

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

Université KasdiMerbah-Ouargla

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la matière

Département de Chimie



Mémoire

Présenté pour l'Obtention du diplôme de Master Académique

Spécialité : Chimie

Option : Chimie de l'Environnement

Par : Imane Sayah-Lembarek; Mériem Labadi

Thème :

**Etude la pollution photochimique dans la région Algéroise
Cas d'Etude : Station de surveillance de la qualité de l'air
« SamaSafia »**

Soutenu le : 25 /04/2020 devant la commission d'examen :

Belfar Mohamed Lakhdar	M.C.A	Président
Hadef Derradji	M.C.A	Examineur
Moussaoui Yacine	M.C.A	Rapporteur

Année universitaire : 2019/2020



Dédicace

A ma très chère Mère

Quoi que je fasse ou que je dise je ne saurai point te remercier comme il se doit.
Ton affection me couvre ta bienveillance me guide et ta présence a mes cotes a
toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles

A mon très cher Père

Tu as toujours été à mes cotes pour me soutenir et m'encourager

A mes chers frère Ali, Yacine, Tahar et ma sœur Soumia

Mes meilleurs amis: Yousra, Noudjoud, Ihsane, Ouarda, Sawsen

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tout allégués et le fruit de
votre soutien infailible. Merci d'être toujours la pour moi



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné a la vie qui est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite, a ma mère.....

A mon père, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, qui a veillé à me donner l'aide, a m'encourager et a me protéger, que dieu les gardes et les protèges.

A mon marie

A mes sœurs et mes frères, source de joie et bonheur

A mon chère amie avant d'être binôme

A tous mes amis de la promotion master chimie de l'environnement 2019/2020

Son oublier tout les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou du l'enseignement supérieur.

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier dieu, de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme notre formation de Master et pouvoir réaliser ce travail de recherche.

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à notre encadreur Dr MOUSSAOUI Yacine qui nous a fourni le sujet de ce mémoire et nous a guidés de ses précieux conseils et suggestions, et la confiance qu'il nous a témoignés tout au long de ce travail.

Nous tenons à gratifier aussi les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche acceptant d'examiner notre travail.

Nous adressons aussi nos remerciements au Dr BELFAR M.Lakhdar Chef de Département de Chimie et à tous les enseignants de la filière de Chimie.

Enfin, on adresse nos sincères sentiment de gratitude et de reconnaissances à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

I.5.3.2. Mesure in-situ par télédétection.....	12
I.5.3.2.1. La technique LIDAR.....	13
I.5.3.2.2. Le principe du lidar.....	14
I.5.4. Préparation des échantillons solides.....	15
I.5.5. Méthodes d'analyse en laboratoire.....	15
I.5.5.1. Méthodes Chromatographiques.....	15
I.5.5.1.1. Chromatographie en phase gazeuse (GC).....	19
I.5.5.2. Méthodes Spectrométriques.....	20
I.5.5.1.1. Absorption du rayonnement IR.....	20
I.5.5.1.2. Absorption dans le visible et l'ultraviolet.....	21
I.5.5.1.3. Luminescence.....	21
I.5.5.1.4. Chimiluminescence.....	22
I.5.5.1.5. Spectrométrie de fluorescence X.....	22
I.5.5.1.6. Spectrométrie d'absorption atomique.....	
Chapitre.2 : Pollution photochimique de l'ozone	
	24
II. Introduction.....	24
II. 1. Les composés organiques volatils.....	24
II.1.1. Définition.....	24
II.1.2. Effet sur la santé.....	25
II.1.3. Effet sur le climat.....	26
II.2.Composés organiques semi-volatils (COSVs).....	26
II.2.1. Définition.....	26
II.2.2. Occurrence et sources	31
II.2.3 Les Polluants Organiques Persistants (POPs).....	31
II. 3. Aérosols.....	31
II.3.1. Définition.....	31
II.3.2. Classification des aérosols.....	31
II.3.2.1. Aérosols minéraux	31
II.3.2.2. La suie	31
II.3.2.3. Aérosols secondaires.....	31
II.3.3.3. Effets sur la santé.....	32
II.3.4. Effets sur le climat.....	33
II.4. Echelles de la pollution.....	35

II. 5. Polluant Secondaire.....	35
II. 5. 1. L'Ozone (O ₃).....	35
II.5.2. Types d'ozone.....	35
II.5.3. Formation de l'ozone de la stratosphère.....	37
II.6. L'effet de serre.....	39
II.7. Le changement climatique	39
II.7.1.Conséquences prévisibles d'un réchauffement climatique.....	
II.7.2. Les conférences et sommets mondiaux pour la lutte contre le réchauffement climatiques.....	39
II.7.2.1. Le protocole de Kyoto.....	39
II.7.2.2. Les mécanismes de Kyoto.....	40
II.7.3. Le cadre réglementaire.....	40
II.7.3.1. La loi sur l'air de 1996.....	41
II.7.3.2. La législation des installations classées.....	41
II.7.3.3. Les outils financiers.....	41
II.7.3.4. La loi sur l'air du 15 avril 2006.....	41
II.7.4. Réglementation Algérienne pour les émissions des polluants atmosphériques.....	
Chapitre.3 : Matériels et méthodes	
III. Introduction.....	43
III. 1. La wilaya d'Alger.....	43
III.2. Climat	44
III.3 Population et superficie.....	45
III.4. Sites de mesure	46
III.4.1. Le réseau de surveillance de la qualité de l'aire en Algérie.....	46
III.4.2. La station d'analyse destinée à la surveillance « SAMA SAFIA ».....	47
III.4.2.1. Schéma de l'extérieur de la cabine.....	47
III.4.2.1. Schéma de l'intérieur de la cabine.....	48
III.5. Les niveaux des mesures.....	48
III.5.1. Evaluation des mesures.....	48
III.5.1.1. Valeur limite.....	48
III.5.1.2. Valeur cible (valeur guide).....	48
III.5.1.3. Seuil d'alerte.....	48
III.5.1.4. Seuil d'information.....	49

III.5.1.5. Seuil de protection de la santé.....	49
III.5.1.6. Seuil de protection de la végétation.....	49
III.5.2. Objectif de qualité.....	49
III.5.2.1. Les unités de mesures pour les polluants.....	49
III.5.3. Protocole de mesure.....	49
III.5.3.1. Méthode de mesure.....	50
III.5.3.2. En pollution, A quoi consiste la mesure?.....	50
III.5.3.3 Les mesures de niveau d’alerte.....	51
III.5.3.4. La mesure de tendance.....	51
III.5.3.5. Détermination de niveau d'alerte pour les mesures de tendances à long terme...	51
III.5.3.6. Épisode photochimique et modèles atmosphériques.....	52
III.6. Indice de qualité de l’air.....	52
III.6.1. Critères de qualité de l’air.....	53
III.6.2. Qu’est-ce que l’indice de la qualité de l’air.....	53
III.6.3. La méthode de calcul de l’indice de la qualité de l’air (IQA).....	54
III.6.4. Exemple de calcul.....	
Chapitre.4 : Résultats et discussions	55
IV.1. Résultats et discussions.....	
IV.2. Evolution de la concentration journalière de l’ozone dans la station SAMASAFIA de Ben Aknoun.....	72 73
IV.3. Corrélation entre l’ozone et les particules solides, NOx et NO ₂	91
Conclusion Générale	93
Conclusion Générale.....	
Références bibliographique.....	ix
Annexes	xi
Annexe 1.....	xv
Annexe 2.....	
Annexe 3.....	

Liste des figures

Figure I.1: Structure verticale de l'atmosphère [2]	04
Figure I. 2. : Couche d'inversion.....	07
Figure I. 3. : Mer de nuage.....	07
Figure I.4 : Sac de prélèvement en plastique « Sac de Teldar ».....	09
Figure I.5 : Tube adsorbant [9]	09
Figure I.6 : Prélèvement par absorption [10].....	09
Figure I.7 : Prélèvement des poussières avec un cyclone.....	10
Figure I.8: Analyseur NO/NO _x /NO ₂ à l'ambiance.....	11
Figure I.9: Analyseur de l'ozone à l'ambiance.....	11
Figure I.10 : Analyseur de l'ozone à l'ambiance.....	12
Figure I.11 : Analyseur des HCT à l'émission et à l'ambiance.....	12
Figure I.12 : Le Camion Lidar.....	13
Figure I.13 : Le principe LIDAR.....	14
Figure I.14 : Représentation schématique d'un extracteur de Soxhlet.....	14
Figure I.15 : Le chromatogramme [8].....	16
Figure I.16: L'injecteur diviseur.....	17
Figure I.17: Colonnes capillaire et remplie.....	17
Figure I.18 : Principe du détecteur catharométrique.....	18
Figure I.19: Détecteur à ionisation de flamme.....	18
Figure I.20: Principe d'un spectrophotomètre à double faisceau.....	21
Figure I.21 : Analyseur NO _x à chimiluminescence.....	22
Figure II.1 : Formation d'ozone dans l'atmosphère en présence de COVs [31].....	26
Figure II.2 : Exposition du corps humains à différentes classes de tailles des particules.....	32
Figure II.3: Effet indirecte des aérosols sur la taille et le nombre de gouttelettes nuageuses.....	33
Figure II.4: Interprétation de l'effet de serre.....	38
Figure II.5: Importance de l'effet de serre.....	38
Figure III.1: Découpage de l'Algérie en Wilaya.....	43

Figure III.2: Découpage de la wilaya d'Alger en communes et Daïras.....	45
Figure III.3: Schéma de l'extérieur de la station de surveillane «SAMA SAFIA».....	47
Figure III.4: Schéma de l'intérieur de la station de surveillance «SAMA SAFIA».....	48
Figure IV.1: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2002, B : Eté 2002 suite.....	62
Figure IV.2: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Autun 2002, B : Autun2002 suite.....	63
Figure IV.3: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Hiver 2003, B : Printemps 2003.....	64
Figure IV.4: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2003, B : Autun 2003.....	65
Figure IV.5: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Hiver 2004, B : Printemps 2004.....	66
Figure IV.6: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Printemps 2004 suite, B : Eté 2004.....	67
Figure IV.7: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Autun 2004, B : Hiver 2005.....	68
Figure IV.8: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Printemps 2005, B : Printemps 2005 suite.....	69
Figure IV.9: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2005, B : Autun 2005.....	70
Figure IV.10: Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2006, B : Printemps-Eté 2009.....	71

Liste des tableaux

Tableau I.1 : désignation des principaux polluants, leurs sources et le type de pollution engendrée [5].	05
Tableau II.1 : Toxicité de certains COV [30]	25
Tableau II.2: Les différentes classes des COSVs rencontrés dans l'air intérieur.....	28
Tableau II.3: Différentes échelles de la pollution de l'air.....	34
Tableau II.4 : Valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques.....	42
Tableau III.1 : Statistiques ALGER (ALGERIE).....	44
Tableau III.2: Seuil d'alerte des principaux polluants.....	51
Tableau III.3: L'indice de la qualité de l'air.....	53
Tableau III.4: Les valeurs de références de critères de protection de la santé humaine.....	54
Tableau IV.1: Variation Journalière de l'Ozone Eté-Autun 2002.....	55
Tableau IV.2: Variation Journalière de l'Ozone Hiver-Printemps-Eté-Autun 2003.....	56
Tableau IV.3: Variation Journalière de l'Ozone Hiver-Printemps-Eté-Autun 2004....	57
Tableau IV.4: Variation Journalière de l'Ozone Hiver-Printemps-Eté-Autun 2005.....	59
Tableau IV.5: Variation Journalière de l'Ozone Eté 2006 et Printemps-Eté 2009.....	60
Tableau IV.6: Nombre de jours de dépassements des valeurs limite et seuils par année.....	73
Tableau IV.7: Variation Journalière Ozone et particules solides Autun 2002.....	74
Tableau IV.8: Variation Journalière Ozone et particules solides Eté 2003.....	75
Tableau IV.9 : Variation Journalière Ozone et particules solides Hiver 2004.....	76
Tableau IV.10: Variation Journalière Ozone et particules solides Printemps 2004.....	76
Tableau IV.11: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Autun 2002.....	77
Tableau IV.12: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Hiver 2003.....	79
Tableau IV.13: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Printemps 2003.....	80
Tableau IV.14: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Eté 2003.....	80
Tableau IV.15: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Autun 2003.....	82
Tableau IV.16: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Hiver 2004.....	83

Tableau IV.17: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Eté 2004.....	83
Tableau IV.18: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Autun 2004.....	84
Tableau IV.19: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Hiver 2006.....	85
Tableau IV.20: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Printemps 2006.....	86
Tableau IV.21: Variation Journalière Ozone, NO _x et NO ₂ Eté 2006.....	86

Introduction Générale

Introduction Générale

Il y a trois décennies, du 3 au 14 juin, s'ouvrait à Rio de Janeiro (Brésil), la plus grande conférence environnementale jamais tenue: le Sommet de la Terre. Son principal objectif était de définir les bases d'une politique internationale prenant en compte les effets du développement économique sur la santé, les ressources naturelles et l'environnement.

Parmi les trois biotopes terrestres, l'atmosphère constitue un milieu éminemment complexe. L'atmosphère, caractérisée par sa dynamique et sa structure, régies par les échanges énergétiques et sa composition, est fortement influencée par les activités humaines (rejet direct, déforestation...). Dès lors, la principale interrogation, sur laquelle la communauté scientifique s'est penchée au cours de ces trente dernières années, est à quel point et quels processus de modifications de la composition de l'atmosphère affectent les échanges énergétiques et, par conséquent, altèrent le climat et réciproquement. Parallèlement à cette problématique globale, les phénomènes de pollution, à petite et moyenne échelles, en relation avec les émissions industrielles, véhiculaires ..., les processus de transformations atmosphériques des composés émis, ainsi que leurs incidences sur la santé, ont été intensément étudiés.

Si, aujourd'hui, tout laisse à penser que les activités humaines influencent considérablement le climat, et si leurs effets néfastes sur la santé sont démontrés, la quantification et la modélisation précises de leurs effets demeurent encore relativement délicates. De grandes incertitudes subsistent dont une part, difficilement quantifiable mais potentiellement importante, réside dans la connaissance imparfaite des particules atmosphériques et de leurs compositions.

La gestion de la pollution atmosphérique implique une bonne connaissance de chacun des maillons de ce qui est appelé le cycle de la qualité de l'air. Ces dernières années, la caractérisation de la qualité de l'air et la compréhension des phénomènes ont progressé ciblant, entre autres, les "espaces" où les normes étaient dépassées. Connaissant l'impact sur les cibles à protéger (santé, faune, flore...), des actions réglementaires ou incitatives visant à réduire les émissions (sources de nuisances) peuvent être engagées (intégrant le facteur coût / efficacité) et ainsi enclencher le cycle vertueux de la gestion de la qualité de l'air. Moins de rejets dans l'atmosphère, c'est moins de concentrations dans l'air, et donc moins d'impacts sur l'environnement. Au-delà du respect des normes et de la reconquête

de la qualité de l'air, la gestion de la pollution atmosphérique devient un choix de société.

Les facteurs météorologiques influencent directement la diffusion des polluants dans l'atmosphère. Ce rôle peut-être positif ou négatif sur la pollution selon l'état de turbulence de l'air et la configuration géométrique des espaces considérés.

Les polluants primaires évoluant dans l'atmosphère en fonction des paramètres météorologiques peuvent se transformer en d'autres espèces chimiques. L'exemple le plus connu est l'ozone (O_3), polluant secondaire présent en période estivale.

L'ozone est un composé naturel de l'atmosphère qui se forme par recombinaison d'une molécule d'oxygène (O_2) et d'un atome d'oxygène (O). Sa formation et son accumulation sont la résultante de l'action du rayonnement solaire sur des polluants "précurseurs" (oxydes d'azote et composés organiques volatils).

Sa teneur est le bilan de l'équilibre entre les réactions de production et les réactions de destruction (réaction avec le monoxyde d'azote principalement). Le déplacement de cet équilibre (notamment en présence de fortes teneurs en COV qui consomment le monoxyde d'azote) se traduit par une augmentation rapide de sa concentration.

Dans ce travail qui traite la pollution photochimique dans la région Algéroise, où l'étude est focalisée sur la station de surveillance de la qualité de l'air « SamaSafia », situé à Ben Aknoun (Alger), durant les années 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 et 2009.

Ce travail est composé, en plus de l'introduction générale, conclusion et partie annexe, de quatre chapitre. Le chapitre I, est consacré aux généralités des polluants atmosphériques. Le Chapitre II traitera la pollution photochimique de l'ozone. Le Chapitre III sera consacré au matériels et méthode. Le Chapitre IV se rapportera sur les résultats et leur discussions.

Chapitre.1

Généralités sur la pollution
de l'air

I. Introduction

L'air est un mélange de gaz entourant la planète Terre. Ces gaz créent l'atmosphère nécessaire à la vie. Un air pur contient 21 % d'oxygène et 78 % d'azote en volume et des traces d'autres gaz comme l'argon, le gaz carbonique (CO_2) et la vapeur d'eau. Tous les jours, l'adulte moyen inspire de $15 \cdot 10^3$ à $2 \cdot 10^4$ litres d'air.

À l'intérieur des locaux comme à l'extérieur, l'air contient des produits chimiques et des gaz, gouttelettes et particules biologiques dont certains sont nocifs pour les êtres humains et les animaux et destructeurs pour les plantes. L'atmosphère nous fournit l'air pur que nous respirons, nous protège des rayons nocifs du soleil et nous procure un climat favorable [1].

Les conséquences de la pollution atmosphérique sont déjà ressenties dans le monde et comprennent les changements climatiques, l'amincissement de la couche d'ozone, la réduction de la qualité de l'air extérieur, le smog et les pluies acides.

I.1. Structure et composition de l'atmosphère

L'atmosphère terrestre peut être découpée en plusieurs couches horizontales en fonction du gradient de températures observées (Figure I.1) [2]. La troposphère est la partie de l'atmosphère terrestre dans laquelle nous vivons et dans laquelle les composés chimiques sont émis par les activités humaines. La troposphère s'étend de la surface de la Terre à la tropopause dont l'altitude est comprise entre 10 et 18 km en fonction de la latitude et de la saison (plus élevée aux tropiques et plus basse dans les régions polaires). La troposphère est généralement caractérisée par un gradient négatif de température (température moyenne au sol de 289 K et entre 210 et 215 K au niveau de la tropopause). La pression diminue aussi avec l'altitude ; elle va de 1013 hPa en moyenne au niveau de la surface terrestre à 140 hPa à une altitude de 14 km. Elle est plus dense que les couches supérieures de l'atmosphère et contient jusqu'à 75 % de sa masse totale. La troposphère se divise elle-même en plusieurs couches : celles de la couche limite atmosphérique (CLA), d'inversion et la troposphère libre. La CLA est la partie de l'atmosphère directement sous l'influence des processus de surface [3].

La troposphère est un mélange relativement uniforme composé de 78 % d'azote (N_2), 21 % d'oxygène (O_2), 1 % d'argon (Ar) et de 0,036 % de dioxyde de carbone (CO_2). A cela, il faut ajouter une part de vapeur d'eau, variable selon l'altitude et la température, de fines particules ainsi que d'infimes quantités de divers gaz à l'état de trace (COV, ozone, oxydes d'azote et de soufre, etc.). Sous l'action de la lumière solaire, ces espèces peuvent être photolysées et vont ainsi participer à l'initiation de processus de transformations chimiques. La quasi-totalité des

réactions chimiques en phase gazeuse, dans la troposphère, provient d'un mécanisme radicalaire. Ces radicaux libres sont formés par coupure homolytique des liaisons chimiques soit par photochimie, soit par réaction avec les principaux oxydants présents dans la troposphère : radicaux hydroxyles et nitrates, ozone principalement formé à partir de la photolyse de NO₂. Toutes ces espèces qui jouent une action prépondérante dans les phénomènes de chimie atmosphérique, seront examinées plus en détail dans la partie suivante.

I.2. Principaux polluants présents dans l'atmosphère

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, à travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'Homme directement ou à travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi affecter l'Homme en altérant les objets qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu [4]. Le Tableau I.1 regroupe les principaux polluants, et leurs sources émettrices ainsi que le type de pollution qu'ils peuvent engendrés.

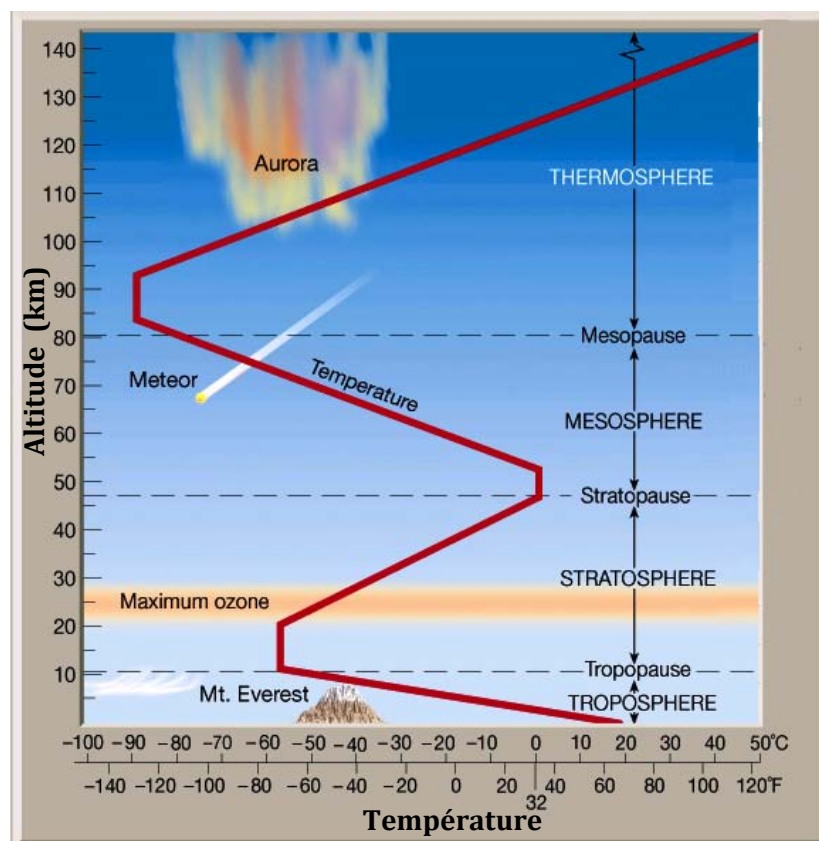


Figure I.1: Structure verticale de l'atmosphère [2]

Tableau I.1 : désignation des principaux polluants, leurs sources et le type de pollution engendrée [5].

	Origine	Pollution
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Emissions volcaniques, les océans Sources anthropiques (combustion fuels fossiles)	Formation d'acide sulfurique (H ₂ SO ₄) et sulfureux (H ₂ SO ₃), origine des pluies acides
Oxydes d'azote (NO _x =NO ₂ +NO)	Proviennent surtout de la combustion de fuels d'origine fossile. Le monoxyde d'azote (NO) a un temps de vie très court, indique donc la proximité des sources quand sa concentration est élevée. Il est oxydé en dioxyde d'azote NO ₂ .	Formation d'acide nitrique (HNO ₃) par oxydation photochimique de NO ₂ , origine des pluies acides. Participent aussi à la formation d'ozone
Composés Organiques Volatils (COV) (ex : benzène, toluène, formaldéhyde...)	Hydrocarbures émis par les forêts, les transports, l'industrie et également lors de l'application de peinture, des encres.	Formation de l'ozone
Monoxyde de Carbone (CO)	Combustion incomplète des combustibles et des carburants	Formation de l'ozone. Pour l'être humain il est toxique, il se fixe à la place de l'oxygène dans le sang (mortel sous forte concentration)
Particules en Suspension (PS) (comprenant PM10, PM2.5, TSP)	Volcanique Anthropique	Les plus fines particules pénètrent dans les poumons et gênent la respiration. De plus elles peuvent faire pénétrer des composés toxiques dans les voies respiratoires
Ammoniac (NH ₃)	Activité agricole Traitement des déchets Combustion biomasse Dégradation de la végétation Excréments animaux	Absorbe les rayonnements possédant de grande longueur d'onde
Ozone (O ₃)	Polluant de type secondaire, provient de la réaction des polluants primaires en présence du rayonnement solaire ultraviolet	Responsable de l'effet de serre

I.3. Météorologie et pollution

Les concentrations et la distribution spatio-temporelle des polluants ne sont pas seulement déterminées par les sources et les transformations physicochimiques. Elles le sont aussi par

des paramètres physiques qui relèvent de la dynamique atmosphérique [6].

Un épisode de pollution est observé lorsque :

- Les émissions de polluants sont importantes
- La météo est défavorable

Il existe quatre situations météorologiques favorisant les phénomènes de pollution :

I.3.1. Le vent

Il existe un lien évident entre la stagnation des polluants et la force du vent. La dispersion des polluants croît avec la vitesse et la turbulence du vent.

I.3.2. L'ensoleillement

Il est à l'origine des réactions photochimiques et favorise les réactions de photo oxydation et entre autre la formation de l'ozone.

I.3.3. Les gradients de température

La température de l'air décroît généralement avec l'altitude, ce qui permet une bonne dispersion verticale en favorisant l'ascension des masses d'air qui sont près du sol, celles-ci étant plus chaudes, donc plus légères. C'est le phénomène de convection.

I.3.4. La couche d'inversion

Dans certains cas on observe des inversions de température. Dans ces situations, on rencontre des couches d'air plus chaudes en altitude qu'au niveau du sol. Ceci freine la dispersion verticale des polluants. Ceux-ci se trouvent alors bloqués sous une "couche d'inversion" qui joue le rôle de couvercle thermique (Figure I.2). Si, au même moment, il y a peu de vent, la pollution augmente dans des proportions importantes. Les inversions peuvent avoir diverses causes ; elles se produisent notamment en hiver et par ciel clair. Le sol se refroidit de façon importante pendant la nuit par rayonnement et, au matin, la température de l'air près du sol est notablement plus faible que la température de l'air en altitude. Ceci est accentué en montagne : les rayons matinaux du soleil ne réchauffent que les sommets, alors que la température des masses d'air au sol est encore basse (phénomène de «mer de nuage» (Figure I.3).

Les mécanismes de la pollution de l'air dépendent donc très fortement des conditions météorologiques, et donc de la saison. Ainsi, les situations hivernales sont propices à l'accumulation des polluants primaires, émis directement par les sources (tels que les oxydes d'azote, les particules en suspension...) tandis que les situations estivales favorisent la formation de polluants secondaires par réactions chimiques (en particulier l'ozone).



Figure I. 2. : Couche d'inversion



Figure I. 3. : Mer de nuage

I.4. Les sources

Les sources de pollution sont réparties en trois catégories [7] :

I.4.1. Les sources urbaines et industrielles

Dans cette catégorie, la production d'énergie est la principale source de polluants atmosphériques. Par exemple, les centrales au charbon et aux gaz naturels émettent du CO, CO₂, SO₂, NO_x, des hydrocarbures, des métaux lourds, des composés organiques volatils (VOC) et toutes sortes d'aérosols. D'autres types de complexes industriels, comme les mines, raffineries, usines à pâtes et papier, fonderies et les compagnies pharmaceutiques émettent le même genre de polluants. Dans ces grandes zones urbaines, les transports, telles les voitures, camions, avions et bateaux, sont en grande partie responsables des émissions de polluants de même type que les industries. De plus, ces zones urbaines sont aux prises avec un énorme problème de déchets (domestiques, commerciaux et industriels). L'incinération de ces déchets et la création d'énormes dépotoirs, ainsi que le traitement des eaux usées sont responsables d'émission de CO, CO₂, CH₄, H₂S, NH₃ et d'aérosols. Finalement, la construction dans les zones urbaines émet énormément d'aérosols.

I.4.2. Les sources rurales

Dans le milieu agricole, par exemple, les polluants sont en partie dus à la poussière de terre levée par la lourde machinerie qui récolte et retourne la terre et qui est ensuite dispersée par les vents. Aussi, dans certaines régions du monde, on brûle les champs après avoir récolté, produisant d'épaisses fumées observables depuis l'espace lors de ces saisons. Des NO_x sont émis du sol à cause de l'introduction de puissants fertilisants et pesticides épandus par avion sont très volatils et se retrouvent facilement dans l'atmosphère. Les usines de production de

viande, comme les porcheries, émettent aussi leur lot de polluants atmosphériques non négligeables.

I.4.3. Les sources naturelles

Leurs polluants atmosphériques proviennent de l'érosion du sol par le vent (poussières, sable, métaux lourds), des feux de forêt (CO, CO₂, NO_x), des éruptions volcaniques (CO₂, SO₂), des procédés microbiens du sol et de la décomposition naturelle (NH₃, CH₄, H₂S) et des éclairs (production d'ozone troposphérique).

I.5. Mesure et contrôle de la pollution atmosphérique

La mesure de la concentration d'un polluant dans l'air, nécessite tout d'abord d'effectuer un échantillonnage (prélèvement de l'échantillon), suivi d'une extraction avec ou sans préconcentration, et puis on passe à l'étape d'analyse. Il existe d'autres techniques, qui nécessitent pas de faire l'extraction (sac de Teldar et ampoule en verre), d'autres combinent l'échantillonnage et l'extraction (SPME), et d'autres dites in-situ (on line) où l'échantillonnage, extraction et analyse sont faites en une seule étape.

Il existe plusieurs techniques pour mesurer et déterminer le niveau des polluants présents dans l'air ambiant, chaque technique réside sur une démarche bien distincte et propre à elle. Parmi, les techniques existantes, on peut citer :

- ✚ Les techniques de prélèvements sans concentration
- ✚ Les techniques de prélèvements avec concentration
- ✚ Les techniques in-situ (on line) où dites aussi techniques de mesure en temps réel

I.5.1. Techniques de prélèvement sans concentration

Dans ces techniques, l'air est analysé dans son intégralité, les sacs d'échantillonnage peuvent être utilisés avec les bouteilles en verre pour recueillir certains échantillons gazeux. Les phénomènes de diffusion et d'adsorption des sacs en plastiques influencent le choix des matériaux pour le composé à échantillonner, ainsi que la durée de conservation de l'échantillon. Les sacs en plastiques (sac Teldar) sont fabriqués de différents matériaux polymériques et disponibles en différents volumes (Figure I.4).

Les prélèvements s'effectuent dans des sacs aluminés 5 couches de 2 ou 5 litres. Cependant, dû à la diffusion ou la stabilité de certains gaz réactifs, ce type de sac d'échantillonnage n'est pas recommandé notamment pour le sulfure d'hydrogène (H₂S), le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde d'azote (NO₂) [8].



Figure I.4 : Sac de prélèvement en plastique « Sac de Teldar »

I.5.2. Techniques de prélèvement avec concentration

Il existe deux façons à effectués ce type de prélèvement ; la première consiste à faire barboter de l'air dans un récipient par utilisation d'une pompe, ou à faire aspirer un volume d'air connu à travers un matériau absorbant. Les récipients, qui doivent être imperméables au gaz recherché, peuvent se présenter sous la forme de bouteilles en matière plastique ou de tubes de verre remplis d'absorbants.

La Figure 4 illustre le principe d'un prélèvement par absorption ou bien par barbotage dans des flacons laveurs, ce dernier peut être utilisé pour en plus de prélèvement, qui pourra être suivi d'une dérivatisation, qui est une méthode particulière utilisée pour la mesure des aldéhydes, comme le formaldéhyde, qui sont piégés par réaction avec la DNPH (dinitrophénylhydrazine) en solution acétonitrile pour former des hydrazones facilement séparables par chromatographie en phase liquide et détectées par absorption UV grâce à la présence d'un noyau aromatique dans la molécule.



Figure I.5 : Tube adsorbant [9]

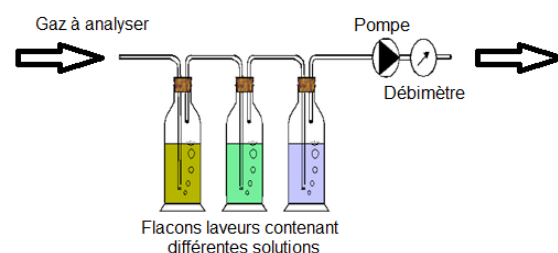


Figure I.6 : Prélèvement par absorption [10].

Concernant les particules de diamètre aérodynamique allant de 1 μm à 10 μm , le plus souvent, on mesure la concentration moyenne, sur 24 heures ou davantage, des particules en suspension recueillies sur des membrane en microfibre à travers lequel on a fait passer une quantité d'air connue. Plusieurs type de membrane en microfibre sont présente dans le marché

[11], on peut citer ceux qui sont à la base de : verre ; quartz ; nylon ; polyamide et polyacétate ; etc....

Pour les pompes utilisées pour la collecte des particules, on pourra utiliser des pompes à faible volume ($\sim 1\text{m}^3$) et d'autres à haut volume ($\sim 60\text{m}^3$), selon l'enrichissement d'un polluant par rapport à un autre.



Figure I.7 : Prélèvement des poussières avec un cyclone

I.5.3. Surveillance continue en temps réel

Les mesures en temps réel sont possibles grâce aux appareils d'analyse en continu qui peuvent déterminer, de façon spécifique, la présence d'un ou plusieurs polluants déterminés. De tels appareils existent, entre autres, pour SO_2 , NO_x [NO et NO_2], O_3 , CO , CO_2 , particules en suspension PM_{10} (leur dimension entre 0.1 à ~~10~~ μm) et $\text{PM}_{2.5}$ (leur dimension entre 0.1 à $2.5\mu\text{m}$), etc. La détection, dans les appareils, est basée sur une propriété physico-chimique du polluant. Les appareils d'analyse aspirent, en continu, l'air à travers une chambre de réaction et délivrent en permanence un signal de mesure représentatif de la concentration instantanée [12].

Cependant certains appareils ne donnent qu'une valeur moyenne pour une durée minimale de quelques minutes. Dans la plage de mesure de l'appareil, le signal de mesure varie de façon linéaire avec la concentration présentée. Ce système offre des avantages évidents lorsque les concentrations de crête sont élevées, ou bien lorsque la puissance des sources ou les taux d'infiltration varient dans le temps, mais s'assortit aussi de nombreux inconvénients. Le matériel consomme beaucoup d'énergie électrique, il est encombrant et coûteux, et il exige de nombreuses manipulations. Comme la surveillance continue exige de la compétence et du soin, qu'elle est encombrante et coûteuse, elle ne sert en général qu'à la recherche [12].

Récemment, d'autres techniques, comme la télédétection sont incorporées dans la mesure des polluants atmosphériques, entre autre, on cite le Lidar [13].

I.5.3.1. Station fixe urbaines de mesure des polluants atmosphériques

Ces stations sont menues de plusieurs instruments qui mesurent en continu des polluants

atmosphériques en continu à l'ambiance et/ou à l'émission, le principe de fonctionnement de ces instruments de mesure repose sur la **chimiluminescence**, la **fluorescence** ou sur **l'absorption** et **l'émission** dans le domaine **infrarouge**.

I.5.3.1.1. Analyseur NO/NO_x/NO₂

Cet appareil utilise le principe de la chimiluminescence. Il procède par mesure en alternance du monoxyde d'azote (en direct) puis des oxydes d'azote (via convertisseur). Il affiche en continu les 3 paramètres (NO/NO₂/NO_x). La gamme de mesure est programmable de 0-0,05 à 0-100 ppm, avec un seuil de détection de 0,4 ppb. Le stockage des mesures de cet instrument peuvent atteint 5000 points de mesure avec un poids emballé de 28 kg (Figure I.8) [14].

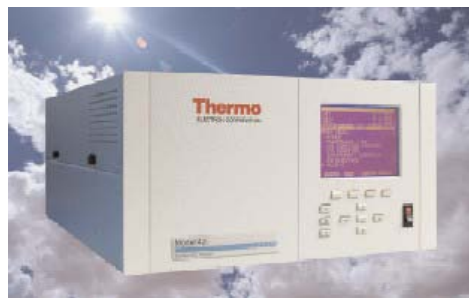


Figure I.8: Analyseur NO/NO_x/NO₂ à l'ambiance

I.5.3.1.2. Analyseur de l'ozone (O₃)

Cet appareil utilise le principe de l'absorption des rayonnements dans l'ultraviolet pour une mesure en continu de l'ozone dans l'ambiance avec compensation en température et en pression.

La gamme de mesure est programmable de 0-0,01 à 0-10 ppm, avec un seuil de détection de 1 ppb. Le stockage des mesures de cet instrument peuvent atteint 5700 points de mesure avec un poids emballé est de 32 kg (Figure I.9) [14].



Figure I.9: Analyseur de l'ozone à l'ambiance

I.5.3.1.3. Analyseur de l'ozone SO₂

Cet appareil utilise le principe de la fluorescence pulsée dans l'ultraviolet pour des mesures en continu de dioxyde de soufre.

La gamme de mesure est programmable de 0 à 1 jusqu'au 100 ppm, avec un seuil de détection de 1ppb. Le stockage des mesures de cet instrument peuvent atteindre 5000 points de mesure avec un poids emballé de 28 kg (Figure I.10) [14]

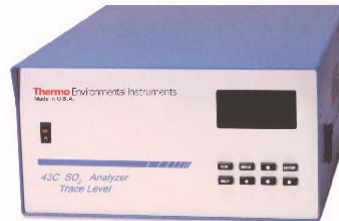


Figure I.10 : Analyseur de l'ozone à l'ambiance

I.5.3.1.3. Analyseur s hydrocarbures Totaux (HCT)

Cet appareil utilise le principe de la ionisation de flamme (FID) pour la mesure en continu des hydrocarbures totaux (HCT) ou des hydrocarbures méthaniques (HCM).

Les HCT sont mesurés directement, les HCM sont mesurés après élimination des composés non méthaniques.

La gamme de mesure est programmable de 0-10 à 0-20000 ppm (Linéaire) 20000-100000 ppm (Logarithmique), avec un seuil de détection de **1/1000ième de la gamme**. Le gaz carburant utilisé est H₂/He et la température de détecteur FID est de 190 °C avec un poids emballé de 22 kg (Figure I.11) [14]



Figure I.11 : Analyseur des HCT à l'émission et à l'ambiance

I.5.3.2. Mesure in-situ par télédétection

I.5.3.2.1. La technique LIDAR

Parmi les techniques et les outils apparus lors de ces dernières décennies pour la mesure de la pollution atmosphérique, le LIDAR (Light Detection And Ranging) offre de nouvelles dimensions à la surveillance de la qualité de l'air. Cet instrument de télédétection, fonctionnant sur un principe optique, permet en effet de sonder l'atmosphère dans toutes les

directions, et de visualiser ainsi en 2D ou 3D la dynamique des polluants. Depuis 1999, La Société allemande ELIGHT commercialise le LIDAR mobile, sous le nom de LIDAR 510M, permettant de mesurer le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone (O_3), le benzène (C_6H_6), le toluène (C_7H_8), ou encore l'extinction due aux aérosols. L'introduction d'un tel outil dans un réseau de surveillance demande réflexion et investissement, compte tenu des différentes possibilités d'utilisation du système et de sa spécificité technique.



Figure I.12 : Le Camion Lidar

I.5.3.2.2. Le principe du lidar

L'idée de réaliser un Radar basé sur de la «lumière» est née avant l'apparition du laser, mais la technique LIDAR a pu réellement voir le jour avec le développement des premiers lasers dans les années 60. Le principe repose sur la diffusion et l'absorption de la lumière par la matière: lorsqu'une impulsion laser est envoyée dans l'atmosphère, en plus d'être absorbée, elle est diffusée dans toutes les directions par les molécules (gaz) et particules présentes sur le trajet optique. Une faible partie de cette lumière est donc réémise vers l'arrière et l'atmosphère se comporte alors comme un miroir naturel. Un télescope permet de collecter le signal «rétrodiffusé» et de le focaliser vers une unité de détection pour l'analyser. La conversion en distance est obtenue à partir du temps mis par la lumière pour effectuer l'aller-retour jusqu'à la particule ou la molécule diffusante (Figure I.13) [15].

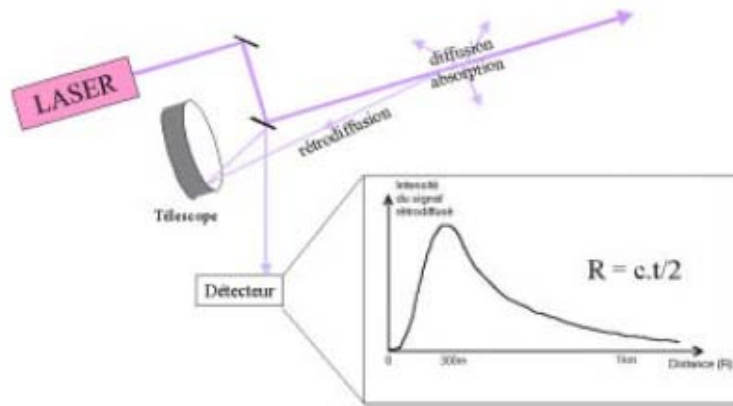
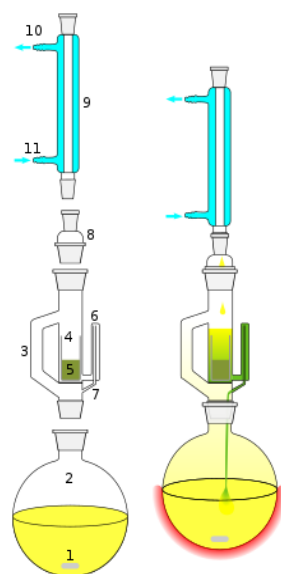


Figure I.13 : Le principe LIDAR

La technique LIDAR a été initialement utilisée (et continue de l'être) pour mesurer des paramètres météorologiques tels que les profils de vent, de température ou d'humidité, la taille des gouttelettes d'eau dans les nuages ou encore la hauteur de la couche limite [16-19].

I.5.4. Préparation des échantillons solides

Les échantillons de matériau (cuir, bois, moquette, ...) et susceptibles de contenir des polluants (pesticides par exemple), doivent être préparés pour l'analyse. La préparation comporte en général une première opération, qui consiste à broyer ou à fractionner l'échantillon. L'échantillon subit ensuite un processus d'extraction par solvant [20]. Plusieurs techniques d'extraction peuvent être employées, comme la micro-extraction en phase solide (SPME), les micro-ondes, l'extraction par bain d'ultrasons, et finalement la technique de référence l'utilisation du Soxhlet



- 1 Agitateur magnétique
- 2 Ballon à col rodé
- 3 Retour de distillation (tube d'adduction)
- 4 Corps en verre
- 5 Filtre
- 6 Haut du siphon
- 7 Sortie du siphon
- 8 Adaptateur d'expansion
- 9 Condenseur
- 10 Sortie de l'eau de refroidissement
- 11 Entrée de l'eau de refroidissement

Figure I.14 : Représentation schématique d'un extracteur de Soxhlet

I.5.5. Méthodes d'analyse en laboratoire

L'analyse des gaz remonte aux 17^{ème} Siècle, époque où Lavoisier montra que l'air était composé d'au moins deux gaz dont l'un (l'oxygène) est essentiel pour la combustion et la respiration et l'autre gaz (l'azote) est inerte. Deux siècles après, des méthodes d'analyse de gaz performantes telles que la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse sont apparues. Ces analyses sont précises mais elles nécessitent un appareillage relativement lourd et onéreux. On peut classer les différents types d'analyseurs en trois catégories:

I.5.5.1. Méthodes Chromatographiques

Les méthodes chromatographiques permettent la séparation et l'identification de nombreuses substances par adsorption sur colonne ou sur papier sensible spécial, puis par élution des divers composés au moyen de solvants sélectifs. On peut ainsi séparer les constituants de mélanges complexes sans leur faire subir de modification chimique. Ces méthodes permettent de déceler très rapidement des traces d'ions minéraux ; le gain de temps est considérable par rapport aux autres techniques. La sensibilité de la chromatographie est très grande. De plus, toutes les substances peuvent être dosées [21].

I.5.5.1.1. Chromatographie en phase gazeuse (GC)

La chromatographie en phase gazeuse est rapidement devenue l'une des meilleures méthodes analytiques dans le domaine scientifique, autant en recherche que dans le domaine industriel (industrie pharmaceutique, agriculture, environnement, etc.) Cette technique fut découverte en 1952 par James et Martin et a fait des progrès vertigineux, particulièrement grâce à la découverte des détecteurs ultrasensibles. Le seuil de détection de la chromatographie en phase gazeuse, de l'ordre des parties par billions, n'a pas encore été égalé. C'est également le seul type de chromatographie qui utilise un gaz comme phase mobile, ce qui nécessite un appareil spécial, appelé communément le **chromatographe à gaz**. Dépendant de la phase stationnaire, il est possible d'exploiter les phénomènes d'adsorption ou de partition en chromatographie en phase gazeuse [22].

❖ Principe

La chromatographie est une technique de séparation des différents composés d'un mélange, basée sur leur migration différentielle au travers d'un substrat fixé dans une colonne.

Pour ce faire on va utiliser une colonne chromatographique, qui est, de façon simplifiée, un

tube contenant une phase fixe (soit un liquide, auquel cas on parlera de chromatographie gaz-liquide ou de partage, soit un solide, auquel cas on parlera de chromatographie gaz-solide ou d'adsorption). Dans ce tube on va faire passer un gaz vecteur dont la fonction est d'entraîner le gaz à analyser dont on introduit une certaine quantité en tête de colonne [23].

Le mélange initial peut être sous forme gazeuse, liquide ou même solide, pourvu que, dans ces deux derniers cas, la vaporisation totale soit assurée de façon aussi instantanée que possible. Lorsque le mélange est déjà sous forme gazeuse, il peut être introduit par un système de vannes d'injection ou via une seringue à gaz.

En maintenant une température minimale convenable, on parvient à volatiliser la totalité des produits (appelés solutés) à l'entrée de la colonne. Ceux-ci sont obligés de parcourir la colonne par la poussée d'un gaz inerte, appelé gaz vecteur, qui constitue la "phase mobile".

Alors que la phase mobile tend donc à entraîner les espèces à séparer dans son mouvement, le remplissage de la colonne, constituant la "phase stationnaire", tend à les retarder, d'autant plus fortement que ses interactions avec les solutés sont intenses. Il en résulte que les solutés ont, pour la plupart, des vitesses de déplacement différentes et inférieures à celle de la phase mobile. Ils traverseront donc celle-ci en un temps plus ou moins long, selon leurs interactions propres avec le substrat : c'est l'élution des composés.

A la sortie de la colonne, les composés présents dans le mélange gazeux initial sont donc séparés : chacun d'entre eux ayant parcouru la colonne avec un "temps de rétention" qui lui est propre, et qui peut donc servir à l'identifier et on va obtenir un chromatogramme ayant l'aspect suivant [21] :

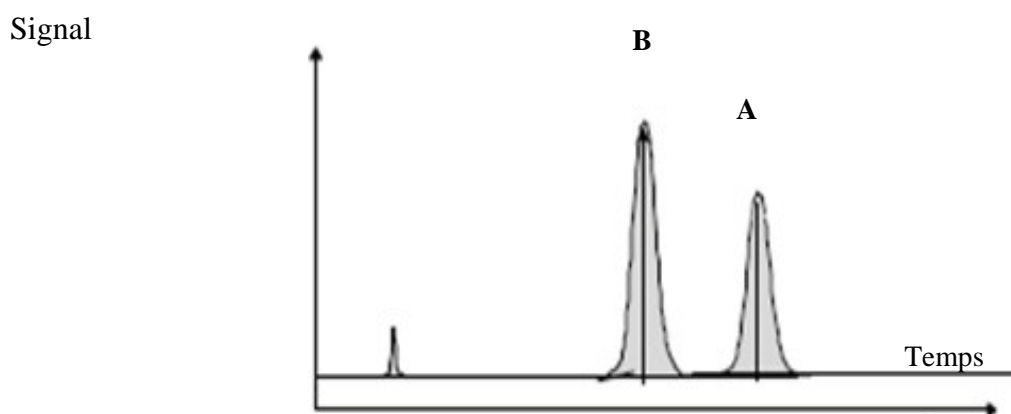


Figure I.15 : Le chromatogramme [8].

Pour atteindre une bonne séparation des différents composés du mélange et donc une bonne détectabilité, on peut diminuer le diamètre des grains de la phase stationnaire des colonnes remplies, ou diminuer le diamètre de la colonne. On utilise ainsi à l'heure actuelle des

colonnes capillaires qui permettent une très bonne séparation des pics.

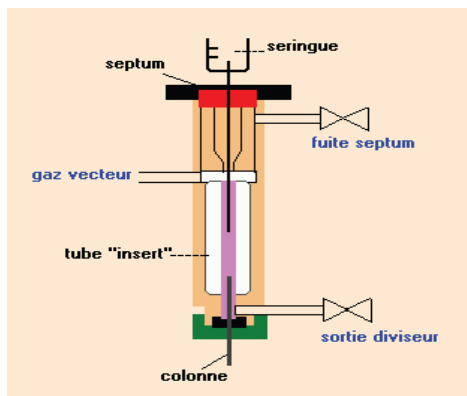


Figure I.16: L'injecteur diviseur.

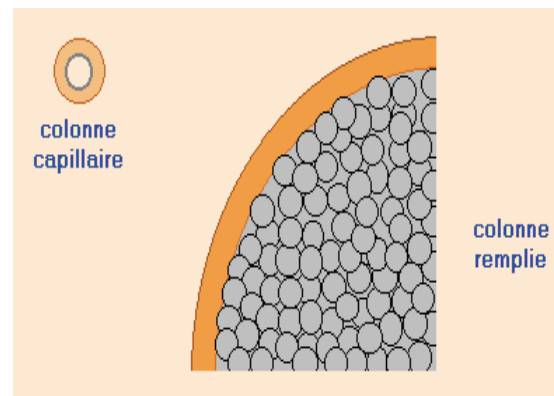


Figure I.17: Colonnes capillaire et remplie

❖ Détecteur

Les effluents sortant à tour de rôle de la colonne doivent être repérés et ce repère transformé en signal électrique que l'on peut enregistrer au cours du temps pour constituer le chromatogramme. C'est la fonction du détecteur.

✓ Catharométrie

Le catharomètre est un détecteur simple et robuste, à réponse universelle, mais relativement peu sensible [23]. Il compare en permanence la conductivité thermique (capacité à transporter la chaleur par conduction) du gaz vecteur pur et celle du gaz vecteur chargé des molécules de soluté. Comme la conductivité des gaz vecteurs utilisés dans ce cas (hydrogène ou hélium) est très élevée, la détection des composés, dont la conductivité thermique est environ 10 fois plus faible, peut être relativement performante. Le seuil de détection reste cependant élevé : de l'ordre du pour-cent.

L'élément sensible est incorporé dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone. Dans l'autre branche est placé un fil absolument identique, mais qui est toujours placé dans le gaz porteur pur et dont la résistance sera donc constante; on constitue ainsi deux cellules, l'une de mesure et l'autre de référence [24]. La variation de résistance électrique R dépend de la température suivant la formule [8]: $R = R_0 (1 + aT)$

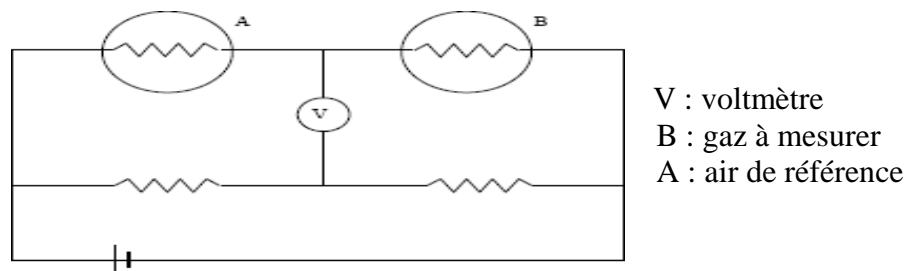


Figure I.18 : Principe du détecteur catharométrique

✓ **Détecteur à ionisation de flamme FID**

Beaucoup plus sensible que le précédent, le détecteur à ionisation de flamme (FID) est cependant moins universel, car il ne donne pas de réponse aux composés inorganiques. Son principe est de brûler dans une flamme d'hydrogène les composés élués apportés par le gaz vecteur. Le seuil de détection peut être de l'ordre de $0,1 \text{ mg/m}^3$, mais dépend des composés analysés (beaucoup plus élevé pour le formaldéhyde par exemple).

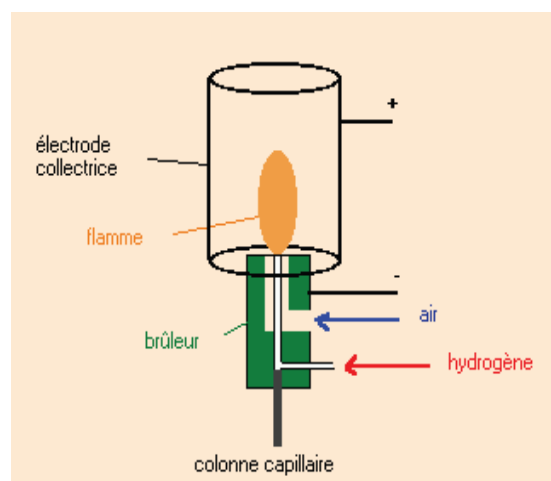


Figure I.19: Détecteur à ionisation de flamme

✓ **Détecteur à capture d'électrons (ECD)**

On crée des électrons libres grâce à une source radioactive β , telle que ^{63}Ni . Quand ce détecteur est traversé par des substances ayant une affinité pour les électrons libres, elles les capturent. Il en résulte une diminution du courant d'électrons sur une électrode de mesure.

La réponse est donc limitée aux solutés ayant des affinités pour les électrons libres, c'est-à-dire aux composés électronégatifs, comme les dérivés halogénés (basés sur le

Fluor, le Chlore, le Brome, ... comme beaucoup de pesticides par exemple). La sensibilité est alors considérable.

✓ **Détecteur à photoionisation (PID)**

Ce principe consiste à ioniser un composé organique par l'absorption d'énergie lumineuse. Des photons émis par une lampe ultra-violette ionisent les composés dont l'énergie requise est égale ou supérieure à leur potentiel d'ionisation.

Les ions produits sont dirigés sur une électrode réceptrice produisant ainsi une mesure de courant qui est comparé à une concentration de référence. Ces instruments non spécifiques sont utiles pour détecter des sources d'émission et comme outil d'exploration.

✓ **Détecteur à spectrométrie de masse (MSD)**

Le couplage entre la chromatographie gazeuse et la spectrométrie de masse (GC-MS) est l'un des systèmes les plus adaptés à la séparation et l'identification exhaustive de substances organiques dans des mélanges complexes tels que les pollutions intérieures.

En outre, sa sensibilité (mg/m^3) permet la détection de concentrations faibles des composés odorants.

✓ **Chromatographie en phase liquide haute performance (HPLC)**

A l'origine, la chromatographie en phase liquide se faisait avec des colonnes en verre. Le liquide traversait la phase stationnaire par gravité ou sous faible pression. Par la suite, pour augmenter le débit, et donc réduire le temps d'analyse, des essais ont été effectués sous pression plus forte. C'est ce que l'on a appelé la Chromatographie Liquide sous Haute Pression (HPLC). Après d'autres modifications (amélioration des colonnes, ...), la technique a atteint un très haut degré de performance et de fiabilité, si bien que le P de Pression est devenu le P de Performance. Aujourd'hui, l'HPLC est la Chromatographie Liquide Haute Performance [25].

I.5.5.2. Méthodes Spectrométriques

La spectrophotométrie, basée sur l'absorption d'une certaine bande de radiations électromagnétiques dans les régions du visible, de l'ultraviolet et de l'infrarouge du spectre, est l'une des méthodes instrumentales d'analyse les plus importantes ; elle peut donc rendre service lorsqu'il s'agit d'analyser les impuretés atmosphériques. L'absorption varie avec la longueur d'onde de la radiation incidente ; les mesures doivent donc être faites en lumière

monochromatique ou de spectre limité, réalisable avec des filtres spéciaux. Le faisceau émergent de la source ayant été ainsi convenablement ajusté est envoyé dans la substance à étudier ; à sa sortie, on mesure par un dispositif de détection approprié l'intensité de la radiation non absorbée [21].

L'analyse continue des gaz utilise l'absorption dans le visible, dans l'UV et dans l'IR, en se basant sur la loi de Beer-Lambert qui exprime la relation entre l'intensité I du rayonnement traversant une cuve de longueur l contenant une substance absorbante de concentration c et la concentration optique $cl=u$ de cette substance:

$$I = I_0 \exp(-ku)$$

Où k est le coefficient d'absorption et I_0 l'intensité avant le passage dans la cuve [23].

I.5.5.1.1. Absorption du rayonnement IR

La spectrométrie infrarouge, elle, s'utilise davantage sur le gaz polluant lui-même, en mettant en évidence des spectres d'absorption correspondant aux mouvements de vibration et de rotation des molécules concernées.

Le faisceau IR traverse deux cuves en parallèle, dont l'une est remplie par le mélange à analyser et l'autre remplie par un gaz de référence.

Les deux faisceaux inégalement absorbés sont reçus dans un récepteur à deux compartiments, qui sont remplis du composé à doser et absorbent donc l'énergie IR résiduelle. Ceci se traduit par un échauffement différent du gaz de chaque compartiment, donc par une pression différentielle, qui est prise en compte par un amplificateur, et traduite en concentration.

Cette méthode d'analyse des gaz n'est habituellement pas utilisée comme méthode absolue, mais comme méthode comparative. Pour cette raison la notion de précision est très difficilement accessible. Elle est très variable du fait que les bandes d'absorption se chevauchent très souvent, il se produit alors des interférences.

La concentration maximale est de 100% pour tous les gaz, le seuil de détection s'exprime en partie par million en volume et elle varie selon les gaz [23].

I.5.5.1.2. Absorption dans le visible et l'ultraviolet

Cette méthode est très voisine de l'absorption IR : sous l'action d'un faisceau UV certaines molécules subissent des vibrations et/ou des transitions électroniques qui conduisent à des spectres d'absorption UV. Les applications sont très voisines de l'absorption IR, à ceci près que la vapeur d'eau n'interfère pas dans l'UV, ce qui permet une meilleure spécificité pour la mesure de SO₂ et NO [23].

Moyennant l'emploi de la bonne solution absorbante au moment du prélèvement du gaz polluant dans l'atmosphère intérieure, la spectrophotométrie UV/visible permet de doser un composé à des concentrations très basses (par exemple : 10 ppb pour le formaldéhyde en réaction avec la pararosaniline).

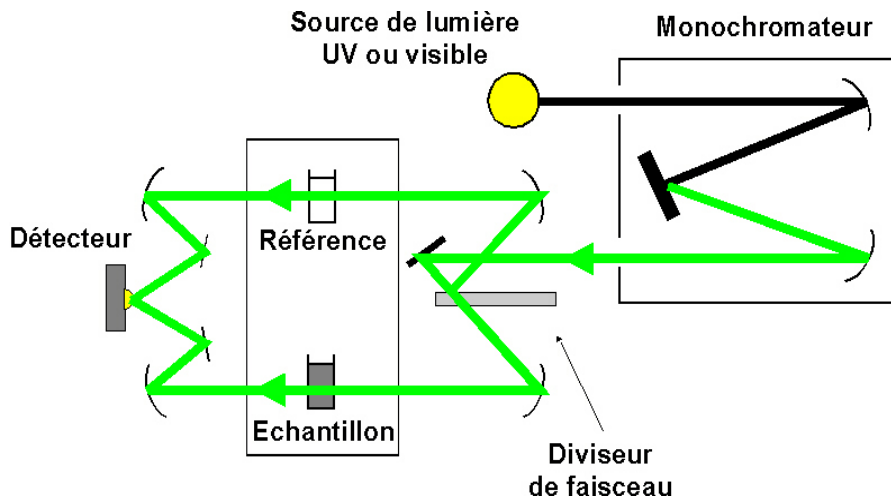


Figure I.20: Principe d'un spectrophotomètre à double faisceau

I.5.5.1.3. Luminescence

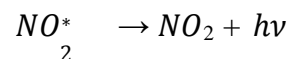
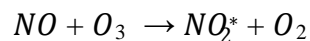
La luminescence est la propriété d'émettre sous forme de lumière une partie de l'énergie absorbée au cours d'une excitation quelconque (réaction chimique, irradiation, ...).

Ce phénomène est notamment exploité pour la détection et la mesure de concentration d'organismes vivants bioluminescents.

Dans le cadre du dosage de polluants intérieurs, les principes exploités sont la chimiluminescence, la fluorescence, ou la phosphorescence.

I.5.5.1.4. Chimiluminescence

C'est une méthode automatique fondée sur la réaction en phase gazeuse de l'ozone sur NO sous pression, soit réduite, soit voisine de la pression atmosphérique.



La concentration du dioxyde d'azote est déterminée indirectement en mesurant par photométrie l'intensité de la lumière produite par la réaction de l'ozone sur NO. Le dioxyde est quantitativement réduit en monoxyde au moyen d'un convertisseur avant sa réaction avec l'ozone, ce qui donne une mesure de NO + NO₂. Il suffit ensuite de déduire de ce dernier

résultat la teneur en NO pour obtenir teneur en NO₂. Les deux dosages de NO et de NO + NO₂ peuvent se faire en même temps avec un appareil double, ou successivement avec un appareil unique, pourvu que l'intervalle de temps entre les deux dosages ne dépasse pas deux minutes [26].

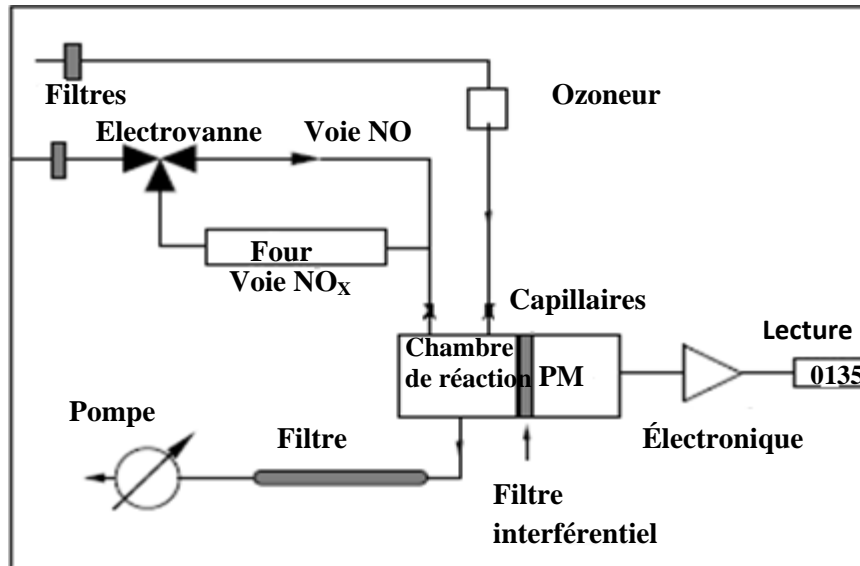


Figure I.21 : Analyseur NO_x à chimiluminescence.

Cette méthode convient assez bien pour mesurer des concentrations assez faibles, allant du ppb (part par milliard) à quelques ppm (part par million) en volume. Elle est par ailleurs très spécifique.

La précision des mesures dépend de la maintenance de l'appareil, de la qualité et de la fréquence d'étalonnage des appareils et des conditions d'utilisation [23].

I.5.5.1.5. Spectrométrie de fluorescence X

La fluorescence X met en œuvre un rayon X incident, d'une longueur d'onde inférieure à 1 nm, et donc de grande énergie, émis par une source radioactive.

Le détecteur du rayonnement fluorescent X est en général constitué d'un cristal plan tournant suivi d'un détecteur de photons de type proportionnel ou à scintillation.

Grâce à une préparation d'échantillons relativement simple, la fluorescence X est aujourd'hui utilisée dans des applications très diverses. Elle n'est cependant applicable que pour déterminer des éléments entre le bore ($Z=5$) et l'uranium ($Z=92$). En particulier, c'est une technique très utilisée pour l'analyse de métaux lourds, notamment dans les poussières.

I.5.5.1.6. Spectrométrie d'absorption atomique

Cette méthode d'analyse dite élémentaire permet de doser des éléments chimiques à l'état de traces (en très faible quantité : quelques ppm) contenus dans une solution, et de déterminer les concentrations des espèces présentes.

La spectrométrie d'absorption est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie des atomes. En effet un atome qui passe de son état (d'énergie) fondamental à un état excité quelconque absorbe un ou plusieurs photons. La fréquence ν du photon dépend de l'énergie ΔE acquise par l'atome par la relation : $\Delta E = h\nu$, où h est la constante de Planck.

L'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments à doser [27]. La spectrométrie d'absorption atomique peut être appliquée au dosage d'une trentaine d'éléments, et cela tout aussi bien au niveau des éléments majeurs ($0,1 \dots 10 \text{ g/m}^3$) que d'éléments en trace ou ultratrace ($0,0001 \dots 0,1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

Chapitre.2

Pollution photochimique de
l'ozone

II. Introduction

La pollution atmosphérique est l'introduction dans l'atmosphère par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie ayant une action nocive, de nature à mettre en danger la santé humaine, à endommager les ressources biologiques et les écosystèmes, à détériorer les biens matériels, à porter atteinte ou à nuire aux valeurs d'agrément et aux autres utilisations légitimes de l'environnement [28].

La pollution atmosphérique désigne les particules en suspension et les gaz nocifs dans l'air. La pollution atmosphérique se manifeste tant dans les zones rurales qu'urbaines. Bien que les rejets naturels des incendies de forêt et la poussière du sol et des volcans chassée par le vent contribuent à la pollution atmosphérique, l'activité humaine rejette bien plus de polluants dans l'environnement.

II. 1. Les composés organiques volatils

II.1.1. Définition

Selon la Directive Européenne du 11 Mars 1999, on définit un composé organique volatil (COV) comme tout composé organique ayant une pression de vapeur supérieur ou égale à 0,01 kPa, à la température de 293,15 K, ou ayant une volatilité correspondante dans des conditions d'utilisation particulières [29].

La source d'origine des COVs peut être naturelle ou anthropique. Ces produits proviennent, notamment, de sources mobiles utilisatrices de carburants et de procédés industriels tels que le raffinage du pétrole, le dégraissage des métaux, l'application de la peinture et de vernis, l'imprimerie

II.1.2. Effet sur la santé

Les effets directs des COVs sur la santé de l'Homme sont variés et de gravité différente : action cancérogène et mutagène, irritations cutanées, irritations des organes respiratoires et irritations des yeux, maux de tête, troubles cardiaques, digestifs, rénaux, hépatiques et du système nerveux. Le Tableau I.2 reporte des données de toxicité plus complètes pour certains composés.

Tableau II. 1 : Toxicité de certains COV [30]

COV	Toxicité spécifique	VME (ppm)	VLE (ppm)	Valeur guide moyen dans l'air ambiant
Acétaldéhyde	Cancérogène probable (C-3) ⁴	100		
Benzène	Moelle osseuse, cancérogène (C-1)	5	25	5 µg/m ³ /an
1,3-Butadiène	Cancérogène (C-2)			
Ethylbenzène		100		
Formaldéhyde	Cancérogène probable (C-3)	0,5	1	0,5 mg/m ³ /30 min
Toluène	Tératogène	100	150	0,26 mg/m ³ /semaine
Trichloroéthylène	Cœur, cancérogène probable (C-3)	75	200	
Xylènes		100	150	

1 -VME : Valeur Moyenne d'Exposition : 8h/j pour 40h/semaine. Elle vise à protéger des effets dus à une exposition chronique.

2 -VLE : Valeur Limite d'Exposition, teneur maximale ne pouvant dépasser 15 minutes. Elle vise à éviter les effets toxiques aigus.

3 - Valeur guide proposée par l'OMS, à l'exception du benzène pour lequel la valeur proposée est issue d'une Directive Européenne.

4 - C-x : substance cancérogène de classe x, suivant la réglementation européenne.

C-1 : substance reconnue cancérogène pour l'Homme

C-2 : substance devant être assimilée à une espèce cancérogène pour l'homme (forte présomption)

C-3 : substance préoccupante pour l'Homme.

II.1.3. Effet sur le climat

A l'heure actuelle, la toxicité directe des COVs sur les espèces végétales n'est pas clairement établie. C'est l'ozone, généré par des réactions photochimiques entre les COVs (entre autres) et le l'oxygène moléculaire qui est souvent incriminé en raison de son pouvoir oxydant pour expliquer certaines dégradations végétales (Figure I. 5.)

De récents essais en chambres climatiques (atmosphères contrôlées) visent à montrer l'éventuel impact des COVs en comparant l'état général du végétal exposé à un témoin non exposé : les effets observés sont généralement des troubles physiologiques concernant la photosynthèse et la respiration ou des changements de pigmentation.

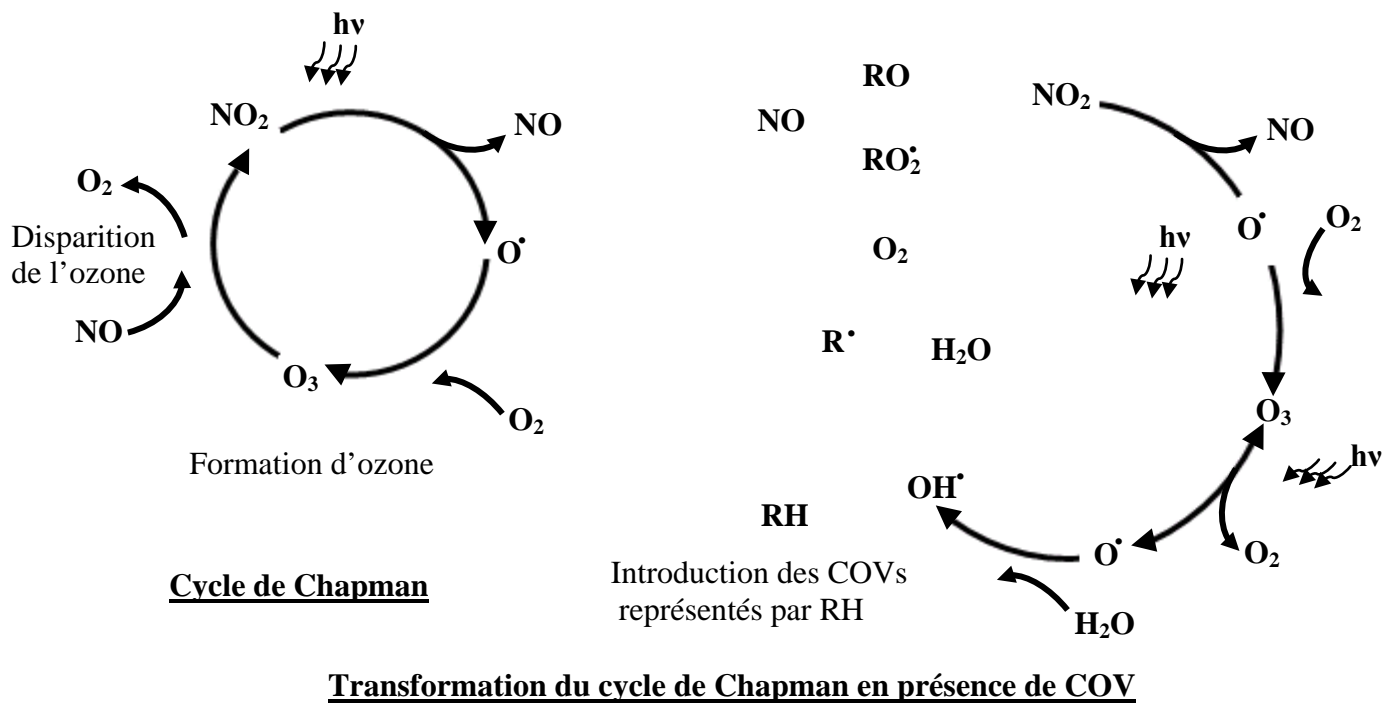


Figure II.1 : Formation d'ozone dans l'atmosphère en présence de COVs [31]

II.2.Composés organiques semi-volatils (COSVs)

II.2.1. Définition

Les composés organiques semi-volatils (COSVs), sont présents dans l'atmosphère soit en association avec les aérosols ou carrément en phase gazeuse. Généralement, les COSVs avec une pression de vapeur saturante comprise entre 10^{-6} et 10^{-2} Pa, peuvent exister à la température ambiante, dans les deux phases (gazeuse et particulaire) [32-33]. La proportion associée à la matière particulaire présente dans l'atmosphère dépendra de la pression de vapeur du composé, de la température de l'air ambiant, de l'humidité relative et du taux d'échange avec la surface de sorption, qui peut être à son tour, influencé par la nature et la disponibilité des aérosols atmosphériques [33-38].

Certains COSVs associés à la matière particulaire atmosphérique (les HAPs par exemple) peuvent exister sous forme de fractions échangeables et non-échangeables. C'est la quantité dans la première fraction qui est en équilibre avec la concentration en phase vapeur [33]. D'autres COSVs (PCBs par exemple) semblent capable d'afficher complètement la réversibilité du partage contrôlé de température entre les phases gazeuse et particulaire [39].

II.2.2. Occurrence et sources

L'Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis [40] a recensé une large production de Composés Organiques Semi-Volatils (COSVs) qui s'élève à plus d'un millier de produits chimiques. Cette désignation signifie que l'espèce est produite ou importée aux Etats-Unis pour un montant de plus de 1 million de livres par an. Les COSVs sont utilisés comme additifs ; ils sont souvent mélangés dans une formulation à des niveaux allant de 1% à des dizaines de pour cent. Par exemple, les revêtements du sol à base de peinture polyvinylique peuvent contenir jusqu'à 30% de di(2-éthylhexyl) phthalate (plastifiant) [41]. La mousse de polyuréthane qui sert de capitonnage dans les meubles ou la literie contient particulièrement 1 à 10% en polybromodiphényléthers (retardateurs de flammes) [42], et les retardateurs de flamme bromés peuvent être présents dans des boîtiers de télévision à un taux fixé de 5 à 10%. La production mondiale pour certains additifs est extrêmement grande et dépasse 3,5 millions de tonnes par an pour les esters de phtalates [41], et 0,2 millions de tonnes/an pour les retardateurs de flamme bromés [43]. La production d'esters de phtalates correspond à plus de 500 g par personne/an pour l'ensemble de la population mondiale. Le Tableau I.3, représente les composés organiques semi-volatils rencontrés fréquemment dans l'air intérieur (Indoor air).

Tableau II.2: Les différentes classes des COSVs rencontrés dans l'air intérieur

Classe chimique	Composé chimique	N° CAS	Formule	Log P _s
<i>Biocides et Inhibiteurs</i>				
Antimicrobiens	Triclosan	3380-34-5	C ₁₂ H ₇ Cl ₃ O ₂	-8,9
Antioxydants	Butyrate hydroxytoluène (BHT)	128-37-0	C ₁₅ H ₂₄ O	-6,7
Fongicides	Oxyde de tributylétain (TBTO)	56-35-9	C ₂₄ H ₅₄ OSn ₂	-10,9
Inhibiteurs de combustion du bois	Pentachlorophénol (PCP)	87-86-5	C ₆ HCl ₅ O	-7,4
<i>Sous Produits</i>				
Traceur de la fumée du tabac	Nicotine	54-11-5	C ₁₀ H ₁₄ N ₂	-4,7
Polychlorodibenzo- <i>p</i> -dioxines	2,3,7,8-Tétrachlorodibenzo- <i>p</i> -dioxine (TCDD)	1746-01-6	C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂	-11,4
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Benzo[<i>a</i>]pyrène (BaP)	50-32-8	C ₂₀ H ₁₂	-10,5
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Phénanthrène	85-01-8	C ₁₄ H ₁₀	-6,6
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Pyrène	129-00-0	C ₁₆ H ₁₀	-7,5
<i>Produits de dégradation</i>				
Phénols	Bisphénol A	80-05-7	C ₁₅ H ₁₆ O ₂	-10,5
Retardateurs de flamme				
Retardateurs de flamme Bromés	2,20,4,40,5,50-Hexabromodiphényl éther (BDE-153)	68631-49-2	C ₁₂ H ₄ Br ₆ O	-13,8
Retardateurs de flamme Bromés	2,20,4,40,5-Pentabromodiphényl éther (BDE-99)	60348-60-9	C ₁₂ H ₅ Br ₅ O	-12,0
Retardateurs de flamme Bromés	2,20,4,40-Tétrabromodiphényl éther (BDE-47)	5436-43-1	C ₁₂ H ₆ Br ₄ O	-10,5
Retardateurs de flamme Chlorés	Perchloropentacyclodécane (Mirex)	2385-85-5	C ₁₀ Cl ₁₂	-10,6
Phosphate esters	Trichloropropyl phosphate	13674-84-5	C ₉ H ₁₈ Cl ₃ O ₄ P	-6,3
<i>Fluides de transfert de chaleur</i>				
Polychlorobiphényles (PCBs)	2,20,5,50-Tétrachloro-1,10-biphényle (PCB 52)	35693-99-3	C ₁₂ H ₆ Cl ₄	7,8
Polychlorobiphényles (PCBs)	2,20,4,40,5,50-Héxachloro-1,10-biphényle (PCB 153)	35065-27-1	C ₁₂ H ₄ Cl ₆	-9,8
<i>Emissions microbienne</i>				
	Sesquiterpène géosmine	23333-91-7	C ₁₂ H ₂₂ O	-5,3
<i>Produits de soins personnels</i>				
Composés musqués	Galaxolide	1222-05-5	C ₁₈ H ₂₆ O	-7,5

Constituants Pétrolier	<i>n</i> -Pentacosane	629-99-2	C ₂₅ H ₅₂	-10,2
<i>Pesticides/termicides/herbicides</i>	Carbamate Propoxur	114-26-1	C ₁₁ H ₁₅ NO ₃	-6,8
Pesticides Organochlorés	Chlordane	57-74-9	C ₁₀ H ₆ Cl ₈	-7,8
Pesticides Organochlorés	p,p'-DDT	50-29-3	C ₁₄ H ₉ Cl ₅	-9,7
Pesticides Organophosphorés	Chlorpyrifos	2921-88-2	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ P	-7,9
Pesticides Organophosphorés	Diazinon	333-41-5	S	-8,0
Pesticides Organophosphorés	Méthyl parathion	298-00-0	C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS	-6,6
Pyréthriinoïdes	Cyfluthrin	68359-37-5	C ₈ H ₁₀ NO ₅ PS	-12,4
Pyréthriinoïdes	Cypermethrin	52315-07-8	C ₂₂ H ₁₈ Cl ₂ FNO	-12,4
Pyréthriinoïdes	Perméthrin	52645-53-1	₃	-10,7
Synergistes	Pipéronyl butoxide	51-03-6	C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ NO ₃ C ₂₁ H ₂₀ Cl ₂ O ₃ C ₁₉ H ₃₀ O ₅	-10,1
<i>Plastifiants</i>				
Adipate esters	Di(2-éthylhexyl) adipate (DEHA)	103-23-1		-9,9
Phosphate esters	Triphénylphosphate (TPP)	115-86-6		-9,2
Phthalate esters	Butylbenzyl phthalate (BBzP)	85-68-7	C ₂₂ H ₄₂ O ₄	-10,0
Phthalate esters	Dibutyl phthalate (DBP)	84-74-2	C ₁₈ H ₁₅ O ₄ P	-8,0
Phthalate esters	Di(2-éthylhexyl) phthalate (DEHP)	117-81-7	C ₁₉ H ₂₀ O ₄ C ₁₆ H ₂₂ O ₄ C ₂₄ H ₃₈ O ₄	-11,5
<i>Mastics</i>				
Silicones	Tétradécaméthylcycloheptasiloxane (D7)	107-50-6		-
<i>Tensio-actifs et agents de surface</i>				
Alkylphénol éthoxylates	4-Nonylphénole	104-40-5	C ₁₄ H ₄₂ O ₇ Si ₇	-7,1
Agents de Coalescence	3-Hydroxy-2,2,4-Triméthylpentyl-1-Isobutyrate (Téxanol)	25625-77-4		-5,6
Surfactants Perfluorés	N-éthyl perfluorooctane sulfonamidoéthanol (EtFOSE)	1691-99-2	C ₁₅ H ₂₄ O	-6,8
Surfactants Perfluorés	N-méthylperfluorooctane sulfonamidoéthanol (MeFOSE)	24448-09-7	C ₁₂ H ₂₄ O ₃ C ₁₂ H ₁₀ F ₁₇ NO ₃	-6,4
<i>Produits d'oxydation Terpénique</i>	Pinone aldéhyde	2704-78-1	S	-4,1
<i>Produits de désinfection de l'eau</i>	3-Chloro-4-(dichlorométhyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone (MX)	77439-76-0	C ₁₁ H ₈ F ₁₇ NO ₃ S	-9,3

<i>Cires, cirages et huiles essentielles</i> Acides gras Acides gras Sesquiterpènes	Acide Stéarique (acide octadécanoïque)	57-11-4	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	-11,0
	Acide Linoléique	60-33-3	C ₅ H ₃ Cl ₃ O ₃	-10,2
	Caryophyllène	87-44-5	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	-4,6
			C ₁₈ H ₃₂ O ₂	
			C ₁₅ H ₂₄	

^a log Ps = log10(Pression de vapeur saturante [atm]); calculée en utilisant ‘‘SPARC On-line Calculator’’, release w 4.0 [44].

II.2.3 Les Polluants Organiques Persistants (POPs)

L'objectif de la Convention de Stockholm est de protéger la santé de l'Homme et l'environnement des polluants organiques persistants (POPs) dans le but ultime de les éliminer, lorsque cela est possible. Un moyen pour évaluer l'efficacité de la Convention est de mesurer la concentration des POPs dans des matrices appropriées. Les douze polluants persistants prioritaires incluent les composés chimiques ou les groupes de substances suivants : Aldrine, Chlordane*, Dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT)*, Dieldrine, Endrine, Heptachlore, Hexachlorobenzène (HCB), Mirex, Polychloro biphényles (PCB)*, Polychloro dibenzo-*para*-dioxines (PCDD)*, Polychloro dibenzofurannes (PCDF)*, Toxaphène* (Les substances marquées d'un astérisque sont des mélanges de plusieurs congénères, dont quelques centaines pour certains) [44].

II. 3. Aérosols

II.3.1. Définition

Les aérosols sont des suspensions de petites particules dans l'air ; ils peuvent être solides ou liquides et sont d'une très grande variété d'origines et de propriétés.

Des études ont démontré qu'il y a un impact des particules fines sur les maladies respiratoires et cardiaques et le cancer, surtout en ce qui concerne les particules de moins de 1 µm qui peuvent entrer facilement dans les alvéoles pulmonaires.

II.3.2. Classification des aérosols

II.3.2.1. Aérosols minéraux

On les rencontre dans le cas des poussières transportées par le vent, dans le domaine de l'agriculture et dans les émissions du trafic routier des cendres volcaniques.

II.3.2.2. La suie

Elle provient de la combustion de combustibles fossiles (industrie, trafic) ou du bois et des incendies de forêts.

II.3.2.3. Aérosols secondaires

Les aérosols de sulfates, de nitrates, d'acide sulfurique se forment par condensation de gaz inorganiques. Les hydrocarbures émis par des activités humaines ou par la nature forment des aérosols par condensation de gaz organiques.

I.5.3.3. Effets sur la santé

Pour connaître les effets des aérosols sur la santé humaine, on peut se limiter à l'aérosol urbain appelé aussi aérosol de pollution [6].

Ces effets sont liés à la composition chimique et à la taille de l'aérosol. L'aérosol de pollution est principalement un aérosol fin. Sa courbe de distribution granulométrique est centrée sur 0,3 μm . Cet aérosol est dit «respirable», car seules les particules inférieures à 2,5 μm peuvent pénétrer profondément dans le système respiratoire humain et se déposer dans les alvéoles pulmonaires. Souvent la prise en compte des effets des aérosols sur la santé est limitée à la connaissance de la concentration des aérosols (en masse ou en nombre), pour les particules de taille inférieure à 2,5 μm (PM 2,5). La pénétration dans l'organisme de l'aérosol est liée également à la forme des particules. Ainsi, les effets sont très différents suivant que la particule est sphérique, en forme de bâtonnet ou d'aiguille.

Les effets toxiques ou cancérigènes des aérosols sont dus aussi aux composés chimiques qu'ils contiennent. La Figure I.6 montre les différents organes respiratoires exposés aux poussières fines : Plus les particules sont petites, plus elles pénètrent profondément dans l'appareil pulmonaire [45].

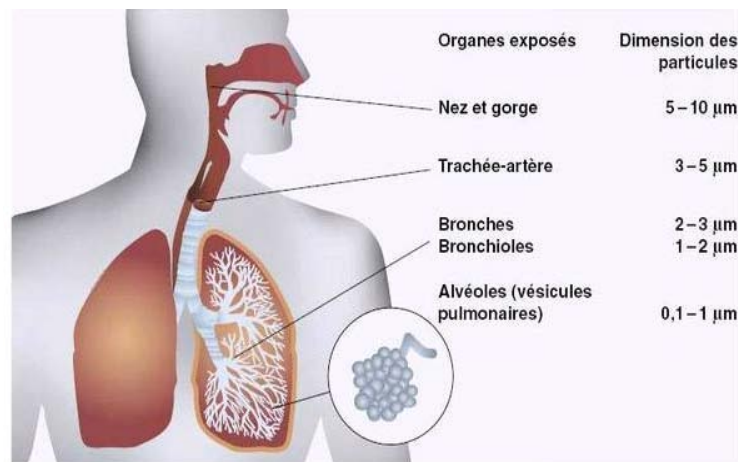


Figure II. 2 : Exposition du corps humains à différentes classes de tailles des particules.

II.3.4. Effets sur le climat

Les aérosols affectent le climat par le biais du forçage radiatif [46]. Ils ont une répartition spatiale telle qu'elle les conduit à perturber le bilan radiatif avec des signatures régionales beaucoup plus marquées. Ils exercent deux effets indirects de forçage radiatif ; Le premier effet indirect des aérosols, illustré dans la Figure I.7, est leur effet sur la taille et le nombre des gouttelettes nuageuses. Le second effet indirect des aérosols s'exerce sur les nuages, à savoir sur leur durée de vie, qui provoquerait lui aussi un forçage négatif.

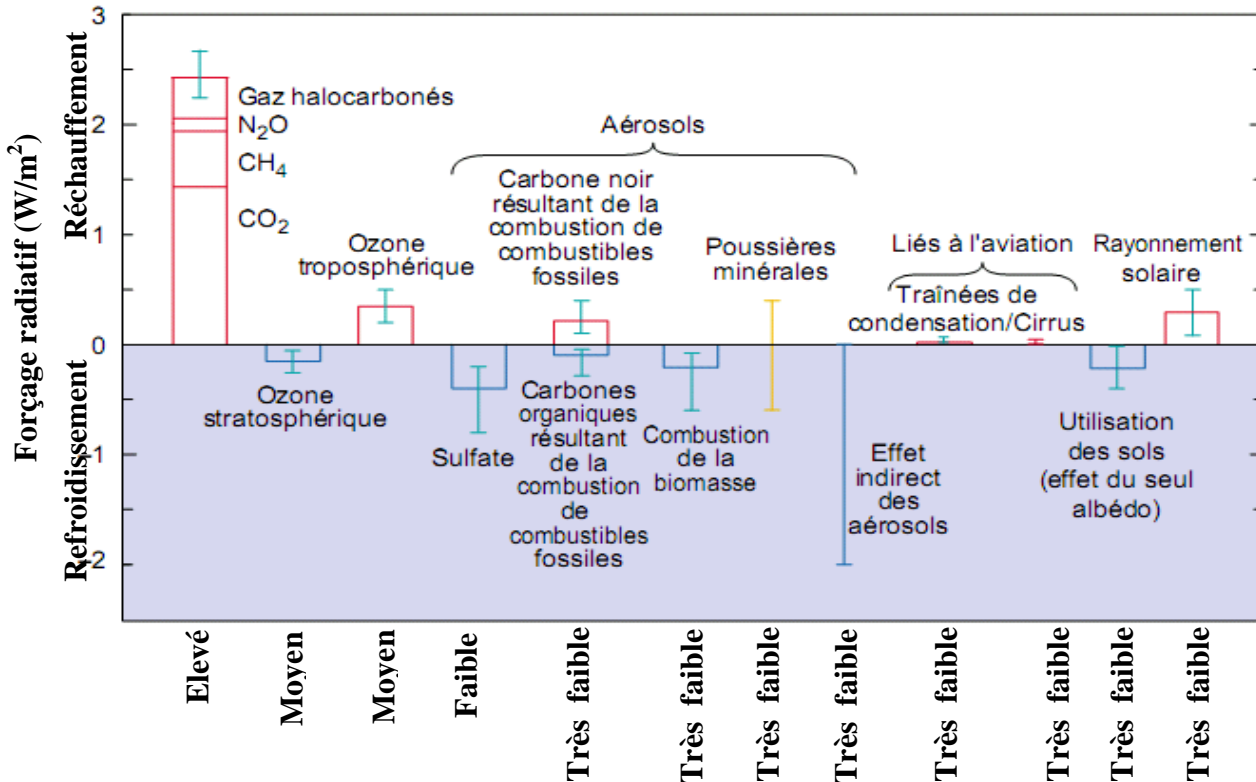


Figure II.3: Effet indirecte des aérosols sur la taille et le nombre de gouttelettes nuageuses.

II.4. Echelles de la pollution

On retient trois niveaux d'échelles spatiales pour classer les phénomènes relatifs à la pollution atmosphérique : (a) le niveau local ou pollution de proximité dont l'échelle de temps est de l'ordre des heures, (b) le niveau régional ou pollution à longue distance dont l'échelle de temps est de l'ordre des jours, (C) le niveau global ou pollution planétaire dont l'échelle est de l'ordre des années. Ce type de pollution a été mis en évidence au cours des années 80 du siècle passé avec les observations des chercheurs sur les effets de serre et la destruction de l'ozone stratosphérique [30]. A chacune de ces échelles correspondant des problèmes ou des modes de fonctionnement différents (Tableau II. 3)

Tableau II. 3: Différentes échelles de la pollution de l'air

Echelles	Origine	Composés Principaux	Porté dans le temps	Effets	Phénomènes météo et topo associés
Pollution de Proximité	Echappement automobile de voie à circulation intense ou encombrée Incinération sauvage, chauffage domestique avec combustible impropre ou combustion incomplète Panache de fumée industrielle	NO, NO ₂ , CO comp. org. imbrûlés comp. org. imbrûlés (gaz et particules) SO ₂ , métaux lourds	minutes ou heures	êtres vivants matériaux et sol	temps local stable et vent faible temps local stable et vent faible temps stable ou vent établi dans la direction dominante
Pollution urbaine	transport de pollution à l'échelle du quartier Résultante des pollutions précédentes à l'échelle de grandes	NO, NO ₂ , CO comp. org. imbrûlés (gaz et particules) NO, NO ₂ , CO comp. org. imbrûlés (gaz et particules)	heures ou jours	êtres vivants matériaux et sol	vent établi dans la direction dominante îlot de chaleur urbaine et inversion de température (dôme de pollution urbaine et effet de fond de vallée)
Pollution péri-urbaine	Transformation photochimique de la pollution automobile d'origine urbaine	O ₃ , PAN	heures ou jours	êtres vivants matériaux et sol	temps chaud et ensoleillé
Pollution régionale et pollution continentale	transformation chimique et transport de pollution Transport de pollution à longue distance, dépôt humides et secs	O ₃ SO ₂ , NO ₂ , radioéléments	heures ou jours jours	milieux naturels et êtres vivants	Canicule et altitude des reliefs grands couloirs de pollution
pollution planétaire	migration de polluants vers la stratosphère augmentation de gaz à effet de serre	CFC, NO ₂ CO ₂ , CH ₄ , NO ₂ , CFC, O ₃	années années	amincissement de la couche d'ozone effet de serre	Couche d'ozone protégeant des UV /

II. 5. Polluant Secondaire

II. 5. 1. L'Ozone (O₃) [47]

En basse atmosphère (entre 0 et 10 km d'altitude), c'est un polluant qui résulte de la transformation photochimique de polluants primaires (NO₂, CO, etc.) sous l'effet de rayonnements ultraviolets solaires. C'est origine:

- ❖ **Origine naturelle** : érosion éolienne, sels marins, feux de forêt, volcan, poussières extra-terrestre, etc.
- ❖ **Origine anthropiques** : Installations de combustion, Industries diverses (cimenterie, carrières, Sidérurgie et raffinage des métaux, etc.), Activités de transport – trafic routier etc.
- ❖ **Pollution générée** : L'ozone contribue à l'effet de serre. Il est néfaste pour les cultures agricoles (baisse de rendements) et attaque également certains caoutchoucs.
- ❖ **Effets sur la santé** : Il provoque des irritations oculaires, des troubles respiratoires surtout chez les enfants et les asthmatiques.

II.5.2. Types d'ozone

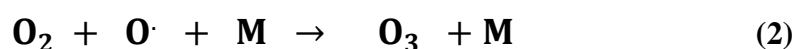
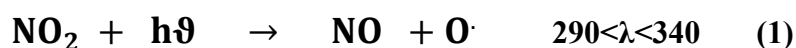
Dans l'atmosphère de la planète, on trouve: L'ozone de la stratosphère formant à 25-30 Km d'altitude la couche d'ozone c'est le bon ozone ou ozone vital, et l'ozone de la troposphère appelé aussi ozone des basses couches atmosphériques ou ozone du sol c'est le mauvais ozone. Ces deux types d'ozone n'ont pas de liens directs, ils sont indépendants l'un de l'autre et il n'y a que très peu d'intrusions d'O₃ stratosphérique vers la troposphère.

Si l'on ramenait la totalité de l'ozone aux conditions normales de température et de pression, la couche d'ozone aurait une épaisseur de 3 mm. Dans ces conditions, l'atmosphère aurait une épaisseur de 8 Km. Le maximum de concentration vers 25 – 30 km, et la concentration maximale est de 4 à 5 ppm.

II.5.3. Formation de l'ozone de la stratosphère

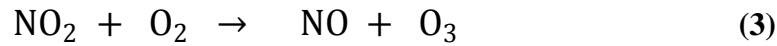
Il en résulte un équilibre qui permet à l'ozone stratosphérique d'exister à des taux plus ou moins constants. Cet équilibre a failli être perturbé par le phénomène des trous d'ozone.

- **Ozone troposphérique naturel** : Photodissociation du NO₂ présent à l'état naturel dans l'atmosphère



(M : auxiliaire de collision O ou O₂)

- En absence d'autres composés, l'ozone, réagit avec le NO formé:



- L'ozone réagit localement d'une manière quantitative et quasi instantanée avec le NO pour régénérer le NO₂.
- La réaction NO – O₃ constitue ainsi la principale voie qui limite la formation d'ozone.
- Le NO et O₃ sont formés et détruits avec la même vitesse : Il s'établit un état stationnaire entre les trois composés NO, NO₂ et O₃ et l'ozone atteint des taux naturels peu élevés.

❖ **Importance de la couche d'ozone :**

- Dans l'atmosphère, le rayonnement ultra – violet solaire induit le cycle naturel de « Formation / photodissociation » de l'ozone.
- Il en résulte pour le rayonnement UV du soleil :
 - UVA (320 – 400 nm) atteint le sol (bronzage).
 - UVB (280 – 320 nm) partiellement absorbé par O₃.
 - UVC (200 – 280 nm) totalement absorbé par O₃.
 - La couche d'ozone est ainsi un filtre protecteur des UVC.

❖ **Effets des UV sur la santé**

- Prévention du rachitisme par formation de vitamine D.
- Cancers de la peau.
- Troubles de la vision (cataractes).
- Affaiblissement du système immunitaire.
- La présence de la couche d'ozone dans la stratosphère fait que seuls les rayons UV supérieurs à 280 nm arrivent au sol.
- Ces rayons ne suffisent pas pour dissocier la molécule d'oxygène (heureusement pour nous!) mais sont suffisants pour dissocier le NO₂ et O₃.
- En milieu pollué, tel que ce sont les cas dans les centres urbains, de l'ozone résultant des transformations photochimiques de polluants précurseurs NO_x et COV vient s'ajouter à ces teneurs naturelles.
- L'ozone atteint alors des teneurs élevées nocives pour l'homme et la végétation.
- Les poussières constituent un mélange complexe de substances minérales et organiques.

❖ **Remarque :**

- L'ozone mesuré à 10-20 km d'altitude constitue la couche d'ozone qui protège la terre des rayons UV du soleil. Sans cette couche d'ozone située à environ 20 km au-dessus du sol, la vie sur terre ne serait pas possible.
- Temps nécessaire à l'effacement de certaines traces de pollution éruption volcanique quelques

années, gaz carbonique environ 50 ans, CFC (gaz propulseur etc.) quelques siècles, radioactivité de quelques heures pour l'Argon 41 à plusieurs milliards d'années pour l'Uranium 238.

II.6. L'effet de serre

La surface de la Terre absorbe environ 50 % de l'énergie que lui envoie le Soleil. Elle réémet cette énergie sous forme de chaleur, le rayonnement infrarouge, dont une partie est absorbée par les nuages et certains gaz de l'atmosphère. Ensemble, ils se comportent comme un couvercle qui réfléchit cette énergie thermique vers le sol et réchauffe ainsi les basses couches de l'atmosphère.

Bien que ne concernant qu'environ 1 % de la masse des gaz atmosphériques, l'équilibre de ce processus, appelé « effet de serre », est vital. Il assure en effet une température relativement stable à la surface de la Terre et nécessaire à la présence d'eau liquide : 15 °C au lieu de -18 °C. La vapeur d'eau est le gaz à effet de serre (GES) le plus important en quantité et contribue pour près de 60 % à l'effet de serre (Figure II.4).

D'autres gaz à l'état de traces dans l'atmosphère jouent un rôle important car l'effet de serre qu'ils produisent est très intense. C'est particulièrement le cas du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄), du monoxyde d'azote (NO₂), mais aussi de l'ozone (O₃) et de gaz créés par l'homme comme les hydrocarbures fluorés (CFC, HFC) (Figure II.5).

Plus un gaz est susceptible d'absorber le rayonnement infrarouge et plus son temps de séjour dans l'atmosphère est élevé, plus sa contribution à l'effet de serre est importante. Ainsi le méthane a un pouvoir réchauffant globalement 21 fois plus élevé que celui du gaz carbonique. Les émissions provenant des activités humaines sont très probablement à l'origine des changements climatiques observables et pourraient conduire à une déstabilisation du climat sur le long terme.

Du fait de la croissance économique mondiale, notamment dans les nouveaux pays industrialisés, les émissions de gaz à effet de serre pourraient augmenter de près de 50 % à l'horizon 2030. Selon les estimations, les émissions des pays en développement, essentiellement l'Inde et la Chine, dépasseront rapidement celles de l'Europe et de l'Amérique du Nord. Il est donc nécessaire de chercher à découpler la croissance économique de celle des émissions de gaz à effet de serre, aussi bien dans les pays en développement que dans ceux de l'OCDE. Plusieurs décennies seront nécessaires pour remodeler l'infrastructure énergétique. C'est donc dès maintenant qu'il faut agir.

[48]

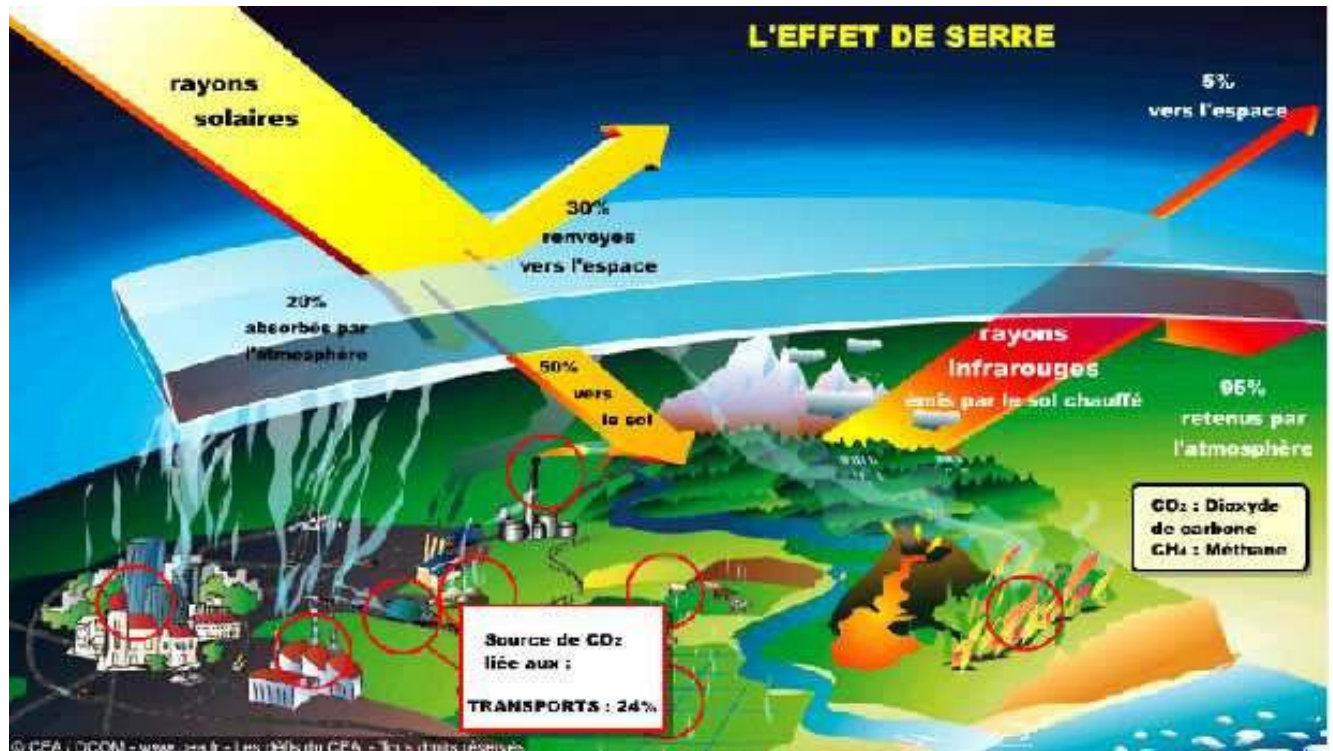


Figure II.4: Interprétation de l'effet de serre

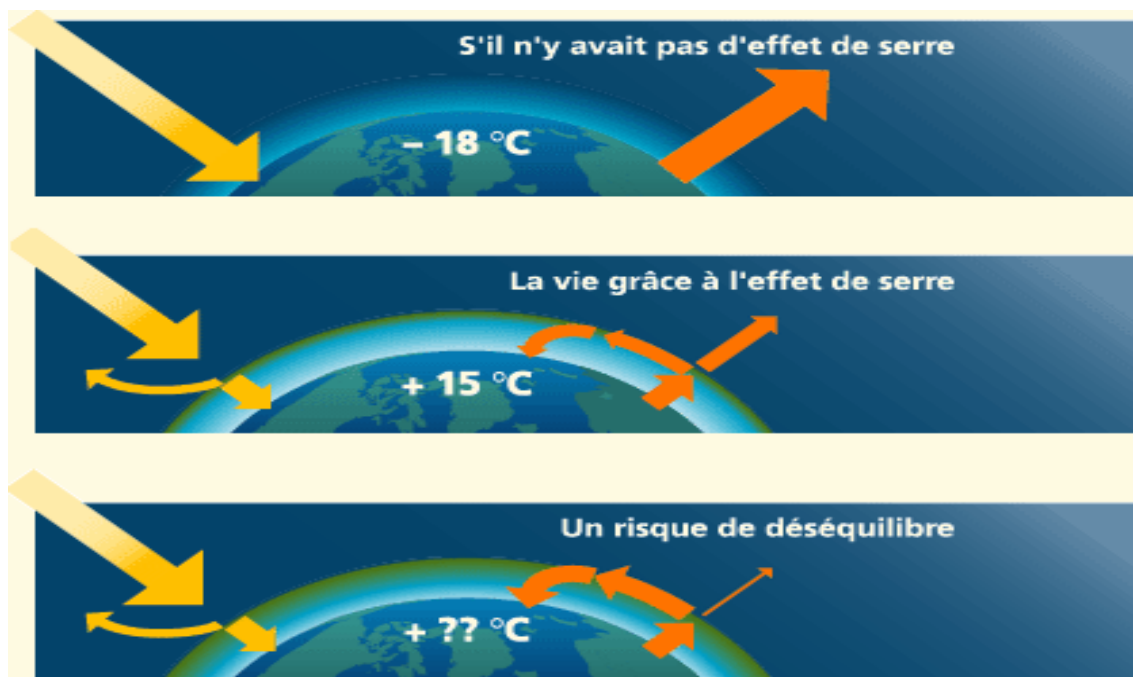


Figure II.5: Importance de l'effet de serre

II.7. Le changement climatique

L'ensemble du monde scientifique s'accorde aujourd'hui à penser que les changements climatiques, et en particulier le réchauffement observé depuis 1850, sont principalement dus à l'activité humaine. Des incertitudes subsistent certes et, bien que de plus en plus performants, les modèles ne permettent pas encore de comprendre toute la variabilité naturelle du climat notamment sur des périodes courtes (de la décennie au siècle) et sur les couplages complexes affectant la nébulosité et les aérosols.

De même, la prédiction à long terme des changements à venir reste un exercice difficile tant les mécanismes de régulation climatique (notamment l'absorption du CO₂ par les océans, l'influence des aérosols etc.) sont complexes et encore mal connus. Cependant le développement de modèles et de calculateurs plus performants ainsi que la multiplication des simulations permettent de mieux appréhender la fourchette de scénarios possibles et les impacts à une échelle plus régionale [49].

II.7.1. Conséquences prévisibles d'un réchauffement climatique

Le réchauffement pourrait atteindre 1,1 à 6,4 °C d'ici à 2100, et la mer monter de 18 à 59 cm. La hausse des températures devrait provoquer une intensification des contrastes hydrologiques, c'est-à-dire des sécheresses et des inondations plus sévères. A long terme, la stabilité même du système climatique pourrait être mise en cause.

Ces changements régionaux pourraient avoir des impacts sociaux et écologiques plus ou moins importants selon la situation géographique des régions et leur faculté d'adaptation.

Toutes les stations météorologiques du monde constatent depuis le début du 20^{ème} siècle une augmentation lente de la température (+ 0,5° à + 0,7° C depuis 1860). Parallèlement, les glaciers pyrénéens et alpins reculent ou disparaissent pour certains [50].

II.7.2. Les conférences et sommets mondiaux pour la lutte contre le réchauffement climatiques

II.7.2.1. Le protocole de Kyoto

Depuis le début des années 1980, plusieurs conférences internationales ont montré que l'influence de l'homme était le facteur dominant du réchauffement atmosphérique observé. La cause de ce réchauffement est l'augmentation massive de certains rejets gazeux dans l'atmosphère provenant de diverses activités humaines (industries, automobiles, élevage intensif etc.).

II.7.2.2. Les mécanismes de Kyoto

La convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et le protocole de Kyoto constitue le cadre juridique international et les premières étapes pour prendre en compte le problème à long terme du changement climatique.

Le Protocole fixe des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2008-2012, uniquement pour les pays développés, et met en œuvre des outils pour atteindre les objectifs fixés, appelés « mécanismes de flexibilité », ainsi que des règles de contrôle. Pour atteindre ces objectifs, le Protocole prévoit, outre les actions nationales, la mise en œuvre de trois mécanismes :

- L'échange de quotas d'émissions entre les parties signataires.
- Des mécanismes de développement propre (MDP) entre les pays industrialisés (dits de l'annexe 1) et les pays hors annexe 1, mettant en jeu le transfert des technologies les plus efficaces en matière d'émissions et s'inscrivant dans une perspective de développement durable.
- Des mécanismes de mise en œuvre conjointe (MOC) entre pays de l'annexe 1. Réduction de leurs émissions ou acheter au cours du marché les quotas manquants. Pour fiabiliser ce système, la Commission a adopté :
- Des lignes directrices pour la surveillance, la déclaration et la vérification externe des émissions de gaz à effet de serre de chaque installation, également appelé MRV (Monitoring, Reporting & Verification).
- Des règles de mise en œuvre harmonisées, au niveau de l'UE, des registres nationaux qui permettent de comptabiliser la délivrance, les transferts et la restitution des quotas. Une harmonisation et une extension du périmètre d'application sont prévues pour la seconde période (2008-2012). [51]

II.7.3. Le cadre réglementaire

Les directives Algériennes fixent des valeurs limites pour les rejets de polluants dans l'air (par l'industrie, les véhicules, etc.) et pour les concentrations de ces polluants dans l'air ambiant. Dans l'air ambiant, les directives Algériennes adoptées ces dernières années fixent des valeurs limites qui diminuent chaque année pour atteindre leur niveau le plus bas en 2012. Elles sont fixées pour le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les particules en suspension, le plomb, le monoxyde de carbone, le benzène. Pour l'ozone, seuls des objectifs de qualité ont été fixés. Par ailleurs, la directive sur les plafonds nationaux d'émissions fixe des objectifs de réduction globaux de ses émissions de dioxyde de soufre (SO₂), oxydes d'azote (NO_x) et composés organiques volatils (COV).

II.7.3.1. La loi sur l'air de 1996

La loi sur l'air de 1996, reprise dans le code de l'environnement, a été adoptée en réaction au développement constant du parc automobile et à l'augmentation de la pollution urbaine. Véritable plan de bataille pour reconquérir un air de qualité.

II.7.3.2. La législation des installations classées

Dans le cadre du code de l'environnement, des arrêtés ministériels techniques, notamment le décret 06-198, impose des normes sévères aux industriels, dont les rejets forment une des sources majeures de pollution atmosphérique. Ils doivent mettre en œuvre les meilleures technologies disponibles et installer des équipements propres.

II.7.3.3. Les outils financiers

La taxe générale sur les activités polluantes taxe les rejets industriels sur le principe «pollueur = payeur». Les émissions de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote, d'acide chlorhydrique et de composés organiques volatils sont taxées, selon les polluants.

II.7.3.4. La loi sur l'air du 15 avril 2006

Réglémentant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle, elle s'articule autour de plusieurs thèmes :

- Généralisation de la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé.
- Définition d'objectifs de qualité, de seuils d'alerte et de valeurs limites.
- Information des populations.
- Elaboration de plans de prévention afin de lutter contre la pollution atmosphérique; élaboration de mesures techniques (construction, consommation énergétique etc.).

II.7.4. Réglementation Algérienne pour les émissions des polluants atmosphériques

Le Décret Exécutif n°06-138 du 15 avril 2006, vient s'ajouter aux précédents décrets et lois et est là pour renforcer en termes de législation, les émissions et les rejets des polluants dans l'atmosphère par des sources fixes et mobiles (Tableau I. 5)

Tableau II. 4 : Valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques [52]

N°	Paramètres	Valeurs limites (mg Nm ⁻³)	Tolérances des valeurs limites des industries anciennes
1	Poussières totales	50	100
2	Oxydes de soufre (exprimés en dioxyde de soufre)	300	500
3	Oxydes d'azote (exprimés en dioxyde d'azote)	300	500
4	Protoxyde d'azote	300	500
5	Chlorure d'hydrogène et autres composés inorganiques gazeux (exprimé en HCl)	50	100
6	Fluor et composés inorganiques de fluor (gaz, vésicule et particules), (exprimé en HCl)	10	20
7	Composés organiques volatils (rejet total de composés organiques volatils à l'exclusion du méthane)	150	200
8	Métaux et composés de métaux (gazeux et particulaires)	5	10
9	Rejets de cadmium, mercure, thallium et leurs composés	0,25	0,5
10	Rejets d'arsenic, sélénium, tellure et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	1	2
11	Rejets d'antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium, zinc et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	5	10
12	Phosphine, phosgène	1	2
13	Acide cyanhydrique exprimé en HCN, Brome et composés inorganiques gazeux du chrome exprimés en HBr, Chlore exprimé en HCl, hydrogène sulfuré	5	10
14	Ammoniac	50	100
15	Amiante	0,1	0,5
16	Autres fibres que l'amiante	1	50

Chapitre.3

Matériels et méthodes

III. Introduction

En Algérie, la vocation pluridisciplinaire et interministérielle, ainsi que la dimension géographique de la tâche qui englobe 14 wilayas côtières le long de 1200Km, rendent particulièrement difficile l'analyse, la collecte et la présentation des données nécessaires au bon déroulement du programme de surveillance de la qualité des eaux du littoral, d'où donc la nécessité de renforcer et d'améliorer le réseau de surveillance et d'uniformiser les méthodes d'analyse et les données. Ce qui est en jeu, c'est notamment ; de préserver un littoral et un écosystème fragiles et ce, par la recherche constante d'un juste équilibre et d'une réhabilitation profonde de l'homme comme acteur et bénéficiaire des effets qui en sont attendus. La lutte contre les risques de pollutions est d'une importance capitale afin de minimiser les impacts négatifs sur une économie déjà fragile et sur les écosystèmes côtiers et marins. Considéré comme l'espace clé de l'aménagement de la totalité du territoire national, le littoral résume la problématique de l'environnement, de l'aménagement et du développement durable ; la civilisation vit désormais une course de vitesse avec son environnement marin.

III. 1. La wilaya d'Alger

(16) est une subdivision administrative algérienne ayant pour chef-lieu la ville éponyme située au nord centre du pays.

Elle a une superficie de 2114 km², elle est bordée à l'est par la wilaya de Boumerdès, au sud est par celle de Blida, et à l'ouest par celle de Tipaza, au nord par la mer méditerranée.

La wilaya d'Alger compte 57 Communes et 13 Dairas, Alger la capitale de l'Algérie et c'est la première importante wilaya en Algérie.

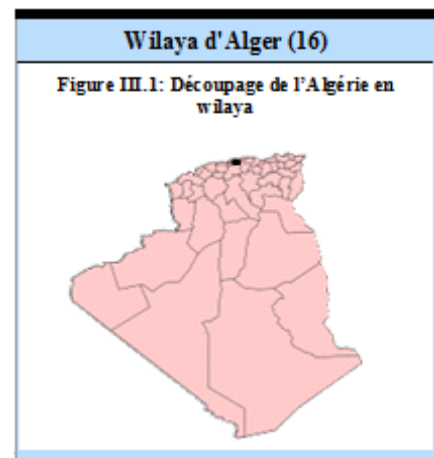


Figure III.1: Découpage de l'Algérie en Wilaya

III.2. Climat

Alger jouit d'une situation géographique favorable à une bonne dispersion des rejets gazeux dans l'atmosphère. Les conditions climatologiques enregistrés dans la station de Dar-el-Beida sont rapportés dans le Tableau III.1 .

Tableau III.1 : Statistiques ALGER (ALGERIE)

Années	T	T _M	T _m	PP	V	RA	SN	TS	FG	TN	GR
2000	17,9	24,6	11,6	-	10,1	67	0	31	28	0	0
2001	18,1	25,1	11,5	-	12,6	72	0	42	39	0	4
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	18,6	24,6	12,8	669,07	9,7	120	1	67	30	0	12
2004	17,8	24,2	11,7	671,04	8,6	104	0	47	42	0	5
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	18,3	24,7	12,3	564,90	9,4	93	0	49	34	0	1
2007	17,6	23,7	12	746,21	8,9	113	0	63	34	0	5
2008	17,8	24	11,9	500,41	9,8	99	0	62	41	0	2
2009	18,2	24,6	11,9	606,55	10,7	99	0	53	35	0	2
2010	17,9	23,9	12	612,13	11,2	121	0	44	18	0	1
Moyenne	18,02	24,38	11,97	624,33	10,11	98,67	0,11	50,89	33,44	00	3,66

Source: Météo Algérie station de Dar-El-Beida [53]

T: Température moyenne annuelle

T_M: Température maximale moyenne annuelle

T_m: Température minimale moyenne annuelle

PP: Précipitation totale annuelle de pluie et/ou de neige fondue (mm)

V: Vitesse moyenne annuelle du vent (Km/h)

RA: Total jours de pluie durant l'année

SN: Total jours de neige durant l'année

TS: Total jours de tempête durant l'année

FG: Total jours de brouillard durant l'année

TN: Total jours de tomades ou nuages ou entonnoir durant l'année

GR: Total jours de grêle durant l'année.

Si le tableau affiche des champs sans valeurs avec le symbole (-), cela veut dire que la moyenne n'a pas été effectuée, ce qui est le cas lorsqu'il manque des données pour la calculer.

Dans les précipitation totale, une valeur 0 (zéro) peut indiquer que cette mesure n'a pas été réalisée et/ou que la station météorologique ne l'a pas publiée.

III.3 Population et superficie

Au recensement de 2008, la population de la wilaya d'Alger compte 2 364 230 habitants pour une densité de 6 513,03 habitants par km². La wilaya d'Alger s'étend sur une superficie de 363 km² et L'altitude minimum est de 2 m, l'altitude maximum est de 424 m. La Figure III.2, illustre le découpage administratif de la wilaya d'Alger ainsi que les différentes communes et Daïras constituant cette Wilaya.

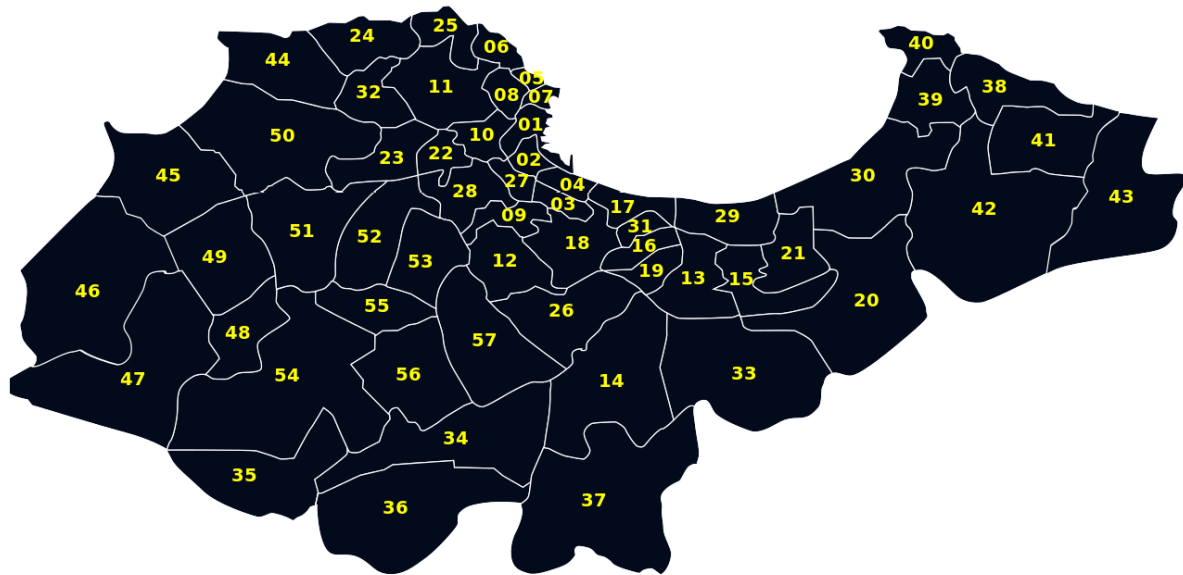


Figure III.2: Découpage de la wilaya d'Alger en communes et Dairas

Les Communes de la wilaya d'Alger: 01. Alger-Centre • 02. **Sidi M'Hamed** • 03. El Madania • 04. Belouizdad • 05. **Bab El Oued** • 06. Bologhine • 07. Casbah • 08. Oued Koriche • 09. **Bir Mourad Raïs** • 10. El Biar • 11. **Bouzareah** • 12. Birkhadem • 13. **El Harrach** • 14. **Baraki** • 15. Oued Smar • 16. Bachdjerrah • 17. **Hussein Dey** • 18. Kouba • 19. Bourouba • 20. **Dar El Beïda** • 21. Bab Ezzouar • 22. Ben Aknoun • 23. Dely Ibrahim • 24. El Hammamet • 25. Raïs Hamidou • 26. Djasr Kasentina • 27. El Mouradia • 28. Hydra • 29. Mohammadia • 30. Bordj El Kiffan • 31. El Magharia • 32. Beni Messous • 33. Les Eucalyptus • 34. **Birtouta** • 35. Tessala El Merdja • 36. Ouled Chebel • 37. Sidi Moussa • 38. Aïn Taya • 39. Bordj El Bahri • 40. El Marsa • 41. H'Raoua • 42. **Rouïba** • 43. Reghaïa • 44. Aïn Benian • 45. Staoueli • 46. **Zeralda** • 47. Mahelma • 48. Rahmania • 49. Soudania • 50. **Cheraga** • 51. Ouled Fayet • 52. El Achour • 53. **Draria** • 54. Douera • 55. Baba Hassen • 56. Khraicia • 57. Saoula.

III.4. Sites de mesure

L'Algérie a pris des mesures en vue de participer à l'effort universel de protection de l'atmosphère.

Ces mesures ont été prises dans le cadre de la mise en œuvre du Protocole de Montréal et de la Convention cadre sur les changements climatiques. C'est ainsi que les actions suivantes ont été menées par l'Algérie :

- Création du Bureau Ozone Algérie.
- Création du Comité National sur les changements climatiques.
- Inventaire au cours des Gaz à effet de serres.
- Participation au programme de la ville atmosphérique globale (VAG) avec une station de surveillance installée à Tamanrasset.
- Création d'un bulletin sur les changements climatiques par l'ONM (Office National de la Météorologie).
- Promotion de l'utilisation des énergies propres comme de Gaz propane pour les usagers domestiques et le GPL comme carburant automobile.

- La promotion des actions de reboisement en milieu urbain.
- La réduction importante de quantité de Gaz torché au niveau des installations pétrolifères (7 Milliards de m³ / an).

III.4.1. Le réseau de surveillance de la qualité de l'aire en Algérie

Le 5 Juin 2001 est la date de naissance du premier réseau de surveillance de la qualité de l'air à Alger, baptisé « SAMA SAFIA », il fait partie de l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable. Les missions assignées à « SAMA SAFIA ».

- Surveiller en continu les niveaux de pollution atmosphérique dans les principaux centres urbains.
- Détecter les pics de pollution et les périodes durant lesquelles les seuils limites est dépassés.
- Etablir des prévisions de qualité de l'air en utilisant des modèles de simulation.
- Alerter les autorités durant les situations critiques et informer les populations des mesures à suivre pour minimiser les impacts sur la santé.
- Permettre une programmation des mesures à mettre en œuvre pour protéger la santé des citoyens et améliorer la qualité de vie.

L'Algérie et parmi les payés qui on leur propre réseaux de surveillance de la qualité de l'air, déjà opérationnelle dans deux willaya (Alger, Annaba). Le mois Janvier 2008 le ministre de l'environnement a inauguré le troisième réseau de surveillance « SAMA SAFIA » dans la wilaya d'Oran, pour contrôler la pollution atmosphérique de la qualité de l'air et fournir un bilan quantitatif et qualitatif de la pollution du site sélectionné.

Alger à quatre stations de surveillance de la qualité de l'air « SAMA SAFIA, la première installait au C.H.U (Mustapha Bacha), la deuxième installait au CHU Maillot de Bab-El-Oued, la troisième installait à Ben Aknoun à proximité du Parc Zoologique et la quatrième installait à El-Hamma dans la cours de l'Hôtel Sofitel. Les quatre stations sont reliées au réseau du Laboratoire National de l'Environnement.

III.4.2. La station d'analyse destinée à la surveillance « SAMA SAFIA »

La station d'analyse destinée à la surveillance de la qualité de l'air a pour but de fournir un bilan quantitatif et qualitatif de la pollution du site sélectionné. Elle se compose d'une cabine contenant de matériels d'analyse suivant:

Baie N°1

- 1 système d'acquisition de données

- 1 analyseur d'hydrocarbures totaux HCT 2000 G
- 1 analyseur d'oxyde d'azote NO_x 2000

Baie N°2

- 1 analyseur de poussières MP 101 M
- 1 calibreur
- 1 analyseur d'ozone CO 2000 G
- 1 analyseur de benzène toluène xylène BTX 2000 G
- 1 analyseur d'ozone OZ 2000 G

III.4.2.1. Schéma de l'extérieur de la cabine

La Figure III.4, représente une vue schématique de l'extérieur de la station de surveillance de la qualité de l'air « SAMASAFIA »

III.4.2.1. Schéma de l'intérieur de la cabine

La Figure III.5, représente une vue schématique de l'intérieur de la station de surveillance de la qualité de l'air « SAMASAFIA »

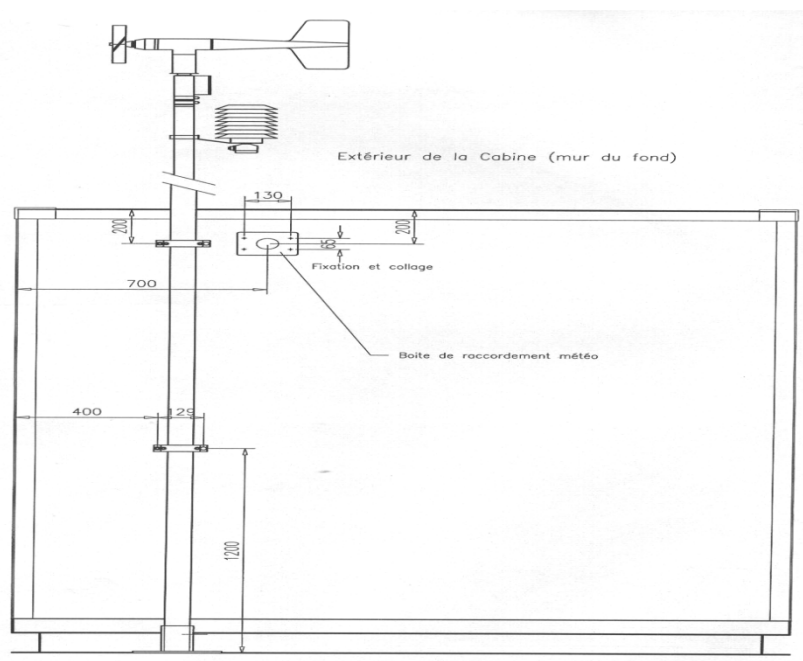


Figure III.3: Schéma de l'extérieur de la station de surveillane «SAMA SAFIA»

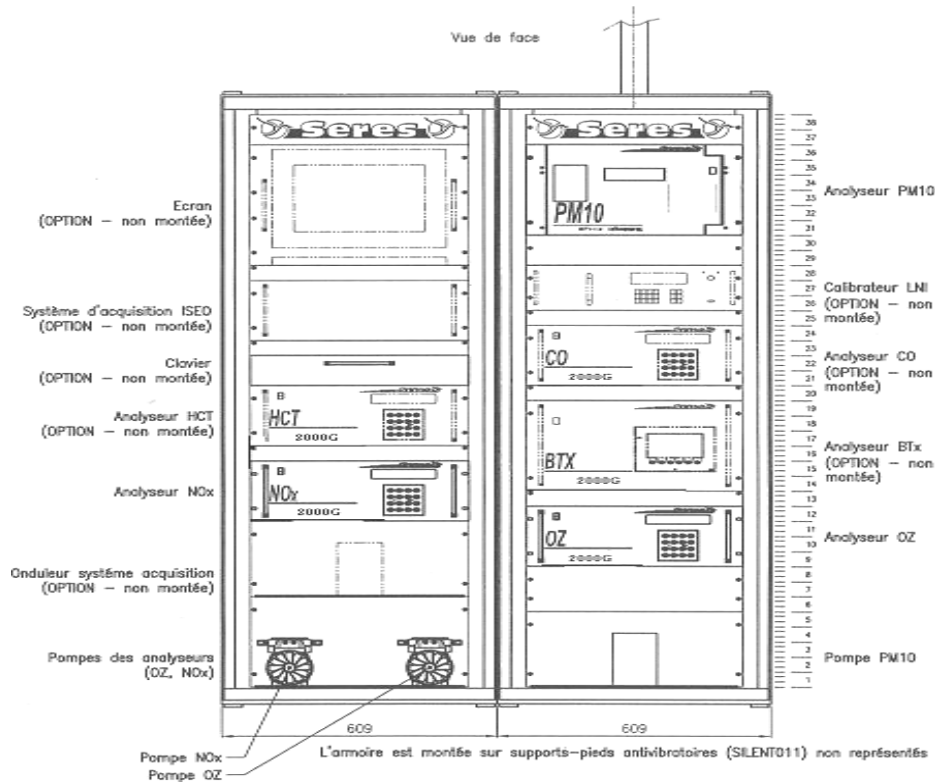


Figure III.4: Schéma de l'intérieur de la station de surveillance «SAMA SAFIA»

III.5. Les niveaux des mesures

Concentration d'un polluant dans l'air ambiant ou son dépôt sur les surfaces en un temps donné. Les définitions ci-après font référence à des effets. Il est bien évident qu'il s'agit des effets connus et attribués à la pollution atmosphérique dans l'état actuel des connaissances.

III.5.1. Evaluation des mesures

Toute méthode utilisée pour mesurer, calculer, prévoir ou estimer le niveau d'un polluant dans l'air.

III.5.1.1. Valeur limite

Niveau fixé sur base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement dans son ensemble.

III.5.1.2. Valeur cible (valeur guide)

Niveau fixé dans le but d'éviter davantage à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

III.5.1.3. Seuil d'alerte

Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine.

III.5.1.4. Seuil d'information

Niveau au-delà duquel il existe des effets limités et transitoires pour la santé humaine en cas

d'exposition de courte durée pour des catégories de population particulièrement sensibles.

III.5.1.5. Seuil de protection de la santé

Niveau qui ne devrait pas être dépassé afin de sauvegarder la santé humaine en cas d'épisodes prolongés de pollution.

III.5.1.6. Seuil de protection de la végétation

Niveau au-delà duquel la végétation peut être affectée.

III.5.2. Objectif de qualité

Niveau qui ne devrait pas être dépassé pour respecter au mieux l'environnement. Après ces notions indispensables, nous trouverons dans ce qui suit quelques définitions de termes et conventions que l'on retrouve souvent dans les comptes-rendus scientifiques ayant trait à la pollution.

III.5.2.1. Les unités de mesures pour les polluants

Les unités dépendent du type de polluant; ainsi pour les gaz ou les particules en suspension, on exprime la concentration en unité de masse par unité de volume soit le plus souvent des $\mu \text{ g/m}^3$ (μ = micro, soit un millionième de gramme). Pour les hydrocarbures totaux dont la composition exacte nous est inconnue, on préfère utiliser les rapports volumiques en ppm (particules par million, soit 1 m^3 de gaz pour 10⁶ m^3 d'air). Pour les retombées, il s'agit de mesurer un dépôt de matière sur une surface donnée en un temps donné. Les résultats s'expriment alors en $\text{mg/m}^3 \cdot \text{j}$ (parfois en $\mu\text{g/m}^3 \cdot \text{j}$). Pour les retombées humides, les ions poly atomiques sont exprimés par rapport à la masse de leur atome central (par exemple SO_4 exprimé en $\text{g [S]}/\text{m}^2 \cdot \text{jour de pluie}$).

III.5.3. Protocole de mesure

III.5.3.1. Méthode de mesure

On peut classer grossièrement les méthodes de mesure en deux groupes:

- ❖ Les télémessures.
- ❖ Les mesures nécessitant le prélèvement d'échantillons.

La télémessure repose souvent sur la mesure du rayonnement électromagnétique de différentes longueurs d'onde. Parmi ces méthodes mentionnons : la mesure de la réduction de la lumière solaire visible (c'est à dire la turbidité) pour évaluer la teneur en aérosols dans une colonne d'air verticale ; la mesure par radar pour évaluer la teneur en eau liquide des nuages à précipitations la mesure par lidar pour étudier la concentration des polluants dans les panaches de cheminée et les régions urbaines ; la mesure par satellite du rayonnement infrarouge pour évaluer la teneur en vapeur d'eau et en ozone de l'atmosphère Les mesures à distance ont l'avantage de permettre l'étude rapide des grands volumes d'air et de fournir des données pour des endroits difficiles d'accès.

Par contre, les données obtenues par mesure à distance nécessitent souvent l'établissement d'une

moyenne spatiale, ce qui n'est pas toujours souhaitable. Les limites de détection sont également parfois trop faibles pour permettre la détermination exacte des gaz à l'état de traces. Dans les méthodes qui nécessitent le prélèvement d'un échantillon, la mesure de certaines propriétés de l'échantillon est parfois effectué directement sans aucune étape d'extraction.

C'est le cas, par exemple, lorsqu'on mesure CO ou CO₂ à l'aide d'instruments à l'infrarouge et la capacité de dispersion des aérosols à l'aide d'un néphélomètre intégrateur (Butcher et Charlson, 1972). Dans de tels cas, la vitesse de mesure n'est pas un facteur très important. De nombreuses autres méthodes de mesure nécessitent une surveillance étroite de la vitesse (période) de mesure.

Un exemple : la détermination des concentrations atmosphériques de SO₂ par ingestion de bulles d'air dans un réactif de piégeage. Dans ce cas, l'instrumentation d'échantillonnage comprend normalement une pompe et un débitmètre.

Souvent, il faut une attention spéciale afin d'éviter toute contamination de l'échantillon pendant le prélèvement, manutention, le prises dans des régions éloignées, où les concentrations des constituants traces sont généralement très faibles.

III.5.3.2. En pollution, A quoi consiste la mesure?

Dans cet immense « réacteur chimique » qu'est notre atmosphère terrestre, il s'agit de définir nos besoins en termes de mesure de pollution de l'air, à savoir : quel type de mesure, sur quelle extension spatiale et temporelle, à quelle fréquence, et enfin avec quelle précision.

Pour répondre à ces différentes questions, rappelons de quoi est fait ce réacteur atmosphérique. Il est caractérisé par la présence des émissions primaires qui sont soit d'origine naturelle (par exemple les émissions émis par les forêts), soit produites par l'homme (émissions de type industrielles, trafic, etc.).

A ces émissions primaires vient s'ajouter la chimie réactionnelle en partie induite par le soleil, les effets de la météorologie qui impliquent le transport et la diffusion des polluants dans l'atmosphère, et enfin les phénomènes de déposition par voie sèche (contact gaz surface terrestre) ou par voie humide (condensation de gaz à la surface de gouttelettes).

Donc, mesurer la pollution de l'air dans ce réacteur atmosphérique, c'est mesurer les espèces chimiques présentes dans l'atmosphère et les paramètres météorologiques de ce réacteur. Quand effectuer de telles mesures ? Il y a en fait trois champs d'application de la mesure de pollution de l'air bien distincts, à savoir:

- ❖ Les mesures visant le contrôle de niveau d'alerte de la pollution de l'air.
- ❖ Les mesures donnant une information à long terme de l'évolution de la pollution de l'air.
- ❖ L'étude spécifique d'épisodes photochimiques particuliers.

III.5.3.3 Les mesures de niveau d'alerte

Les ordonnances en matière de qualité de l'air sont, encore aujourd'hui, définies par chaque pays individuellement, et tendent à fixer les critères de maxima de pollution au-delà desquels une politique active de réduction de cette pollution doit être appliquée. Ces maxima sont définis soit en limite de concentration, ou de manière plus pertinente en « dose limite d'exposition » correspondant au produit de la concentration par le temps d'exposition des individus.

Ces niveaux d'alerte sont définies sur les « gaz critères » ou de référence que sont les oxydes d'azote ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$), le dioxyde de soufre SO_2 , le monoxyde de carbone CO, l'ozone O_3 et les particules en suspension dans l'air, les PM10 qui sont les particules plus petites que 10 micromètres de diamètre moyen.

Dans ce premier champ d'application qu'est la mesure de niveau d'alerte, les stations de mesure doivent être situées au coeur des sources d'émission primaires les plus intenses.

Le seuil d'alerte en Algérie, à partir duquel une exposition de courte durée pourrait entraîner un risque élevé pour la santé des populations et pour l'environnement, est défini dans le tableau ci-dessous pour les principaux polluants:

Tableau III.2: Seuil d'alerte des principaux polluants

Polluant	Seuil d'alerte
Dioxyde d'azote	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dioxyde de soufre	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozone	360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
dioxyde de carbone	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

III.5.3.4. La mesure de tendance

Alors que le niveau d'alerte est lié à une mesure de pic de pollution se développant sur quelques heures, la mesure des tendances « trend measurements » est obtenue à partir d'une série temporelle sur plusieurs années ou décennies.

Il s'agit alors de mesurer ces gaz de référence, mais avec une instrumentation dont la maintenance et le renouvellement n'affecte pas l'analyse des résultats sur le long terme.

III.5.3.5. Détermination de niveau d'alerte pour les mesures de tendances à long terme

L'expérience a montré que ce n'est pas tant le nombre de stations de mesures qui importent, mais bien la qualité des sites de mesure, c'est-à-dire aussi bien du point de vue du choix de l'emplacement du site que de la parfaite maintenance et du calibrage des appareils.

III.5.3.6. Épisode photochimique et modèles atmosphériques

Il s'agit ici d'observer le développement d'un épisode photochimique, et de caractériser aussi

précisément que possible sur une durée de quelques jours, en trois dimensions, l'évolution du réacteur photochimique atmosphérique.

Un tel épisode a lieu en condition météorologique très favorable (condition anticyclonique, fort ensoleillement), avec des vents faibles, et un domaine d'étude dont l'extension spatiale contient le panache et la formation de polluants secondaires à simuler, soit une extension horizontale d'environ 100 km et verticale de quelques km. Dans une étude d'épisode photochimique, chaque information de type météo ou chimie est valorisée : elle participe à la construction d'une base de donnée qui définit le cas de base ou le cas test de calage de modèles atmosphériques à méso échelle. Ces modèles sont constitués d'un ensemble de sous programmes qui reproduisent de manière prédictive la dynamique des polluants dans l'atmosphère à partir des émissions, de leur transport et diffusion induite par le vent, de leur transformation chimique, jusqu'à leur déposition par voie sèche ou humide, et ce en tenant compte du relief, du type de terrain, et bien sûr des sources d'émission présentes dans le domaine (cadastre d'émissions). Avec d'une part un cas de base bien décrit correspondant à une situation mesurée, et d'autre part un modèle eulérien méso échelle, les résultats simulés par le modèle sont directement confrontés aux mesures du cas de base.

Partant d'une bonne représentation numérique de cette situation mesurée, le modèle permet de comprendre et d'analyser les résultats mesurés sur un épisode photochimique, et devient alors l'unique outil scientifique de contrôle, de manière prédictive, de l'efficacité de scénario de réduction de la pollution de l'air. Il est en fait le seul outil d'aide à la décision en matière de contrôle de la qualité de l'air.

III.6. Indice de qualité de l'air

III.6.1. Critères de qualité de l'air

Les critères de qualité de l'air ont été conçus afin de faciliter l'évaluation de la qualité de l'air. Ils peuvent être utilisés pour évaluer les résultats de mesures effectuées dans le contexte de différents programmes de suivi ou encore pour évaluer les effets prédits sur l'air ambiant d'un projet, industriel ou autre, comprenant des émissions de contaminants dans l'air.

Les critères de qualité de l'air ont été déterminés de manière à protéger la santé humaine, à minimiser les nuisances ainsi que les effets sur l'écosystème. Les données toxicologiques produites par des organismes reconnus ont été retenues pour définir les critères; ceux-ci ont été établis à un niveau dit de risque nul ou négligeable. Ainsi, lorsque, dans une situation prédite ou observée, on estime les concentrations de contaminants à des niveaux inférieurs aux critères, on évalue que cette situation ne présente aucun risque pour la santé.


Toutefois, lorsque le niveau des critères est atteint ou dépassé dans l'environnement, cela ne signifie pas que le risque correspondant à ce dépassement doit nécessairement être considéré comme

inacceptable; chaque situation est unique et doit être considérée indépendamment.

III.6.2. Qu'est-ce que l'indice de la qualité de l'air

L'indice de la qualité de l'air (IQA) est un outil d'information dont l'objectif est de faciliter la communication des résultats de la mesure des polluants de l'air. Cet indice peut être « bon », « acceptable » ou « mauvais ». Il peut être calculé et mis à jour toutes les heures, à partir de la mesure de différents polluants faite aux diverses stations du réseau de surveillance de la qualité de l'air « SAMA SAFIA » réparties sur le territoire. Les paramètres servant en général au calcul sont l'ozone, les particules fines, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone.

Tableau III.3: L'indice de la qualité de l'air.

<p>Indice de la qualité de l'air</p> <p>- Bon (25 ou moins)</p> <p>- Acceptable (26 à 50)</p> <p>- Mauvais (51 et plus)</p>	<p>Autre présentation de IQA (Appliquée par le réseau SAMA SAFIA) :</p> 
---	---

III.6.3. La méthode de calcul de l'indice de la qualité de l'air (IQA)

Chaque heure, un indice de la qualité de l'air est calculé généralement à partir des cinq polluants suivants : l'ozone, les particules fines, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote et le monoxyde de carbone. Pour chacun des polluants mesurés à l'une ou l'autre des stations du réseau de surveillance de la qualité de l'air, un sous indice est d'abord calculé. Le sous indice se calcule en divisant la concentration mesurée d'un polluant par sa valeur de référence correspondante et en multipliant le résultat obtenu par 50.

La valeur de référence d'un polluant est la concentration à partir de laquelle on considère que la qualité de l'air est « mauvaise ». Cette valeur est déterminée à partir de critères de protection de la santé humaine. Les valeurs de références sont les suivantes :

Tableau III.4: Les valeurs de références de critères de protection de la santé humaine

Polluant	Type de mesure	Valeur de référence
Ozone (O ₃)	Moyenne horaire	82 ppb
Particules fines (PM _{2,5})	Moyenne sur 3 heures	35 µg/m ³
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Maximum sur 4 minutes ¹	200 ppb
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Moyenne horaire	213 ppb
Monoxyde de carbone (CO)	Moyenne horaire	30 ppm

¹ Maximum des concentrations moyennes sur 4 minutes observées au cours d'une heure donnée.

Le sou indice dont le résultat est le plus élevé est ensuite utilisé pour désigner l'indice de la qualité de l'air pour cette station.

Il n'est pas nécessaire que tous les polluants soient mesurés à une station pour calculer l'IQA. Voici un exemple de calcul où l'ozone, les particules fines et le dioxyde de soufre sont mesurés.

III.6.4. Exemple de calcul

Sous indice O₃ = (90 ppb / 82 ppb).50 = 55
 Sous indice PF = (51 µg/m / 35 µg/m).50 = 73
 Sous indice SO₂ = (49 ppb / 200 ppb).50 = 12

L'indice de la qualité de l'air est le plus élevé des sous indice : IQA = 73

L'IQA d'une région ou d'une ville est basé sur le plus élevé des indices de la qualité de l'air mesurés aux stations représentatives de son territoire.

Chapitre.4

Résultats et Discussions

IV.1. Résultats et discussions

Les Tableaux IV.1-5 regroupent les résultats de variations journalières de l'ozone, mesurés dans la station de Ben Aknoun durant les années 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 et 2009.

Tableau IV.1 : Variation Journalière de l'Ozone Eté-Autun 2002

2002			
Date	[O ₃] μg.m ⁻³	Date	[O ₃] μg.m ⁻³
16/06/02	37	16/09/02	49
17/06/02	38	17/09/02	59
21/06/02	46	18/09/02	87
22/06/02	23	19/09/02	40
23/06/02	27	20/09/02	49
24/06/02	33	21/09/02	50
27/06/02	40	22/09/02	43
28/06/02	61	23/09/02	46
29/06/02	57	24/09/02	53
30/06/02	67	25/09/02	34
03/07/02	17	26/09/02	32
04/07/02	33	27/09/02	26
05/07/02	56	28/09/02	29
06/07/02	55	29/09/02	36
07/07/02	52	30/09/02	40
08/07/02	48	01/10/02	42
09/07/02	48	02/10/02	34
10/07/02	37	03/10/02	32
11/07/02	56	04/10/02	40
12/07/02	75	05/10/02	37
14/07/02	45	06/10/02	17
15/07/02	34	07/10/02	34
16/07/02	39	08/10/02	22
17/07/02	73	09/10/02	39
18/07/02	77	10/10/02	47
19/07/02	65	11/10/02	50
20/07/02	70	12/10/02	46
25/07/02	57	13/10/02	26
26/07/02	66	14/10/02	11
27/07/02	53	15/10/02	16
28/07/02	64	16/10/02	17
29/07/02	47	17/10/02	36
31/07/02	95	18/10/02	34
01/08/02	93	19/10/02	30
02/08/02	156	20/10/02	38
03/08/02	144	21/10/02	27
04/08/02	175	22/10/02	38
05/08/02	199	23/10/02	36
06/08/02	226	24/10/02	25
07/08/02	334	25/10/02	15
08/08/02	226	26/10/02	8

09/08/02	219	27/10/02	10
11/08/02	169	28/10/02	29
12/08/02	103	29/10/02	9
13/08/02	171	30/10/02	20
14/08/02	198	31/10/02	28
16/08/02	210	01/11/02	20
17/08/02	244	02/11/02	15
22/08/02	198	03/11/02	25
23/08/02	273	04/11/02	19
26/08/02	112	05/11/02	8
27/08/02	141	06/11/02	10
28/08/02	323	07/11/02	34
29/08/02	124	08/11/02	35
30/08/02	75	09/11/02	21
31/08/02	107	10/11/02	23
01/09/02	183	11/11/02	16
03/09/02	121	12/11/02	7
04/09/02	226	13/11/02	5
06/09/02	70	14/11/02	17
08/09/02	48	15/11/02	31
09/09/02	48	16/11/02	52
10/09/02	34	17/11/02	47
11/09/02	42	18/11/02	68
12/09/02	47	19/11/02	86
13/09/02	60	20/11/02	80
14/09/02	67	21/11/02	68
15/09/02	60	22/11/02	71
		23/11/02	55
		25/11/02	66
		26/11/02	49
		27/11/02	64
		03/12/02	77
		04/12/02	69

Tableau IV.2 : Variation Journalière de l’Ozone Hiver-Printemps-Eté-Autun 2003

2003							
Date	[O ₃] µg.m ⁻³	Date	[O ₃] µg.m ⁻³	Date	[O ₃] µg.m ⁻³	Date	[O ₃] µg.m ⁻³
24/12/02	18	14/03/03	20	18/07/03	42	01/10/03	33
25/12/02	20	15/03/03	40	19/07/03	42	02/10/03	40
27/12/02	19	16/03/03	33	20/07/03	39	03/10/03	35
28/12/02	39	17/03/03	21	21/07/03	46	04/10/03	19
29/12/02	17	18/03/03	14	22/07/03	40	05/10/03	53
31/12/02	35	19/03/03	16	23/07/03	42	06/10/03	40
02/01/03	28	23/03/03	53	18/08/03	480	07/10/03	36
03/01/03	27	24/03/03	45	19/08/03	670	08/10/03	33
07/01/03	70	25/03/03	28	20/08/03	549	09/10/03	26

08/01/03	73	26/03/03	30	21/08/03	98	10/10/03	31
14/01/03	108	27/03/03	42	23/08/03	58	11/10/03	29
19/01/03	94	28/03/03	76	24/08/03	495	12/10/03	64
20/01/03	80	29/03/03	61	25/08/03	438	13/10/03	82
21/01/03	84	01/04/03	68	26/08/03	310	14/10/03	41
22/01/03	111	02/04/03	61	27/08/03	335	15/10/03	52
23/01/03	96	03/04/03	49	28/08/03	316	16/10/03	44
24/01/03	88	05/04/03	23	29/08/03	110	17/10/03	58
25/01/03	66	06/04/03	25	30/08/03	174	18/10/03	59
26/01/03	88	07/04/03	38	31/08/03	231	19/10/03	28
7/01/03	77	08/04/03	56	01/09/03	239	20/10/03	36
28/01/03	56	09/04/03	58	03/09/03	620	22/10/03	60
29/01/03	78	10/04/03	86	05/09/03	879	23/10/03	34
		11/04/03	71	06/09/03	764	24/10/03	33
		12/04/03	52	07/09/03	665	25/10/03	14
		13/04/03	45	08/09/03	536	26/10/03	41
		24/04/03	69	09/09/03	156		
		25/04/03	61	10/09/03	134		
		26/04/03	73	12/09/03	42		
		27/04/03	87	15/09/03	170		
		28/04/03	86	16/09/03	242		
		29/04/03	102	17/09/03	141		
		30/04/03	73	18/09/03	241		
		07/05/03	19	19/09/03	447		
		08/05/03	69	20/09/03	691		
		09/05/03	93	21/09/03	632		
		11/05/03	34	22/09/03	302		
		12/05/03	31	23/09/03	464		
		13/05/03	23	24/09/03	271		
		15/05/03	19	25/09/03	337		
				26/09/03	303		
				27/09/03	96		
				28/09/03	57		
				29/09/03	94		
				30/09/03	78		

Tableau IV.3 : Variation Journalière de l’Ozone Hiver-Printemps-Eté-Autun 2004

04							
Date	[O ₃] μg.m ⁻³	Date	[O ₃] μg.m ⁻³	Date	[O ₃] μg.m ⁻³	Date	[O ₃] μg.m ⁻³
25/01/04	34	17/03/04	28	01/06/04	16	16/09/04	46
26/01/04	24	18/03/04	21	07/06/04	43	17/09/04	56
27/01/04	32	19/03/04	31	08/06/04	37	18/09/04	48
28/01/04	19	20/03/04	18	09/06/04	32	19/09/04	44
29/01/04	26	21/03/04	14	10/06/04	33	20/09/04	43
30/01/04	10	22/03/04	20	13/07/04	34	21/09/04	40
31/01/04	20	23/03/04	37	14/07/04	30	22/09/04	40
01/02/04	11	24/03/04	38	15/07/04	37	23/09/04	28

02/02/04	11	25/03/04	37	16/07/04	47	24/09/04	52
03/02/04	10	26/03/04	41	17/07/04	38	27/09/04	32
04/02/04	17	27/03/04	20	18/07/04	44	28/09/04	33
09/02/04	22	30/03/04	26	19/07/04	25	29/09/04	32
10/02/04	17	31/03/04	40	20/07/04	24	30/09/04	39
11/02/04	19	01/04/04	35	25/07/04	26	01/10/04	39
13/02/04	13	02/04/04	41	26/07/04	44	02/10/04	32
14/02/04	11	03/04/04	48	27/07/04	35	03/10/04	31
15/02/04	23	04/04/04	22	28/07/04	24	04/10/04	32
16/02/04	26	05/04/04	16	29/07/04	32	05/10/04	45
17/02/04	16	06/04/04	26	30/07/04	45	06/10/04	30
18/02/04	21	07/04/04	34	31/07/04	35	07/10/04	34
19/02/04	13	08/04/04	39	01/08/04	36	08/10/04	33
20/02/04	30	09/04/04	47	02/08/04	39	14/10/04	47
21/02/04	28	12/04/04	44	04/08/04	36	15/10/04	70
24/02/04	19	13/04/04	32	16/08/04	46	16/10/04	65
25/02/04	12	14/04/04	15	17/08/04	41	18/10/04	35
28/02/04	50	17/04/04	51	18/08/04	31	25/11/04	29
29/02/04	48	18/04/04	58	22/08/04	53	26/11/04	28
01/03/04	36	20/04/04	40	24/08/04	39	27/11/04	26
08/03/04	26	21/04/04	12	25/08/04	28	28/11/04	27
09/03/04	31	22/04/04	53	26/08/04	36	29/11/04	32
10/03/04	31	23/04/04	54	27/08/04	48		
11/03/04	28	25/04/04	29	09/09/04	49		
12/03/04	22	26/04/04	35	12/09/04	35		
13/03/04	34	27/04/04	43	13/09/04	40		
14/03/04	25	28/04/04	63	14/09/04	41		
		29/04/04	47	15/09/04	40		
		01/05/04	48				
		02/05/04	28				
		03/05/04	62				
		04/05/04	51				
		05/05/04	57				
		06/05/04	46				
		07/05/04	43				
		08/05/04	44				
		09/05/04	24				
		10/05/04	17				
		12/05/04	55				
		13/05/04	32				
		14/05/04	30				
		17/05/04	49				
		18/05/04	47				
		19/05/04	45				
		20/05/04	24				
		21/05/04	60				
		22/05/04	21				
		23/05/04	27				

		24/05/04	37				
		25/05/04	48				
		28/05/04	28				
		29/05/04	23				
		30/05/04	18				
		31/05/04	26				

Tableau IV.4 : Variation Journalière de l’Ozone Hiver-Printemps-Eté-Autun 2005

2005							
Date	[O ₃] μg.m ⁻³	Date	[O ₃] μg.m ⁻³	Date	[O ₃] μg.m ⁻³	Date	[O ₃] μg.m ⁻³
09/01/05	21	09/04/05	45	16/06/05	52	19/09/05	14
10/01/05	28	10/04/05	50	17/06/05	81	20/09/05	15
11/01/05	23	11/04/05	46	18/06/05	48	21/09/05	16
12/01/05	20	12/04/05	46	19/06/05	30	22/09/05	11
13/01/05	27	13/04/05	46	20/06/05	39	23/09/05	16
14/01/05	31	14/04/05	46	21/06/05	56	24/09/05	22
15/01/05	21	15/04/05	46	22/06/05	45	25/09/05	21
16/01/05	22	16/04/05	46	23/06/05	59	26/09/05	22
17/01/05	29	17/04/05	46	24/06/05	69	27/09/05	18
18/01/05	32	18/04/05	46	25/06/05	102	28/09/05	26
19/01/05	61	19/04/05	46	26/06/05	181	29/09/05	33
20/01/05	47	20/04/05	46	27/06/05	47	30/09/05	26
21/01/05	42	21/04/05	46	28/06/05	86	01/10/05	20
22/01/05	18	22/04/05	39	30/06/05	45	02/10/05	17
23/01/05	16	23/04/05	42	01/07/05	34	03/10/05	16
24/01/05	28	24/04/05	41	02/07/05	147	04/10/05	13
		25/04/05	35	03/07/05	89	05/10/05	13
		26/04/05	38	04/07/05	69	06/10/05	16
		27/04/05	31	05/07/05	182	07/10/05	16
		28/04/05	32	07/07/05	100		
		29/04/05	38	08/07/05	160		
		30/04/05	47	09/07/05	111		
		01/05/05	45	10/07/05	109		
		02/05/05	43	11/07/05	74		
		03/05/05	37	12/07/05	45		
		04/05/05	36	13/07/05	45		
		05/05/05	29	14/07/05	63		
		06/05/05	35	15/07/05	67		
		07/05/05	32	16/07/05	40		
		08/05/05	35	17/07/05	42		
		09/05/05	25	20/07/05	97		
		10/05/05	29	21/07/05	61		
		11/05/05	27	22/07/05	62		
		12/05/05	31	23/07/05	54		
		13/05/05	32	25/07/05	42		
		14/05/05	33	26/07/05	35		
		15/05/05	26	27/07/05	36		

		16/05/05	34	28/07/05	28		
		17/05/05	44	29/07/05	28		
		18/05/05	42	30/07/05	28		
		19/05/05	29	31/07/05	73		
		20/05/05	37	04/08/05	40		
		21/05/05	37	05/08/05	43		
		22/05/05	40	06/08/05	32		
		25/05/05	39	07/08/05	37		
		26/05/05	36	08/08/05	25		
		27/05/05	41	30/08/05	14		
		28/05/05	44	31/08/05	12		
		31/05/05	79	01/09/05	15		
		01/06/05	60	02/09/05	16		
		02/06/05	76	03/09/05	17		
		03/06/05	77	04/09/05	16		
		04/06/05	68	05/09/05	18		
		05/06/05	60				
		06/06/05	57				
		08/06/05	47				
		09/06/05	71				
		10/06/05	55				
		11/06/05	46				
		12/06/05	82				
		13/06/05	86				
		14/06/05	56				
		15/06/05	59				

Tableau IV.5: Variation Journalière de l’Ozone Eté 2006 et Printemps-Eté 2009

Eté 06 et Printemps-Eté 09			
Date	[O ₃] µg.m ⁻³	Date	[O ₃] µg.m ⁻³
09/07/2006	18	16/05/2009	46
11/07/2006	35	17/05/2009	46
12/07/2006	90	18/05/2009	35
15/07/2006	143	19/05/2009	38
16/07/2006	166	20/05/2009	26
17/07/2006	170	21/05/2009	24
18/07/2006	169	22/05/2009	27
20/07/2006	112	23/05/2009	26
21/07/2006	121	24/05/2009	29
22/07/2006	164	25/05/2009	29
23/07/2006	150	27/05/2009	28
24/07/2006	137	28/05/2009	28
25/07/2006	124	29/05/2009	25
26/07/2006	108	30/05/2009	21
27/07/2006	64	31/05/2009	14
28/07/2006	66	01/06/2009	14
29/07/2006	91	02/06/2009	14

30/07/2006	113	03/06/2009	18
31/07/2006	94	04/06/2009	22
03/08/2006	140	05/06/2009	58
04/08/2006	136	06/06/2009	73
05/08/2006	43	07/06/2009	73
06/08/2006	28	08/06/2009	73
07/08/2006	16	09/06/2009	73
08/08/2006	18	10/06/2009	73
09/08/2006	37	11/06/2009	73
10/08/2006	28	12/06/2009	73
11/08/2006	43	13/06/2009	73
12/08/2006	58	14/06/2009	73
13/08/2006	137	15/06/2009	73
14/08/2006	84	16/06/2009	73
15/08/2006	86	17/06/2009	73
16/08/2006	61	18/06/2009	73
20/08/2006	93	19/06/2009	73
21/08/2006	93	22/06/2009	66
22/08/2006	94	23/06/2009	66
23/08/2006	84	24/06/2009	66
24/08/2006	100	25/06/2009	66
25/08/2006	90		

Les Figures IV.1-20 représentent les variations journalières de la concentration de l’ozone durant une saison de l’année considérée.

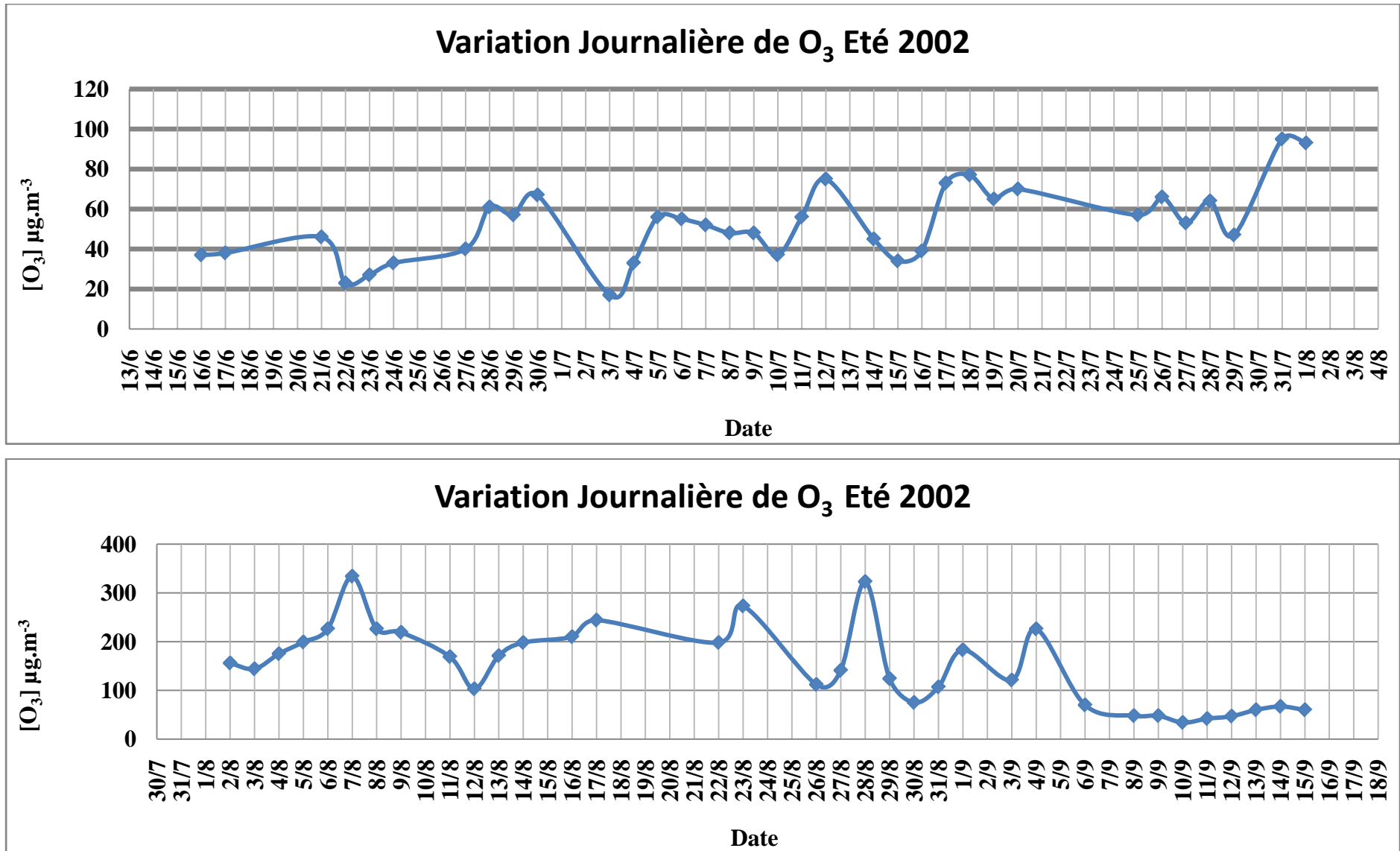


Figure IV.1 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2002, B : Eté 2002 suite

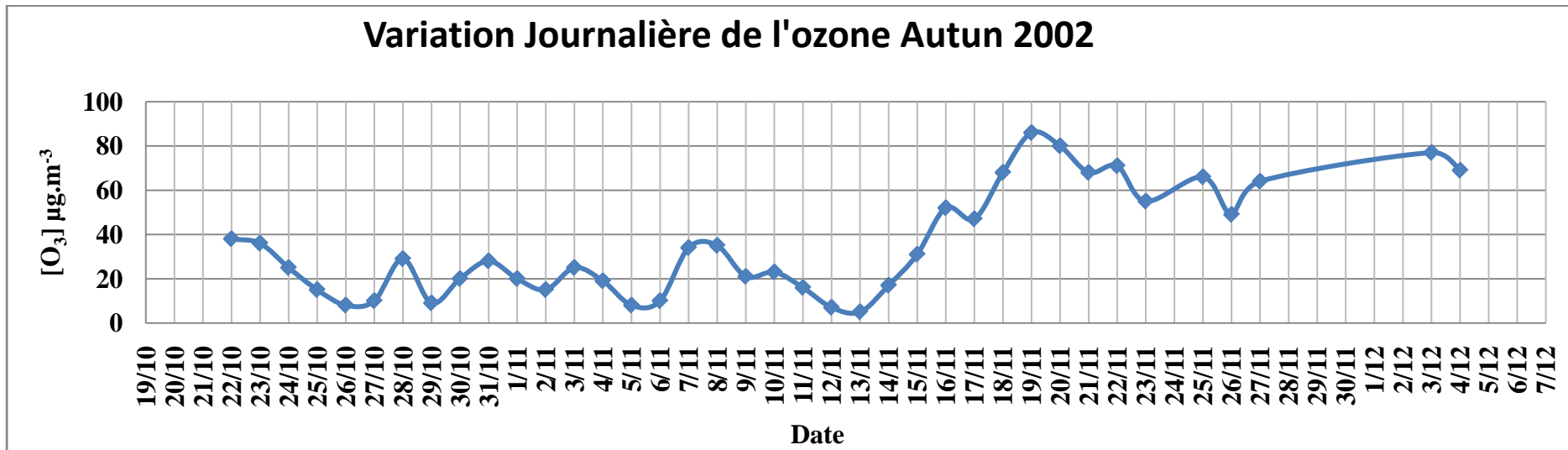
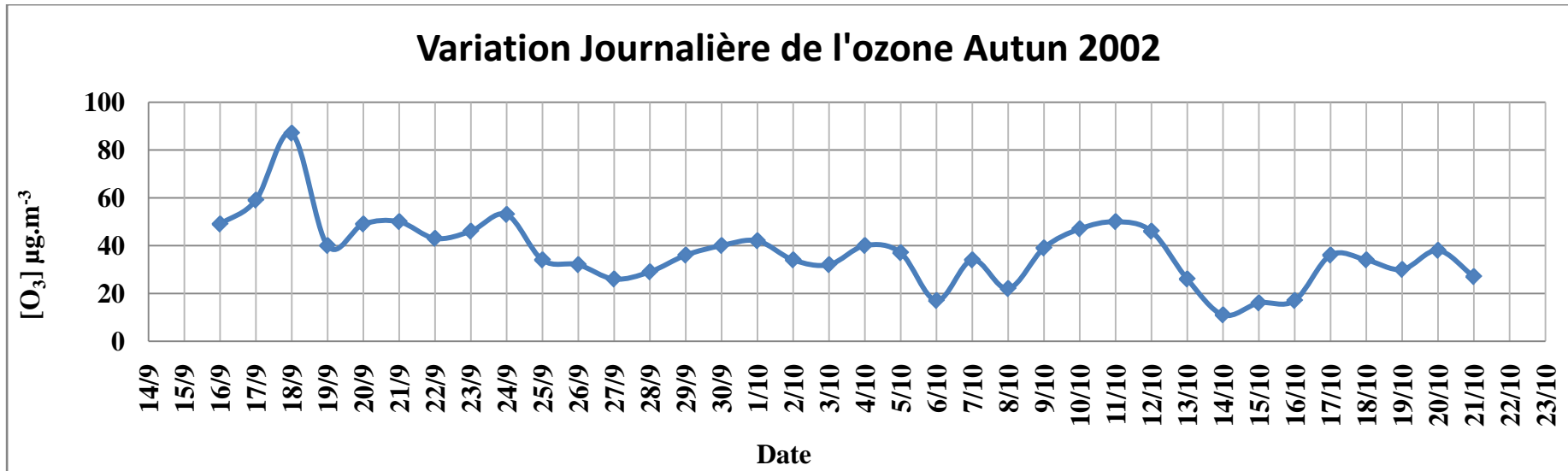


Figure IV.2 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Autun 2002, B : Autun2002 suite

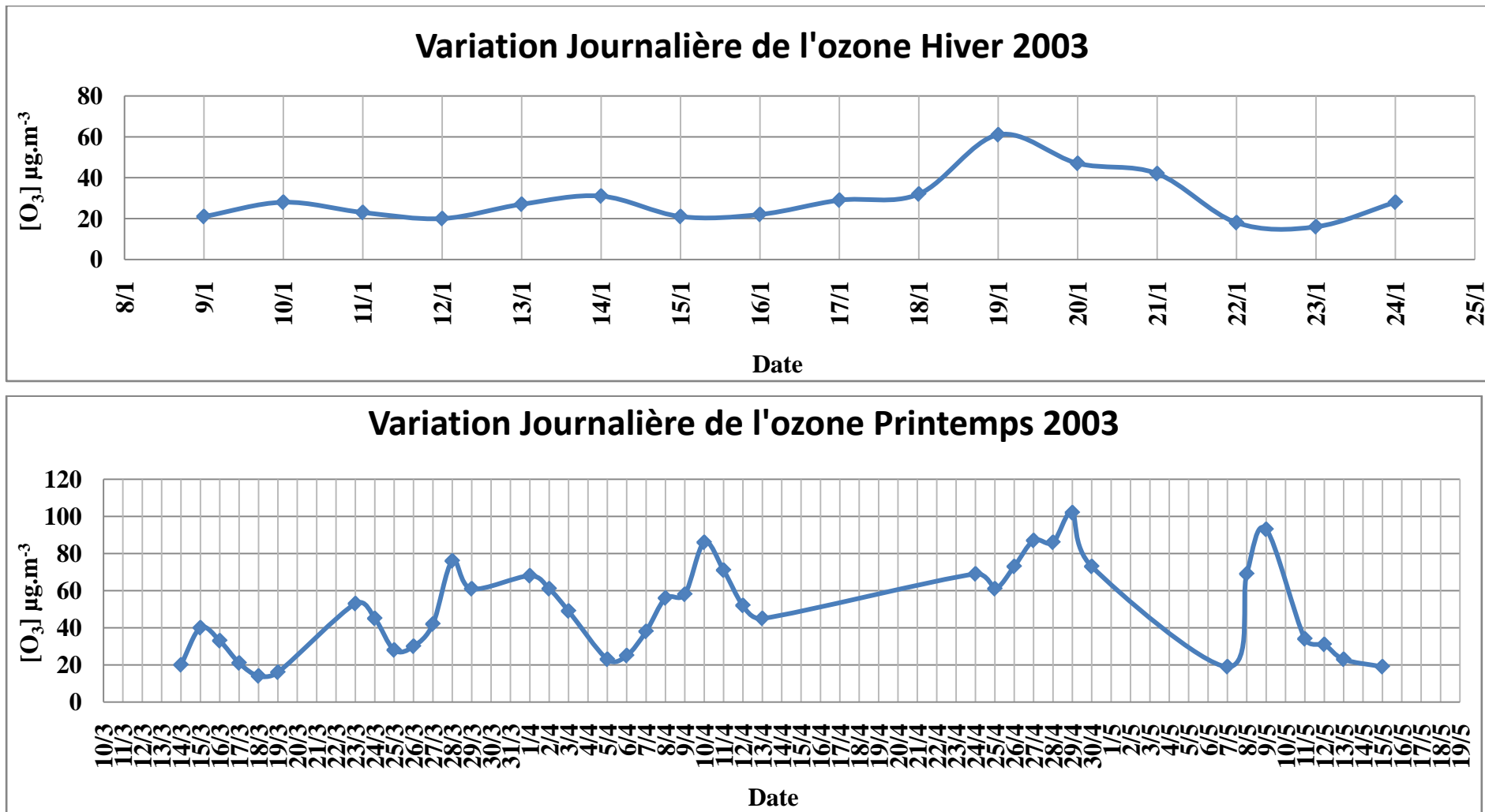


Figure IV.3 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Hiver 2003, B : Printemps 2003

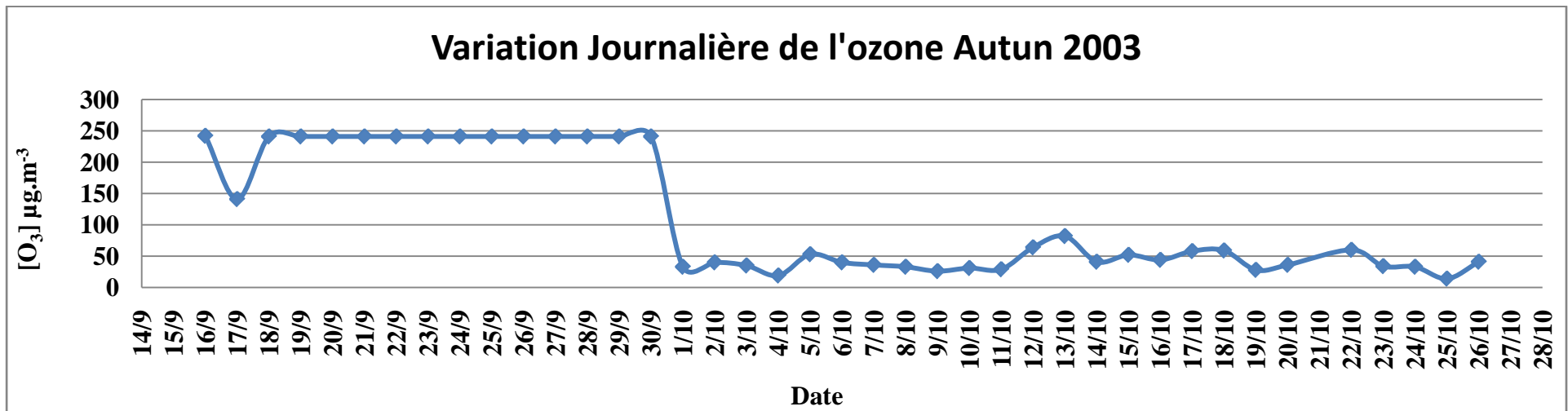
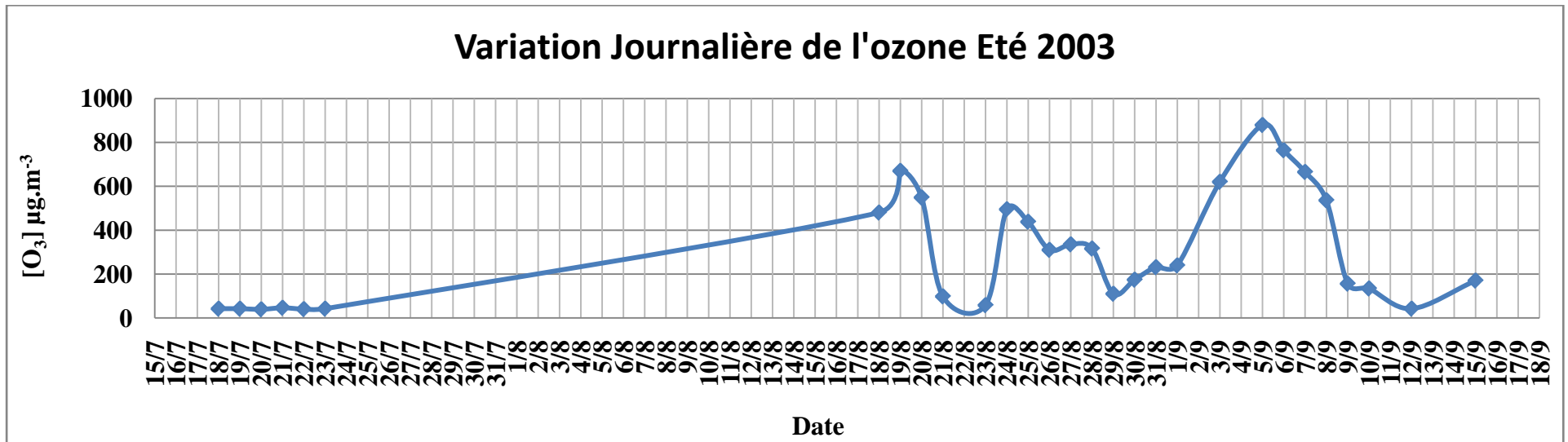


Figure IV.4 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2003, B : Automne 2003

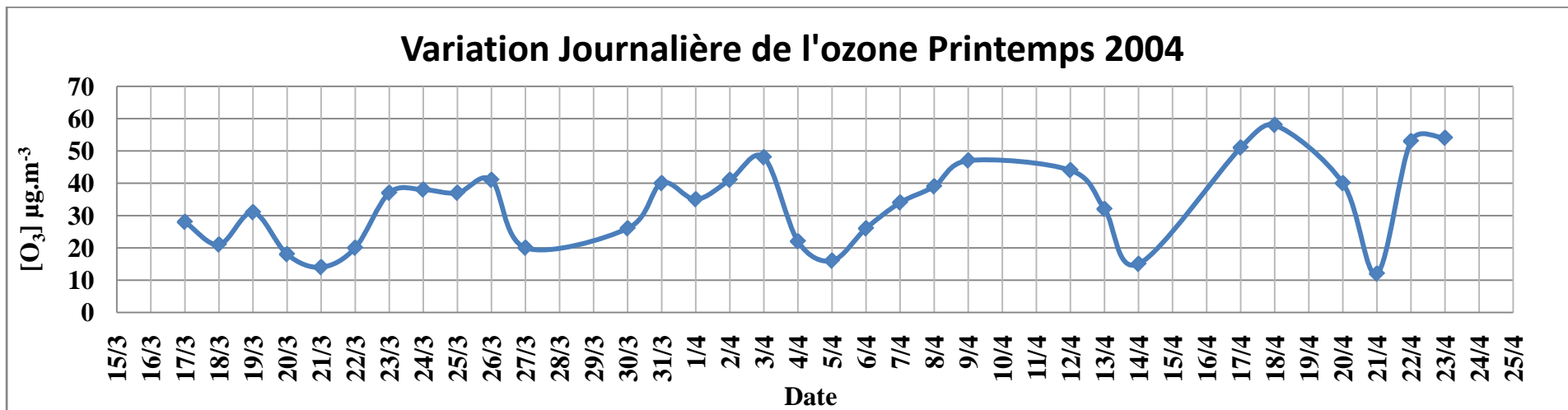
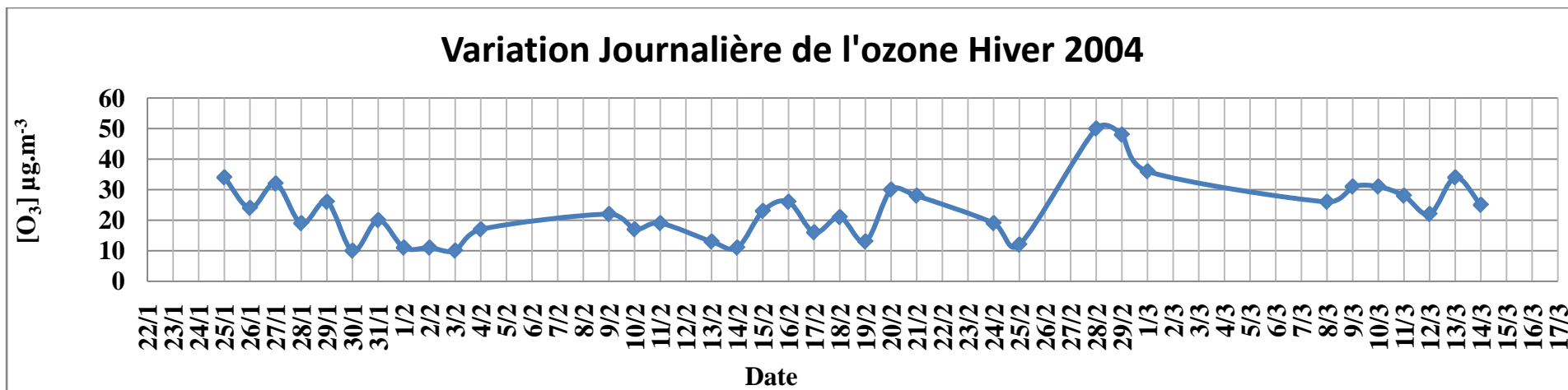


Figure IV.5 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Hiver 2004, B : Printemps 2004

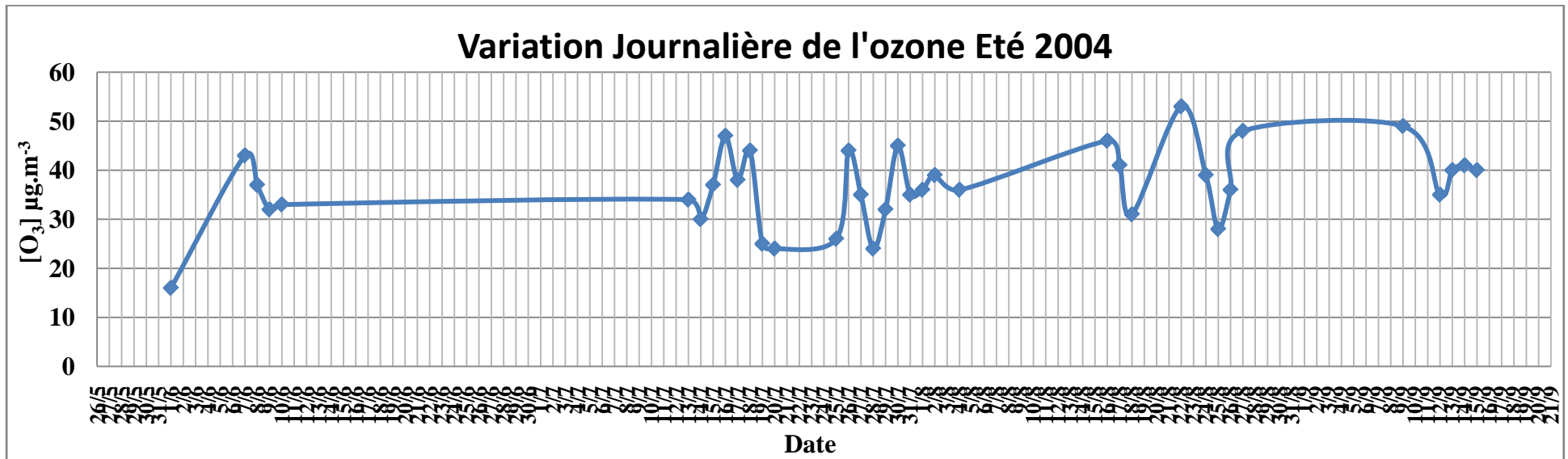
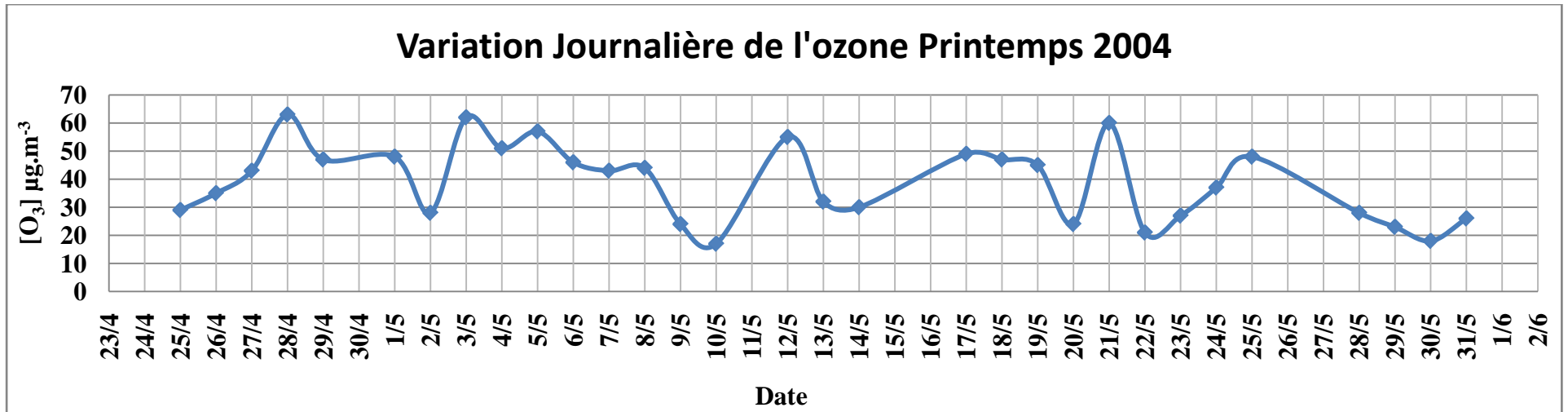


Figure IV.6 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Printemps 2004 suite, B : Eté 2004

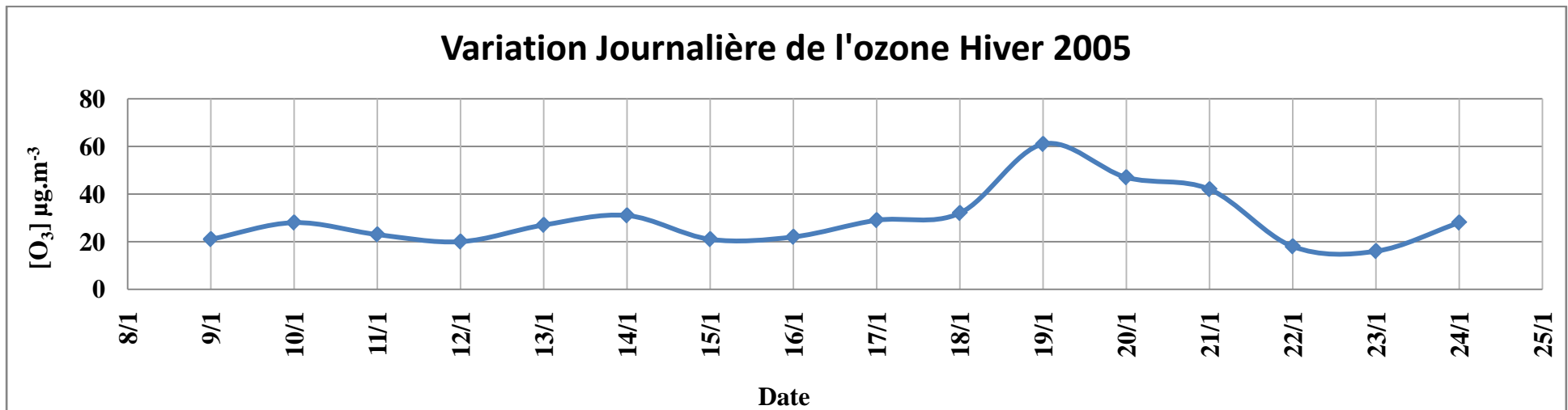
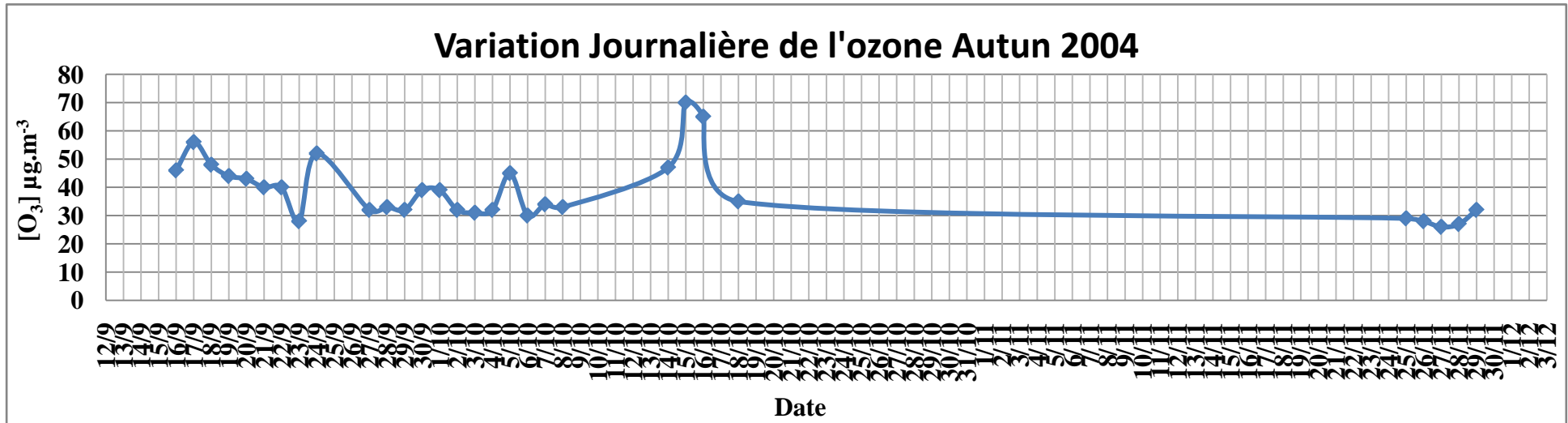


Figure IV.7 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Automne 2004, B : Hiver 2005

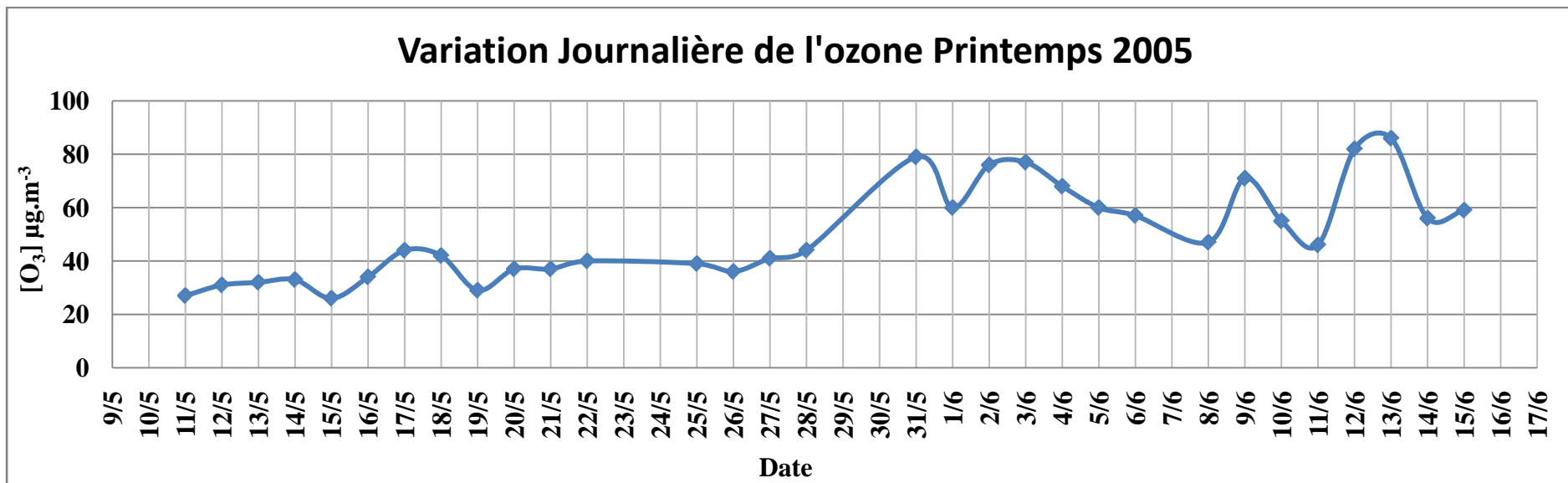
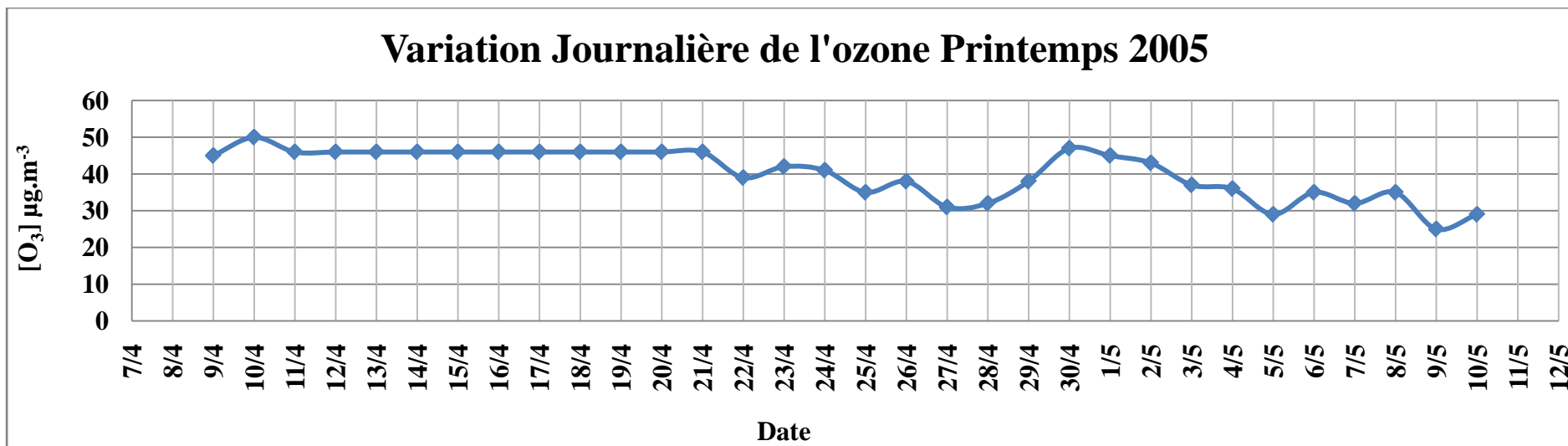


Figure IV.8 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Printemps 2005, B : Printemps 2005 suite

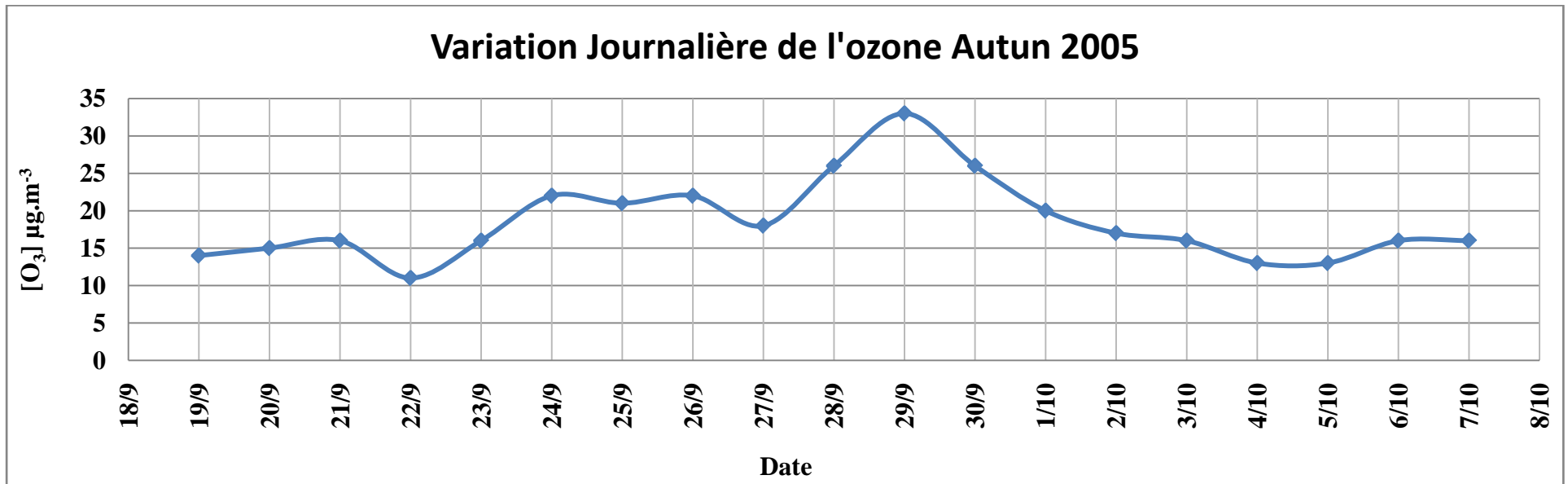
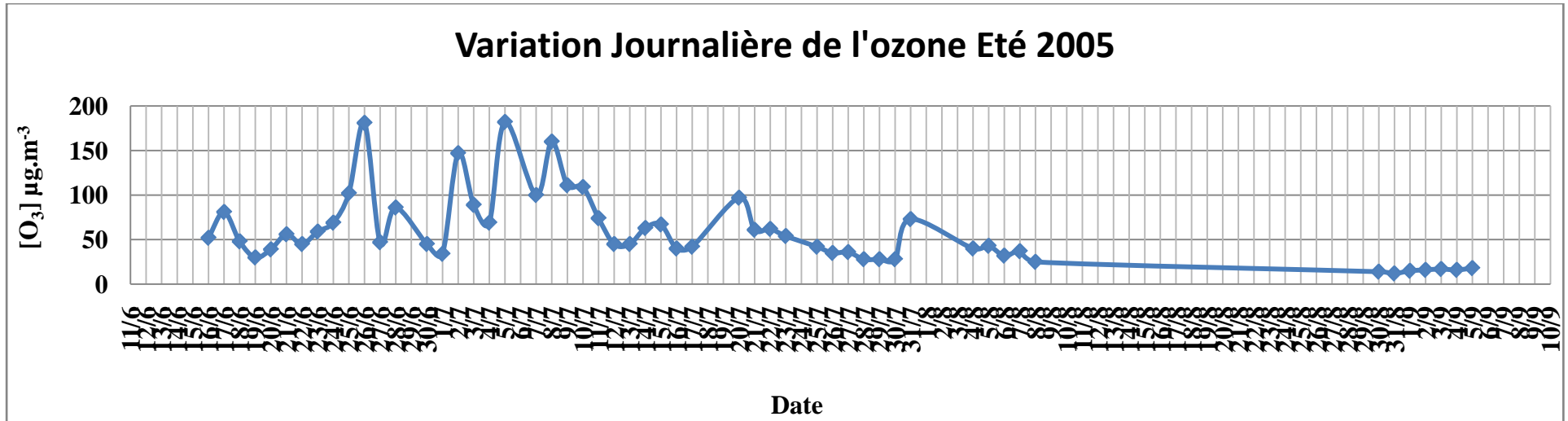


Figure IV.9 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2005, B : Autun 2005

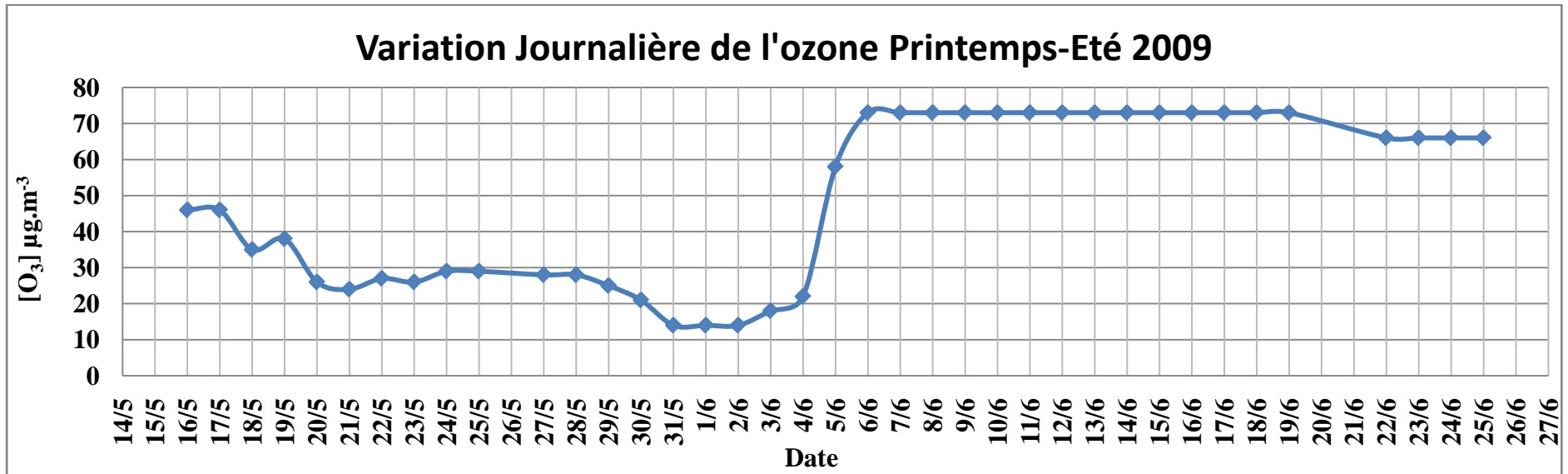
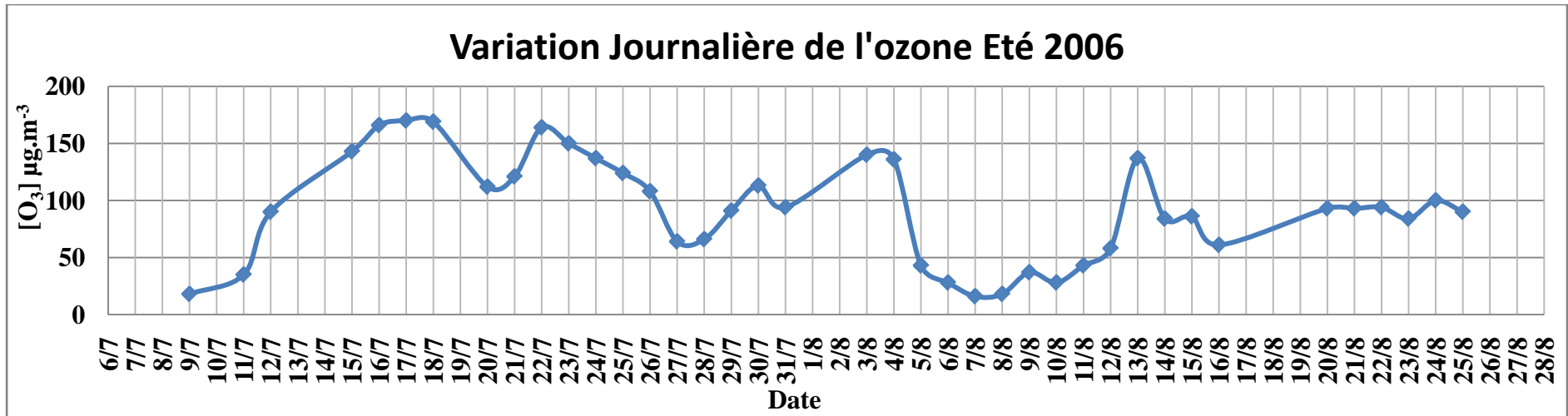


Figure IV.10 : Variation journalière de la concentration de l'ozone. A : Eté 2006, B : Printemps-Eté 2009

IV.2. Evolution de la concentration journalière de l'ozone dans la station SAMASAFIA de Ben Aknoun

D'après les Figures IV.1-10 (A et B), les concentrations journalières de l'ozone mesurées dans la station SAMASAFIA de Ben Aknoun, durant les saisons estivale et automnale (2002), hivernale, périnatale, estivale et automnale (2003, 2004 et 2005), estivale 2006 et périnatale et estivale 2009, ont montré que les concentrations journalières ont été dans la plupart de temps au-dessous de la valeur limite recommandée par la réglementation internationale qui fixe une valeur guide de $120 \mu\text{g.m}^{-3}$ comme valeur limite journalière sur huit heures de mesure en continu à ne pas dépasser. Malgré cela, il y a des jours de dépassement de cette valeur limite journalière, même on a enregistré des dépassements de d'autres valeurs de seuil, comme le seuil d'information et seuil d'alerte. Le Tableau IV.6, regroupe le nombre de jours de dépassements par année de la valeur limite journalière, le seuil d'information et le seuil d'alerte. D'après les Tableaux IV.1-5 et les Figures IV.1-20, les saisons estivales qui ont connu des épisodes d'ozone, des concentrations alarmantes ont été enregistrées dans les saisons estivales 2002, 2003, 2005 et 2006, la saison dont la concentration la plus élevée a été la saison estivale 2003, où une concentration de $879 \mu\text{g.m}^{-3}$ a été enregistrée, dépassant à la fois la limite journalière et les seuils d'information et d'alerte. La saison estivale 2004 n'a connu aucun dépassement ($< 120 \mu\text{g.m}^{-3}$). Les saisons automnale, hivernale et périnatale (2002, 2003, 2005, 2006 et 2009) n'ont connu aucun dépassement. Les forts épisodes d'ozone sont enregistrés dans la période estivale, car cette dernière connaît toujours des fortes températures en un ensoleillement élevé avec des fortes concentrations des composés organiques volatils issus des feux de forêts très fréquents dans cette saison, ce qui conduit à un bilan photochimique favorable pour la production de l'ozone troposphérique.

Tableau IV.6 : Nombre de jours de dépassements des valeurs limite et seuils par année

Année	Nombre de jours de dépassement de la valeur limite	Nombre de jours de dépassement de seuil d'information.	Nombre de jours de dépassement de la seuil d'alerte.
2002	08 (> [120 µg/m ³])	09 (> [180 µg/m ³])	04 (> [240 µg/m ³])
2003	05	02	22
2004	00	00	00
2005	02	02	00
2006	11	00	00
2007	-	-	-
2008	-	-	-
2009	00	00	00

IV.3. Corrélation entre l'ozone et les particules solides, NO_x et NO₂

Les Tableaux IV.7-10 regroupent les résultats de mesure de la variation journalière de la concentration de l'ozone et la teneur des particules solides enregistrés dans la station SAMASAFIA de Ben Aknoun durant les saisons hivernale et/ou périnatale et/ou estivale et/ou hivernale des années 2002, 2003 et 2004. Par contre les Figures IV.11-21 regroupent les résultats de mesure d'une part, de la variation journalière de la concentration de l'ozone et d'autre part, la variation journalière des concentrations en NO_x et NO₂ enregistrés dans la station SAMASAFIA de Ben Aknoun durant les saisons hivernale et/ou périnatale et/ou estivale et/ou hivernale des années 2002, 2003, 2004 et 2006.

Tableau IV.7: Variation Journalière Ozone et particules solides Autun 2002

Date	O ₃ (µg/m ³)	PS (µg/m ³)
16/09/2002	49	51
17/09/2002	59	106
18/09/2002	87	71
19/09/2002	40	66
20/09/2002	49	103
21/09/2002	50	100
22/09/2002	43	40
23/09/2002	46	49
24/09/2002	53	26
25/09/2002	34	35
26/09/2002	32	40
27/09/2002	26	41
28/09/2002	29	54
29/09/2002	36	39
30/09/2002	40	38
01/10/2002	42	45
02/10/2002	34	113
03/10/2002	32	75
04/10/2002	40	28
05/10/2002	37	28
06/10/2002	17	46
07/10/2002	34	48
08/10/2002	22	76
09/10/2002	39	32
10/10/2002	47	9
11/10/2002	50	18
12/10/2002	46	32
13/10/2002	26	34
14/10/2002	11	70
15/10/2002	16	69
16/10/2002	17	78
17/10/2002	36	49
18/10/2002	34	25
19/10/2002	30	46
20/10/2002	38	99
21/10/2002	27	109
22/10/2002	38	36
23/10/2002	36	32
24/10/2002	25	33
25/10/2002	15	40
26/10/2002	8	89

27/10/2002	10	92
28/10/2002	29	41
29/10/2002	9	80
30/10/2002	20	66
31/10/2002	28	49
01/11/2002	20	27
02/11/2002	15	41
03/11/2002	25	37
04/11/2002	19	45
05/11/2002	8	24
06/11/2002	10	37
07/11/2002	34	22
08/11/2002	35	24
09/11/2002	21	41
10/11/2002	23	46
11/11/2002	16	49
12/11/2002	7	72
13/11/2002	5	72
14/11/2002	17	231
15/11/2002	31	475
16/11/2002	52	18
17/11/2002	47	41
18/11/2002	68	21
19/11/2002	86	48
20/11/2002	80	91
21/11/2002	68	12
22/11/2002	71	35
23/11/2002	55	68

Tableau IV.8: Variation Journalière Ozone et particules solides Eté 2003

Date	O₃ (µg/m³)	PS (µg/m³)
02/06/2003	23	61
03/06/2003	13	74
04/06/2003	23	100
05/06/2003	13	71
06/06/2003	15	64
07/06/2003	16	60
08/06/2003	13	68
09/06/2003	9	63
10/06/2003	5	61
11/06/2003	8	69
12/06/2003	18	81
13/06/2003	17	118

14/06/2003	22	85
15/06/2003	17	74
16/06/2003	13	69
17/06/2003	12	74
18/06/2003	17	59
19/06/2003	20	43

Tableau IV.9: Variation Journalière Ozone et particules solides Hiver 2004

Date	O₃ (µg/m³)	O₃ (µg/m³)
25/01/2004	34	36
26/01/2004	24	26
27/01/2004	32	20
28/01/2004	19	23
29/01/2004	26	27
30/01/2004	10	48
31/01/2004	20	37
01/02/2004	11	54
02/02/2004	11	54
03/02/2004	10	47
04/02/2004	17	38
13/02/2004	13	42
14/02/2004	11	78
15/02/2004	23	53
16/02/2004	26	43
17/02/2004	16	39
18/02/2004	21	30
19/02/2004	13	46
20/02/2004	30	492
21/02/2004	28	728

Tableau IV.10: Variation Journalière Ozone et particules solides Printemps 2004

Date	O₃ (µg/m³)	PS (µg/m³)
30/03/2004	26	42
31/03/2004	40	25
01/04/2004	35	27
02/04/2004	41	26
03/04/2004	48	18
04/04/2004	22	38
05/04/2004	16	47
06/04/2004	26	49
07/04/2004	34	46
08/04/2004	39	54

09/04/2004	47	31
01/05/2004	48	25
02/05/2004	28	42
03/05/2004	62	38
04/05/2004	51	21
05/05/2004	57	42
06/05/2004	46	37
07/05/2004	43	21
08/05/2004	44	31
09/05/2004	24	33
10/05/2004	17	64
17/05/2004	49	71
18/05/2004	47	43
19/05/2004	45	49
20/05/2004	24	59
21/05/2004	60	44
22/05/2004	21	48
23/05/2004	27	37
24/05/2004	37	22
25/05/2004	48	13

Tableau IV.11: Variation Journalière Ozone, NO_x et NO₂ Automne 2002

Date	NO _x (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
08/09/2002	49	48	52
09/09/2002	31	48	25
10/09/2002	64	34	40
11/09/2002	54	42	46
12/09/2002	60	47	54
13/09/2002	40	60	42
14/09/2002	38	67	37
15/09/2002	42	60	42
16/09/2002	65	49	65
17/09/2002	58	59	58
18/09/2002	23	87	24
19/09/2002	38	40	35
20/09/2002	28	49	26
21/09/2002	16	50	18
22/09/2002	18	43	19
23/09/2002	13	46	14
24/09/2002	14	53	16
25/09/2002	36	34	36
26/09/2002	49	32	50

27/09/2002	57	26	51
28/09/2002	75	29	56
29/09/2002	57	36	51
30/09/2002	50	40	49
01/10/2002	54	42	47
02/10/2002	56	34	50
03/10/2002	46	32	41
04/10/2002	32	40	34
05/10/2002	53	37	49
06/10/2002	70	17	61
07/10/2002	47	34	44
08/10/2002	83	22	55
09/10/2002	14	39	14
10/10/2002	04	47	4
11/10/2002	08	50	10
12/10/2002	14	46	16
13/10/2002	47	26	31
14/10/2002	112	11	62
15/10/2002	115	16	64
16/10/2002	108	17	55
17/10/2002	28	36	27
18/10/2002	31	34	32
19/10/2002	43	30	39
20/10/2002	75	38	37
21/10/2002	59	27	32
22/10/2002	15	38	17
23/10/2002	18	36	21
24/10/2002	39	25	26
25/10/2002	65	15	35
26/10/2002	110	08	68
27/10/2002	133	10	73
28/10/2002	43	29	40
29/10/2002	123	09	58
30/10/2002	43	20	43
31/10/2002	24	28	25
01/11/2002	26	20	26
02/11/2002	38	15	37
03/11/2002	24	25	30
04/11/2002	35	19	27
05/11/2002	46	08	39
06/11/2002	34	10	35

07/11/2002	16	34	18
08/11/2002	16	35	17
09/11/2002	22	21	26
10/11/2002	28	23	33
11/11/2002	51	16	46
12/11/2002	93	07	71
13/11/2002	100	05	104
14/11/2002	62	17	72
15/11/2002	33	31	46
16/11/2002	42	52	58
17/11/2002	67	47	90
18/11/2002	38	68	53
19/11/2002	38	86	54
20/11/2002	36	80	51
21/11/2002	25	68	35
22/11/2002	54	71	72
23/11/2002	107	55	127
25/11/2002	41	66	55
26/11/2002	26	49	36
27/11/2002	32	64	44
03/12/2002	22	77	30
04/12/2002	28	69	38

Tableau IV.12: Variation Journalière Ozone, NO_x et NO₂ Hiver 2003

Date	NO _x (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
16/12/2002	306	05	271
17/12/2002	267	02	265
18/12/2002	255	01	232
24/12/2002	64	18	85
28/12/2002	50	19	65
29/12/2002	40	39	52
30/12/2002	72	17	61
31/12/2002	100	08	43
01/01/2003	29	35	38
03/01/2003	37	28	49
04/01/2003	34	27	45
08/01/2003	19	70	26
09/01/2003	17	73	23
20/01/2003	20	94	29
21/01/2003	22	80	31
22/01/2003	18	84	25

23/01/2003	24	111	32
24/01/2003	35	96	48
25/01/2003	26	88	35
26/01/2003	32	66	44
27/01/2003	36	88	48
28/01/2003	29	77	38
29/01/2003	26	56	35
30/01/2003	26	78	36

Tableau IV.13: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Printemps 2003

Date	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
17/03/2003	72	33	69
18/03/2003	80	21	62
19/03/2003	84	14	55
20/03/2003	84	16	56
24/03/2003	51	53	42
25/03/2003	67	45	57
26/03/2003	90	28	60
27/03/2003	99	30	74
28/03/2003	43	42	37
29/03/2003	12	76	14
30/03/2003	35	61	29
03/06/2003	32	23	34
04/06/2003	54	13	45
05/06/2003	52	23	51
06/06/2003	35	13	35
07/06/2003	28	15	30
08/06/2003	30	16	26
09/06/2003	31	13	25
10/06/2003	30	09	25
11/06/2003	37	05	31
12/06/2003	43	08	38
13/06/2003	21	18	23
14/06/2003	36	17	31
15/06/2003	24	22	26

Tableau IV.14: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Eté 2003

Date	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
16/06/2003	39	17	39
17/06/2003	38	13	30

18/06/2003	20	12	21
19/06/2003	22	17	21
20/06/2003	18	20	18
23/06/2003	35	07	29
24/06/2003	44	01	36
25/06/2003	38	01	28
26/06/2003	31	01	26
27/06/2003	27	05	22
28/06/2003	26	09	25
29/06/2003	53	08	43
30/06/2003	25	10	25
01/07/2003	25	06	24
02/07/2003	24	02	20
19/07/2003	68	42	50
20/07/2003	92	42	79
21/07/2003	123	39	85
22/07/2003	43	46	48
23/07/2003	66	40	69
24/07/2003	74	42	68
19/08/2003	30	480	39
20/08/2003	38	670	53
21/08/2003	70	549	67
22/08/2003	69	98	62
24/08/2003	46	58	44
25/08/2003	28	495	34
26/08/2003	21	438	29
27/08/2003	43	310	54
28/08/2003	52	335	53
29/08/2003	34	316	40
30/08/2003	19	110	25
31/08/2003	39	174	41
01/09/2003	54	231	42
02/09/2003	39	239	35
04/09/2003	27	620	35
06/09/2003	36	879	37
07/09/2003	32	764	39
08/09/2003	30	665	31
09/09/2003	18	536	25
10/09/2003	32	156	35
11/09/2003	58	134	40
13/09/2003	36	42	37

Tableau IV.15: Variation Journalière Ozone, NO_x et NO₂ Autun 2003

Date	NO _x (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
16/09/2003	42	170	44
17/09/2003	53	242	41
18/09/2003	54	141	52
19/09/2003	45	241	55
20/09/2003	37	447	44
21/09/2003	36	691	44
22/09/2003	49	632	50
23/09/2003	62	302	42
24/09/2003	23	464	30
25/09/2003	46	271	47
28/09/2003	76	96	60
29/09/2003	78	57	64
30/09/2003	42	94	41
01/10/2003	77	78	54
02/10/2003	55	33	42
03/10/2003	50	40	36
04/10/2003	26	35	26
05/10/2003	92	19	47
06/10/2003	40	53	34
07/10/2003	58	40	42
08/10/2003	59	36	40
09/10/2003	89	33	48
10/10/2003	76	26	50
11/10/2003	66	31	42
12/10/2003	82	29	54
13/10/2003	89	64	46
14/10/2003	34	82	30
15/10/2003	47	41	32
16/10/2003	21	52	24
17/10/2003	43	44	32
18/10/2003	28	58	26
19/10/2003	19	59	21
20/10/2003	50	28	32
21/10/2003	27	36	25
23/10/2003	38	60	26
24/10/2003	43	34	36
25/10/2003	47	33	40
26/10/2003	104	14	47

27/10/2003	28	41	24
------------	----	----	----

Tableau IV.16: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Hiver 2004

Date	NOx (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
23/01/2004	48	29	30
26/01/2004	41	34	30
27/01/2004	44	24	28
28/01/2004	26	32	22
29/01/2004	88	19	32
30/01/2004	64	26	28
31/01/2004	95	10	51
01/02/2004	65	20	31
02/02/2004	83	11	43
03/02/2004	86	11	42
04/02/2004	103	10	39
05/02/2004	60	17	36
10/02/2004	46	22	38
11/02/2004	72	17	42
12/02/2004	75	19	45
18/02/2004	43	16	28
19/02/2004	44	21	32
20/02/2004	88	13	39
21/02/2004	15	30	13
22/02/2004	36	28	23
25/02/2004	65	19	37
26/02/2004	71	12	37
29/02/2004	22	50	17
01/03/2004	18	48	14
02/03/2004	26	36	17
09/03/2004	51	26	32
10/03/2004	62	31	39
11/03/2004	57	31	36
12/03/2004	37	28	29
13/03/2004	62	22	30
14/03/2004	31	34	23
15/03/2004	53	25	34

Tableau IV.17: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Eté 2004

Date	NOx (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
30/06/2004	25	35	20

01/07/2004	36	31	26
14/07/2004	18	34	13
15/07/2004	20	30	14
16/07/2004	20	37	16
17/07/2004	14	47	12
18/07/2004	26	38	18
19/07/2004	13	44	11
20/07/2004	19	25	14
21/07/2004	27	24	19
26/07/2004	24	26	17
27/07/2004	19	44	17
28/07/2004	28	35	21
29/07/2004	36	24	25
30/07/2004	34	32	23
31/07/2004	9	45	8
01/08/2004	16	35	13
17/08/2004	32	46	36
18/08/2004	65	41	41
19/08/2004	75	31	52
20/08/2004	35	35	34
23/08/2004	45	53	52
25/08/2004	78	39	52
26/08/2004	84	28	58
27/08/2004	39	36	41
28/08/2004	33	48	39
10/09/2004	61	49	44
13/09/2004	55	35	44
14/09/2004	27	40	31
15/09/2004	37	41	26

Tableau IV.18: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Autun 2004

Date	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
16/09/2004	34	40	33
17/09/2004	27	46	32
18/09/2004	22	56	25
19/09/2004	26	48	33
20/09/2004	33	44	43
21/09/2004	37	43	44
22/09/2004	40	40	37
23/09/2004	28	40	31
24/09/2004	39	28	40

25/09/2004	23	52	27
28/09/2004	25	32	31
29/09/2004	29	33	34
30/09/2004	49	32	39
01/10/2004	41	39	36
02/10/2004	37	39	40
03/10/2004	44	32	44
04/10/2004	45	31	31
05/10/2004	41	32	26
06/10/2004	22	45	18
07/10/2004	38	30	23
08/10/2004	45	34	27
09/10/2004	38	33	21
15/10/2004	20	47	18
16/10/2004	05	70	06
17/10/2004	07	65	08
19/10/2004	37	35	20

Tableau IV.19: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Hiver 2006

Date	NO _x (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
01/02/2006	90	17	72
02/02/2006	113	07	78
03/02/2006	227	04	99
04/02/2006	142	04	73
05/02/2006	67	05	48
06/02/2006	106	07	65
07/02/2006	134	04	73
08/02/2006	183	04	79
09/02/2006	236	04	80
10/02/2006	160	06	60
11/02/2006	146	04	86
12/02/2006	119	05	76
13/02/2006	136	09	72
14/02/2006	179	06	85
15/02/2006	204	04	103
16/02/2006	183	07	83
17/02/2006	31	14	33
18/02/2006	40	12	33
19/02/2006	40	11	39
20/02/2006	20	18	20
21/02/2006	21	18	22

22/02/2006	12	19	15
23/02/2006	51	11	44
24/02/2006	53	12	45
25/02/2006	25	16	26
26/02/2006	38	16	33
27/02/2006	86	12	30
28/02/2006	54	13	41
01/03/2006	129	08	68
02/03/2006	171	05	65
03/03/2006	46	11	41
04/03/2006	21	18	23
05/03/2006	64	14	32
06/03/2006	20	19	20
07/03/2006	45	16	38
08/03/2006	49	17	46

Tableau IV.20: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Printemps 2006

Date	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
16/03/2006	247	06	89
17/03/2006	94	09	75
18/03/2006	119	07	89
19/03/2006	41	13	49
20/03/2006	71	12	54
21/03/2006	119	03	78
22/03/2006	75	04	58
23/03/2006	31	15	39
24/03/2006	67	14	46
25/03/2006	27	18	30
26/03/2006	100	17	54
27/03/2006	192	06	87
28/03/2006	153	09	81
29/03/2006	92	11	62
30/03/2006	137	07	83
31/03/2006	182	11	101
01/04/2006	115	06	80

Tableau IV.21: Variation Journalière Ozone, NOx et NO₂ Eté 2006

Date	NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
27/06/2006	70	05	56
28/06/2006	48	09	44

29/06/2006	33	06	32
30/06/2006	58	07	49
01/07/2006	58	08	48
02/07/2006	52	14	53
03/07/2006	112	14	83
04/07/2006	69	101	48
05/07/2006	130	12	88
06/07/2006	42	16	40
10/07/2006	91	18	67
11/07/2006	129	06	86
12/07/2006	80	35	61
13/07/2006	62	90	45
16/07/2006	64	143	47
17/07/2006	74	166	56
18/07/2006	64	170	60
19/07/2006	64	169	53
21/07/2006	77	112	62
22/07/2006	68	121	46
23/07/2006	45	164	38
24/07/2006	117	150	93
25/07/2006	99	137	68
26/07/2006	85	124	68
27/07/2006	101	108	81
28/07/2006	138	64	101
29/07/2006	63	66	54
30/07/2006	68	91	55
31/07/2006	110	113	72
01/08/2006	119	94	83
04/08/2006	71	140	59
05/08/2006	52	136	42
06/08/2006	75	43	60
07/08/2006	64	28	52
08/08/2006	66	16	56
09/08/2006	81	18	66
10/08/2006	63	37	56
11/08/2006	85	28	66
12/08/2006	72	43	56
13/08/2006	120	58	63
14/08/2006	59	137	49
15/08/2006	94	84	66
16/08/2006	45	86	41

17/08/2006	40	61	31
21/08/2006	58	93	37
22/08/2006	62	93	51
23/08/2006	63	94	49
24/08/2006	92	84	61
25/08/2006	47	100	42
26/08/2006	60	90	53

Les Figures IV. 21-24 illustrent les corrélations entre la variation journalière des teneurs en particules solides et l'ozone et la variation journalière de la concentration de l'ozone durant l'Autun 2002, l'Été 2003, Hiver et Printemps 2004 dans la station de mesure SAMASAFIA de Ben Aknoun (Annexe 1). Les Figures IV. 25-35 illustrent les corrélations entre la variation journalière des concentrations des NO_x et l'ozone et la variation journalière de la concentration de l'ozone durant la période automnale (2002, 2003, 2004), la période estivale (2003, 2004 et 2006), la période hivernale (2003, 2004 et 2006) et la période périnatale (2003 et 2006) dans la station de mesure SAMASAFIA de Ben Aknoun (Annexe 2), tandis que, les Figures 36-46 illustrent les corrélations entre la variation journalière des concentrations des NO₂ et l'ozone et la variation journalière de la concentration de l'ozone durant la période automnale (2002, 2003, 2004), la période estivale (2003, 2004 et 2006), la période hivernale (2003, 2004 et 2006) et la période périnatale (2003 et 2006) dans la station de mesure SAMASAFIA de Ben Aknoun (Annexe 3).

D'après les tracées de la variation journalière de la teneur en particules solides en fonction de la variation journalière de la concentration en ozone, représentés par les Figures IV.21-24 (Annexe 1), aucune corrélation n'a été observées, tous les coefficients de corrélation avait une valeur très faible, indiquant l'absence de corrélation entre les variations journalière de teneurs en particules solide et ozone. Les Figures IV.25-35 (Annexe 2) et Figures IV.36-46 (Annexe 3), illustrent respectivement, les tracées de la variation journalière en concentration de NO_x en fonction de la variation journalière en ozone et les tracées de la variation journalière en concentration de NO₂ en fonction de la variation journalière en ozone. L'examen des Figures IV.25-35 montrent que peu de saison où on a enregistré une corrélation moyenne entre la variation de la concentration de NO_x en fonction de la variation journalière en ozone, la première corrélation moyenne a été enregistrée dans la saison hivernale 2004 ($R^2 = 0,679$), la deuxième dans la saison automnale 2004 ($R^2 = 0,731$) et la dernière en saison hivernale 2006 ($R^2 = 0,726$), dans les autres saison aucune corrélation n'a été observés. L'examen des Figures IV.36-46 montrent que peu de saison où on a enregistré une corrélation moyenne entre la

variation de la concentration de NO_2 en fonction de la variation journalière en ozone, la première corrélation moyenne a été enregistrée dans la saison hivernale 2004 ($R^2 = 0,613$), la deuxième dans la saison hivernale 2006 ($R^2 = 0,714$) et la dernière corrélation, qualifiée de faible en saison périnatale 2006 ($R^2 = 0,502$), dans les autres saisons soit aucune corrélation n'a été observée, où il y a une très faible corrélation.

La présence d'une corrélation forte ou moyenne entre d'une part, les variations journalières des particules solides, NO_x et NO_2 et d'autre part, les variations journalières des concentrations en ozone, indique que les sources d'émission de tous ces polluants ont la même origine, tandis que, l'absence ou une faible corrélation, indique qu'il soit une variété d'origine de sources d'émission ou il y a l'effet du transport de certains polluants, influençant et perturbant à la fois, le bilan photochimique de formation ou consommation de l'ozone.

L'occurrence de pics horaires (journalière) de pollution à l'ozone étant tributaire de conditions météorologiques chaudes et ensoleillées variables d'année en année, en bref voilà quelques facteurs météorologiques influençant la concentration des polluants atmosphériques :

- le vent détermine les zones affectées (par sa direction) et le degré de dilution (sa vitesse)
- la température détermine le degré de stabilité de l'atmosphère et joue un rôle dans la dispersion verticale
- la pression atmosphérique lorsqu'elle est élevée caractérise une grande stabilité atmosphérique
- l'ensoleillement favorise les phénomènes locaux de convection thermique et les réactions photochimiques de formation d'ozone en période estivale
- la pluviométrie a un rôle de lessivage de l'atmosphère par entraînement des polluants au sol.

La Figure IV.11, représente le cycle de formation et de destruction de l'ozone d'après Uherek et al., 2004., selon ce dernier, le monoxyde d'azote NO est oxydé notamment par l'ozone O_3 formant ainsi du dioxyde d'azote NO_2 et de l'oxygène O_2 (destruction d'ozone). 2 : le dioxyde d'azote NO_2 est détruit par la lumière solaire ($h\nu$) formant ainsi des atomes d'oxygène O et du monoxyde d'azote NO (photolyse de NO_2). 3 : les atomes d'oxygène O réagissent avec l'oxygène de l'air formant ainsi de l'ozone O_3 (formation d'ozone). 4 : les composés organiques volatils RH (H = hydrogène, R = reste organique) réagissent avec des radicaux hydroxyles OH^\cdot et l'oxygène de l'air, formant ainsi des radicaux peroxydes RO_2^\cdot et de l'eau H_2O . 5 : NO réagit avec RO_2^\cdot et forme de nouveau du NO_2 .

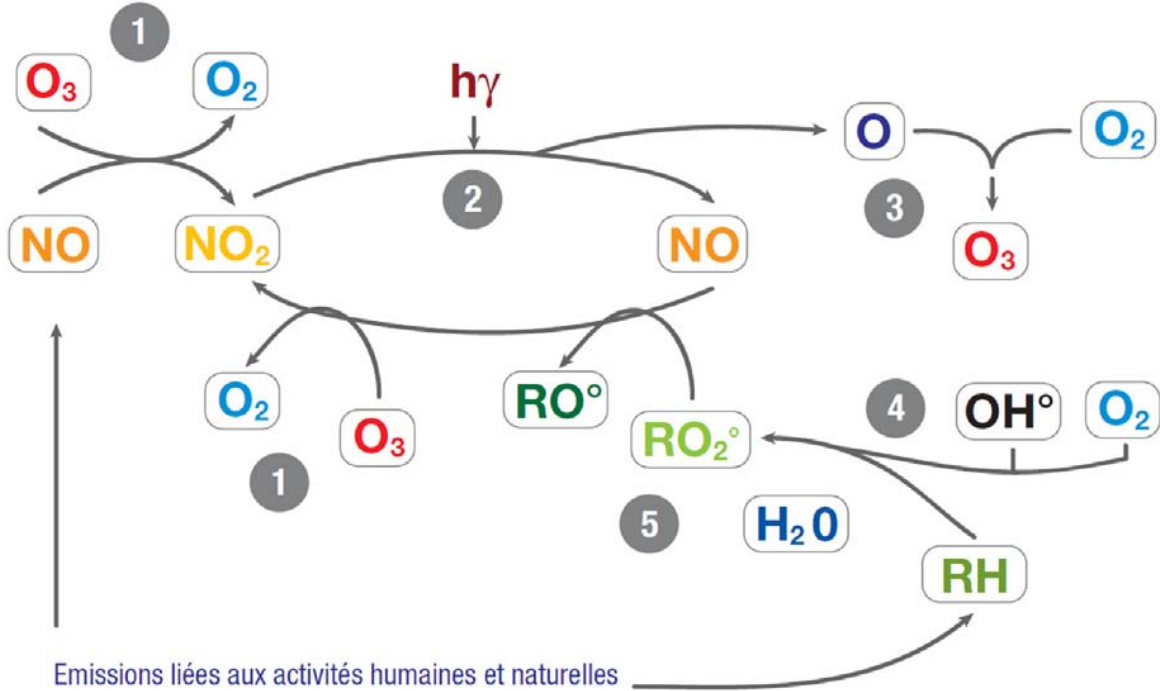


Figure IV.11: Cycle de formation et de destruction de l’ozone d’après Uherek [53].

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Au cours de ce travail qui a porté sur l'étude de la pollution photochimique dans la région de Ben Aknoun (Alger), où les données de mesure effectuées par la Station de surveillance de la qualité de l'air atmosphérique urbain "SAMASAFIA de Ben Aknoun", durant les saisons estivale et automnale (2002), hivernale, périnatale, estivale et automnale (2003, 2004 et 2005), estivale 2006 et périnatale et estivale 2009. L'analyse des données obtenues a montré que:

- Les concentration journalière ont été dans la plupart de temps au dessous de la valeur limité recommandé par la réglementation internationale qui fixe une valeur guide de $120 \mu\text{g.m}^{-3}$ comme valeur limite journalière sur huit heure de mesure en continu à ne pas dépassé.

-Il y a des jours de dépassement de la valeur limite journalière,

-Il y a des jours de dépassement de valeur de seuil d'information

-Il y a des jours de dépassement de valeur de seuil d'information

Les épisode d'ozone (pics d'ozone) ont été enregistrés dans les saisons estivales (2002, 2003, 2005 et 2006), des concentrations alarmantes ont été enregistrés dans ces saisons, la saison dont la concentration les plus élevées été la saison estivale 2003, où une concentration de $879 \mu\text{g.m}^{-3}$ a été enregistrée.

La saison estivale 2004 demeure la seul saison concernée par cette étude et qui n'a connue aucun dépassement ($< 120 \mu\text{g.m}^{-3}$).

-Aucune corrélation entre la variation journalière de la teneur en particules solides et la variation journalière de la concentration en ozone n'a été observée.

-Dans la plupart des saisons, une absence de corrélations entre la variation journalière des concentrations en NO_x et NO_2 et la variation journalière en ozone est observée, à l'exception de quelques saison où des faibles et moyenne corrélations ont été observées.

-Des corrélation moyenne entre la variation journalière des concentrations en NO_x et la variation journalière en ozone ont été enregistrées dans la saison hivernale 2004 ($R^2 = 0,679$), la saison automnale 2004 ($R^2 = 0,731$) et la saison hivernale 2006 ($R^2 = 0,726$).

- Des corrélation moyenne et faible entre la variation journalière des concentrations en NO_2 et la variation journalière en ozone ont été enregistrées dans la saison hivernale 2004 ($R^2 = 0,613$), la saison hivernale 2006 ($R^2 = 0,714$) et une dernière, qualifié de faible en saison périnatale 2006 ($R^2 = 0,502$).

Malgré que dans cette étude, on a enregistré des dépassement de la valeur limite journalière et valeur seuils d'information et d'alerte concernant l'ozone, fixées par la réglementation internationale, aucun décision n'a été prise par les autorités locale ou nationale, pour réduire la concentration atmosphérique de l'ozone dans les zones urbaines, comme par exemple, réduire la circulation du trafic routier en deux, en limitant la circulation à des véhicules ayant une immatriculation pair un jour et le jour suivant pour les véhicules ayant une immatriculation impair, et en fera la rotation jusqu'à arriver a réduire les teneur atmosphérique en ozone, vu que ce dernier est connu par sa toxicité et troubles sanitaire.

Références Bibliographique

Références bibliographiques

- [1] La pollution atmosphérique, C. Elichegaray, CNRS et groupement Français de combustion (Mai 2004).
- [2] Stull, R.B., (1994). An introduction to boundary layer meteorology, Kluwer Academic Publishers, p. 666.
- [3] Lutgens, F.K., Tarbuck, E.J., (2001). The atmosphere: an introduction to meteorology. Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 8th Editions.
- [4] Ramade, F., (1993). Dictionnaire Encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de l'Environnement., Edition Science International.
- [5] Haut Comité de la Santé Publique, HCSP, (2000). Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé: Poursuivre la réduction des risques". <http://www.sante.gouv.fr/hm/actu/pollution/sommaire.htm>
- [6] Masclet, P., (2005). Pollution Atmosphérique « Causes, Conséquences, Solutions, Perspectives », Edition Ellipses.
- [7] Fontan, J., (2003). Les Pollutions de l'air « Les connaître pour les combattre », Edition Vuibert.
- [8] Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail, Québec Mars 2005.
- [9]
- [10] Dr. Martyna Kuske, Dr Jacques Nicolas, Les pollutions dans l'air à l'intérieur des bâtiments, Diagnostic Incidences sur la santé.
- [11] Roch Joncas, Stéphane Godbout, Etat de la recherche et du développement sur les concepts de bâtiments porcins réduisant les odeurs, Avril 2002.
- [12] Organisation mondiale de la sante, Les expositions aux polluants de l'air des espaces clos et leurs effets sur la santé, Nordlingen, 8-11 juin 1982.
- [13] Thu-Hoa Tran-Thi, Patrick Chazette, Romain Dagnélie, Jérôme Kasparian, Isabelle Leray, Laurent Magne, Héléne Paolacci et Bernard Valeur. Détecter les polluants dans l'air et dans l'eau. L'actualité Chimique - Mai-Juin 2007 - N° 308-309.
- [14] Catalogue Cleanair Europe. www.cleanaireurope.com
- [15] Wolf J.P., "Optical techniques for air pollution monitoring" in ERCA book, vol.3, C.BOUTRON, Ed. de Physique (1998).
- [16] Boers R. and E.W.Elorenta, "LIDAR measurements of the atmospheric entrainment zone & potential temperature jump across the top of the mixed layer", Boundary-Layer Meteorol., 34, pp.357-375 (1986).

- [17] Dobrinski et al., "Remote measurement of turbulent wind spectra by heterodyne Doppler LIDAR technique", *J. Appl. Meteor.*, 39, pp.2234-2451 (2000).
- [18] Flamant P.H., S.Elouragini and J.Pelon, "Mesure du contenu en eau nuageuse et du rayon effectif des gouttelettes par télédétection optique active (LIDAR)", *C.R. Acad. Sc. Paris*, 323, (Série II a), pp.563-568 (1996).
- [19] Mondelain D., A.Thomasson, E.Frejafon, V.Boutou, B.Vezin and J.P.Wolf, «Haze measurements at 3,5 μm using an IR-Lidar based on a KNbO₃ OPO», ILRC, Vichy IPSL (2000).
- [20]
- [21] F. Cambi, Méthodes et instruments d'échantillonnage et d'analyse dans l'étude de la pollution
- [22] R. Salghi, Analyses physicochimiques II : chromatographie, ENSA Agadir de l'air, Milan(Italie)
- [23] Ecole des Mines de Saint-Etienne, Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation : analyse des gaz.
- [24] Edith Antonot, Robert Marchal, Chromatographie, Lycée Louis Vincent - METZ 26 et 28 Janvier 1998.
- [25] Professeur Jean-Louis CUQ, Chromatographie liquide, Université Montpellier 2
- [26] Organisation mondiale de la sante, Choix de méthodes pour la mesure des polluants de l'air, 1976, WHO Offset Publication N^o 24
- [27] Folco Laverdière, Anja Holstein, Laurent Thiebaut, Robert Mallee, Guillaume Gravejat, Benjamin Desclozeaux Dossier Couplage, 1999.
- [28] A. Avila Galarza, 1996, Thèse : Diffusion de polluants atmosphériques dans une zone à topographie complexe, Université Paris XII.
- [29] Le Cloirec, P., (1998) Les Composés Organiques Volatils (COVs) dans l'environnement. Edition Lavoisier.
- [30] CITEPA Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, www.citepa.org.
- [31] Sienfeld, J.H., (1999). Global atmospheric chemistry of reactive hydrocarbons. N. Hewitt Edit., Academic Press, New York, pp. 294-321.
- [32] Eisenreich, S.J., Looney, B.B., Thornton, J.D., (1981) Airborne organic contaminants in the Great Lakes ecosystem. *Environ. Sci. Technol.*, 15,30-38.
- [33] Bidleman, T.F. (1988). Atmospheric processes. *Environ. Sci. Technol.*, 22, 36-367.

- [34] Yamasaki H, Kuwata K, Miyamoto H., (1982). Effects of ambient temperature on aspects of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Sci. Technol.*, 16, 189-194.
- [35] Bidleman, T.F., Billings, W.N., Foreman, W.T., (1986). Vapor-particle partitioning of semivolatile organic compounds: Estimates from field collections. *Environ. Sci. Technol.*, 20, 1038-1043
- [36] Pankow, J.F., (1987). Review and comparative analysis of the theories on partitioning between the gas and aerosol particulate phases in the atmosphere. *Atmos. Environ.*, 21, 2275-2283.
- [37] Cotham, W.E., Bidleman, T.F., (1992). Laboratory investigations of the partitioning of organochlorine compounds between the gas phase and atmospheric aerosols on glass fibre filters. *Environ. Sci. Technol.*, 26, 469-478.
- [38] Pankow, J.F., Storey, J.M.E., Yamasaki, H., (1993). Effects of relative humidity on gas particle partitioning of semi-volatile organic compounds to urban particulate matter. *Environ. Sci. Technol.*, 27, 2220-2226.
- [39] Simcik, M.F., Franz, T.P., Zhang, H., Eisenreich, S.J., (1998). Gas-particle partitioning of PCBs and PAHs in the Chicago urban and adjacent coastal atmosphere: States of equilibrium. *Environ. Sci. Technol.*, 32, 251-257.
- [40] US-EPA, (2007). High Production Volume (HPV) Challenge. <http://www.epa.gov/chemrtk/index.htm>
- [41] Cadogan, D.F., Howick, C.J., (1996). Plasticizers. In: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley and Sons, New York, pp. 258-290.
- [42] Hites, R.A., (2004). Polybrominated diphenyl ethers in the environment and in people: A meta-analysis of concentrations. *Environ. Sci. Technol.*, 38, 945-956.
- [43] Birnbaum, L.S., Staskal, D.F., (2004). Brominated flame retardants: cause for concern? *Environ. Health Persp.*, 112, 9-17.
- [44] La Convention de Stockholm pour les Polluants Organiques Persistants (POPs); Secrétariat Intérim pour la Convention de Stockholm, Nations Unies Programme Environnemental (UNEP) : Genève, Suisse, Oct. 2001. <http://www.pops.int>.
- [45] Penttinen, P., Timonen, K. L., Tiittanen, P., Mirme, A., Ruuskanen, J., Pekkanen, J., (2001). Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics. *Europ. Respir. J.*, 17, 428-35.
- [46] Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2001., Cambridge University Press.

- [47] Émissions de gaz à effet de serre dans l'économie canadienne, 1981 à 2000 par Tarek M. Harchaoui.
- [48] Bilan-gaz à effet de serre, Odile Blanchard et Sylvain Parodi (Mai 2004).
- [49] Le changement climatique Groupe de réflexion Académies et Conseil économique et social 24 janvier 2006.
- [50] Réduire radicalement les gaz à effet de serre, 2005 La Fondation David Suzuki et l'Institut Pembina.
- [51] Les enjeux de l'après Kyoto, avis du conseil économique et social présenté par Mme Elyane Bressol (2006).
- [52] Décret exécutif n° 06-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspond au 15 Avril 2006, réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules, liquides ou solides ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.
- [53] Jerrett M, Burnett RT, Pope CA, et al. Long-term ozone expo-sure and mortality. N. Engl. J. Med., 2009;360:1085-95.

Annexes

Annexe 1: Corrélation PS-O₃

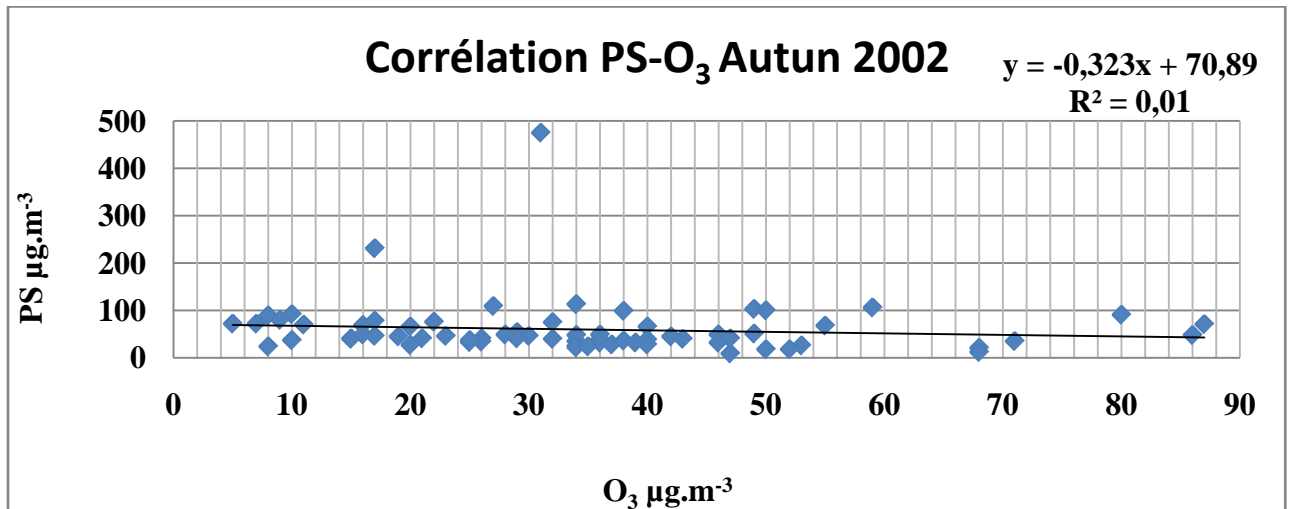


Figure IV.21: Corrélation PS-O₃ Automne 2002

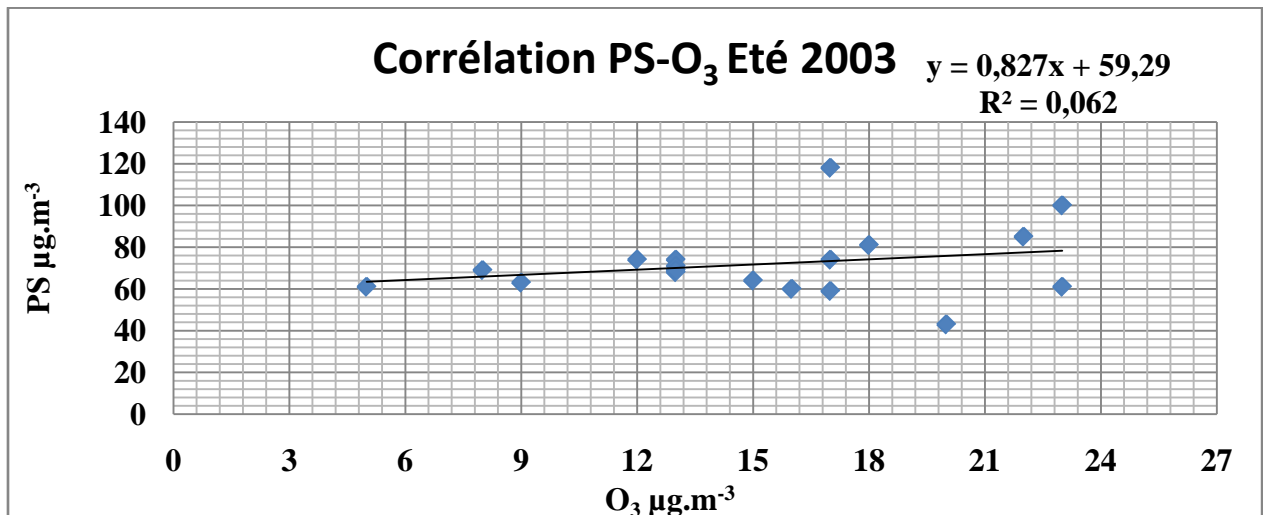


Figure IV.22: Corrélation PS-O₃ Eté 2003

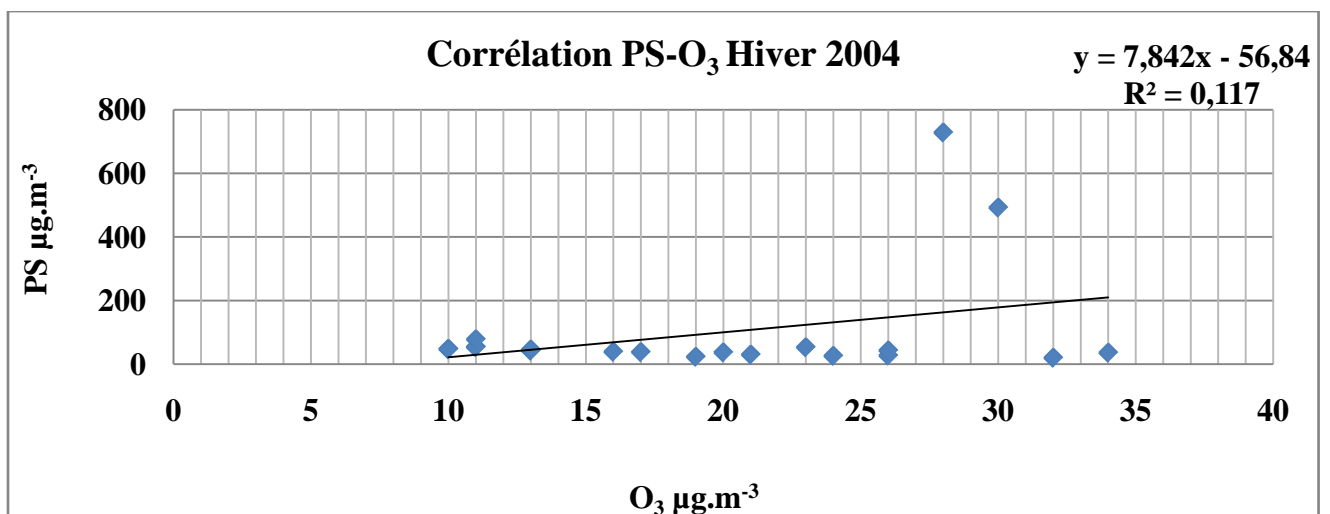


Figure IV.23: Corrélation PS-O₃ Hiver 2004

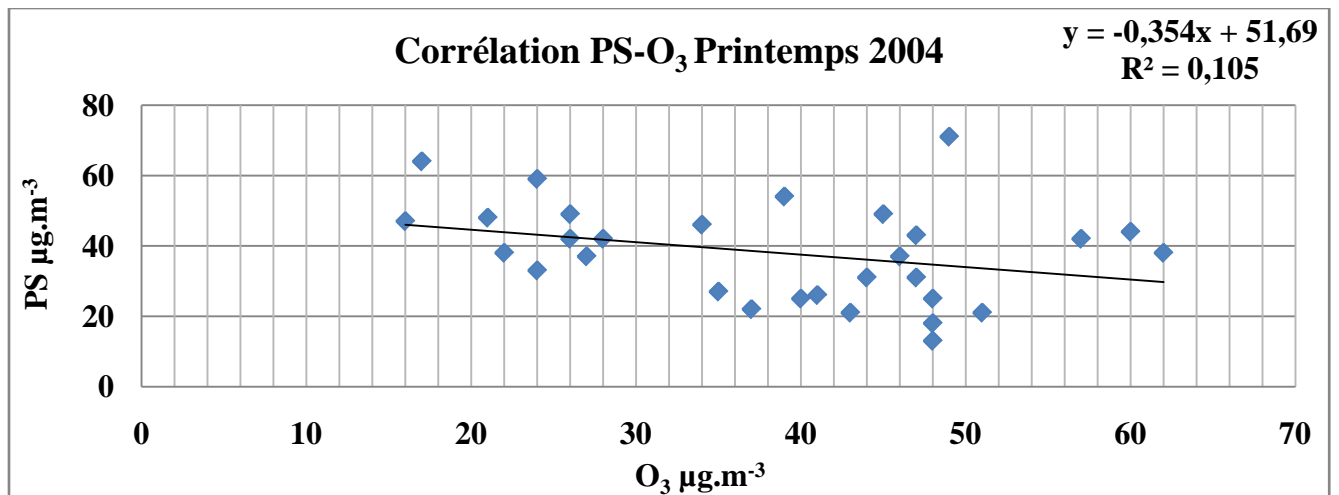


Figure IV.22: Corrélation PS-O₃ Printemps 2004

Annexe 2: Corrélation entre NOx et O₃

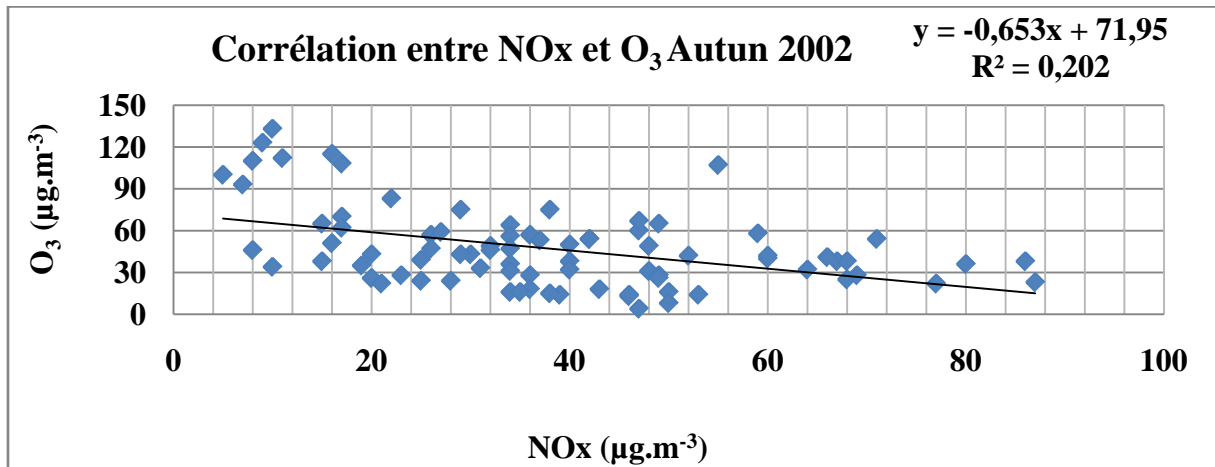


Figure IV.25: Corrélation NOx-O₃ Automne 2002

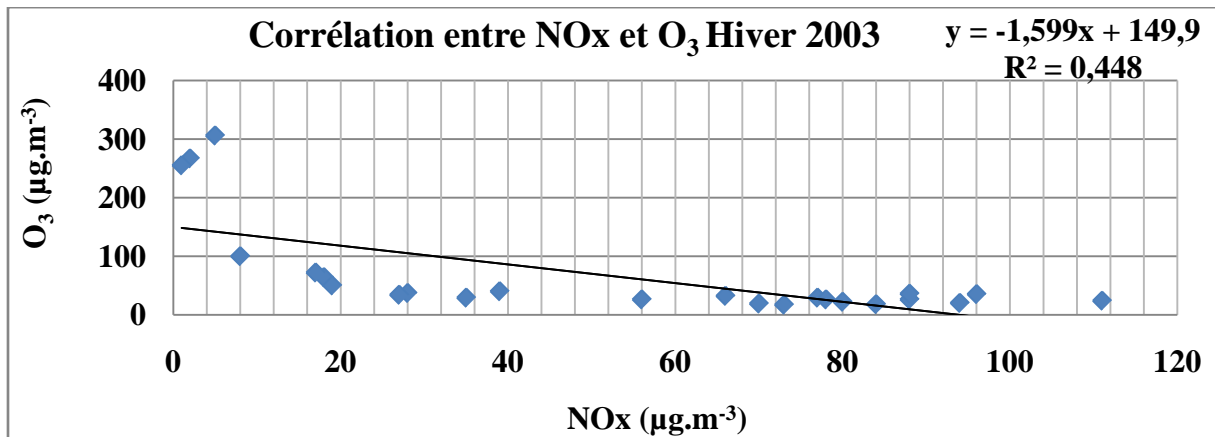


Figure IV.26: Corrélation NOx-O₃ Hiver 2003

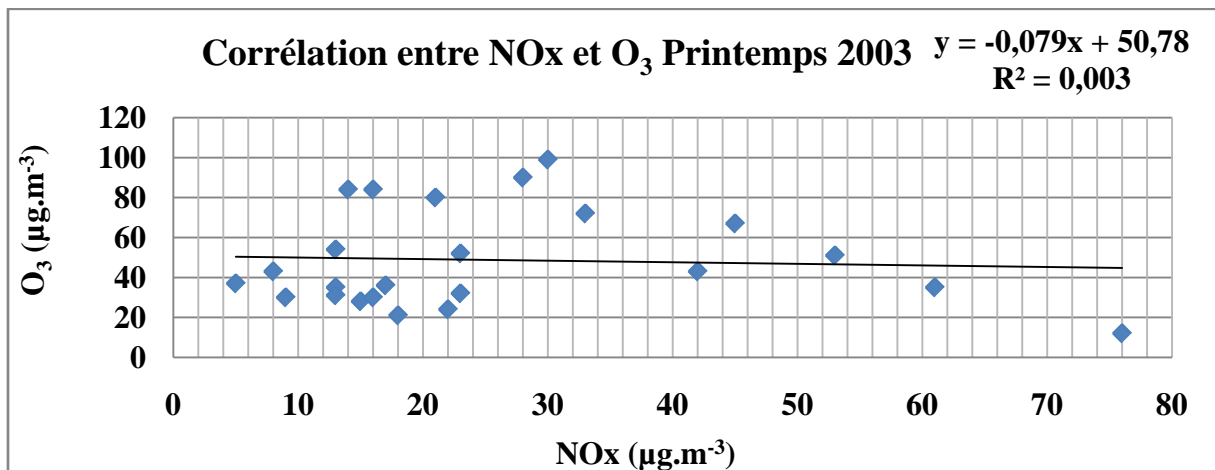


Figure IV.27: Corrélation NOx-O₃ Printemps 2003

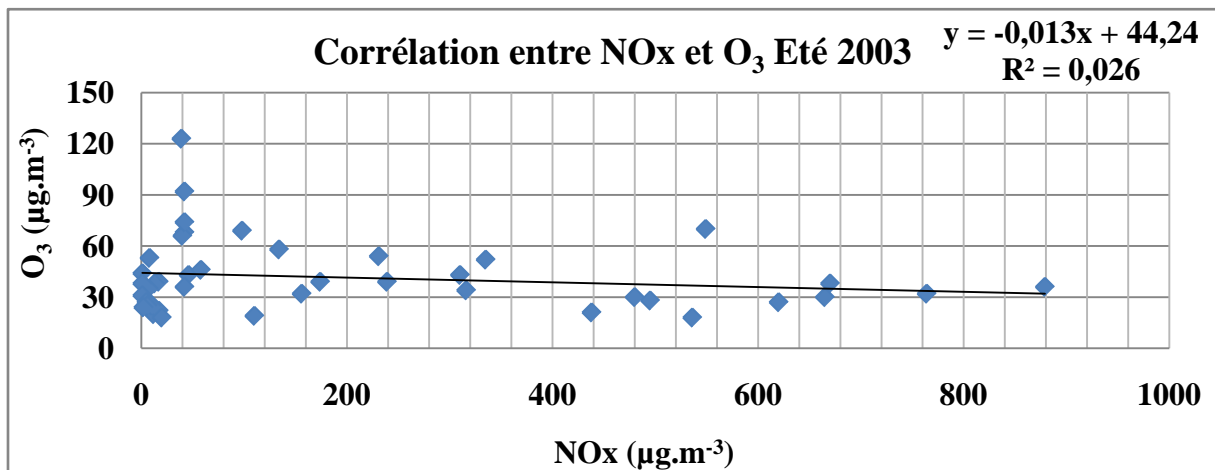


Figure IV.28: Corrélacion NOx-O₃ Eté 2003

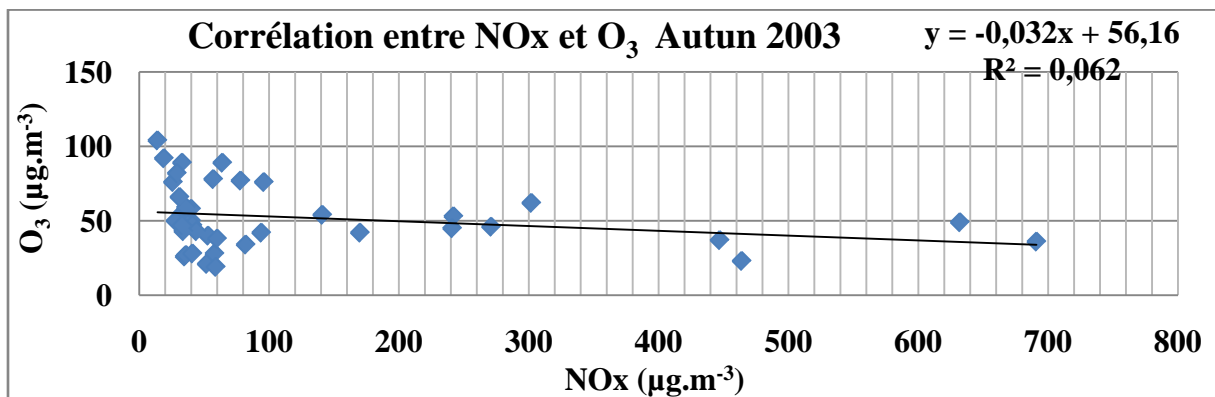


Figure IV.29: Corrélacion NOx-O₃ Automne 2003

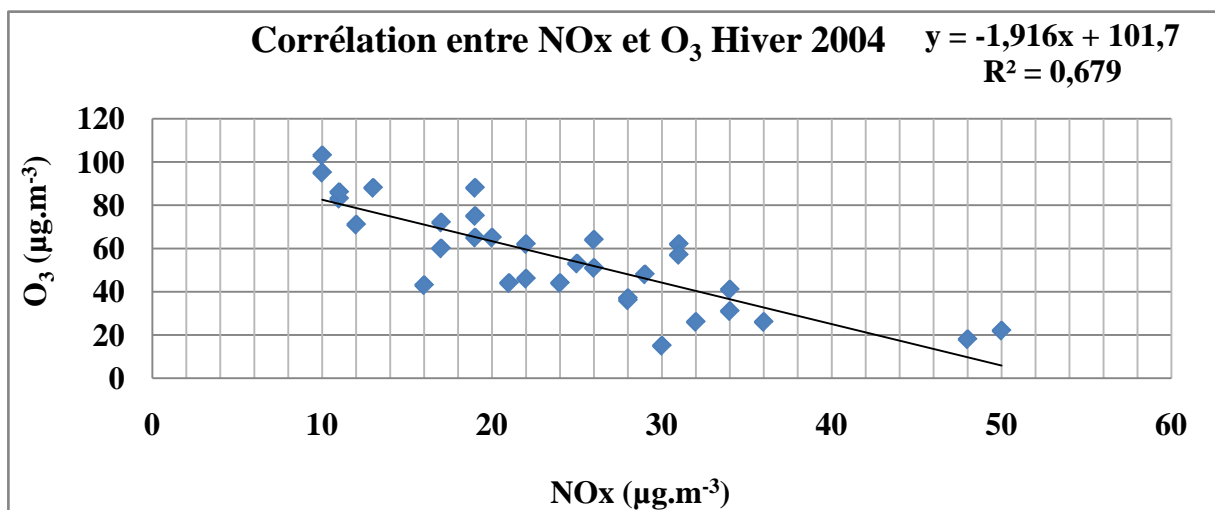


Figure IV.30: Corrélacion NOx-O₃ Hiver 2004

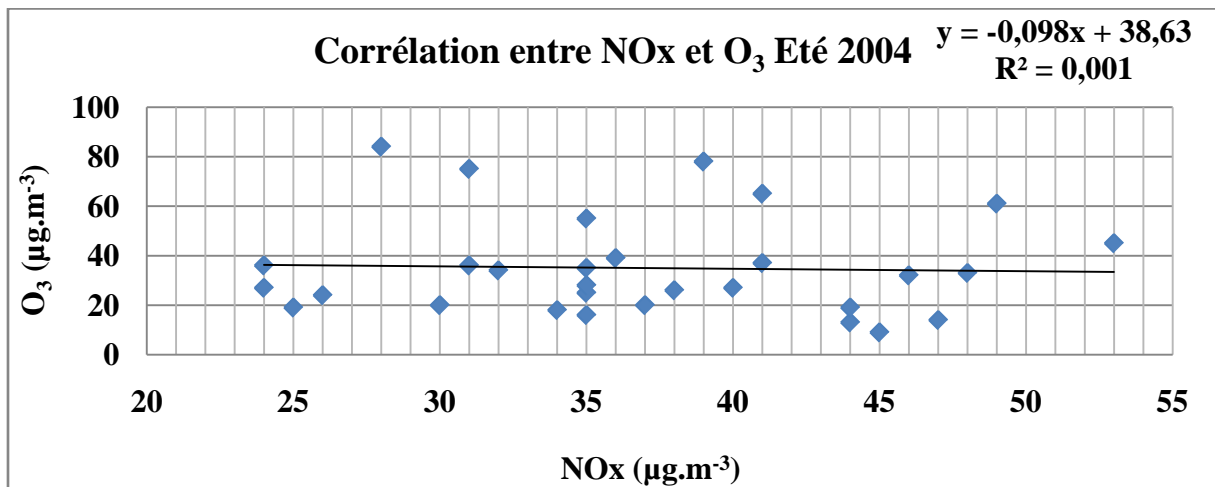


Figure IV.31: Corrélacion NOx-O₃ Eté 2004

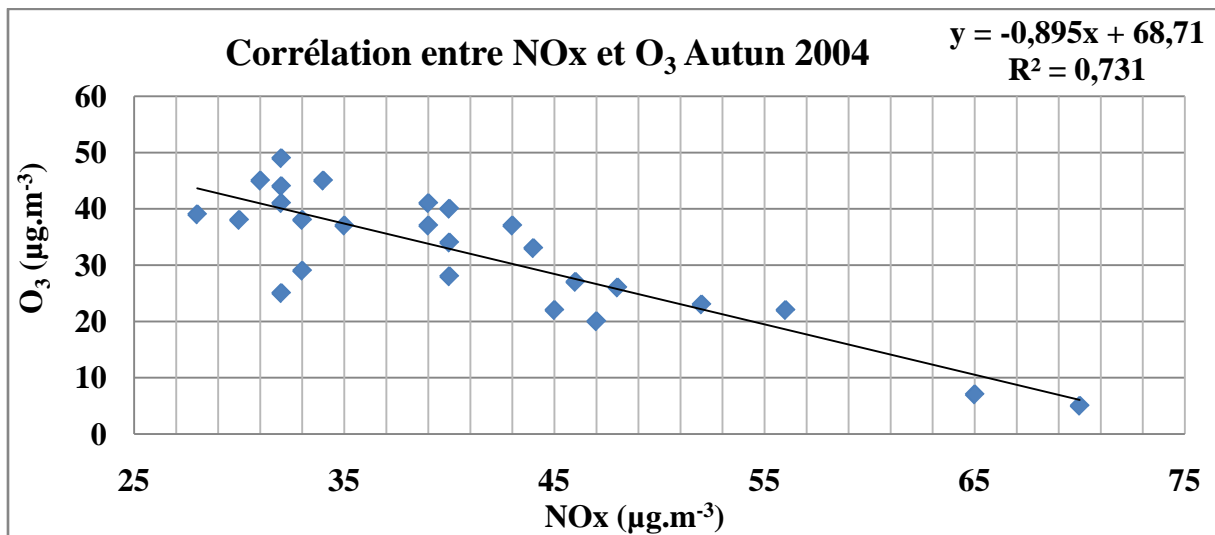


Figure IV.32: Corrélacion NOx-O₃ Automne 2004

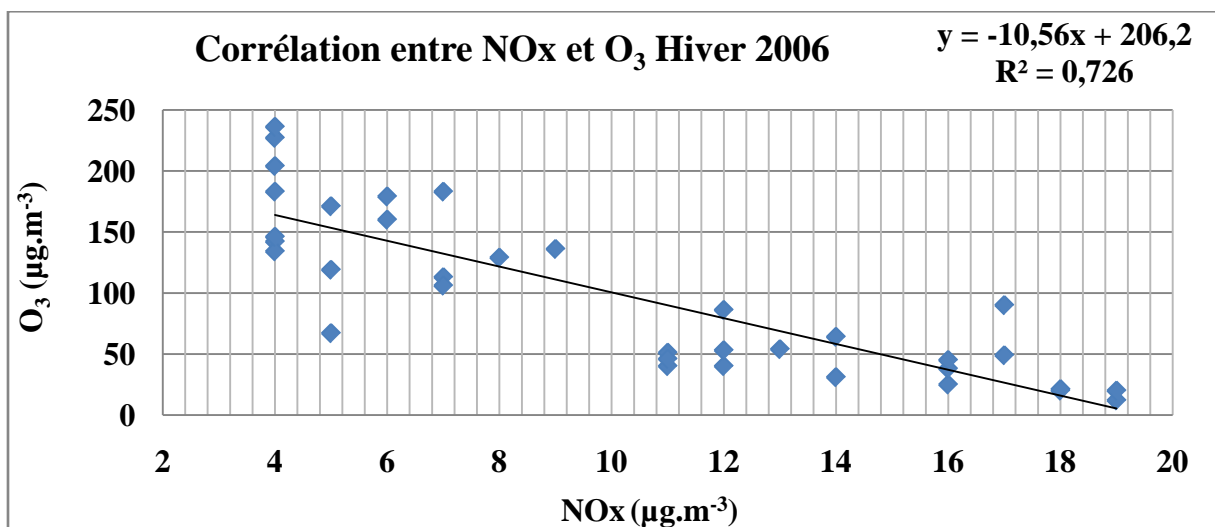


Figure IV.33: Corrélacion NOx-O₃ Hiver 2006

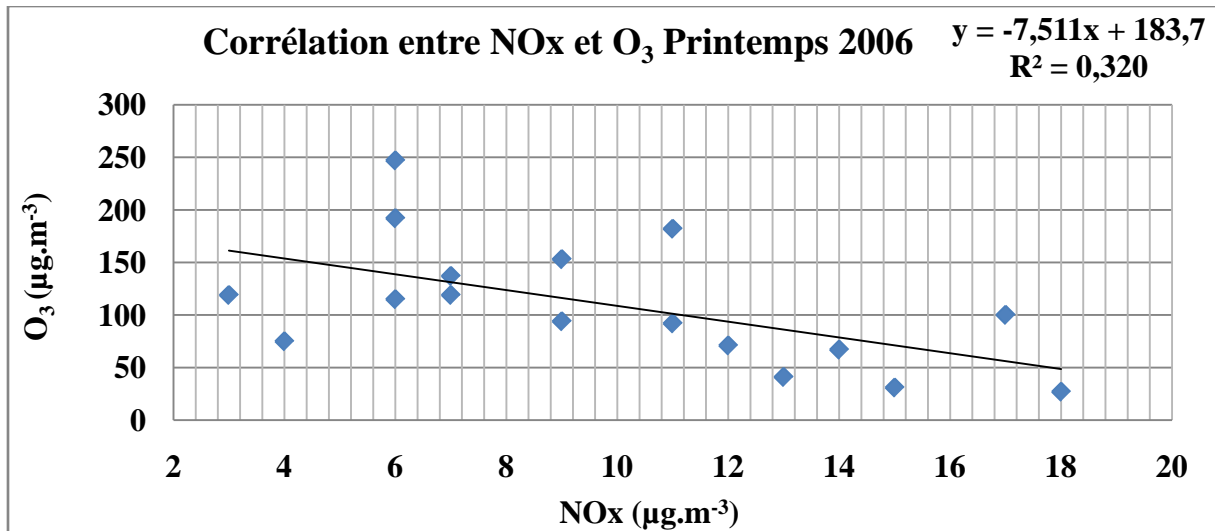


Figure IV.34: Corrélation NOx-O₃ Printemps 2006

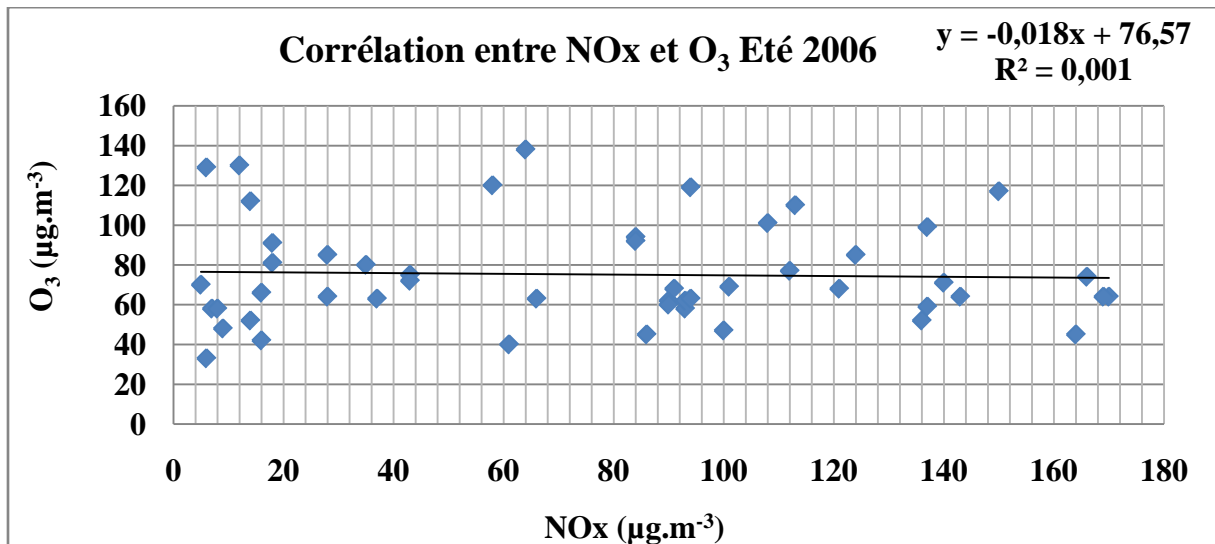


Figure IV.35: Corrélation NOx-O₃ Eté 2006

Annexe 3: Corrélation entre NO₂ et O₃

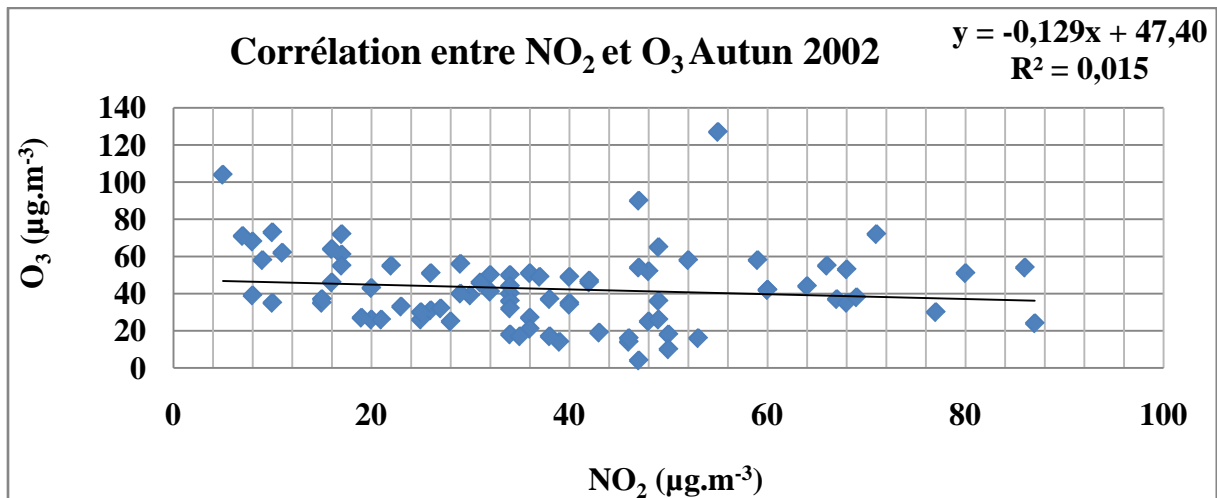


Figure IV.36: Corrélation NO₂-O₃ Automne 2002

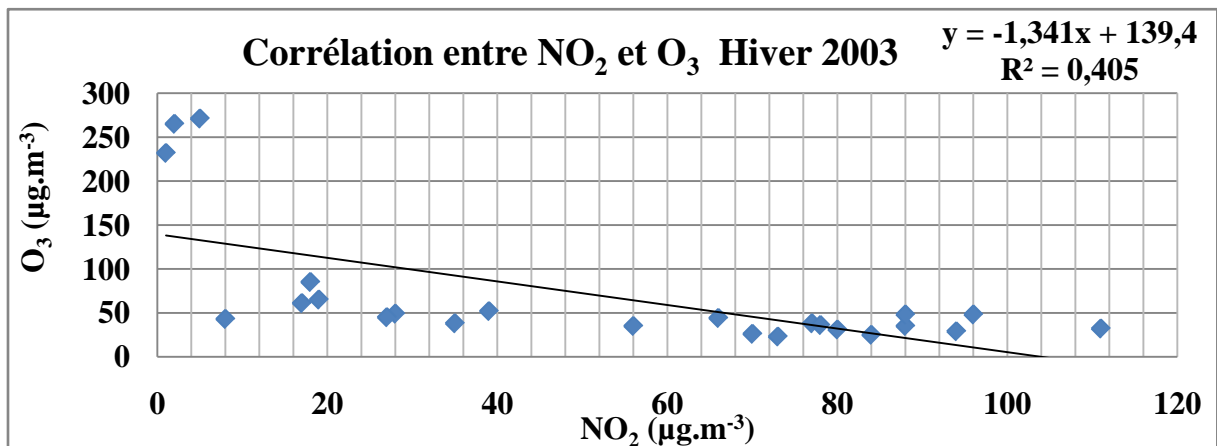


Figure IV.37: Corrélation NO₂-O₃ Hiver 2003

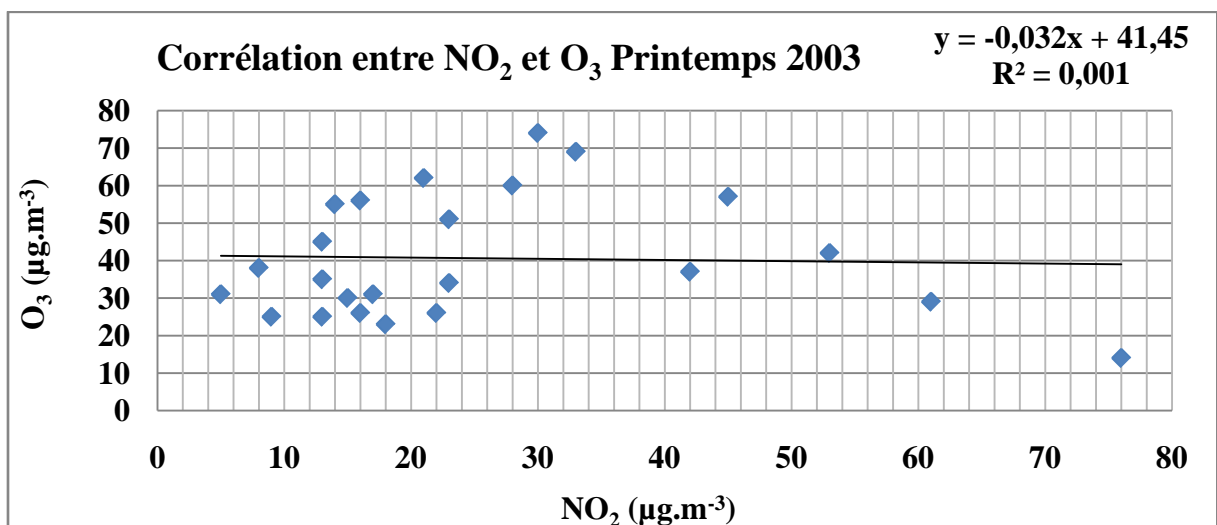


Figure IV.38: Corrélation NO₂-O₃ Printemps 2003

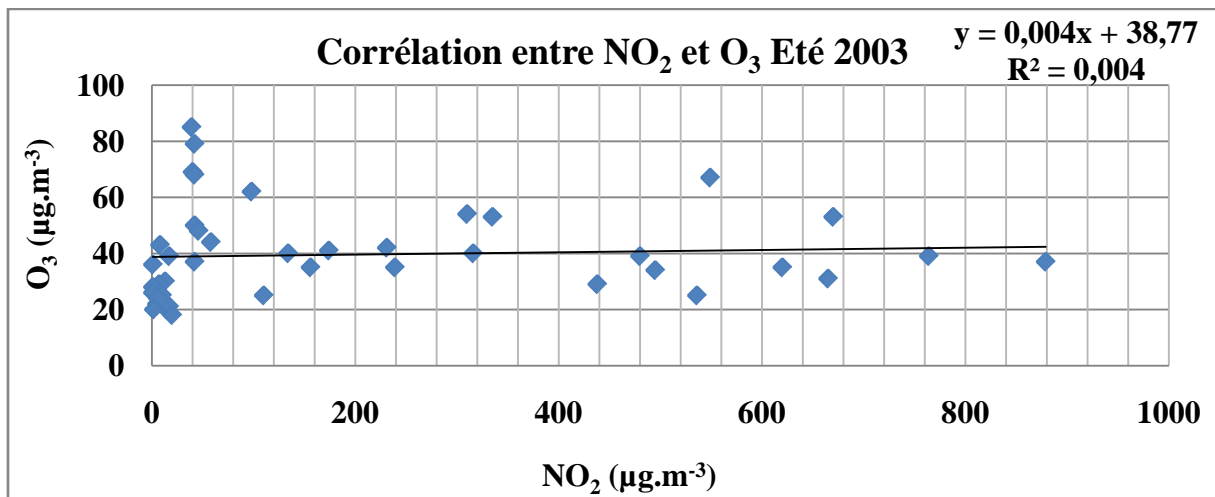


Figure IV.39: Corrélation NO₂-O₃ Eté 2003

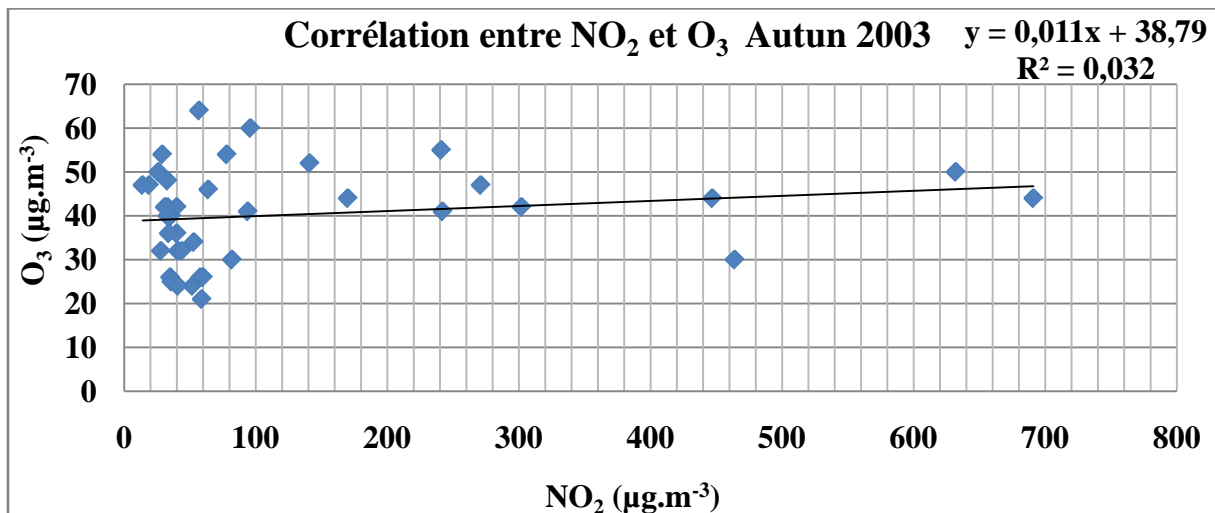


Figure IV.40: Corrélation NO₂-O₃ Automne 2003

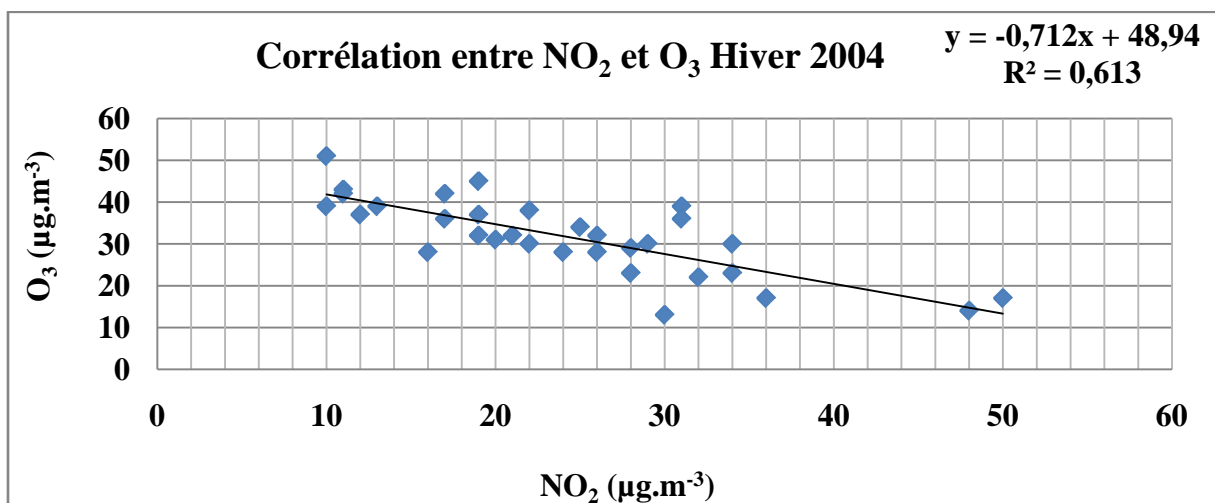


Figure IV.41: Corrélation NO₂-O₃ Hiver 2004

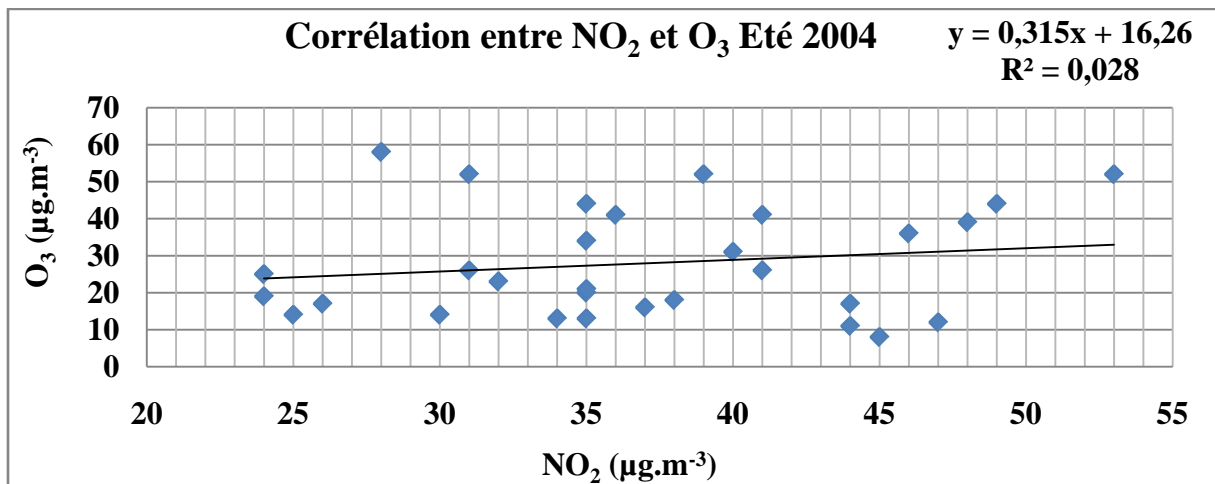


Figure IV.42: Corrélacion NO₂-O₃ Eté 2004

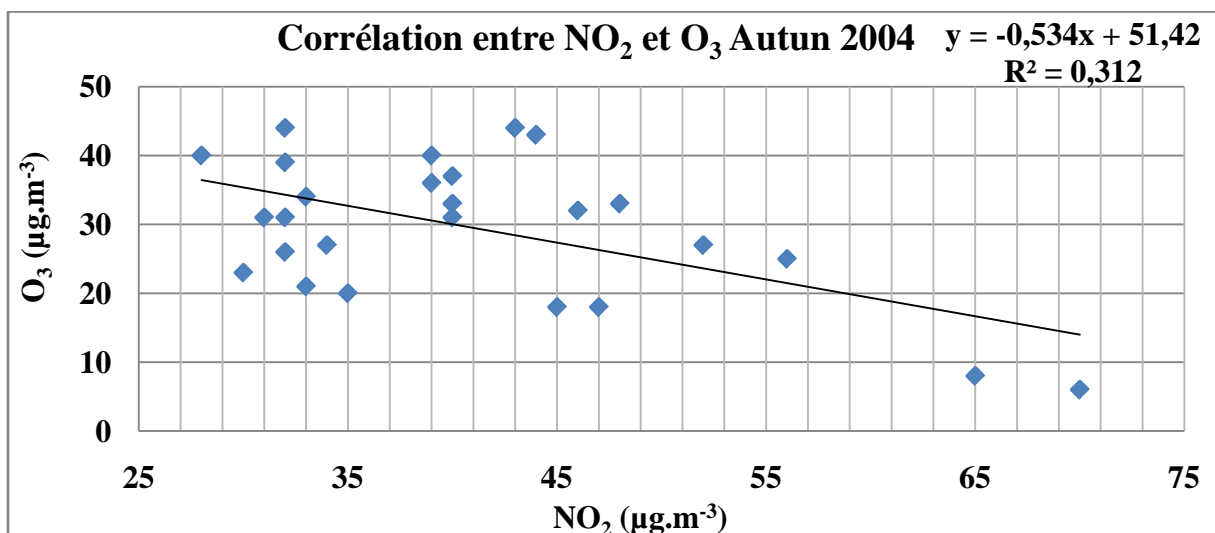


Figure IV.43: Corrélacion NO₂-O₃ Autun 2004

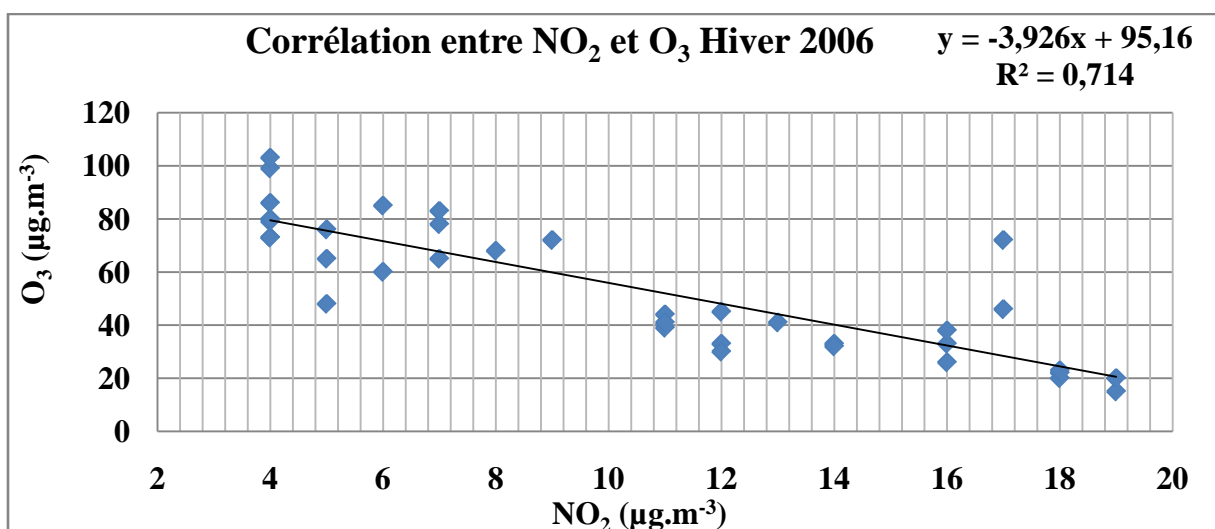


Figure IV.44: Corrélacion NO₂-O₃ Hiver 2006

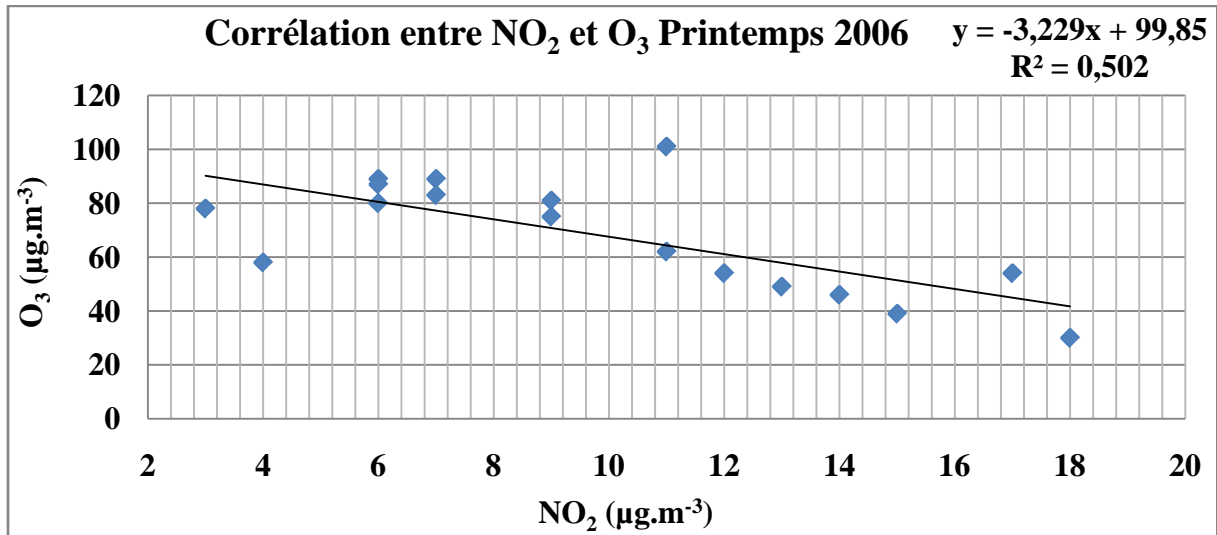


Figure IV.45: Corrélation NO₂-O₃ Printemps 2006

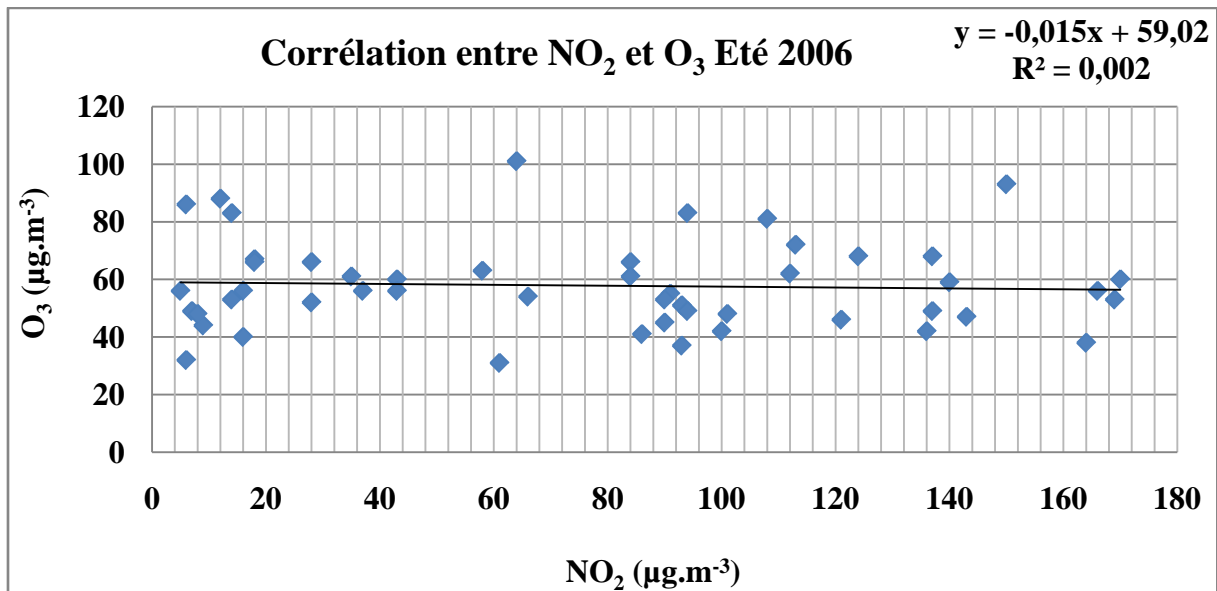


Figure IV.46: Corrélation NO₂-O₃ Été 2006

Résumé

Au cours de ce travail qui traite la pollution photochimique dans la région de Ben Aknoun (Alger), les données collectées auprès de la station de surveillance de qualité de l'air « SAMASAFIA », ou les données de concentration atmosphérique journalière de précurseur de formation et/ou destruction de l'ozone (Particules solides, NO_x, NO₂ et O₃) ont été collectés durant les années 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 et 2009. L'examen de données collectées a montré que durant les saisons estivales, il y a un dépassement de la valeur limite journalière et même parfois dépassement des valeurs seuils d'information et/ou d'alerte pour la concentration atmosphérique de l'ozone. Dans la plupart du temps, les corrélations entre concentration journalière de précurseur d'ozone et concentration journalière d'ozone n'a été observée, sauf pour quelques saison, malgré cela, ces corrélations demeurent moyennes ou faibles.

Mots clés : Précurseur d'ozone, NO_x, NO₂, Particule solide, O₃, Pollution photochimique, Qualité de l'air.

Summary

During this work which deals with photochemical pollution in the region of Ben Aknoun (Algiers), the data collected from the air quality monitoring station "SAMASAFIA", or the data of daily atmospheric concentration of precursor of formation and / or ozone destruction (solid particles, NO_x, NO₂ and O₃) were collected during the years 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 and 2009. The examination of collected data showed that during the summer seasons, the daily limit value is exceeded and sometimes even the information and / or alert threshold values for the atmospheric ozone concentration are exceeded. In most cases, the correlations between daily concentration of ozone precursor and daily concentration of ozone have not been observed, except for a few seasons, despite this, these correlations remain medium or weak.

Keywords: Ozone precursor, NO_x, NO₂, Solid particle, O₃, Photochemical pollution, Air quality.

ملخص:

خلال هذا العمل الذي يتعامل مع التلوث الكيميائي الضوئي في منطقة بن عكنون (الجزائر العاصمة) ، البيانات التي تم ، أو بيانات تركيز الغلاف الجوي اليومية لسلائف تم تكوين أو "السماء صافية" جمعها من محطة مراقبة جودة الهواء تدمير الأوزون (الجسيمات الصلبة وأكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد النيتروجين والأوزون) خلال السنوات 2002 و 2003 و 2004 و 2005 و 2006 و 2009. أظهر فحص البيانات التي تم جمعها أن خلال مواسم الصيف ، يتم تجاوز القيمة اليومية المحددة ، بل وفي بعض الأحيان يتم تجاوز قيم عتبة المعلومات والتنبيه لتركيز الأوزون في الغلاف الجوي. في معظم الحالات ، لم يلاحظ الارتباط بين التركيز اليومي لسلائف الأوزون والتركيز اليومي للأوزون ، باستثناء مواسم قليلة ، على الرغم من ذلك ، تظل هذه الارتباطات متوسطة أو ضعيفة .

الكلمات المفتاحية: الجسيمات الصلبة، سلائف الأوزون، التلوث الكيميائي الضوئي، جودة الهواء، ثاني أكسيد النيتروجين، الأوزون، أكاسيد النيتروجين