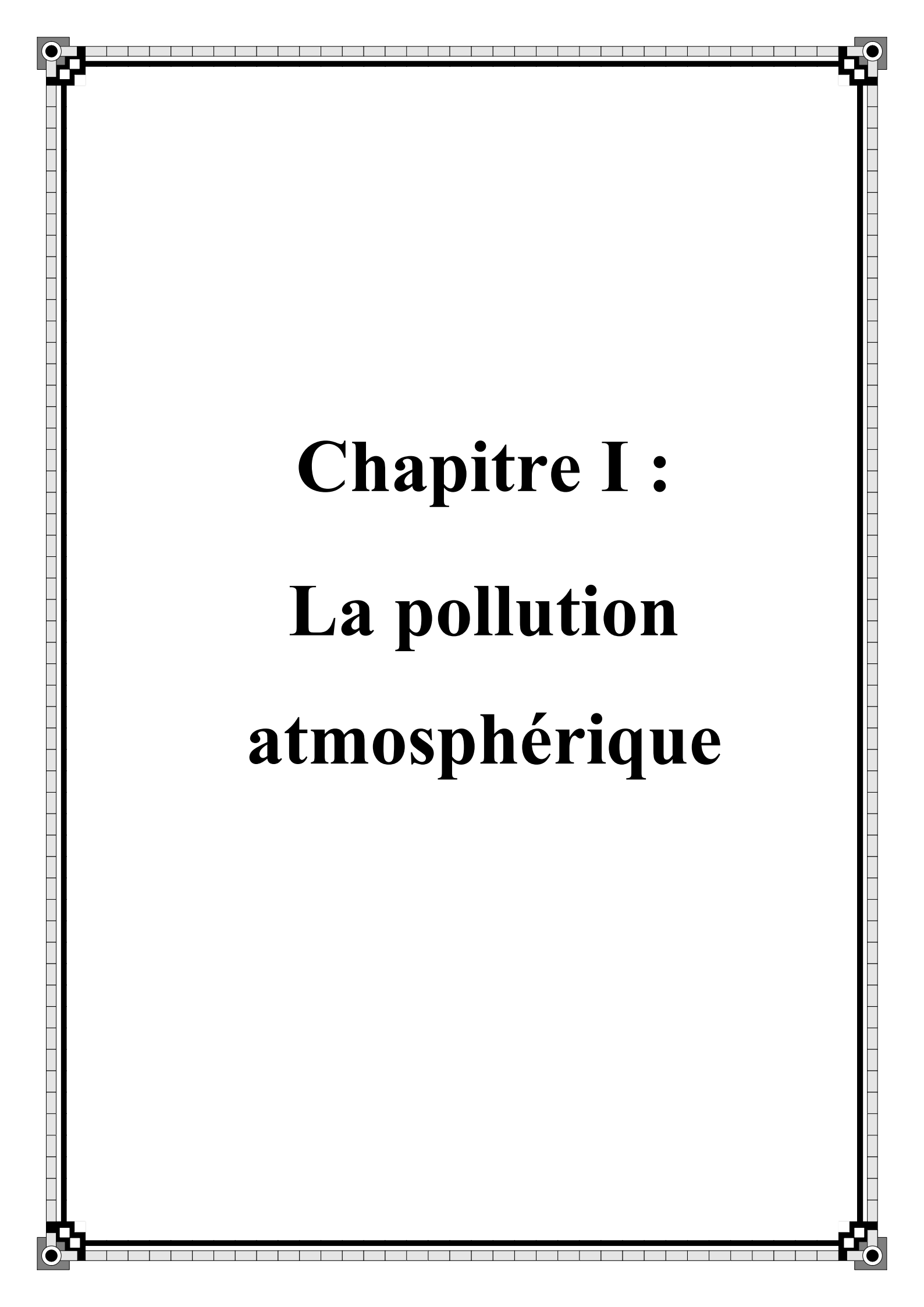
Introduction générale :

La pollution de l'air est un problème important d'hygiène du milieu, qui affecte les pays développés aussi bien que les pays en développement. Des quantités croissantes de gaz et de particules potentiellement nuisibles sont émises dans l'atmosphère et entraînent des dommages à la santé humaine à l'environnement.

L'ozone naturellement présent dans la troposphère, ce gaz est un polluant secondaire qui nécessite la présence de gaz précurseurs, tels que les oxydes d'azote et les composés organique volatils anthropiques ou biogéniques pour être produit en excès, sous l'impulsion d'un rayonnement ultraviolet intense, et dans des conditions météorologiques particulières de réactions photochimique ainsi l'ozone se concentre autour des grandes aires urbaines ou industrielles.

Ce gaz est considéré comme un polluant atmosphérique lorsqu'il est respiré par les organismes vivants. Etant un puissant oxydant ce gaz est un poison protoplasmique qui altère à court terme les fonction cellulaires et pulmonaires provoquant une irritation des yeux et des voies aériennes supérieures, entraînant la toux et des maux de tête, à plus long terme l'ozone pourrait induire de plus importantes conséquences sur la santé notamment sur la plan cardiovasculaire. De plus ses méfaits sur le monde végétal sont également sensibles; l'impact de ce photo-oxydant sur les plants de tabac constitue même une méthode de détection de l'ozone à partir de l'importance des taches couleur crème ou marron qui se développent sur les feuilles. L'ozone n'est pas directement émis par des processus naturels ou par des activités humaines.

Dans la troposphère sa production photochimique nécessite l'intervention de divers gaz en trace tels que des composés carbonés (monoxyde de carbone, méthane, hydrocarbures) et des composés azotés (oxydes d'azote, NO) ceux-ci, dits précurseurs d'ozone, sont émis dans l'atmosphère par la végétation, les sols ou des processus de combustion (biomasse, fossile). Les régions tropicales sont un terrain de jeu d'excellence pour l'ozone et la photochimie en général. Tout d'abord le fort rayonnement et les hautes températures des tropiques sont d'importantes régions sources de précurseurs d'ozone notamment à travers les émissions des feux de biomasse (feux de savane, feux de forêt) et aussi par la végétation, l'activité électrique et les sols les émissions anthropiques participent à une forte pollution urbaine locale dans les grandes villes.



Chapitre I :

La pollution

atmosphérique

I.1 Définition de La pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique peut être définie par la présence de polluants (gazeux ou particules) dans l'atmosphère, pouvant provoquer des effets nocifs sur l'environnement et la santé.[4] Les sources de cette pollution peuvent être soit naturelles (feu de forêt, éruption volcanique,...), soit anthropiques, c'est-à-dire liées à l'activité humaine.[20] Dans ce dernier cas, la pollution est souvent le résultat direct des progrès industriels de ces derniers siècles, comme par exemple l'émission continue et parfois sans précaution des polluants associés aux processus de combustion (véhicules automobiles, installations industrielles, production d'énergie par combustion...). Depuis quelques dizaines d'années, des études ont montré un lien entre la dégradation de l'environnement et de la santé humaine, et la présence de ces polluants dans l'atmosphère.[20, 21, 16, 11] . Ainsi, la pollution atmosphérique est considérée comme étant responsable d'environ 800 000 décès prématurés chaque année dans le monde. En exemple, la figure 1-1 présente l'évolution prévisionnelle des décès prématurés liés à l'excès d'ozone entre 2000 et 2030. Quelle que soit la zone géographique, la situation est déjà très inquiétante avec près de 8 à 15 décès prématurés imputés à la pollution atmosphérique par million d'habitants et par an, mais les prévisions à 20 ans sont très pessimistes avec en particulier une augmentation d'un facteur 10 dans la zone Asie.

L'accumulation de ces polluants est aussi à l'origine des phénomènes de pluies acides qui ont un impact très négatif sur la végétation ou encore du réchauffement terre.[4] Afin de bien cerner le contexte dans lequel ce travail se situe et de bien définir le cahier des charges de l'outil de diagnostic que nous proposons de développer, nous avons donc recensé dans le paragraphe suivant les polluants atmosphériques primaires ou secondaires, leurs sources, et la réglementation associée à l'échelle européenne le cas échéant.

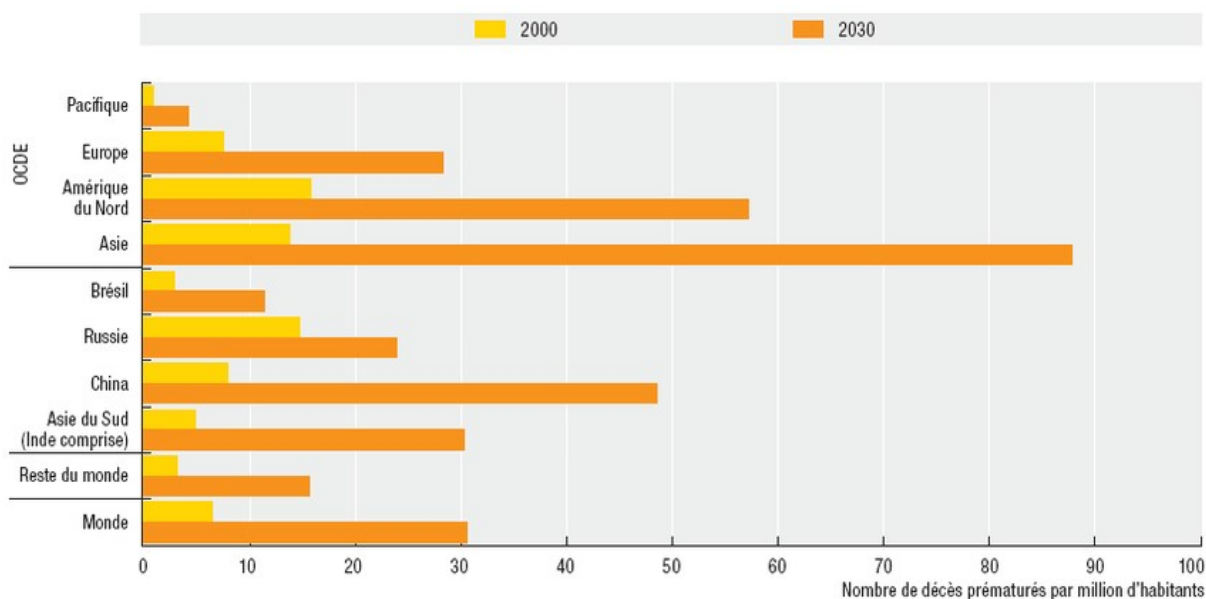


Figure I.1: Décès prématurés imputables à l'exposition à l'ozone dans les zones urbaines en 2000 et 2030 (OECD, 2008).

I.2 Classification des polluants :

I.2.1 Classification des polluants atmosphériques selon leurs sources

Les sources de polluants atmosphériques peuvent être divisées en 2 catégories : les sources anthropiques et les sources biogéniques.[4] Par définition, une source anthropique est une source de pollution liée à l'activité humaine ; elle se subdivise en 3 catégories : secteur industriel, secteur résidentiel et transport. Les sources biogéniques sont les sources associées aux émissions d'origines naturelles liées à la biosphère. L'agriculture est également une source de pollution majeure avec en particulier les engrais azotés ou encore l'élevage des animaux à l'origine de pollution par le méthane (produit par leur système digestif), et par l'ammoniac (issu de la transformation de l'urée).

Enfin, on intègre également dans les sources biogéniques les phénomènes naturels comme les nuages de cendres associées aux éruptions volcaniques. [4] Le caractère dangereux de ces polluants, a conduit l'Union Européenne à légiférer : des directives et des normes ont été mises en place pour limiter et contrôler les émissions polluantes des principales sources anthropiques et également permettre la surveillance des polluants réglementés avec des objectifs de qualité uniforme à l'échelle européenne.

I.2.1.1 Sources naturelles :

La pollution d'air naturelle, c'est une pollution qui est toujours avec nous. Tout d'abord, l'émission dans l'atmosphère de polluants gazeux ou particulaires peut être d'origine naturelle (volcans, érosion des roches, remise en suspension de poussières du sol, embruns marins, feux de brousse, ...). Elle génère par exemple du soufre, du dioxyde d'azote, du dioxyde de carbone, ...etc. Nous les classerions comme pollution d'air naturelle, qui est toujours été avec nous. Les sources naturelles de pollution de l'air sont définies comme sources ne causées pas par les gens dans leurs activités. Ces sources naturelles de pollution sont responsables, selon les estimations du "United Nations Environment Programme" de 1983 de l'émission de 80 à 288 millions de tonnes d'oxyde de soufre par an (contre 79 millions pour les sources anthropiques) et de 20 à 90 millions de tonnes d'oxydes d'azote par an (contre 22 millions pour les sources anthropiques) [14]. De plus, 10 à 15 % de l'ozone que l'on retrouve au niveau du sol est d'origine stratosphérique où il est formé par réaction photochimique de l'oxygène avec le rayonnement ultraviolet émis par le soleil. Chaque année, environ 400 milliards de tonnes de CO₂ sont dégagées [6].

❖ Transport lointain des aérosols

A l'échelle globale, les aérosols sont au cœur des préoccupations actuelles sur le changement climatique. Les études récentes ont démontré que la présence d'aérosols dans l'atmosphère modifiait de façon importante le bilan radiatif terrestre, soit en augmentant directement la quantité de lumière réfléchiée vers l'espace, soit en intervenant indirectement dans la formation des nuages et des précipitations. L'absorption et la diffusion du rayonnement solaire incident par les particules conduisent généralement à un refroidissement du système climatique pouvant compenser localement le forçage positif dû aux gaz à effet de serre.[13]

Aux niveaux régional et local, près des grandes agglomérations urbaines et industrielles, les aérosols sont responsables des épisodes de pollution particulaire ayant des répercussions sur la qualité de l'air et la visibilité, et par conséquent sur la santé humaine. De nombreuses études épidémiologiques confirment l'existence d'un lien fort entre les concentrations en aérosol et l'augmentation des maladies respiratoires et cardiovasculaires observée ces dernières années. Ainsi, les particules fines PM_{2,5} (de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm) ont été associées à un surcroît de mortalité d'environ 6500 victimes par an en France, bien

que les constituants de l'aérosol responsables de leur toxicité et les mécanismes d'action ne soient pas encore clairement identifiés.

Les aérosols ont également une influence sur la chimie atmosphérique. En raison de leurs effets sur le rayonnement, ils modifient les taux de photolyse et par conséquent la production de l'ozone. Ils peuvent jouer un rôle dans la création ou la destruction d'espèces gazeuses par réactions hétérogènes, en catalysant à leur surface des réactions chimiques

L'aérosol marin est produit principalement par l'éclatement des bulles d'air emprisonnées à la surface des océans sous l'action du vent. Cette production est directement liée à la vitesse du vent de surface, mais dépend également de l'état de la mer et de la température de surface. Deux sortes de gouttelettes sont ainsi projetées dans l'atmosphère : les gouttes de film et les gouttes de jet. Leur formation se produit principalement dans l'écume provoquée par le déferlement des vagues lorsque la vitesse du vent est supérieure à trois mètres par seconde. Le rayon des aérosols marins est généralement submicronique dans le cas des gouttes de film et compris entre 1 et 5 μm dans le cas des gouttes de jet. Lorsque le vent dépasse les 15 m/s, d'autres mécanismes de formation entrent en jeu, tels que l'écrêtement lors du déferlement des vagues, et produisent des particules de l'ordre de quelques dizaines de micromètres, jusqu'au millimètre. Du fait de leur grande taille, ces particules sont rapidement déposées par sédimentation et n'atteignent que rarement les côtes. [13].

❖ Les éruptions volcaniques

Les éruptions volcaniques possèdent des émissions nettement plus variables. Elles vont dépendre de la fréquence des éruptions diamètre généralement supérieur au micron, vont avoir une courte durée de vie dans l'atmosphère, sauf si la vitesse d'éjection leur permet d'atteindre la stratosphère. En revanche ces éruptions s'accompagnent volcaniques émettrices directes dans l'atmosphère de cendres volcaniques, qui se composent principalement de roches pulvérisées et de minéraux. Ces aérosols volcaniques primaires, L'oxydation dans l'atmosphère de ces gaz précurseurs conduit à la formation d'aérosols sulfatés submicroniques, qui selon l'altitude à laquelle ils sont émis vont avoir des durées de vie de quelques semaines (troposphère) à plusieurs mois voire années (stratosphère) .[6].

❖ Les aérosols biologiques

La biosphère émet un certain nombre d'aérosols primaires, dont les spores émis à hauteur de 30 Tg/an et les pollens, qui correspondent à des aérosols relativement grossiers, avec des tailles comprises entre 1 et 100 μm . Les bactéries et virus sont également considérés comme des particules biogéniques, leur diamètre pouvant varier de quelques nanomètres à plusieurs microns pour les plus grosses bactéries, ces dernières correspondant à des émissions de 40 à 1 800 G g/an. Les émissions des embruns marins au niveau des océans peuvent également entraîner une mise en suspension de matériel organique, lié aux activités biologiques marines, résultant en des émissions d'aérosols organiques submicroniques primaires.[17] Ces émissions participent à des émissions annuelles totales en aérosols biogéniques primaires de l'ordre de 1 000 Tg. Ces sources terrestres et océaniques sont également à l'origine d'émissions de gaz précurseurs : en effet la végétation (plantes et algues) émet dans l'atmosphère des quantités importantes de composés organiques volatils (COV) ainsi que des quantités plus modérées d'oxydes d'azote (NO_x). On notera qu'en plus de ces composés certaines activités planctoniques émettent du diméthyl -sulfure (DMS). Les terpènes sont des COV principalement émis par les plantes avec des émissions annuelles pouvant aller de 40 à 400 Tg. Dans une étude de 2014, les émissions globales en COV biogéniques ont été estimées à 760 Tg/an. [31] L'oxydation de ces précurseurs résulte en la formation d'aérosols secondaires submicroniques de nature organique, soufrée et azotée.[29]

❖ Les feux de végétation :

Les feux de végétation peuvent contribuer fortement à l'apport en particules dans l'atmosphère à l'échelle globale. Outre les gaz traces émis par les émissions de feux (comme principalement le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone, mais aussi le méthane et les composés organiques volatiles), la matière particulaire émise est majoritairement constituée de particules fines. Ces émissions induisent un forçage radiatif à l'échelle régionale et pendant les périodes de feux importants. Ces forçages peuvent atteindre des valeurs très forte a montré par exemple que les panaches provenant des feux intenses pendant l'été 2003 au Portugal ont augmenté le forçage radiatif dû à l'absorption par les particules carbonées de +10 à +35 W m^{-2} , sur une grande partie de l'Europe. L'étude de Péré et al. (2014) [26] montre quant à elle que les feux de Moscou (août 2010) ont diminué le rayonnement solaire direct atteignant la surface de 80 à 150 W m^{-2} en Europe de l'Est, refroidissant les masses d'air en surface jusqu'à 2.6°C. Avec l'impact climatique, les émissions de particules ont aussi un effet sur la qualité de l'air puisque l'augmentation des concentrations de particules fines dû à un

évènement de feu peut être très intense : à titre d'exemple, lors des feux ayant eu lieu en Grèce en août 2007, la concentration moyenne journalière de PM10 a atteint $96 \mu\text{g m}^{-3}$, avec plusieurs jours où le seuil imposé par la directive européenne a été dépassés. A Sydney, la majorité des dépassements du seuil de PM10 (défini par le NEPC) est attribué aux feux de végétation. [12].

I.2.2 Les sources anthropiques

Les risques de modification du climat de la planète et la détérioration de l'environnement par l'activité humaine sont désormais bien connus. Tout commence par une constatation qui ne souffre aucune ambiguïté : depuis le début de l'ère industrielle, la composition chimique de l'atmosphère a subi une évolution brutale, sans précédent au cours des derniers milliers d'années. Cette constatation résulte de mesures qui ont été faites soit dans des bulles d'air emprisonnées par les glaciers (pour les climats anciens), soit plus directement à partir d'un réseau planétaire qui est allé en s'étoffant au cours des dernières décennies.[5] La teneur en dioxyde de carbone, dont la valeur au cours des 400.000 dernières années avait oscillé entre 180 ppm et 280 ppm a brusquement dépassé 360 ppm.[27] D'après l'UNEP (United Nations Environnement Programme), en 1992, les industries des 50 principaux pays émetteurs de CO2 ont libéré plus de 20 milliards de tonnes de ce gaz dans l'atmosphère (Les Etats-Unis arrivent en tête avec 4,88 milliards de tonnes, la France est en 11ème position avec 362 millions de tonnes. [10 Mais les conséquences les plus immédiates de cette pollution anthropique se rencontrent au niveau local et affectent le bien-être d'une grande part de la population mondiale qui vit en milieu urbain.[6].

❖ Le transport routier :

La pollution due aux transports a longtemps été considérée comme un problème de proximité, essentiellement perçue dans les villes en raison de la densité du trafic. Aujourd'hui, on sait que les transports, essentiellement routiers et en particulier l'automobile, sont une source de pollution importante. Les moteurs à explosion sont ainsi de très loin la première cause d'émissions d'oxydes d'azote et de divers hydrocarbures. Les moteurs diesels, moins polluants pour ce qui concerne ce dernier type d'émissions, sont en revanche à l'origine de particules et de dioxyde de soufre. La contribution des transports à la pollution ne cesse de s'accroître du fait de l'augmentation du trafic directement liée à l'évolution économique, en dépit des nombreux progrès technologiques réalisés au cours des dernières années. Le poids de l'opinion publique peut certes jouer avec autant de force sur les grands choix de sociétés

relatifs aux transports (modification des habitudes de déplacement , développement des transports collectifs ...etc.) mais rien n'est moins sûr car les rapports entre citoyens et thèmes environnementaux sont ambigus, tant qu'il s'agit de développer des idées nobles et généreuses à l'échelle de la planète le consensus environnemental est fort, par contre dès que les propositions écologistes touchent aux intérêts financiers et aux modes de vie auxquels sont attachés les citoyens le soutien disparaît [28]

❖ Les déchets

Les déchets sont considérés comme l'une des plus grandes sources de pollution. Qu'ils soient abandonnés dans une décharge ou incinérés, par leur décomposition ils sont producteurs de plusieurs polluants, tels que le méthane, l'acide chlorhydrique, les métaux lourds, les dioxines et les furanes [28]

❖ L'agriculture

L'agriculture contribue également à la pollution atmosphérique. Ses émissions (essentiellement l'ammoniac, le méthane, le protoxyde d'azote, le monoxyde de carbone et les produits phytosanitaires) sont liées à la décomposition des matières organiques et à l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires.

Les sources domestiques de pollution atmosphérique sont également nombreuses et impliquent une responsabilité de la société vis-à-vis de la salubrité des locaux.

❖ L'industrie

L'intérêt des populations moderne est sur l'industrie pour produire leurs besoins a résulté en transfert des sources de la pollution de l'individu à industrie. La pollution industrielle est aussi émis par l'industrie qui convertit des produits à autre produits— (1) corps d'automobile d'acier, (2) peinture des solides et dissolvants.[34] Chacun de ces processus industriels produit des polluants. Parfois, une partie ou tous les polluants peut remis et converti à un produit utilisable. Les sources industrielles sont stationnaires, et chacune émit relativement des différentes qualités et quantités des polluants. Par exemple, la fabrication du papier, sera dans La même place demain qu'aujourd'hui, en émettant la même quantité de et les mêmes genres des polluants sans aucun changement de processus. Le Contrôle des sources industrielles peut être accomplir habituellement en appliquant une technologie connue. Le contrôle régulateur le plus efficace est si appliqué uniformément dans tous les segments d'industries dans une région donnée, par exemple, " Émission de tous les sécheurs de la plante de l'asphalte dans tel région

ne dépassera pas 230 mg de particules par mètre cube d'air sec." On peut prendre comme exemple une combustion d'origine humaine : fumées industrielles (fig1 .4) [6].



Figure I.2: Fumées industrielles

I.2.3 Classification des polluants selon leurs mécanismes de formation :

Les principaux polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles bien distinctes : les polluants primaires (SO_2 , PS, NO_x , COV, CO,...etc.) et les polluants secondaires (O_3 ,...etc.). Les polluants primaires sont directement issus des sources de pollution alors que les polluants secondaires résultent des phénomènes de dispersion et de transformations photochimiques dans l'environnement. Les polluants primaires, émis directement, et les polluants secondaires, tels que l'Ozone, qui sont issus de la transformation chimique des polluants primaires dans l'atmosphère. En hiver, la pollution atmosphérique est essentiellement due aux polluants primaires. En été, elle est beaucoup plus intense avec un mélange de polluants, différent de celui d'hiver. Les polluants secondaires dits photo-oxydants se forment par action du rayonnement solaire sur les polluants Précurseurs que sont principalement le dioxyde d'azote NO_2 et les composés organiques volatils COV. Les polluants primaires et secondaires sont plus ou moins nuisibles à la santé humaine, selon leur concentration dans l'air, et à la sensibilité de l'individu. Par conséquent, les législations nationales et internationales existent afin de réguler et contrôler la quantité de pollution émise dans l'atmosphère, et afin de s'assurer que les objectifs pour améliorer la qualité ambiante de l'air soient atteints. Ils peuvent être gazeuses ou solides. Leur présence modifie les

caractéristiques physico" Chimiques de l'atmosphère, origine de la pollution. La nocivité des différentes substances est liée soit à leurs caractéristiques intrinsèques soit à celles des substances adsorbées ("collées" à la surface des particules). Elle est liée à la concentration en polluant et à la durée d'exposition de la cible au produit. Toutefois il ne faut pas négliger les effets à long terme liés à une accumulation par exposition chronique ou les effets de synergie liés à l'exposition à plusieurs substances simultanément [2].

1.2.3.1 Les polluants primaires

Les polluants peuvent être classés comme primaires ou secondaires. Par définition, les polluants primaires sont ceux qui proviennent directement d'une source polluante identifiée, tels que le monoxyde de carbone provenant des processus de combustion et présent dans les gaz d'échappement des voitures, le dioxyde de soufre provenant de l'industrie [20]... Les polluants secondaires ne sont pas émis directement par des sources connues et identifiées. Au contraire, ils se forment dans l'air à la suite de réactions mettant en jeu les composés émis par les sources primaires, notamment lors d'épisodes météorologiques particuliers. Un exemple majeur de polluant secondaire est l'ozone troposphérique, un des nombreux polluants secondaires qui forment le smog photochimique, mais on peut citer aussi les NPA (nitrates de peroxyacétyle) ou encore les COV (composé organiques volatiles) dits «COV secondaires».[2].

❖ Les oxydes de Soufre (SO₂) :

Ce gaz est produit naturellement par les volcans, il peut également être produit par différents procédés industriels comme les industries métallurgiques et les raffineries de pétrole. Ce gaz, toxique pour tous les êtres vivants, aide à la création des particules (aérosols sulfuriques) qui empêchent les rayons solaires d'atteindre la terre, ainsi il joue un rôle de refroidissant de la planète [25] Conformément aux directives européennes, une surveillance des principales installations industrielles a été mise en place au cours des années 80 et la mise en œuvre de disposition de réduction à la source a permis une baisse drastique des émissions du SO₂ dans l'atmosphère. La figure 1-2 présente les différentes sources d'émissions de SO₂ enregistrées pendant l'année 2010, nous remarquons que 84% des émissions sont produites par la production d'énergie et le secteur industriel.

Ainsi, compte tenu de l'ensemble des réglementations mises en place, des concentrations qui restent relativement faibles de ce gaz peuvent être détectées aux alentours de certains sites industriels. La figure 1-3 montre les évolutions des moyennes annuelles de

SO₂ en France dans les différents sites urbains et industriels. Nous remarquons d’une part que les concentrations ambiantes sont en baisse constante depuis les années 2000 et d’autre part que les concentrations moyennes en SO₂ sont toujours plus élevées en sites industriels qu’en sites urbains. Ce gaz peut ainsi être considéré comme traceur potentiel des émissions d’origine industrielle. [2].

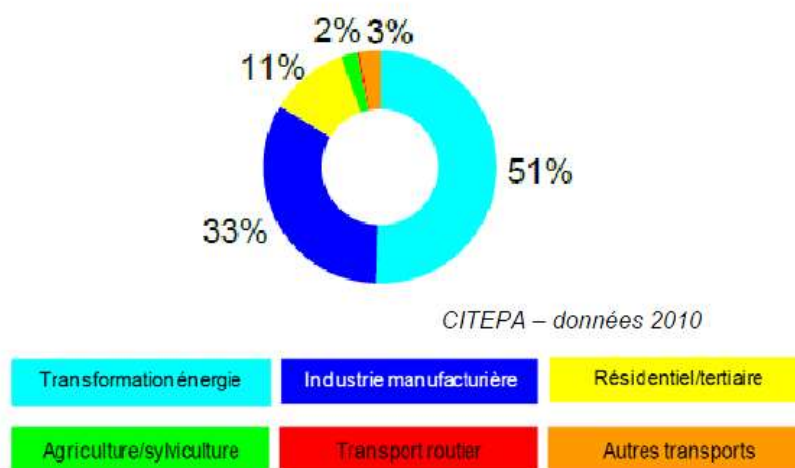
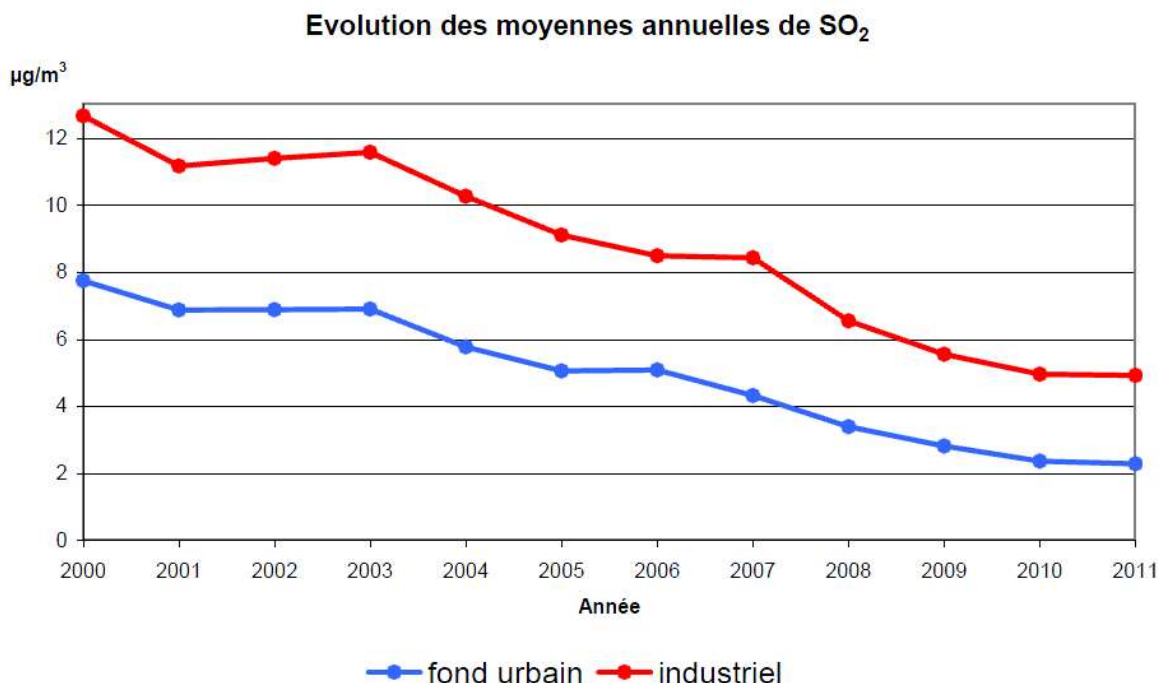


Figure I.3: Sources d’émission de SO₂ durant l’année 2010. Source : CITEPA5



Source : Base de données nationale de la qualité de l’air

Figure I.4: Evolution des moyennes annuelles de SO₂ en France dans des sites urbaines et industrielles. Source : BDQA⁶

❖ Les oxydes d'azote (NO_x) :

Les oxydes d'azote se présentent sous plusieurs formes chimiques. Les mesures d'Atmo Auvergne concernent uniquement le NO (monoxyde d'azote) et le NO₂ (dioxyde d'azote).

Le NO et le NO₂ sont principalement émis par les automobiles (68 % en Auvergne), l'agriculture et la sylviculture (16 %) et par les installations de combustion (centrales thermiques, usines de traitement des déchets...). Lorsque le NO est directement émis, il se transforme en NO₂ en présence d'O₂, d'O₃, de C.O.V.... Le NO₂ est également un précurseur de l'ozone lorsque les conditions météorologiques le permettent (action photochimique du soleil) ; c'est pourquoi il est mesuré aussi bien en zone urbaine que rurale.

Dans les agglomérations clermontoise et aurillacoise, le transport routier représente 75% des émissions de NO_x. Pour Montluçon et Le Puy-en-Velay, il s'élève à 65 %. Le NO₂ est plus toxique que le NO et fait donc l'objet de normes. C'est un gaz irritant, provoquant des troubles respiratoires et des irritations des poumons. Il perturbe également le transport de l'O₂ dans le sang en l'empêchant de se lier à l'hémoglobine. Enfin, le NO₂ accroît la sensibilité aux virus. [7]

❖ Le monoxyde de carbone (CO) :

Il résulte de la combustion incomplète des combustibles fossiles (charbons, fuels, ...). Ce gaz est toxique (pour les êtres vivants) et peut causer des asphyxies mortelles à hautes concentrations. Il est considéré comme l'un des composés principaux dans la problématique de la qualité de l'air intérieur, l'AFSSET⁴ a introduit une valeur guide de 100 mg/m³ pour une exposition de 15 min en CO comme une valeur limite de cette espèce au sens de la qualité de l'air intérieur. Pour ce qui concerne l'air extérieur, la Directive Européenne 2008/50/CE indique une valeur limite de 10 mg/m³ pour un maximum journalier sur 8 heures. On trouve ce gaz en abondance dans les villes et aux abords des autoroutes à cause des véhicules à moteurs à combustion. Cela en fait un des traceurs de la pollution atmosphérique de type trafic.

❖ Le dioxyde de carbone CO₂ :

Origine : Combustion incomplète de produits fossiles (industries, transports), Le CO₂ atmosphérique provient essentiellement de la respiration ou de la fermentation des êtres vivants, de la précipitation des carbonates dans les océans, de l'altération des silicates sur les continents et du volcanisme. L'augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère est

essentiellement due aux activités humaines : la combustion des énergies fossiles, la déforestation et les changements d'affectation des sols. Gaz non toxique, il est naturellement présent dans l'air atmosphérique. Seule sa concentration excessive, due à l'utilisation des combustibles fossiles, est dangereuse parce qu'elle accroît l'effet de serre. Le Dioxyde de carbone ou Gaz carbonique, gaz incolore, inodore, dont la molécule est formée d'un atome de carbone relié à deux atomes d'oxygène (CO_2) par deux doubles liaisons. L'atmosphère contient des quantités variables de dioxyde de carbone, généralement de 3 à 4 parties pour 10 000 et cette valeur est en augmentation de 0,4 % par an. Le gaz carbonique est utilisé par les plantes vertes dans un procédé 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. Il est soluble dans l'eau à raison de 0,9 volume pour 1 volume d'eau, à 20°C. Le dioxyde de carbone peut être obtenu de différentes façons : par combustion ou oxydation de composés contenant du carbone, tels que le charbon, le bois, le pétrole, les huiles ou les aliments ; par la fermentation de sucres ; par la décomposition de carbonates sous l'effet de la chaleur ou d'acides. Industriellement, le dioxyde de carbone est récupéré des gaz dégagés par les hauts-fourneaux, des procédés de fermentation, de la réaction des acides sur les carbonates, et de la vapeur d'eau sur le gaz naturel, étape du procédé industriel de production de l'ammoniac [6]. La présence de dioxyde de carbone dans le sang stimule la respiration. Ce gaz est ajouté pour cette raison à l'oxygène ou à l'air pour la respiration artificielle, ainsi que dans les gaz utilisés en anesthésie. Le CO_2 est le principal responsable de l'effet de serre. La concentration moyenne en CO_2 dans l'environnement, loin de toute agglomération ou de toute source locale de pollution, est de 300 ppm. Dans les villes, où sont concentrées des sources fixes et mobiles, la teneur en CO_2 peut dépasser 600 ppm. Les premières manifestations sur l'homme apparaissent lors de l'inhalation d'une atmosphère contenant 2% de CO_2 (augmentation de l'amplitude respiratoire) et s'aggravent pour des concentrations plus importantes. Toutefois, la principale préoccupation liée au CO_2 en matière de pollution est l'effet de serre qu'il engendre. On considère que le CO_2 est responsable de la moitié de l'effet de serre, les autres gaz mis en cause étant le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O), les chlorofluorocarbones (CFC) et l'ozone troposphérique (O_3).

L'augmentation de l'effet de serre par l'émission massive de CO_2 notamment, entraîne un réchauffement du climat à l'échelle planétaire, ce qui peut avoir de graves conséquences humaines, socio-économiques et écologiques.

❖ Les hydrocarbures et les composés organiques volatils (COV) :

Origine : Les composés organiques volatils (hydrocarbures, solvants...) proviennent notamment des sources mobiles et de procédés industriels tels que le raffinage du pétrole, le dégraissage des métaux, l'application de peintures et de vernis, l'imprimerie....etc. Chauffées par le soleil, les feuilles de certains végétaux des forêts de conifères et des zones humides exhale des substances constituées d'une agglomération de molécules d'hydrocarbures lourds et de composés oxygénés, Les émissions naturelles d'hydrocarbures dans l'atmosphère (environ 1 milliard de tonnes par an dans le monde) constituent une part très importante des émissions totales de composés organiques volatils (COV) et seraient dix fois supérieures à celles des hydrocarbures d'origine anthropique. Les hydrocarbures sont émis par les automobiles (présence d'hydrocarbures imbrûlés à la sortie du pot d'échappement), et par certaines activités telles que l'utilisation de solvants et de colles, les raffineries et unités pétrochimiques, le stockage et la distribution d'hydrocarbures, le traitement des déchets... etc. Ils sont dégagés par les incinérateurs, les pots d'échappement, la fumée de cigarette, les feux de bois, les climatiseurs, le stockage et l'évacuation des déchets, certains mobiliers et revêtements de sol et de murs, des tissus, des cosmétiques, des produits d'entretien, la cuisine, les activités de bureau et de bricolage...etc. Les composés organiques volatils (COV) sont des substances dont la tension de vapeur à température ambiante est suffisamment élevée pour être presque totalement à l'état de vapeur. Ils constituent une famille de polluants d'une forte diversité et d'une grande complexité. Ils se différencient des hydrocarbures par le fait qu'ils comportent, en plus des atomes de carbone et d'hydrogène (constituants uniques des hydrocarbures), d'autres atomes divers et variés (chlore, oxygène, soufre, azote...). C'est pour cette raison qu'on les qualifie de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). Dans les COV, on trouve donc : solvants, hydrocarbures (HC), Chloro Fluoro Carbones (CFC), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), Composés Organiques Soufrés (COS), Composés Organiques Oxygénés (esters, cétones, alcools), amines, etc. En France, les émissions anthropiques de COV ont été estimées à 2 866 milliers de tonnes en 1990, dont 30 % environ étaient imputables aux activités industrielles. Les COV interviennent dans le phénomène de pollution photochimique en réagissant avec les oxydes d'azote sous l'action des rayons ultraviolets pour former l'ozone troposphérique (O₃). Outre les combinaisons polluantes qu'ils peuvent donner dans l'atmosphère, ils peuvent également avoir une action irritante et être à l'origine de troubles neuro-digestifs. Les effets de COV sont très variables selon la nature du polluant envisagé. Ils vont d'un certain gêne olfactif à des effets mutagènes et cancérogènes (benzène, certains HAP), en passant par des irritations diverses et une

diminution de la capacité respiratoire. Les COV jouent un rôle majeur dans les mécanismes complexes de formation de l'ozone dans la basse atmosphère (troposphère). Ils interviennent également dans le processus de l'effet de serre et du "trou d'ozone". [6]

❖ Les particules en suspension

L'origine: Le volcanisme est à l'origine de l'injection de masses considérables de particules dans l'atmosphère, créant des nuages de cendres qui résultent de la pulvérisation de laves au cours d'explosions violentes, L'érosion éolienne est également source de poussières, lors des tempêtes de sable par exemple, Les feux de forêts ou de prairies, dont la foudre est souvent la cause naturelle, peuvent s'étendre sur des centaines, voire des milliers d'hectares et engendrer des nuages de fumées qui parcourent parfois plusieurs centaines de kilomètres. Elles proviennent soit des combustions (suies par exemple), soit de certains procédés industriels (cimenteries, fabrication d'engrais...), soit de la circulation automobile (véhicules diesel essentiellement). L'érosion éolienne, renforcée par la présence de grandes plaines cultivées, peut être source de poussières. Les particules en suspension dans l'air regroupent les poussières et les fumées noires. On distingue les PM10, particules de diamètre < 10 microns, et les PM2,5 de diamètre < 2,5 microns. Ces particules représentent des noyaux de condensation et peuvent être le support d'autres polluants (le dioxyde de soufre et les hydrocarbures aromatiques polycycliques par exemple). Ces particules, comprennent des liquides et des solides de très petite taille 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 (p.ex. : poussière, pollen, suie de diesel fumée), tandis que les particules fines (moins de 2,5 microns) sont formées directement par réaction chimique impliquant les NOx, le SO₂, la vapeur d'eau, les COV et l'hydroxyde d'ammonium. Les matières particulaires constituent l'un des principaux composants du smog, mais ils ne contribuent pas à l'effet de serre. Les PM10 sont un mélange physico-chimique complexe. Elles sont faites de composants d'émissions primaires et de composants de formation secondaire d'origine naturelle ou anthropique. Les particules primaires sont formées par les processus de combustion, par l'usure des pneus et des freins, par le tourbillonnement des poussières, etc. Les particules secondaires sont formées par des processus chimiques à partir de gaz précurseurs (SO₂, NOx, COV, etc.). [6]

Les nombreuses études concernant les problèmes de pollution atmosphérique effectuées ces dernières années ont mis en évidence, au côté des polluants gazeux classiques (SO₂, NOx, Ozone), le rôle important de la fraction particulaire solide et ses effets sur la santé humaine

(Problèmes respiratoires, cardio-vasculaires et possibilités de cancer). Les effets nocifs des particules chez 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 les diesels se situent principalement dans la gamme des fines particules de 0,1 à 0,3 microns, dont environ 60% se déposent dans le poumon profond. Le tabac est lui aussi une source importante de particules. Sous le nom de particules sont regroupées les poussières, les envols provenant de la combustion, la condensation de vapeurs de métaux, les particules de suie, de goudron, de fumée... Dans les zones urbaines, les concentrations moyennes de particules mesurées annuellement sont de 10 à 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$, dans les zones rurales, elles vont de 0 à 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Pendant les épisodes de pollution, les niveaux de particules en suspension mesurés peuvent atteindre plusieurs centaines de microgrammes par mètre cube.

I.2.3.2 Les polluants secondaires :

Ces polluants primaires peuvent se transformer dans la basse atmosphère, sous l'action des rayons solaires et de la chaleur, en polluants dits secondaires tels que l'ozone et autres polluants photochimiques (les PAN ou nitrates de peroxyacétyle, aldéhydes, cétones, etc.). Ces composés constituent le smog photochimique, donnant naissance à ce nuage brunâtre qui stagne parfois au-dessus des grandes villes. La formation de polluants secondaires nécessite un certain temps durant lequel les masses d'air se déplacent. Ce qui explique pourquoi les pointes de polluants secondaires concernent des territoires souvent plus étendus que les pointes de polluants primaires.

❖ Polluants photochimiques (pollution photo-oxydante)

La pollution photochimique (ou pollution photo-oxydante) est un ensemble de phénomènes complexes qui conduisent à la formation d'ozone et d'autres composés oxydants (peroxyde d'hydrogène, aldéhydes, peroxy acétyl nitrate ou PAN) à partir de polluants primaires (appelés précurseurs). Ces phénomènes ont lieu dans les couches d'air proches du sol et dans la troposphère libre.

La pollution photochimique désigne un mélange complexe de polluants formés chimiquement dans l'air, sous l'effet du rayonnement solaire, à partir de composés précurseurs émis par des sources naturelles et les activités humaines (oxydes d'azote (NO_x), composés organiques volatils (COV), monoxyde de carbone (CO)). Le principal polluant photochimique est l'ozone (O_3). Cette pollution atmosphérique riche en ozone est appelée smog.

❖ L'ozone (O₃)

Origine : C'est un polluant secondaire se formant sous l'effet catalyseur du rayonnement solaire à partir des polluants d'origines industrielle et automobile. On considère ici l'O₃ présent dans les dix premiers kilomètres de l'atmosphère, à différencier de l'O₃ stratosphérique (10 - 20 km) qui protège la terre des rayons ultraviolets du soleil et constituant la couche d'O₃. On peut l'obtenir sous l'action du rayonnement ultraviolet sur l'oxygène en présence de NO_x et COV.

L'ozone est une forme instable de l'oxygène, produite sous l'effet des décharges et des étincelles électriques ainsi que par la lumière ultraviolette. L'azote de l'air peut également intervenir dans ces phénomènes électriques et être transformé en oxydes d'azote.

L'ozone se décompose lentement, mais il constitue en même temps un agent oxydant puissant, qui pourra affecter beaucoup de matières organiques. Il intervient dans beaucoup d'applications industrielles dont le blanchiment et la stérilisation. Il est fortement toxique et possède une odeur caractéristique. N'est pas un polluant primaire (émis directement par une source) mais secondaire (résultant de l'interaction physico-chimique de composés anthropiques et de facteurs naturels).

L'ozone est une des variétés stables de l'oxygène. Il joue un rôle important dans l'atmosphère en filtrant les rayonnements solaires ultraviolets (240 nm < λ < 300 nm), extrêmement dangereux pour les végétaux et les êtres vivants. Cet ozone stratosphérique est bénéfique et se concentre à 90% à une altitude de 20 à 50 km (avec une concentration maximale de 5 à 6 ppmv à 25 km d'altitude) ou il est responsable du "réchauffement" de l'atmosphère à 0°C environ. Pour apprécier les quantités d'ozone présentes dans l'atmosphère, deux méthodes sont utilisées en considérant, soit les "concentrations locales", exprimées en pressions partielles, soit les "intégrales verticales de colonnes infinies" exprimées en épaisseur réduite aux conditions normales de température et de pression.

L'épaisseur réduite de l'ozone stratosphérique est de 1 à 4 mm L'ozone stratosphérique se forme à la suite de la dissociation d'une molécule d'oxygène par l'action des radiations solaires (λ < 250 nm). L'atome O, radical libre ainsi formé, s'associe alors à une molécule d'oxygène [7] :



L'ozone troposphérique est l'un des principaux composants du smog. Vu que la réaction qui produit l'ozone s'accélère à des températures élevées, le réchauffement de la planète devrait accroître les concentrations d'ozone troposphérique et créer encore davantage de smog. L'ozone troposphérique n'est pas un gaz à effet de serre.

❖ Peroxy-acyl-nitrates (PAN)

Origine : Ils se forment dans les atmosphères urbaines par réactions photochimiques complexes entre divers polluants : oxydes d'azote, ozone et hydrocarbures. Ce sont des composés organiques du groupe des photo-oxydants. Peroxyacétylnitrates (PAN) sont des polluants qui se forment dans les environnements urbains des régions chaudes et ensoleillées. Engendrés par des réactions photochimiques intervenant entre l'oxygène (O₂), les oxydes d'azote (NO, NO₂) et les produits issus de combustions incomplètes, les PAN sont de puissants oxydants. Bien qu'ils se trouvent essentiellement dans les smogs (brouillard photochimique), les PAN sont aussi présents à l'intérieur des bâtiments où ils sont transportés par les échanges d'air. Toutefois, ils se décomposent rapidement au contact des substances alcalines, notamment les céramiques constitutives des bâtiments ou des artefacts.[6]

❖ Les polluants acides

La pollution acide liée aux polluants acides (SO₂, NO_x, NH₃, HCl, HF) émis par les activités humaines qui retombent en partie à proximité des sources, mais aussi à des centaines, voire des milliers de kilomètres de leurs sources émettrices. Ces polluants retombent sous forme de retombées sèches ou humides. Pendant le transport, ces polluants se transforment. Les phénomènes de pollution acide à grande échelle ont été mis en évidence par l'acidification des eaux des lacs Scandinaves et Canadiens. Le pH des eaux est devenu acide entraînant des modifications importantes de la faune piscicole. Certaines pluies ont un pH compris entre 3 et 4 alors que l'eau pure a un pH de 5,6. Les retombées acides ont des effets sur les matériaux, les écosystèmes forestiers et les écosystèmes (Terme désignant l'ensemble des éléments vivants et non vivants qui constituent un milieu naturel et interagissent les uns avec les autres) d'eau douce. .[6]

❖ Les sulfates (SO₄²⁻)

Origine : Les sulfates se forment en permanence dans l'atmosphère par oxydation de dérivés du soufre et réagissent ensuite avec l'ammoniac et divers cation métalliques présents dans l'air.

Ce sont des anions qui constituent la forme biogéochimique du soufre la plus répandue dans les écosystèmes. Le dioxyde de soufre (SO₂) est l'un des principaux polluants en cause dans la formation des pluies acides. Il s'oxyde dans l'air en sulfates dans le cas où l'atmosphère est sèche, ainsi qu'en acide sulfurique (H₂SO₄) dans le cas où l'atmosphère est humide. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émission [6].

❖ **Les nitrates (NO₃⁻) :**

Origine : Les combustions produisent de l'oxyde nitreux et du peroxyde d'azote, à partir desquels se forment d'importantes quantités de nitrates dans l'atmosphère. Les oxydes se transforment ensuite spontanément en anhydride nitrique qui, en se combinant avec l'ammoniac présent dans l'air, engendre du nitrate d'ammonium. L'acide nitrique produit en excès est entraîné par les précipitations, contribuant ainsi au phénomène des pluies acides. Sont des sels minéraux de l'acide nitrique, les nitrates sont des éléments nutritifs essentiels pour les végétaux. Sont des substances chimiques naturelles qui entrent dans le cycle de l'azote. Le nitrate est beaucoup utilisé dans les engrais inorganiques et les explosifs, comme agent de conservation des aliments et comme substance chimique brute dans divers procédés industriels. Le nitrate représente la plus stable des deux formes de l'azote, mais il peut être réduit en nitrite, qui est la forme la plus toxique. Il est présent à l'état naturel partout dans l'environnement. Il est le produit de l'oxydation de l'azote de l'atmosphère (représente 78%) par les microorganismes des plantes, du sol ou de l'eau et, dans une moindre mesure, par les décharges électriques comme la foudre.

La concentration de nitrates dans les eaux souterraines et les eaux de surface est faible, mais elle peut atteindre des niveaux élevés à cause du lessivage des terres cultivées ou de la contamination par des déchets d'origine humaine ou animale. Le nitrate est moins toxique que les autres formes de l'azote, comme le nitrite et l'ammoniaque. [6]

I.3 Echelles spatio-temporelles de la pollution atmosphérique :

Les applications de la météorologie au problème de la pollution de l'air, problème dont l'importance s'accroît sans cesse, imposent d'envisager la question en fonction de l'échelle de dispersion des polluants en cause.

Schématiquement, la pollution en un point donné est la résultante de phénomènes relatifs à trois échelles, [1]

I.3.1 échelle locale

Constituée des sources situées dans l'environnement immédiat (périmètre de quelques kilomètres) qui, en fonction des circonstances météorologiques locales, influencent plus ou moins directement la qualité de l'air en ce point. Ce sont les phénomènes relatifs à cette échelle qui sont le plus souvent responsables des variations rapides et de forte amplitude des concentrations en polluants.

I.3.2 échelle régionale

Couvrant un périmètre de quelques dizaines de kilomètres autour du point. Les sources situées dans ce périmètre ont une influence relativement diffuse, qui se matérialise par des variations de concentrations en polluants généralement lentes et amorties.

I.3.3 échelle continentale

S'étendant de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres. Ce que l'on appelle le transport à longue distance des polluants peut contribuer de manière sensible aux teneurs mesurées. Ceci explique que l'on puisse trouver une pollution en des points éloignés de toutes sources même modestes. Cet apport contribue largement à ce que l'on appelle la pollution de fond (background). [1]

I.3.4 La pollution par l'ozone :

I.3.4.1 propriétés physiques et chimiques de l'ozone

L'ozone est un gaz de couleur bleue, d'odeur forte et pénétrante, dangereux à respirer et plus oxydant que l'oxygène. De densité 1,66, il se liquéfie à -112 °C en donnant un liquide bleu indigo, extrêmement instable. Il oxyde à froid l'iode et presque tous les métaux, notamment le mercure et l'argent ; il déplace le chlore, le brome et l'iode de leurs combinaisons avec l'hydrogène ou les métaux ; il oxyde au maximum les acides du soufre, du phosphore et de l'arsenic ; il détruit aussi par oxydation les matières organiques (liège, caoutchouc). En revanche, avec divers composés organiques non saturés, il donne des composés d'addition peu stables, les ozonides.

L'ozone absorbe dans l'UV et dans l'infrarouge (gaz à effet de serre). Ceci a des implications très importantes pour l'existence de la vie, et le climat sur la terre [15].

I.3.4.2 Mécanismes de formation d'ozone :

Les sources et puits chimiques de l'O₃ font intervenir trois familles de composés chimiques : NO_x, COV et HO_x.

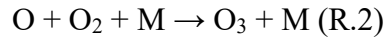
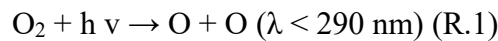
— Les oxydes d'azote NO_x : Cette famille regroupe le monoxyde de carbone (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ces composés sont produits lors de processus à très haute température (combustion, éclairs...) ou par l'activité biologique des sols. Leur rapport de mélange varie entre quelques dizaines de pptv (1pptv = 10⁻¹² mole par 1 mole d'air) en milieu éloigné des sources jusqu'à une centaine de ppbv en milieu urbain ou près d'une source de combustion de biomasse. Au travers du cycle catalytique, ils contribuent à la production nette d'O₃ (Cycle vert sur la figure 1.3). Les NO_x sont éliminés de la troposphère par oxydation en acide nitrique (HNO₃⁻ Flèche violette sur la figure 1.5), lui-même éliminé par dépôts sec ou humide. Le temps de vie des NO_x est typiquement de l'ordre de la journée, voire moins.

— Les composés organiques volatils COV : Les COV sont des gaz organiques contenant du carbone à l'exception du monoxyde de carbone (CO) et du dioxyde de carbone (CO₂), et ayant une pression saturante suffisamment élevée pour être volatilisés dans l'air. Leurs sources primaires sont multiples, anthropiques ou naturelles. Les COV participent à la formation des radicaux peroxy (Flèches bleues sur la figure 1.5) au cours des chaînes de réactions d'oxydation qui conduisent à la production de CO, CO₂ et H₂O. Les chaînes d'oxydation des COV produisent de nombreux composés intermédiaires qui sont autant de sources secondaires. Dans les équations qui suivent, RH pour hydrocarbure, est un terme générique pour désigner les composés organiques volatils, R représentant une chaîne carbonée

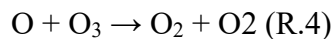
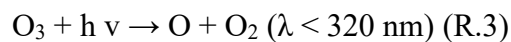
— Les radicaux HO_x : La famille HO_x regroupe les radicaux OH, HO₂ et l'ensemble des radicaux peroxy organiques (RO₂). Les HO_x définissent la capacité oxydante de l'atmosphère. Ils sont très réactifs avec un temps de vie de l'ordre de la seconde. Les sources de HO_x sont principalement photochimiques (photolyse). HO₂ et RO₂ participent à la conversion de NO en NO₂ (Cycle rouge sur la figure 1.5) et donc à la production d'O₃ (voir ci-dessous) [32]

L'ozone est produit naturellement dans l'atmosphère selon le schéma réactionnel formulé par Chapman (1930). Ce cycle est initié par la photolyse des molécules d'oxygène sous l'action des UV de longueurs d'onde $\lambda < 290$ nm (R.1). Les atomes d'oxygène produits réagissent rapidement avec le dioxygène en présence d'une tierce molécule stable, notée M, pour former une molécule d'O₃ (R.2). La molécule M représente du diazote (N₂) ou du dioxygène (O₂) ou

toute autre molécule capable d'absorber l'excès d'énergie vibrationnelle et stabiliser la molécule d'O₃ qui vient d'être formée.

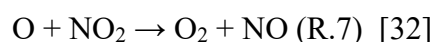
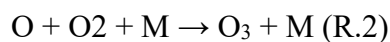
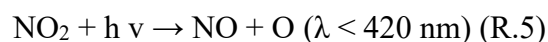


Les deux principales réactions de destruction de l'O₃ sont la photolyse (R.3) et la réaction avec un atome d'oxygène pour former du dioxygène (R.4). Le dioxygène conduit rapidement à la formation d'O₃ car la réaction (R.2) est très rapide.



Cependant le cycle de Chapman n'est pas dominant dans la troposphère à cause du faible rayonnement UV de $\lambda < 290 \text{ nm}$ qui atteint cette couche atmosphérique (UV absorbés par O₂ et O₃ dans la stratosphère), rayonnement nécessaire à la photodissociation de l'O₂ en molécules d'oxygène (R.1). Dans la troposphère, un mécanisme similaire existe : la photodissociation du NO₂ dans le visible est la source de l'atome d'oxygène. Bien qu'ils soient présents à des niveaux de concentration de seulement quelques dizaines de pptv, les NO_x jouent donc un rôle central dans le processus de formation de l'O₃ dans la troposphère.

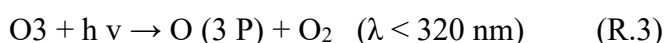
La photolyse du NO₂ a lieu à des $\lambda < 420 \text{ nm}$ et produit du monoxyde d'azote ainsi qu'un atome d'oxygène (R.5) qui va se recombiner avec O₂ pour former de l'O₃ (R.2). La photolyse du NO₂ participe aussi à la destruction de l'O₃, car le NO produit lors de la réaction R.5 va réagir avec O₃ pour reformer du NO₂ (R.6), c'est le cycle de Leighton.



Les réactions R.5, R.2 et R.6 se produisent rapidement, conduisant à un cycle bilan nul. Cependant cet équilibre est perturbé la nuit lorsque la photolyse du NO₂ n'alimente plus le cycle de Leighton en oxygène. La réaction (R.7) dont la vitesse de réaction est bien plus faible

que les autres, domine alors la destruction du NO₂ et consomme l'oxygène pour produire du NO, qui va réagir avec l'O₃ (R.6). Cela engendre alors une destruction nette d'O₃.

Une autre voie réactionnelle fait intervenir des radicaux comme les proxys les RO₂ et HO₂, très réactifs et issus de l'oxydation des COV par le radical OH. Ils permettent la reconversion de NO en NO₂ sans consommer d'O₃ (R.13 et R.17). La formation du radical OH commence lors de la photolyse de l'O₃, où un atome d'oxygène peut être formé dans son état fondamental noté : O(3P) ou dans un état excité noté O(1D) (Flèche orange sur la figure 1.3). Dans son état fondamental, l'oxygène se recombine rapidement avec O₂ par la réaction (R.2) pour former de l'O₃. Ce qui n'a pas d'impact sur le bilan du cycle. Cependant quand O(1D) est produit, le passage simple entre l'état excité et stable est impossible, il doit réagir avec d'autres espèces. Le plus souvent O(1D) rentre en collision avec N₂ ou O₂ pour éliminer l'excès d'énergie et rétablir l'atome d'oxygène dans son état fondamental.



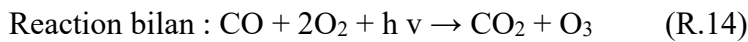
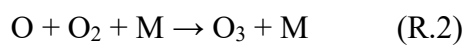
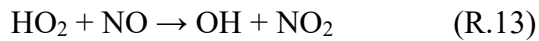
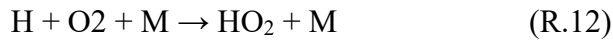
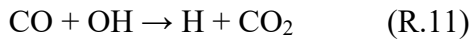
Ainsi l'atome d'oxygène excité peut réagir avec du O₂ pour reconstituer de l'O₃, cette voie correspond aux réactions R.9 et R.2 c'est un autre cycle nul. Mais occasionnellement, O(1D) entre en collision avec H₂O pour produire 2 radicaux hydroxyles OH (R.10) (Flèche orange sur la figure 1.5).



Puisque d'une part les molécules de H₂O sont présentes dans la basse troposphère avec des rapports de mélange d'environ 104 ppmv et d'autre part que la réaction R.10 possède une constante de vitesse 10 fois supérieure à celle de la réaction R.9 (avec M = N₂ ou O₂), il y a environ 10% du O(1D) produit qui réagit avec H₂O pour générer des radicaux OH. Alors 2 molécules de OH sont créées avec l'équation R.10, ce qui conduit à un rendement d'environ 0,2 molécule de OH par molécule d'O₃ photo lysée. Ainsi l'O₃ joue aussi un rôle important pour la formation du radical OH qui est le principal oxydant de la troposphère. [32]

Le radical OH formé par la réaction R.10 oxyde les composés organiques, le CO ou le méthane. Le cas le plus simple est celui du CO produit en particulier par toute combustion incomplète. La production d'O₃ à partir de CO est illustrée par la chaîne de réaction R.11 à

R.14. L'atome d'hydrogène H résultant de la réaction d'oxydation du CO par OH (R.11) se recombine rapidement avec du O₂ pour former le radical HO₂ (R.12). Ce radical HO₂ va réagir avec du NO issu de la photolyse du NO₂ (R.5) et reformer du NO₂ et du OH (R.13).



Ni OH, ni HO₂ ne sont consommés dans ce cycle de réactions, qui peut être considéré comme une oxydation catalytique du CO en CO₂. La formation de l'O₃ a lieu parce que l'oxydation du NO en NO₂ est accomplie par le radical HO₂ (R.15).

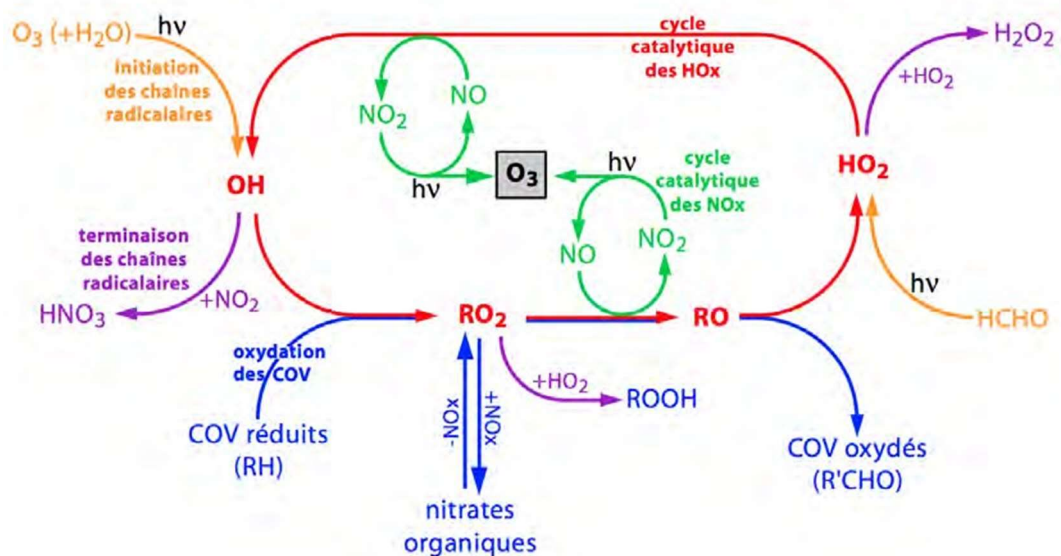
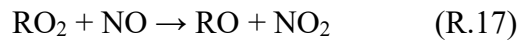
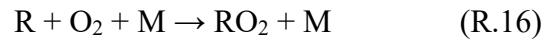
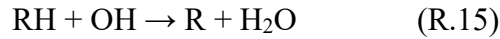


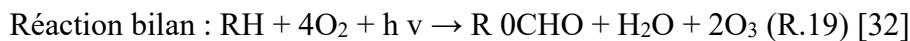
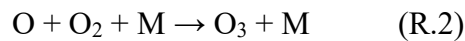
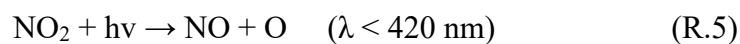
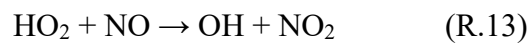
Figure I.5: Représentation schématique des principaux mécanismes impliqués dans la formation de l'O₃ troposphérique. – Camredon and Aumont (2007).

Les cycles catalytiques mettant en jeu les hydrocarbures (RH) qui représentent n'importe quel composé organique volatil, vont former des composés carbonylés, notés R'CHO, où R' est le fragment organique qui a un atome d'hydrogène de moins que R. Comme pour le CO et CH₄, l'oxydation par OH (R.15) va conduire à la formation du radical

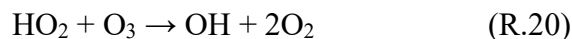
R qui va ensuite réagir rapidement avec du O₂ pour donner un radical peroxyde RO₂ (R.16). Ce dernier va réagir avec NO pour reformer du NO₂ (R.17) participant à la production de l'O₃.



Le radical RO produit va réagir avec O₂ pour former des composés carbonylés R'CHO (R.18) (Cycle bleu sur la figure 1.3), qui peuvent alors réagir avec OH pour produire de l'O₃ ou être photolysés pour créer des radicaux HOx.



Il y a ainsi formation de 2 molécules d'O₃ par molécule d'hydrocarbure dégradée (R.19), tandis qu'une seule molécule d'O₃ est formée pour une molécule de CO oxydée. Finalement, les molécules d'O₃ peuvent être détruites par photolyse (R.3), suivi de la production de radical OH en présence de vapeur d'eau (R.8 et R.10) ou par réaction de recombinaison entre OH et HO₂ (R.20 et R.21).



Au premier ordre, à l'échelle globale, en négligeant les réactions de recombinaison rapides, le taux de production net d'O₃ est donné par l'équation suivant :

$$d[O_3]/dt = \{k_{HO_2+NO}[HO_2] + k_{RO_2+NO}[RO_2]\}[NO] \quad (R.22)$$

$$- \{J_{O_3} f[H_2O] + k_{OH+O_3}[OH] + k_{HO_2+O_3}[HO_2]\} O_3 - L(NO) \quad \text{où } [OH]$$

La concentration de OH, $k X + Y$ est le coefficient de vitesse pour la réaction $X+Y \rightarrow$ produit et f représente la fraction de l'oxygène atomique O(1D) qui réagit avec H₂O, L(NO y) désigne le dépôt sec et humide des oxydes d'azote réactifs (Brasseur et al., 1999). [32]

I.3.4.3 Les effets de l'ozone sur la santé et l'environnement :

❖ Sur la santé humaine

- Gaz agressif, fortement irritant pour les muqueuses oculaires et respiratoires.
- Il pénètre aisément jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il peut ainsi entraîner des irritations du nez, des yeux et de la gorge, des altérations de la fonction pulmonaire, des essoufflements et des toux.
- Il redouble les crises d'asthme.

Il ne semble pas possible de déterminer un seuil en dessous duquel ce polluant serait totalement inoffensif. De plus, les effets d'une exposition chronique sur le long terme restent encore mal connus. [24]

❖ Sur l'environnement ;

- Il peut perturber l'activité photosynthétique des végétaux, altérer leur résistance, diminuer la productivité des cultures et provoquer des lésions caractéristiques. La sensibilité varie selon les espèces : mélèzes, tabac (espèces sensibles), pin sylvestre, pin (espèces moyennement sensibles), épicéa commun, chêne pédonculé (espèces peu sensibles). Les effets chroniques se traduisent par l'apparition de petites taches nécrotiques réparties sur la surface des feuilles.
- L'ozone contribue aussi avec les dépôts acides et d'autres facteurs défavorables (sécheresses, pauvreté des sols...) aux troubles forestiers et accentue le pouvoir acidifiant des NO_x et des SO₂ en accélérant leur oxydation en sulfates et nitrates.
- Ce polluant photochimique accélère la dégradation des matériaux tels que le caoutchouc (craquelures).
- L'ozone contribue à l'effet de serre. [24]

I.4 l'influence des paramètres météorologiques sur la formation et la dispersion de l'ozone dans l'air :**I.4.1 Le vent :**

La direction, la vitesse, la turbulence et la stabilité des vents ont des effets sur le transport, la dilution et la dispersion des polluants. Le vent est favorable à la dispersion des polluants, notamment à partir de 20 km/h. Toutefois, il peut également amener des masses d'air contenant des polluants en provenance d'autres sources. Lorsqu'il est de faible vitesse, ces phénomènes de transport accompagné d'accumulation, est courant.

I.4.2 La température :

Agit sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur estivale est favorable à la formation photochimique de l'ozone. La température a un effet sur la vitesse de déplacement et de réaction des molécules. Plus la température est élevée, plus les molécules ont de chances d'entrer en collision puisqu'elles se déplacent plus rapidement. De même, plus la température est élevée, plus les collisions produisent de réactions. Autrement dit, une hausse de la température accroît la vitesse de réaction des polluants de l'air.

I.4.3 La pression :

Dans le cas de situations dépressionnaires (basses pressions) correspondent généralement à une turbulence de l'air assez forte et donc de bonnes conditions de dispersion. En revanche, des situations anticycloniques (hautes pressions) où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution.

I.4.4 L'humidité relative :

La présence de vapeurs d'eau dans l'atmosphère est considérée comme un facteur météorologique défavorable au phénomène d'auto purification parce qu'elles empêchent la diffusion des impuretés et parce qu'elles réagissent avec celles-ci de telle sorte que peuvent en résulter des impuretés plus agressives. Une humidité élevée favorise la formation du brouillard et la concentration des impuretés

1.4.5 La nébulosité :

L'existence d'un plafond compact et stagnant de nuages à une altitude peu élevée crée un espace fermé dans lequel la dilution des impuretés ne se produit plus dans des conditions

satisfaisantes. Plus cela dure et plus cela se répète souvent au cours de l'année, plus la pollution est grande. Il existe des années et des périodes où les nuages se trouvent fréquemment à faible altitude empêchant le phénomène d'autoépuration. Ces sortes de zones se rencontrent surtout dans les régions montagneuses pendant les périodes froides de l'année. En revanche, les nuages en mouvement qui ne couvrent que partiellement une région peuvent entraîner les impuretés, réalisant ainsi une autoépuration.

1.4.6 Les précipitations :

La pluie, la neige et les autres formes de précipitations atmosphériques réalisent le lavage, l'absorption et l'entraînement vers le sol des impuretés de l'air de façon d'autant plus marquée que la durée et l'intensité de ces précipitations sont plus grandes. A cause de cela l'atmosphère peut être considérée comme pure après une période suffisamment longue de précipitations. D'après Willet, [3], la pluie réalise le lavage de l'atmosphère, spécialement des gaz, et la neige, des impuretés solides. D'après Haagen-Smit[1], les précipitations sont insuffisantes pour épurer l'atmosphère des particules plus petites que 2 μm .

Grâce au phénomène de lavage des impuretés, l'eau des précipitations (spécialement celle du commencement de ces précipitations) est utilisée pour déterminer le degré et la nature des polluants. Les précipitations continuent à retenir les impuretés même après leur arrivée au sol par dissolution, absorption de (ou réaction avec) celles qui arrivent ultérieurement sur la surface humide du sol.

Nous soulèverons tout de même dans ce paragraphe relatif aux précipitations le phénomène d'acidification des pluies. La pollution acide (ou pluies acides) est liée aux polluants acides (SO_2 , NO_x , NH_3 , HCl , HF) émis par les activités humaines qui retombent en partie à proximité des sources, mais aussi à des centaines, voire des milliers de kilomètres de leurs sources émettrices. Ces polluants retombent sous forme de retombées sèches ou humides. Pendant le transport, ces polluants se transforment. SO_2 et NO_x se transforment en sulfates et en nitrates dans le cas où l'atmosphère est sèche, ainsi qu'en acide sulfurique (H_2SO_4) et en acide nitrique (HNO_3) dans le cas où l'atmosphère est humide.

Certaines pluies ont un pH compris entre 3 et 4 alors que l'eau pure a un pH de 5,6. Les retombées acides ont des effets sur les matériaux, les écosystèmes forestiers et les écosystèmes d'eau douce.

Dès leur émission, les polluants subissent de nombreuses transformations. Les réactions chimiques sont nombreuses dans l'atmosphère qui, en outre, n'est pas immobile et peut entraîner les polluants loin de leur source d'émission.

Les polluants émis, dits primaires, séjournent dans la couche limite planétaire (ou couche limite de frottement, environ 1500 m d'épaisseur) et subissent une série de transformations chimiques, pour se transformer en polluants secondaires. C'est ainsi que sous l'action de l'humidité :

- De l'acide sulfurique (H_2SO_4) se forme à partir du dioxyde de soufre (SO_2)
- De l'acide nitrique (HNO_3) se forme à partir des oxydes d'azote (NO_x).

I.5 Les rétro trajectoires :

Les trajectoires des masses d'air sont définies comme les chemins des infiniment petites particules d'air qui se déplacent à travers le temps et l'espace.

Dans les systèmes météorologiques pertinents, les masses d'air peuvent transporter de grandes quantités des aérosols et des gaz polluants dans les régions éloignées. Pour cette raison, les trajectoires des masses d'air ont été fréquemment utilisées pour évaluer les voies de transport des polluants atmosphériques, notamment le transport à longue distance.

Toutefois, la précision d'une trajectoire individuelle est limitée par diverses incertitudes telles que les entrées météorologiques et les erreurs d'analyse, donc elle ne fournit qu'une approximation grossière de la voie de transport de la masse d'air.

Une enquête de résultats d'études précédentes utilisant différentes techniques suggère que les erreurs moyennes de trajectoires sont de l'ordre de 15-20% de la distance parcourue au bout de quelques jours. Cependant, dans des situations d'écoulement critique, des erreurs allant jusqu'à 100% sont possibles. Comme une seule trajectoire ne peut pas être représentative de l'ensemble du volume de mesure, un grand nombre de trajectoires qui ont le même point d'arrivée peuvent être analysées statistiquement pour identifier les modes de transport atmosphérique.

L'analyse de regroupement (clustering) est un processus de structuration et de réduction des groupes de données en en identifiant ceux qui ont des éléments de données similaires. Il existe deux méthodes de regroupement : la classification hiérarchique qui peut être associative ou de division et le regroupement de partition. Les méthodes de classification d'agglomération construisent une hiérarchie dans un mode ascendant. Elles commencent par considérer chaque point de données comme un groupe. A chaque étape, elles fusionnent deux groupes en

fonction des critères d'évaluation. En revanche, les méthodes de partitionnement de données commencent par un groupe qui contient tous les points de données. A chaque étape, chaque groupe se divise en deux jusqu'à ce qu'aucune autre division ne soit possible. Les méthodes de partitionnement essaient de trouver la meilleure partition de données dans un nombre prédéfini de groupes. Parmi ces méthodes, on trouve le partitionnement en k -moyennes (ou k -means en anglais).

Les coordonnées x-y (c'est à dire les points de l'emplacement de la rétrotrajectoire à chaque heure) sont utilisées en tant que variables d'entrée pour l'algorithme de groupement.



Chapitre II:

Partie Pratique

II-1 Localisation géographique de la baie de Bousmail

La baie de Bousmail est située à l'ouest d'Alger du Ras Acras jusqu'au Cap Mont Chenoua entre longitude 2°54'E et 2° 24'E latitude 36°48'N et 36°38'N, d'une superficie de 350 Km², est délimitée à l'Ouest par le massif du Chenoua et à l'Est par le massif de Bouzeréah. L'ouverture de la baie s'oriente selon un axe nord-ouest d'environ 40 Km.

La baie de Bousmail peut être divisée en quatre zones géographiques :

- La baie d'El Djemila limitée à l'Est par Ras Arcata et à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj est caractérisée par une cote basse sableuse et de nombreuses formations dunaires.
- Le secteur Sidi Fredj-Oued Mazafran constitué sur environ 12 Km de plage de sables fins.
- Une côte rocheuse ; faisant suite au secteur ci-dessus, longue de 30Km dont la limite à l'Ouest est Tipaza.
- La baie du Chenoua où se jette l'oued Nador débute à partir de Tipaza : elle est bordée dans sa partie Ouest par le massif du Chenoua. Tout le fond de cette baie est occupé par une plage de sable fins. (ANRH, 2007) [6-0018-17].

Tableau II.1: Analyse statistique des résultats expérimentaux

	MAX	MIN	MOY	SD
NO (ppb)	69.33	0	5.75049875	8.00904331
N O₂ (ppb)	47.85	0	10.4278803	7.97679179
NO_x (ppb)	102.31	0	16.1499501	14.3845995
Température	22 .32	7.68	15.02106173	3.195762527
Pression (hpa)	101.22	986.64	999.398716	5.502062379
Point de rosée (c)	14.2	-1 .75	8.40222222	3.41419235
Précipitation (mm)	9.76	0	0.147925926	0.78152152
Direction du vent	358.06	1 .42	236.547358	72.67247594
CO	0.86	0	0.00438903	0.05620666

O3	34.6	0	21.2697733	7.06322119
SO2	6.38	0	0.1141688	0.43281163
VOC	0.09	0.01	0.04249377	0.01684534

Le tableau II.2 : montre quelques statistiques de l'ensemble de données expérimentales minimale et maximale de O₃ étaient respectivement de 0 et 34.6 µg .la concentration quotidienne moyenne de O₃ (21.27 µg/m³) dépasse la valeur guide de l'OMS de 20 µg/m³, mais elle au-dessous de la limite annuelle algérienne de 80 µg/m³.

Tableau II.3: corrélation de Pearson

		NOX	T	P	Point de rosée	Précipitation (mm)	Relative humidité	W d	W s	SO2	Vo c	CO
O3	Pearson Corrélation	-622**	224**	.092	-.393**	.137**	-.181**	.143**	.297**	-.184**	-.454**	.025
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.068	.000	.006	.000	.004	.000	.000	.000	.617
	N	396	396	396	396	396	396	396	396	386	396	396

N: nombre de valeur

Il existe une forte corrélation entre la température et l'ozone, c'est-à-dire que la température élevée favorise la formation d'ozone dans l'atmosphère, parce que les rayons ultraviolets provenant du soleil désintègrent les molécules constituées d'oxydes d'azote et forment de l'ozone.

Il existe une relation inverse entre l'ozone et l'humidité relative

II-2 Variation journalière :

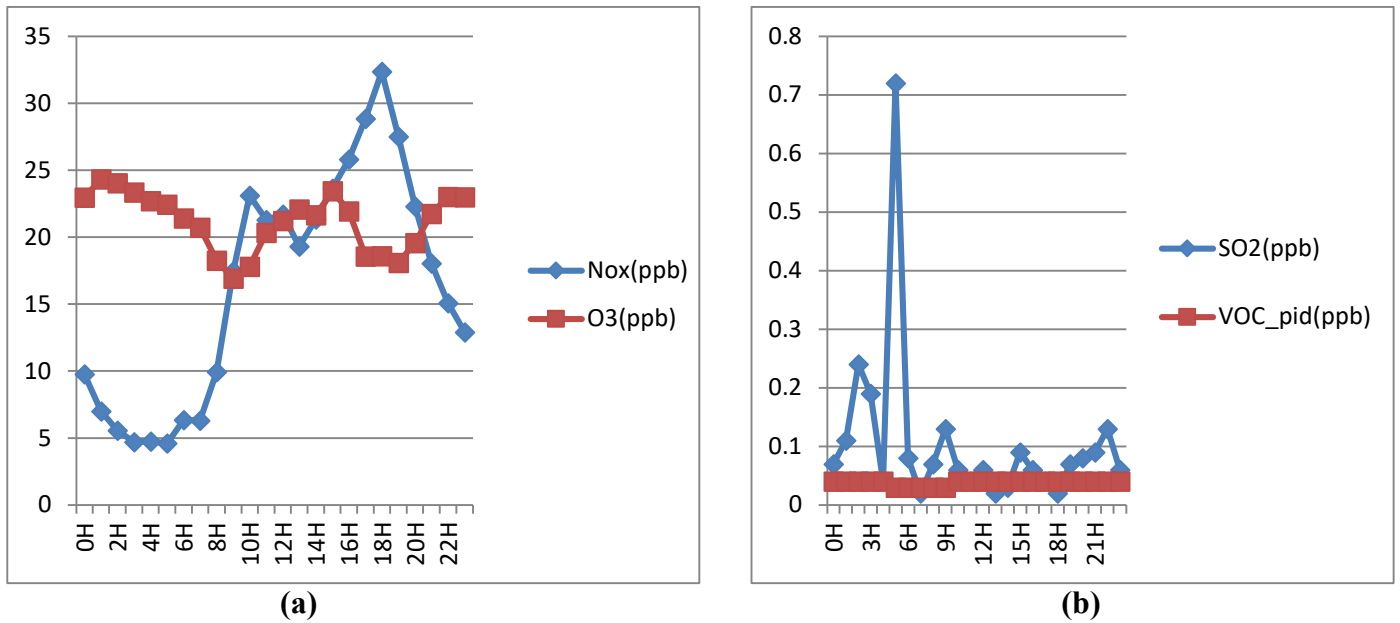
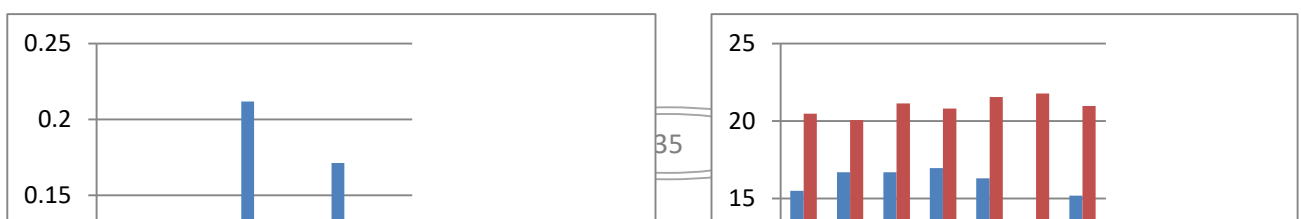


Figure II.6: variation journalière de (O₃, Nox (a)) et (SO₂, VOC (b))

On Remarque à travers la courbe qu'il existe une relation inverse entre NO_x et O₃, le matin le niveau de l'ozone est au minimum mais après 8 :00h on remarque une augmentation importante, on peut expliquer cette phénomène par l'augmentation de circulation automobile, la diminution de NO_x c'est le résultats de la formation de l'ozone à partir des molécules de NO_x.

Pour SO₂, on remarque une forte augmentation pendant le matin, mais sur le reste du jour les valeurs restent au minimum.

II.3 variation hebdomadaire :



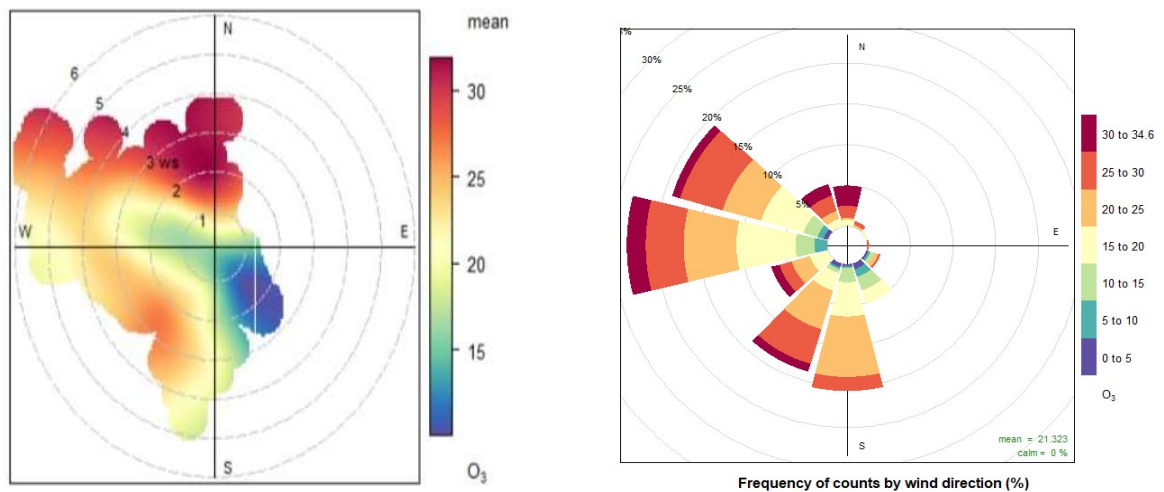
(c)

(d)

Figure II.7: (c) et (d)

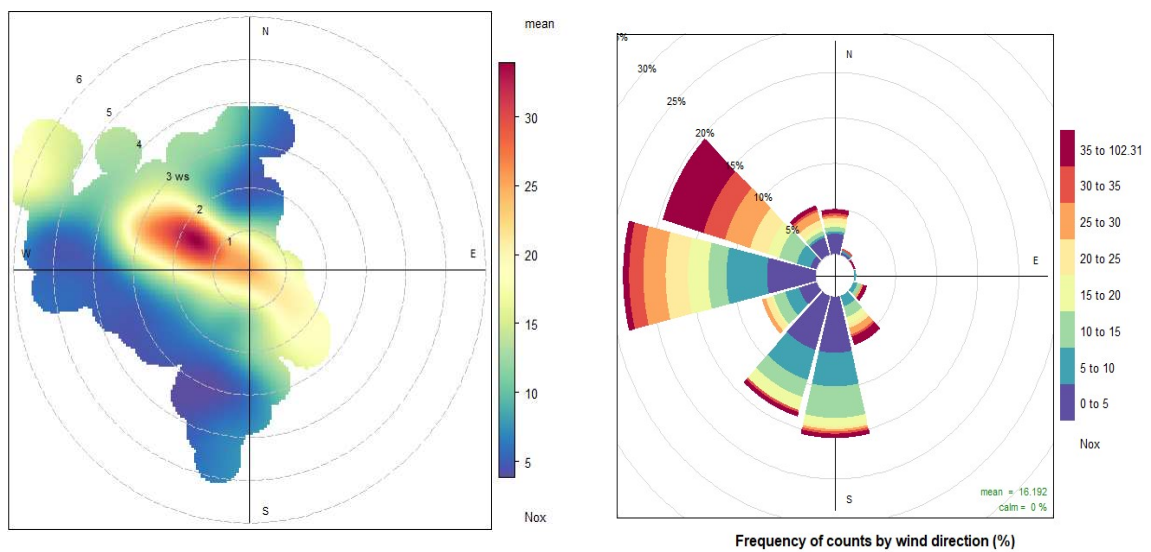
On remarque ou que de variation importante des valeurs (des polluants) entre les jours de travail (dimanche jusqu'à jeudi) et les jours (samedi jusqu'à vendredi) différence importante des concentrations des polluants (NOX, O3, SO2) et elle restait constante pendant les jours de la semaine

II.4 Rose de pollution :



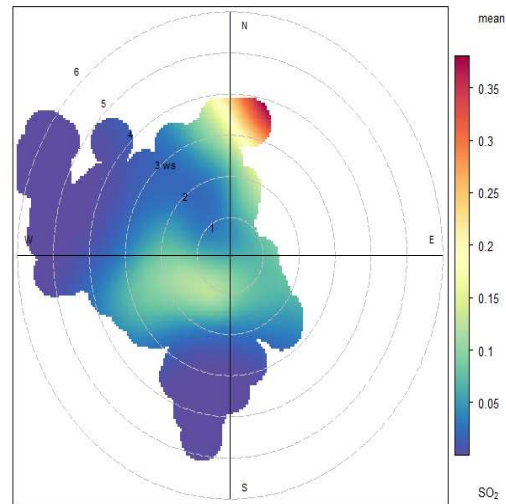
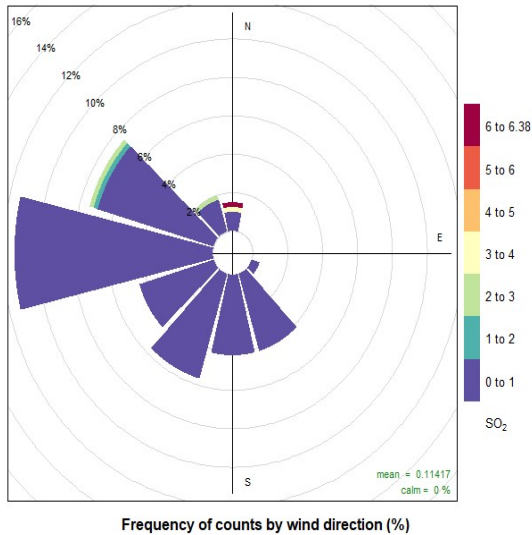
- Pour O3 :

On note que le vent est fort au nord. IL accumulent un grand nombre de polluants émis par les véhicules avant d'atteindre le site. Cela explique pourquoi des niveaux de O₃ est élevé ,ont été enregistrés lorsque le vent vient du sud , SSO, tandis que les jours ou la concentration de O₃ est faible ,aucun vent du S ,SSO est enregistrés .On note également que la fréquence des vents calmes est plus élevée les jours très pollués ,que les jours peu pollués ,car les conditions calmes provoquent une stagnation de la pollution à le point d'émission .les vents les plus forts viennent souvent du SW (région du sahara),ce qui signifie que ces masses d'air sont souvent chargées de poussières sahariennes.



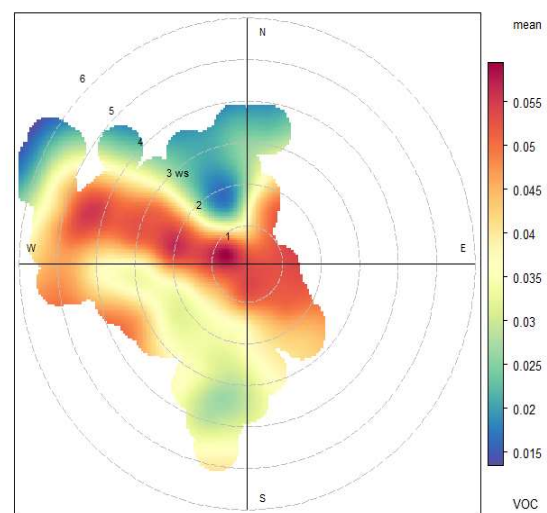
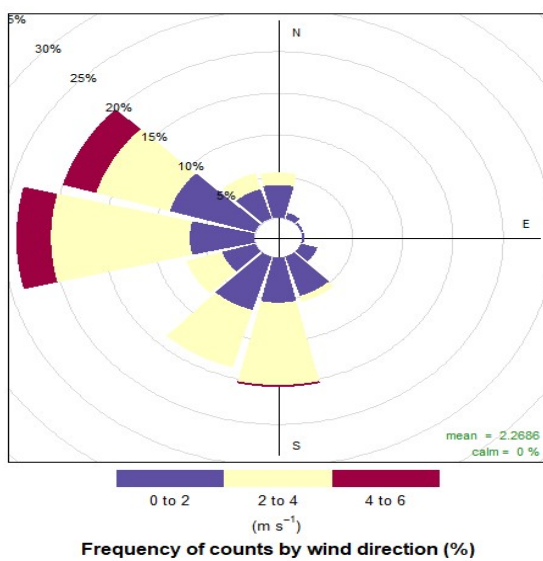
- **Pour NOX**

On note que le vent est fort au nord-ouest .IL accumulent un grand nombre de polluants émis par les véhicules avant d'atteindre le site. Cela explique pourquoi des niveaux de NOX est élevé ,ont été enregistrés lorsque le vent vient du sud , SSO, tandis que les jours ou la concentration de NOX est faible ,aucun vent du S ,SSO est enregistrés .On note également que la fréquence des vents calmes est plus élevée les jours très pollués ,que les jours peu pollués ,car les conditions calmes provoquent une stagnation de la pollution à le point d'émission .les vents les plus forts viennent souvent du SW (région du sahara),ce qui signifie que ces masses d'air sont souvent chargées de poussières sahariennes.



- Pour SO₂ :

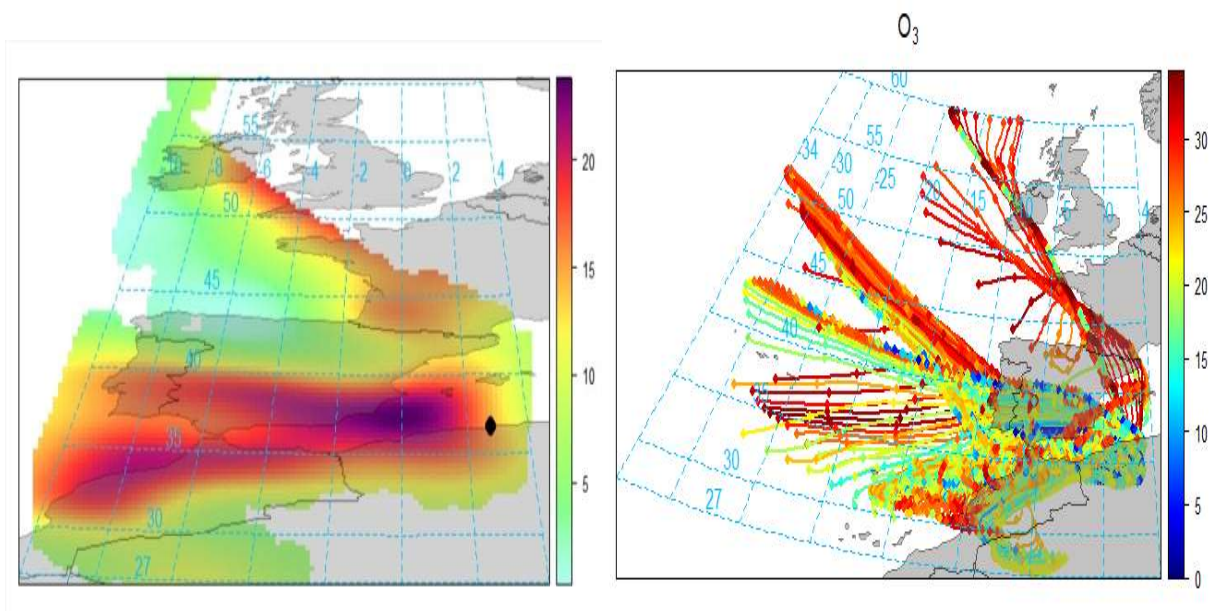
On note que le vent est fort au nord-ouest. Ils accumulent un grand nombre de polluants émis par les véhicules avant d'atteindre le site. Cela explique pourquoi des niveaux de SO₂ est élevé ,ont été enregistrés lorsque le vent vient du sud , SSO, tandis que les jours ou la concentration de SO₂ est faible ,aucun vent du S ,SSO est enregistrés .On note également que la fréquence des vents calmes est plus élevée les jours très pollués ,que les jours peu pollués ,car les conditions calmes provoquent une stagnation de la pollution à le point d'émission .les vents les plus forts viennent souvent du SW (région du sahara),ce qui signifie que ces masses d'air sont souvent chargées de poussières sahariennes.



- Pour VOC

On note que le vent est fort au nord-ouest. il accumulent un grand nombre de polluants émis par les véhicules avant d'atteindre le site. Cela explique pourquoi des niveaux de VOC est élevé ,ont été enregistrés lorsque le vent vient du sud , SSO, tandis que les jours ou la concentration de VOC est faible ,aucun vent du S ,SSO est enregistrés .On note également que la fréquence des vents calmes est plus élevée les jours très pollués ,que les jours peu pollués ,car les conditions calmes provoquent une stagnation de la pollution à le point d'émission .les vents les plus forts viennent souvent du SW (région du sahara),ce qui signifie que ces masses d'air sont souvent chargées de poussières sahariennes.

II.5 Le retro trajectoires



On remarque que les sources lointaines de pollution par l'ozone sont : le sud de l'Europe ainsi tout le bassin méditerranéen. Cette conclusion est attendu car cette zone est connue comme une zone très peuplé.

Conclusion générale

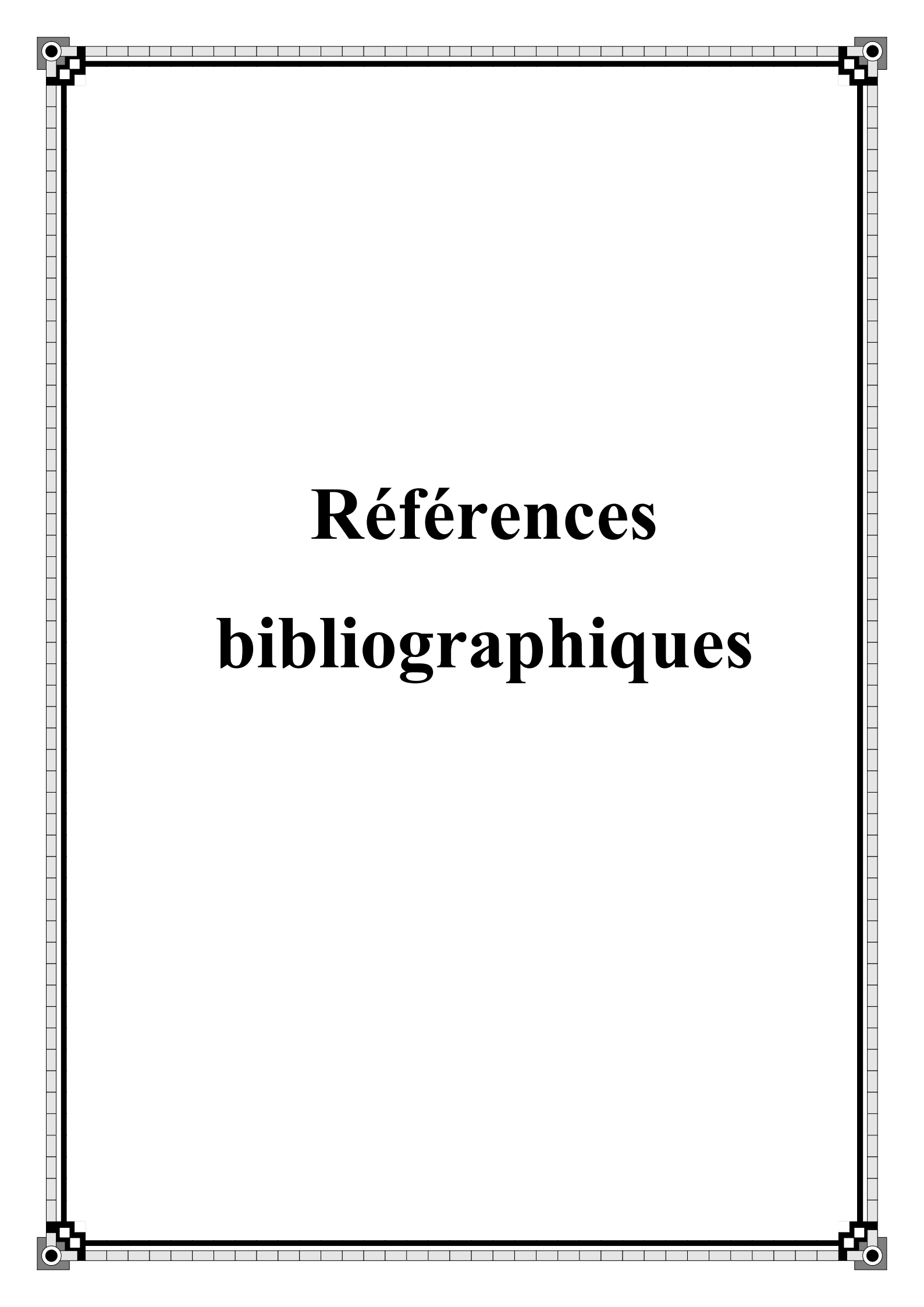
Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans ce travail, nous présentons la définition de la pollution et discutons également brièvement des différentes méthodes pour connaître la source de la pollution.

La pollution de l'air en milieu urbain est générée par les transports, les industries et la production énergétique. Elle se manifeste par la présence de particules fines (les aérosols, et notamment de carbone) et de smog urbain (dont l'ozone troposphérique) bien visible. En somme, la pollution est devenue un problème majeur concernant le monde entier. Elle est l'une des fatalités du monde contemporain et donc, inévitable.

Elle a des conséquences fâcheuses sur nous ainsi qu'à notre planète et provoque souvent des maladies mortelles.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques:

1. **ABDERRAHIM Hamza**, Mesures Météorologiques Et Environnement: Réalisation D'un Détecteur De Pollution, Université D'Oran Es Senia, 2005.
2. **AL BARAKEH Zaher**, Suivi De Pollution Atmosphérique Par Système Multi-Capteurs – Méthode Mixte De Classification Et De Détermination D'un Indice De Pollution, Ecole Nationale Supérieure Des Mies Saint-Etienne, France, 2012.
3. **Anderson H.R.** Air pollution and mortality: A history [Revue] // Atmospheric Environment. - 2009. - Vol. 43.
4. **Arquès P.** La Pollution de l'air [Ouvrage]. - [s.l.] : Edisud, 1998.
5. **Axel Vincent.** 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.
6. **BOUSSOUARA Karima**, Etude Des Emissions Polluantes Et Des Moyens De Dépollution Dans Les Moteurs A Combustion Interne, Doctorat En Science En Génie Mécanique, L'université De Constantine, 2010.
7. **Centre d'Enfouissement Technique de Clermont-Ferrand**, Campagne mobile de mesure des polluants atmosphériques, Association pour la mesure de la pollution atmosphérique de l'Auvergne, Atmo Auvergne.
8. **D. Charpina, J.-C. Pairenb, I. Annesi-Maesano, D. Caillaud, F. de Blaye, G. Dixsauf, B. Houssetg, J.-C. Meuriceh, I. Rousseli, D. Zmirouj, P .Delavalk, 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), Journal ELSEVIER, France.
9. **DUCHÉ Sarah**, La pollution de l'air en région parisienne: exposition et perception sur les sites touristiques, École doctorale : ED-382 « Économies, Espaces, Sociétés, Civilisations », UNIVERSITÉ PARIS DIDEROT – Paris 7, France 2014.

Références bibliographiques

10. **E.C. Zabetta**, P. Kilpinen, M. Hupa. Kinetic Modeling Study on the potential of Staged Combustion in Gas turbines for the reduction of nitrogen oxide emissions from Biomass IGCC plants, journal of Energy and Fuels, vol.14, **2000**
11. **FNORS** Santé et environnement dans les régions de France [Rapport]. - [s.l.] : Ministère de la santé, de la Jeunesse, des Sports et de la vie associative, Septembre 2008.
12. **GERALDINE Rea**, Impact des feux de végétation sur la pollution particulaire en région Euro-Méditerranéenne et en Australie, Thèse de doctorat de Physique et Chimie de l'Atmosphère, Thèse de doctorat de Physique et Chimie de l'Atmosphère, 2015.
13. **HODZIC Alma**, Modélisation Des Aérosols De Pollution En Ile-De-France, Thèse De Doctorat De L'école Polytechnique, l'Institut Pierre-Simon Laplace, 2005.
14. http://environnement.wallonie.be/rapports/dppgss/air1999/m_princ.html
15. <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/ozone/75957>.
16. **Kulkarni N. et Grigg J.** Effect of air pollution on children [Conférence] //Symposium: social paediatrics. - [s.l.] : Elsevier, 2008.
17. **Leck, C. and Bigg, E. K.:** Comparison of sources and nature of the tropical aerosol with the summer high Arctic aerosol, Tellus B Chem. Phys. Meteorol., 60(1), 118–126, doi:10.1111/j.1600-0889.2007.00315.x, 2008.
18. **MARTIN Nicolas**, La Pollution Par L'ozone Et La Climatologie Dans Un Espace Mediterranéen : Les Alpes-Maritimes, Centre Nationale de la Recherche Scientifique, Université de Nice –Sophia Antipolis, France 2008.
19. **MARTIN Nicolas**, **La Pollution Par L'ozone Et La Climatologie Dans Un Espace Méditerranéen : Les Alpes-Maritimes**, Thèse de doctorat, centre national de la recherche scientifique, Université de Nice, France 2009.
20. **Mayer H.** Air pollution in cities [Revue] // Atmospheric Environment. - 1999. - Vol. 33.
21. **Monk P.S. [et al.]** Atmosphéric composition change: global and regional air quality [Revue] // Atmospheric environment Vol.43. - 2009.

Références bibliographiques

22. **MYRTO VALARI**, modélisation de la pollution atmosphérique urbaine et impact sur la santé, thèse de doctorat de l'école polytechnique, laboratoire de météorologie dynamique de l'institut Pierre-Simon Laplace, 2009.
23. **OUAHIL Amina**, état de la pollution par matières particulaires et dissoutes dans le système fluvio-marin d'oued mazafran- embouchure (baie de bousmail), mémoire de master en hydraulique, école nationale supérieure d'hydraulique -Arbaoui Abdellah, Algérie, 2017.
24. **OUZID Selma**, Mesure Des Polluants Atmosphériques Générés Par La Société Des Ciments De Tébessa, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2017.
25. **Pascal L.** Effet à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité. [Revue] // Revue française d'allergologie Vol. 49. - 2009.
26. **Péré, J. C., Bessagnet, B., Mallet, M., Waquet, F., Chiapello, I., Minvielle, F., Pont, V., and Menut, L.:** Direct radiative effect of the Russian wildfires and its impact on air temperature and atmospheric dynamics during August 2010, Atmospheric Chemistry and Physics, 14, 1999–2013, doi:10.5194/acp-14-1999-2014, 2014.
27. **R. Atkinson, D. L. Baulch, R.A. Costa, R.F. Hampson, J.A Kerr & J. Troe,** Journal of physical and chemical reference data, vol.26, 1997.
28. **Rebouh Samia**, Impact De La Pollution De L'air Provoquee Par La Cimenterie Tahar Djouad Sur La Sante Publique Et Le Cadre Bati -Cas De Hamma Bouziane, Université Mentouri De Constantine.
29. **RIVELLINI Laura-Hélène**, Propriétés physico-chimiques, optiques et identification des sources des aérosols en Afrique de l'Ouest, Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement, Doctorat De L'université De Lille, France 2017.
30. **SAUNOIS Marielle**, Bilan De L'ozone Troposphérique Sur Le Continent Africain: Apport Du Programme Amma-Chimie, l'Université Toulouse III- Paul Sabatier, France 2009.
31. **Sindelarova, K., Granier, C., Bouarar, I., Guenther, A., Tilmes, S., Stavrakou, T., Müller, J.-F., Kuhn, U., Stefani, P. and Knorr, W.:** Global data set of biogenic VOC emissions calculated by the MEGAN model over the last 30 years, Atmos Chem Phys, 14(17), 9317–9341, doi:10.5194/acp-14-9317-2014, 2014.

Références bibliographiques

32. **TOCQUER Flore**, Ozone et transport dans la haute troposphère tropicale de l'Océan Indien et de l'Asie du Sud : apport des données spatiales (IASI) et de la modélisation, Doctorat De L'université De Toulouse, France 2015.
33. **UNG Anthony**, Cartographie De La Pollution Atmosphérique En Milieu Urbain A L'aide de Données Multi sources, Docteur en Sciences de l'Université Paris 7 – Denis Diderot, France, 2003.
34. **W.Richard, D.Boubel, D Turner**. Fundamentals of air Pollution, Third edition, academic press, Sydney, 1994.

Résumé

Très peu d'études sur les niveaux d'ozone ont été réalisées dans les villes algériennes. De manière générale, la qualité de l'air en Algérie et dans les autres pays du Maghreb n'a pas été étudiée de manière approfondie en raison du nombre insuffisant de chercheurs impliqués dans ce domaine et du manque de fiabilité des quelques réseaux de surveillance de la qualité de l'air installés en Algérie. Il est donc de la plus haute importance de s'attaquer à ce problème afin d'estimer les niveaux de concentration d'ozone et d'autres gaz précurseurs. Le but de cette étude était d'identifier les différentes sources d'ozone.

Mots-clés : ozone, Site de trafic, Rétro-trajectoires.

Abstract:

Very few previous investigations of ozone levels have been undertaken in the Algerian cities. In general, air quality in Algeria and other Maghreb countries has not been extensively studied because of the insufficient number of researchers involved in this field and the unreliability of the few air quality monitoring networks installed in Algeria. It is therefore of utmost importance to address this problem in order to estimate the concentration levels of ozone and other gaze precursor. The purpose of this study was to identify the different sources of ozone.

Keywords: ozone, Traffic site, Back-trajectories.

ملخص

تم إجراء عدد قليل جدا من الدراسات حول مستويات الأوزون في المدن الجزائرية. بشكل عام ، لم تتم دراسة جودة الهواء في الجزائر والدول المغاربية الأخرى بعمق بسبب عدم كفاية عدد الباحثين المشاركين في هذا المجال وعدم موثوقية شبكات المراقبة القليلة لجودة الهواء المثبتة في الجزائر. لذلك من الأهمية بمكان معالجة هذه المشكلة من أجل تقدير مستويات تركيز الأوزون والغازات الأولية الأخرى. كان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد المصادر المختلفة للأوزون.

الكلمات المفتاحية: الأوزون ، موقع الازدحام المروري ، المسارات الخلفية.