

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie de l'environnement

Mémoire du Projet de Fin d'Etudes d'Ingénieur

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA
POLLUTION DE L'AIR PAR LE NO₂ DANS LE
GRAND ALGER**

Présenté par :

Mr. BENRABAH Abdellah

Dirigé par : Mr. R.KERBACHI, Professeur, ENP

Mr. A.BOUKADOUM, Sous-Directeur MATEV

Présidé par : Mme. S.ZEBOUDJ, Maître de conférence, ENP

Examiné par : Mr. Y.KERCHICHE, Maître assistant, U.Médéa

Ecole Nationale Polytechnique

10, Avenue Hacén Badi,

El-Harrach, Alger.

Tel: 021 52 14 94 Fax: 021 52 29 73

Promotion : juin 2013

Remerciement

Je remercie DIEU tout puissant qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Mes sincères remerciements à mon promoteur Monsieur le professeur Kerbachi Rabah, pour ses conseils et orientations tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier mon Co-promoteur Monsieur A. Boukadoum, pour toute son aide dans ce travail.

Je tiens vivement à remercier madame S. Zeboudj d'avoir bien voulu de présider le jury.

Je remercie aussi respectueusement Monsieur Y. Kerchich d'avoir accepté de juger ce travail.

Mes remerciements également à tous les enseignants qui ont participé à ma formation, à tous les employés du département génie de l'environnement, et de l'école.

Je tiens également à remercier tous mes amis et mes camarades de la promotion, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus
chères que je possède au monde, mon père et ma mère*

À mes frères et mes sœurs

Ainsi qu' à tout ma famille

*À mes amis et toute personne qui me connaît de
près ou de loin.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

<i>I.GENERALITE</i>	05
I.1 Structure de l'atmosphère terrestre.....	05
I.2 La pollution de l'air.....	05
I.3 Les principaux polluants: leurs sources et effets.....	08
I.3.1 Polluants primaires.....	08
I.3.1.1 Le dioxyde de soufre (SO ₂).....	08
I.3.1.2 Le monoxyde de carbone.....	09
I.3.1.3 Les oxydes d'azote (NO _x).....	09
I.3.1.4 Les COV (Composés organiques volatils).....	09
I.3.1.5 Les poussières (PM10).....	10
I.3.2 Polluant secondaire.....	10
a. L'ozone (O ₃).....	10
I.4 Facteurs influant sur les niveaux de pollution de l'air.....	11
I.4.1 le vent	11
I.4.2 La température des couches atmosphériques.....	12
I.4.3 Conditions météorologiques et pollution urbaine intense.....	15
I.4.4 Topographie et diffusion des polluants.....	16
I.4.4.2 Le rôle des versants montagneux	16
I.4.4.1 L'influence des régions encaissées.....	16
I.4.4.3 Les brises de pente.....	16
I.4.4.4 Les brises de mer et de terre.....	17
I.4.4.5 La brise de campagne.....	17
<i>II. LA POLLUTION PAR LE DIOXYDE D'AZOTE</i>	20
II.1 Caractéristiques.....	20
II.2 Formation.....	20
II.3 Sources.....	24
A. Les sources mobiles.....	24
a. Le transport routier.....	24
B. Les sources fixes.....	25
a. Le secteur du logement.....	25
b. Les émissions industrielles.....	26
C. Les sources naturelles.....	26
II.4 Impact sur la santé et l'environnement.....	27
II.4.1 Les effets sur la santé.....	27

II.4.2 Les effets sur l'environnement.....	27
II.4.3 Les effets sur les écosystèmes.....	28
II.4.4 Les effets sur les végétaux.....	28
II.4.5 Les effets sur les matériaux.....	28
II.5 Normes et directives.....	29
III. TECHNIQUES DE PRELEVEMENT ET ANALYSE DE NO₂	32
III.1 Prélèvement automatique (La chimiluminescence).....	32
III.2 Prélèvement actif	33
III.3 Prélèvement passif	34
III.3.1 Principe des tubes à diffusion	35
III.3.2 Avantages de la symétrie radiale.....	39
III.3.3 Avantages et inconvénients d'échantillonnage par les tubes passif.....	40
III.3.4 Méthodes de séparation et d'analyse de dioxyde d'azote.....	40
a. Méthode spectrométrique.....	40
b. Méthode chromatographique.....	41
IV. METHODOLOGIE	43
IV.1 Choix des sites et recommandations de placement des tubes.....	43
IV.2 Types de sites	43
IV.3 Prélèvement de dioxyde d'azote	48
IV.3.1 Echantillonnage de NO ₂ « tube RADIELLO »	48
IV.3.1.1 Les composants de <i>radiello</i>	48
a. La cartouche absorbante	48
b. Le corps diffusif	49
c. La plaque de support.....	50
IV.3.2 Préparation du tube passif et déroulement de l'échantillonnage.....	50
IV.3.2.1 Préparation du tube passif.....	50
IV.3.2.2 Exposition et campagnes de mesure	52
IV.3.2.3 Analyse des échantillons.....	52
a. Dosage des nitrites.....	52
b. Analyse des échantillons.....	54
c. Calcul des teneurs atmosphériques.....	54
V. RESULTATS ET DISCUSSION	56

V.1. Evolution des teneurs atmosphériques en NO ₂ au niveau de l'agglomération d'Alger.....	56
V.2. Niveaux de pollution.....	60
V.2.1. Sites de type « station trafic ».....	60
V.2.2. Les sites urbains de fond.....	61
V.2.3.Site semi urbain.....	62
V.3.Comparaison des résultats aux normes.....	63
V.4.Comparaison des teneurs avec d'autres résultats.....	64
V.4.1.Comparaison avec des données de la localité d'Alger.....	64
V.4.2. Comparaison des teneurs mesurées avec des résultats d'autres pays.....	65
CONCLUSION GENERALE	68

Liste des abréviations

- NO_x** : Oxydes d'azote
- NO₂** : Dioxyde d'azote
- CFC** : chlorofluorocarbone
- COV** : Composé organique volatil
- HAM** : Hydrocarbure aromatique monocyclique
- BTEX** : Benzène, toluène, éthylbenzène, xylène
- TEA** : triéthanolamine
- CE** : Commission Européenne
- OMS** : Organisation mondiale de la santé

Liste des tableaux

Tableau n°01: <i>composition moyenne de l'air pur sec.....</i>	6
Tableau n°02 : <i>Sources des principales substances émises dans l'atmosphère.....</i>	8
Tableau n°03 : <i>Les émissions de NOx suivant la qualité du moteur.....</i>	25
Tableau n°04 : <i>Facteurs d'émission des NOx (gramme par GJ d'énergie) dans l'industrie en France.....</i>	26
Tableau n°05 : <i>les Valeurs Limites de dioxyde d'azote dans l'air recommandées par l'OMS..</i>	29
Tableau n° 06 : <i>Courbe d'étalonnage des nitrites.....</i>	54
Tableau n°07 : <i>Données relatives aux campagnes de mesure.....</i>	56
Tableau n°08 : <i>teneurs atmosphériques de NO₂ (ppb).....</i>	57
Tableau n°09 : <i>Teneurs en NO₂ en µg/m³ mesurées par le réseau Samasafia.....</i>	64
Tableau n°10: <i>Teneurs de NO₂ mesurées dans certains pays.....</i>	65

Liste des figures

Figure n°01 : <i>Phénomène de retombée en panache</i>	12
Figure n°02 : <i>Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air (Cas A)</i>	14
Figure n°03: <i>Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air (Cas B)</i>	14
Figure n°04 : <i>brise de campagne</i>	18
Figure n°05: <i>Cycle de Chapman</i>	21
Figure n°06 : <i>Schématisation de la production d'ozone en phase gazeuse</i>	24
Figure n°07 : <i>L'échantillonneur diffusif</i>	35
Figure n°08 : <i>L'échantillonneur Radiello</i>	37
Figure n°09 : <i>Le corps diffusif au microscope électronique</i>	38
Figure n°10 : <i>Comparaison de débit d'échantillonneur radial et axial</i>	39
Figure n°11 : <i>Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S1</i>	44
Figure n°12 : <i>Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S2</i>	45
Figure n°13 : <i>Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S5</i>	45
Figure n°14 : <i>Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S6</i>	46
Figure n°15 : <i>Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S7</i>	47
Figure n°16: <i>Localisation des différents sites de prélèvement de NO₂ à Alger</i>	48
Figure n°17 : <i>cartouche adsorbante</i>	49
Figure n°18 : <i>Corps diffusif Radiello code 120-1</i>	49
Figure n°19 : <i>La plaque de support</i>	50
Figure n° 20: <i>Courbe d'étalonnage des nitrites, DO = f(C)</i>	54
Figure n°21 : <i>Variation des teneurs atmosphériques en NO₂ (Campagne n°1)</i>	59
Figure n° 22 : <i>Variation des teneurs atmosphériques en NO₂ (Campagne n°2)</i>	59
Figure n° 23 : <i>Moyenne des teneurs atmosphériques en NO₂ pour les deux campagnes de mesure</i>	60
Figure n°24 : <i>teneur de NO₂ dans les sites de type « station trafic »</i>	60
Figure n°25: <i>teneurs atmosphériques moyennes en NO₂ au niveau des sites urbains de fond</i>	61
Figure n°26 : <i>Comparaison avec la norme OMS des teneurs de NO₂ en µg/m³</i>	63

INTRODUCTION

Introduction générale:

Les activités humaines; qu'elles soient industrielles, agricoles ou résidentielles, provoquent l'émission dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz, d'aérosols et de poussières qui peuvent nuire à l'homme et à son environnement. Sous l'effet des vents, ces polluants sont transportés plus ou moins loin de la source et peuvent donc affecter de grandes étendues et contribue à la dégradation générale de l'atmosphère terrestre.

Les composés issus directement des activités humaines sont qualifiés de primaires. Il s'agit notamment de dioxyde de soufre (SO_2), de monoxyde d'azote (NO), de monoxyde de carbone (CO), de composés organiques volatiles (COV) ou de dioxyde de carbone (CO_2). Certains d'entre eux réagissent plus ou moins rapidement dans l'atmosphère pour former de nouveaux composés dits secondaires dont les compositions et les effets sur l'environnement peuvent être très différents. C'est le cas de l'ozone et partiellement du NO_2 qui se forment dans la troposphère par l'action du soleil et d'une chaîne de réactions chimiques à partir des oxydes d'azote NO_x , et des COV. Dans la troposphère, les masses d'air sont fortement mélangées, ce qui augmente les contacts entre les différentes espèces chimiques et favorise donc la formation de polluants secondaires [1].

La pollution par le NO_2 est difficile à maîtriser, en raison d'une part de la complexité des réactions photochimiques mises en jeu, et d'autre part, à cause des sources d'émission de ses précurseurs le NO et les COV qui augmentent sans cesse.

Les polluants atmosphériques peuvent avoir des effets aigus et chroniques sur la santé.

Le dioxyde d'azote par exemple est non seulement un des oxydants efficaces mais aussi un des gaz irritants puissants. Il provoque des irritations des voies respiratoires qui peuvent être graves chez les personnes sensibles, les enfants et les personnes âgées.

C'est en présence d'une pollution photochimique qu'on mesure les teneurs en NO_2 les plus élevées. Dans pareille situation ses effets sur la santé se conjuguent à ceux de l'ozone pour donner un important potentiel de nuisance. Les végétaux sont aussi touchés par la pollution photochimique, les forêts sont fragilisées en milieu pollué et les rendements des cultures sont sensiblement diminués.

Généralement, le NO_2 est un polluant qui est surveillé en permanence et tous les réseaux de surveillance sont équipés d'analyseurs automatiques de NO_2 . Leur fonctionnement est basé sur le principe de la chimiluminescence [2].

Ces dernières années, on assiste de plus en plus à un nouveau mode de suivi du NO₂ qui n'utilise plus des analyseurs de mesure en continu, mais qui s'oriente vers des mesures ponctuelles sur une vaste région. C'est la technique qui utilise l'échantillonnage passif suivi d'analyse et dosage en laboratoire [2].

L'utilisation de ce type d'échantillonnage est très aisée à cause de sa commodité d'emploi (ne nécessite pas de pompe d'aspiration et donc pas d'alimentation électrique) et à son coût qui est plus ou moins abordable pour nos laboratoires. Il permet par ailleurs de réaliser des campagnes de mesure sur un grand nombre de sites simultanément. La méthode présente une sensibilité suffisante et aboutit à des performances de précision qui ne diffèrent pas de ceux obtenus par d'autres méthodes d'échantillonnage de NO₂.

Pour l'Algérie, où les réseaux de surveillances ne sont pas encore développés et où on ne dispose que de très peu de données, cette méthode est idéale pour avoir les premières informations de base sur la qualité de l'air qui ne cesse de se dégrader.

Dans notre pays, le problème de la pollution atmosphérique en milieu urbain se pose à toutes les villes, mais il l'est encore plus pour le cas de l'agglomération d'Alger. La wilaya d'Alger, avec 3,5 millions d'habitants (environ 10% de la population globale), abrite actuellement plus d'un million de véhicules, soit environ le 1/5 du parc automobile national. La majorité des activités de transport de personnes et de marchandises se font par route, ce qui induit de très fortes émissions de polluants gazeux et en particulier des NO_x [3]. Plusieurs études antérieures [4], ont montré qu'en milieu urbain, la principale source de pollution de l'air est la densité du trafic routier qui a connu ces dernières années une croissance vertigineuse (augmentation du parc automobile de 20% sur les deux dernières années).

Devant cette situation problématique, on s'est intéressé dans cette étude à l'évaluation de la pollution de l'air par le NO₂ dans la vaste région d'Alger. L'utilisation de l'échantillonnage passif nous permettra d'évaluer cette pollution sur plusieurs sites, de faire une comparaison intersites et d'identifier les parties de la ville qui doivent faire l'objet d'une surveillance accrue.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA POLLUTION DE L'AIR

I. GENERALITE

I.1 Structure de l'atmosphère terrestre :

❖ Les différentes couches de l'atmosphère :

L'atmosphère terrestre est divisée en plusieurs couches concentriques et superposées qui sont:

- **la biosphère** : comprise entre le sol et une centaine de mètres d'altitude. Cette zone correspond en milieu naturel au sommet des arbres (canopée) et en milieu urbain elle s'étend jusqu'au sommet des cheminées (canopée urbaine). et c'est la zone d'émission des polluants atmosphériques [5].
- **La troposphère** : elle s'étend du sol jusqu'à 12 km d'altitude. Cette altitude varie suivant les régions du globe. Et c'est la zone où les composés chimiques se mélangent et réagissent entre eux [5].
- **La stratosphère** : elle est comprise entre 12 et 50 km d'altitude. Les polluants sont rares mais très destructeurs (les CFC) [5].

I.2 La pollution de l'air :

Seule la première couche dans L'atmosphère, la plus basse et la plus dense présente un intérêt pour le sujet qui nous préoccupe à savoir son intervention dans la contamination globale de l'air ambiant [6].

L'air est pur lorsqu'il ne contient pas de substances autres que celles qui entrent dans sa composition naturelle (tableau n°01) [7].

Tableau n°01: composition moyenne de l'air pur sec.

Constituants	Concentration	
Azote	78,09 %	v/v
Oxygène	20,94 %	v/v
Argon	0,93 %	v/v
Dioxyde de carbone	0,032 %	v/v
Néon	18,0	ppm
Hélium	5,2	ppm
Krypton	10	ppm
Xénon	0,08	ppm
Hydrogène	0,50	ppm
Méthane	1,5	ppm
Hémioxyde d'azote	0,5	ppm
Vapeur d'eau	Variable	
Ozone	Variable 0,01 à 0,04 ppm	

Un polluant par définition; c'est une substance qui se trouve dans l'atmosphère à une teneur supérieure à sa concentration habituelle, celle-ci étant d'ailleurs le plus souvent nulle, exception pouvant être faite pour le gaz carbonique, les oxydes d'azote et le méthane, qui sont des constituants normaux de l'atmosphère non polluée. L'exemple classique d'une telle substance polluante est le CO₂ dont la teneur atmosphérique s'élève de plus en plus au dessus de la concentration habituelle.

De ce fait, plusieurs définitions ont été attribuées au terme « pollution atmosphérique »

Dans son rapport du 14 septembre 1967, le conseil de l'Europe 'CE' adopte la définition suivante:

« Il y a pollution de l'air lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses constituants est susceptible de provoquer un effet nuisible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une gêne » [8].

D'autre part, la communauté économique européenne (C.E.E) définit la pollution atmosphérique comme étant:

« L'introduction dans l'atmosphère par l'homme directement ou indirectement de substance ou d'énergie ayant une action nocive, de nature à mettre en danger la santé de l'homme, endommager les ressources biologiques et les écosystèmes, à détériorer les biens matériels et à porter atteinte ou nuire aux valeurs d'agrément et autres utilisations légitimes de l'environnement » [9].

Cette définition est plus large et prend en considération les aspects énergétiques (Radioactivité et air) [9,10].

En Algérie, la pollution atmosphérique est définie, dans l'article n°03 de la loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : « **Pollution de l'atmosphère** : L'introduction de toute substance dans l'air ou l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptible de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie, santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites»[11].

Tableau n°02 : Sources des principales substances émises dans l'atmosphère [12].

Processus	Substances émises
Eruptions volcaniques	H ₂ S, SO ₂ , CO ₂ , CH ₄ , poussières
Feux de forêts, prairies	CO, NO _x , poussières, HC
Processus microbiens	CO ₂ , CO, CH ₄ , NO ₂ , NO _x , NH ₃ , H ₂ S
Eclairs	NO _x
Erosion	Poussières
Météores et météorites	Poussières
Embruns marins	Aérosols de NaCl, MgCl ₂ , KBr et CaCl ₂
Digestion et excréments d'animaux	CH ₄ , NH ₃

I.3 Les principaux polluants: leurs sources et effets :

Nous distinguons les **polluants primaires** émis directement par une source, **des polluants secondaires** produits à la suite d'un processus photochimique complexe.

I.3.1 Polluants primaires :

I.3.1.1 Le dioxyde de soufre (SO₂) :

Il se forme principalement lors de la combustion du fuel, du charbon et d'autres combustibles fossiles, par combinaison du soufre contenu dans ces combustibles et de l'oxygène de l'air.

Source : Les principales sources sont les industries, les centrales thermiques, les chauffages domestiques. La part du trafic automobile, par l'intermédiaire des véhicules diesels, augmente constamment [13].

Effets: Peut provoquer des crises chez les asthmatiques, accentuer les gênes respiratoires et affecter la fonction respiratoire chez les enfants.

Le dioxyde de soufre peut provoquer aussi divers dommages aux plantes et aux écosystèmes ainsi qu'aux constructions. Il est aussi un précurseur des pluies acides.

I.3.1.2 Le monoxyde de carbone :

Source : Il résulte de la combustion incomplète des combustibles et des carburants.

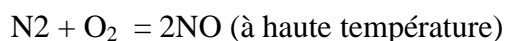
Dans l'air ambiant, on le rencontre essentiellement à proximité des voies de circulation routière [13,14]

Effets: Poison respiratoire pour l'homme en se fixant sur l'hémoglobine à la place de l'oxygène, conduisant à un déficit d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins.

I.3.1.3 Les oxydes d'azote (NO_x) :

Les oxydes d'azote, symbolisés par la formule chimique NO_x, rassemblent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils sont émis par les véhicules à moteurs ainsi que par les installations de combustion industrielles.

Source : Ils résultent de la combinaison à hautes températures de l'oxygène et de l'azote présents dans l'air ou dans les combustibles selon la relation suivante :



La proportion entre le NO et le NO₂ varie selon le procédé de combustion. Elle est, entre autres, fonction de la température. Le NO est émis majoritairement, mais étant très réactif il se transforme par oxydation en NO₂ dans l'air [15].

Effets: Peut provoquer des maladies respiratoires. Endommager divers plantes et écosystèmes. Important précurseur des pluies acides.

I.3.1.4 Les COV (Composés organiques volatils) :

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse.

Source Les composés organiques sont constitués par le carbone et ses combinaisons. Parmi ces substances, les hydrocarbures sont des composés binaires constitués de carbone et d'hydrogène. Les autres grands groupes de COV sont les composés carbonés (alcane, alcène...) et les composés carboxylés (aldéhydes, cétones, éthers...) [15].

Parmi les COV, on s'intéresse de plus en plus au BTEX (Le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes) qui sont, les principaux COV émis par les véhicules essence non plombées, et sont très réactifs

Effet : les COV sont avec les NOX des polluants précurseurs de la formation photochimique de l'ozone de la basse atmosphère

I.3.1.5 Les poussières (PM10) :

Elles sont symbolisées par le sigle « PM10 », qui correspond à la mesure des poussières inférieures à 10 µm de diamètre moyen et qui restent en suspension dans l'air. Elles peuvent être d'origine naturelle ou anthropique [16].

Source : Les particules en suspension dans l'air proviennent à la fois de l'industrie, du chauffage et du trafic automobile (suies, usure des pièces mécaniques et des pneumatiques). Les véhicules diesels sont les principaux émetteurs routiers et génèrent de très fines particules (diamètre inférieur à 0.5 µm) [13].

Effets: Maladies respiratoires, augmentent la mortalité et les risques de cancer.

I.3.2 Polluant secondaire :

➤ L'ozone (O₃) :

Source : L'ozone (O₃) résulte de la recombinaison d'une molécule d'oxygène (O₂) avec un atome d'oxygène (O). Il est présent dans toute l'atmosphère à raison de quelques ppm (quelques molécules par millions de molécules des gaz constitutifs de l'air). Ces concentrations ne restent néanmoins pas constantes dans toute son épaisseur.

Les niveaux les plus importants sont atteints dans la stratosphère (entre 10 et 50 km d'altitude). A ces altitudes, l'ozone forme une barrière protectrice contre le rayonnement

U.V. de forte énergie. C'est pourquoi on parle **d'ozone stratosphérique**, par opposition à **l'ozone troposphérique** (entre 0 et 10 km d'altitude).

L'ozone troposphérique est issu de réactions photochimiques (initiées par les rayonnements U.V. solaires) entre des composés appelés précurseurs, présents dans l'atmosphère. Les précurseurs sont les oxydes d'azote (NO_x) et les Composés Organiques Volatiles (COV).

Une particularité notable de la pollution par l'ozone est sa distribution spatiale, conditionnée en grande partie par son mode de formation. En effet, les plus fortes concentrations sont observées en périphérie des villes alors qu'au centre de l'agglomération, les valeurs sont moins importantes. Ces valeurs plus faibles sont le résultat de la décomposition chimique de l'ozone par réaction avec les NO_x .

L'ozone péri-urbain suit des cycles de formation annuels et journaliers typiques : les teneurs sont quasiment nulles en hiver, les plus fortes concentrations étant mesurées pendant les mois de juillet et d'août. Les plus forts niveaux d'ozone sont atteints dans l'après-midi, aux heures d'ensoleillement intense, et les plus faibles la nuit (consommation de l'ozone) [13,17].

Effets: Irrite les muqueuses des voies respiratoires, provoque des sensations d'oppressions, diminue la fonction pulmonaire, endommage les plantes.

I.4 Facteurs influant sur les niveaux de pollution de l'air :

Une fois émis dans l'espace, les polluants se déplacent et se diluent provoquant ainsi une diminution de leur teneur initiale et l'enrichissement d'un volume de plus en plus grand de l'atmosphère. Cette dispersion dans le temps et dans l'espace dépend des facteurs météorologiques ainsi que des facteurs topographiques.

I.4.1 le vent :

La vitesse du vent augmente avec le gradient de pression entre anticyclone (zone de haute pression) et dépression (zone de basse pression). À la surface de la Terre, les différents obstacles ralentissent la vitesse du vent. L'épaisseur de cette « *couche de frottement* » varie de 500 à 1 000 mètres. La vitesse du vent augmente donc avec

l'altitude. D'autre part, le « *profil* » de vitesse du vent ou ensemble des vitesses moyennes est différent le jour ou la nuit. Le jour, les courants de convection thermique ramènent rapidement au sol l'air qui se déplace en altitude, renforçant ainsi les vents de surface. Par contre, la nuit, la convection thermique plus faible accentue les vents d'altitude. Le vent a une grande importance dans la diffusion des polluants atmosphériques. Ainsi, avec un vent de force moyenne et de mauvaises conditions de rejet des effluents (cheminée trop basse, vitesse d'éjection des gaz insuffisante, etc.), il peut se produire un phénomène de retombée en panache vers le sol [18].

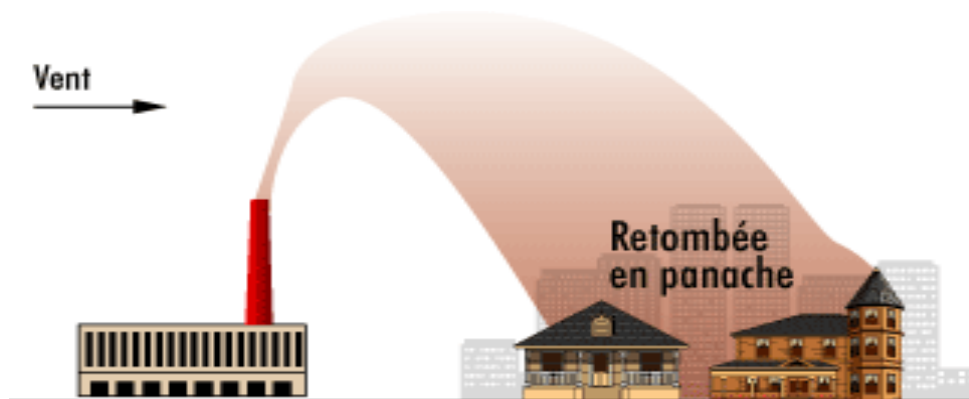


Figure n°01 : Phénomène de retombée en panache

- **Rôle des vents dominants :**

On accuse souvent les vents dominants de porter sur une agglomération les polluants des sites industriels situés en amont, il faut tenir compte de la direction des vents présents lors de situations météorologiques de stabilité, qui, même s'ils sont lents et rares, peuvent apporter dans la ville les polluants concentrés près du sol. En Europe occidentale, ces vents viennent pour la plupart de l'Est.

I.4.2 La température des couches atmosphériques :

En montant dans l'atmosphère, une particule de polluant se dilate et se refroidit car elle est soumise à des pressions de plus en plus faibles. Inversement en descendant, elle s'échauffe car elle est soumise à des pressions croissantes qui la compriment. Il en résulte que l'ascension d'un volume d'effluent dépend de la différence entre sa température et celle des couches d'air qu'il traverse, sachant que l'effluent peut, en montant, se refroidir plus ou moins vite que l'air ambiant. Le taux de refroidissement

théorique de l'air lorsqu'il est ascendant, déterminé dans des conditions physico-chimiques expérimentales bien définies, est appelé gradient adiabatique. Il est de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour 100 mètres d'élévation quand l'air n'est pas saturé en vapeur d'eau, et de $-0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ s'il est saturé en vapeur d'eau. Ces valeurs sont à comparer à la diminution de la température relevée par une sonde thermique s'élevant dans un air immobile. En moyenne, on observe un refroidissement de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ tous les 100 m, mais dans la réalité, les valeurs varient selon la position de la sonde dans la troposphère. Grâce au relevé de cette sonde thermique, les météorologues tracent la courbe d'état thermique de la masse d'air.

La comparaison entre le gradient adiabatique et le gradient réel des températures de l'air est une référence qui permet de définir l'état de stabilité de l'air à un moment donné. On définit trois situations types qui jouent un rôle dans la diffusion et le transport des polluants :

- l'indifférence : la décroissance verticale de la température dans l'air étudié est égale au gradient adiabatique.
- l'instabilité : la décroissance verticale des températures dans l'air étudié est plus rapide que celle du gradient adiabatique ;
- la stabilité : la décroissance verticale des températures dans l'air étudié est plus lente que celle du gradient adiabatique. Il arrive même que la sonde thermique mesure un échauffement lorsqu'elle s'élève : l'air est plus chaud en altitude qu'au sol. On parle alors d'inversion du gradient thermique ou improprement *d'inversion de température*.

Ces différentes situations influencent le comportement des polluants. En général, l'indifférence ou, mieux encore, l'instabilité, favorisent la dispersion verticale des panaches. En effet, dans ces conditions, un volume d'effluent qui s'élève et se refroidit par détente, demeure toujours plus chaud, donc plus léger que les masses d'air qu'il traverse. Il poursuit donc son ascension, gagne une altitude élevée et se disperse sur une vaste superficie. Les risques de pollution localement concentrée sont alors très réduits. En revanche, les situations de stabilité de l'air sont les plus défavorables à la dispersion des polluants et causent souvent des pollutions locales intenses. En effet, dans ces conditions, les effluents qui s'élèvent risquent de se refroidir plus vite que les masses

d'air qu'ils traversent et, devenant plus lourd qu'elles, ils tendent alors à redescendre et à s'accumuler à la base de la troposphère. Lors des conditions d'inversion du gradient thermique, les couches d'air les plus basses sont alors plus froides que les couches supérieures et piègent les polluants. Ce phénomène est habituellement provoqué la nuit, par un refroidissement intense de la surface terrestre et de l'air à son contact. L'air situé plus haut est donc plus chaud que l'air inférieur. C'est pourquoi, on parle souvent d'inversion de surface, cause d'une très forte stabilité de l'air. Le jour, le réchauffement progressif du sol sous l'effet du soleil brise cette inversion. Jusqu'à sa dissipation, la couche d'inversion va donc constituer un véritable couvercle invisible qui bloque l'extension des polluants. Le vent généralement faible lors de ces épisodes climatiques, donne aux panaches une allure caractéristique avec faible dispersion verticale et latérale. En hiver, les nombreuses émissions des foyers de combustion engendrent de fréquentes inversions de température. On peut observer alors des épisodes de pollution aiguë, susceptibles de durer plusieurs jours car le refroidissement nocturne peut être si intense que la chaleur du soleil peut ne pas suffire à briser l'inversion, surtout si une couche de nuages bas gêne l'arrivée au sol de ses rayons [19].

Le jour, en cas de réchauffement, la couche d'inversion s'élève progressivement et les fumées vont alors s'accumuler sous le niveau d'inversion

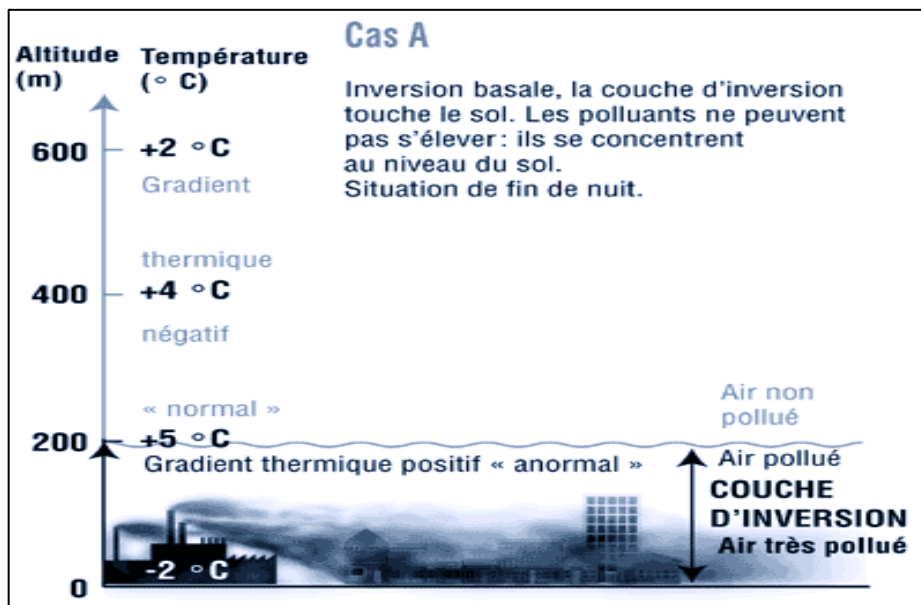


Figure n°02 : Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air (Cas A).

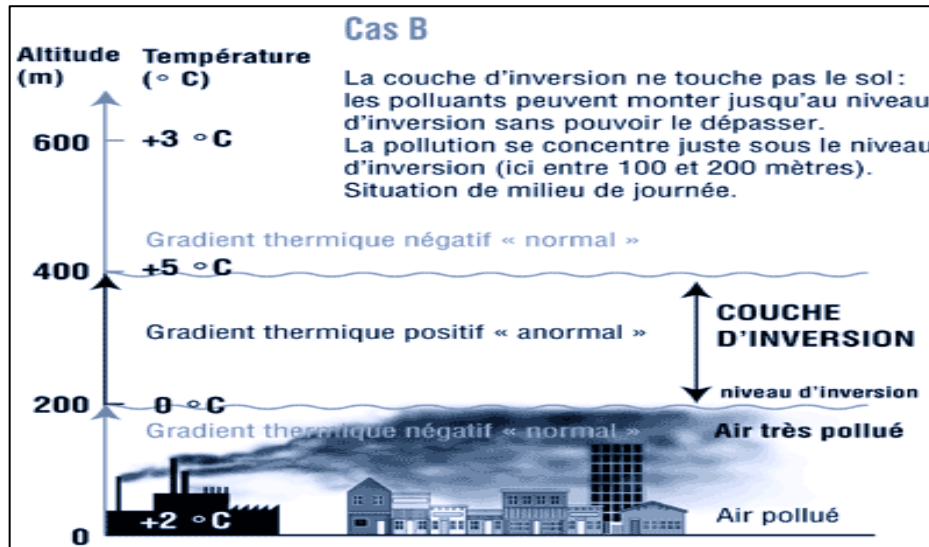


Figure n°03: Phénomène d'inversion du gradient thermique vertical de l'air (Cas B) [19].

Les propriétés de rayonnement du sol peuvent varier suivant sa nature et sa couverture végétale et déterminent sa capacité à perdre ou à emmagasiner de la chaleur, ce qui influence la répartition verticale des températures. À l'inverse des surfaces couvertes de végétations et humides, les sols nus absorbent et perdent rapidement de la chaleur. Un sol couvert de neige est plus favorable à la formation et à la persistance d'inversions thermiques qu'une région boisée. En s'opposant partiellement au rayonnement solaire, le brouillard limite le réchauffement du sol et peut ainsi prolonger pendant de longues périodes la stabilité des basses couches. Le même phénomène s'observe en présence de couches nuageuses continues et basses. Une région à forte nébulosité diurne sera ainsi plus sensible aux risques de pollution de l'atmosphère qu'une région au ciel clair. En résumé, toutes les situations météorologiques qui permettent la stabilité de l'air, telles que situations anticycloniques et phénomènes d'inversion thermique, sont propices à la pollution de l'air. D'autres facteurs, comme l'évaporation, l'humidité atmosphérique et le mouvement des masses d'air, interviennent pour modifier et compliquer ces processus.

I.4.3 Conditions météorologiques et pollution urbaine intense :

- Les principaux épisodes de pollution intense que les grandes métropoles connaissent ou ont connu, sont pour la plupart liés à des accumulations de fortes concentrations de polluants pendant de longues périodes de calme prolongé de

l'air, lors de situations d'inversion de température associées à des vents faibles.

Parmi les nombreux exemples, on peut citer [20] :

- Les brouillards, dus aux conditions météorologiques particulières : températures au sol voisines de 0 °C, vents très faibles (2 m/s), inversion de température considérable
- Le smog de Londres du 5 au 9 décembre 1952 qui coïncida avec une situation de stabilité comparable.
- Au cours de la vague de froid subie par la France pendant l'hiver 1996-1997, on a observé à plusieurs reprises des situations d'inversion du gradient thermique qui ont provoqué des alertes à la pollution à Paris, Lyon et d'autres grandes villes françaises.
- La région de Los Angeles est bordée d'un côté par la montagne qui empêche l'évacuation de l'air pollué venu de la ville et d'un autre côté par l'océan Pacifique aux eaux fraîches, facteur de stabilité de l'air. Les inversions de températures y sont fréquentes (270 jours par an) et empêchent fréquemment la diffusion des polluants atmosphériques, d'autant plus que les vents sont particulièrement faibles durant ces périodes.
- Le cas le plus spectaculaire est celui du 12 janvier 2013 où à Pékin, la pollution a paralysé la ville pendant plusieurs jours [21]

I.4.4 Topographie et diffusion des polluants [18] :

D'une manière générale, les phénomènes météorologiques locaux, la topographie et les obstacles sont des éléments qui modifient la circulation des vents et qui peuvent canaliser l'écoulement des polluants dans des directions privilégiées.

I.4.4.1 L'influence des régions encaissées :

Les inversions de températures peuvent résulter de circonstances géographiques particulières, comme dans les régions encaissées où l'air froid plus dense des sommets s'écoule, la nuit, vers les fonds de vallées dans lesquels il s'accumule, provoquant des brouillards qui accentuent le refroidissement. Ainsi, il n'est pas rare de mesurer des gradients anormaux de température : il peut alors faire plus chaud sur les sommets

qu'au fond de la vallée. Elle entraîne une extrême stabilité des couches d'air inférieures et provoque de fortes concentrations de polluants au sol.

En ville, la configuration « encaissée » des bâtiments, l'étroitesse des rues et un vent réduit peuvent contribuer à la concentration des polluants atmosphériques près du sol. C'est également le cas pour les parkings souterrains, les tunnels...etc.

I.4.4.2 Le rôle des versants montagneux :

Le relief en général exerce une action dynamique sur l'écoulement de l'air. Lorsque le vent heurte un obstacle, son écoulement se trouve perturbé et certains filets d'air contournent la barrière qui leur est opposée, tandis que d'autres tendent à épouser plus ou moins le profil du relief, de sorte qu'une montagne engendre une zone d'ascendance de l'air sur sa face « au vent » suivie d'une zone de subsidence sur sa face « sous le vent ».

I.4.4.3 Les brises de pente :

Les brises de pente sont dues à la différence de température entre le sol incliné d'un relief et l'air libre au même niveau. Le jour, sous l'influence du rayonnement solaire, le sol se réchauffe plus vite que l'air libre. L'air au contact du sol devient plus léger et tend donc à s'élever le long de la pente : c'est la brise montante. La nuit au contraire, l'air se refroidit au contact du sol, devient plus dense et s'écoule le long de la pente : c'est la brise descendante. Plus la vallée sera large et la pente bien exposée au soleil, plus la brise de pente sera accentuée.

I.4.4.4 Les brises de mer et de terre :

Le long des côtes ou des grands lacs, la différence de température entre la terre et l'eau suffit à établir des courants d'air locaux de la mer vers la terre le jour (brise de mer), et de la terre vers la mer la nuit (brise de terre). Sous les latitudes tempérées, les vents côtiers n'apparaissent nettement que l'été car ils sont masqués par le régime général des vents pendant les autres saisons. Dans certaines agglomérations industrielles littorales les polluants épargnent la ville lorsque le vent souffle de la terre vers la mer ; en

revanche, les lieux habités sont particulièrement touchés quand le vent souffle de la mer vers la terre.

I.4.4.5 La brise de campagne :

Les bâtiments et les différentes activités au sein d'une agglomération (transport, chauffage...) changent les caractéristiques thermiques de l'air. L'agglomération constitue un îlot de chaleur qui subsiste à la tombée du jour, tandis que la campagne environnante se refroidit. L'air chaud s'élève au-dessus de la ville, provoquant alors une dépression qui attire l'air plus frais des campagnes alentours. Les polluants émis à la périphérie de l'agglomération sont alors véhiculés vers le centre-ville où s'installe une atmosphère fortement polluée.

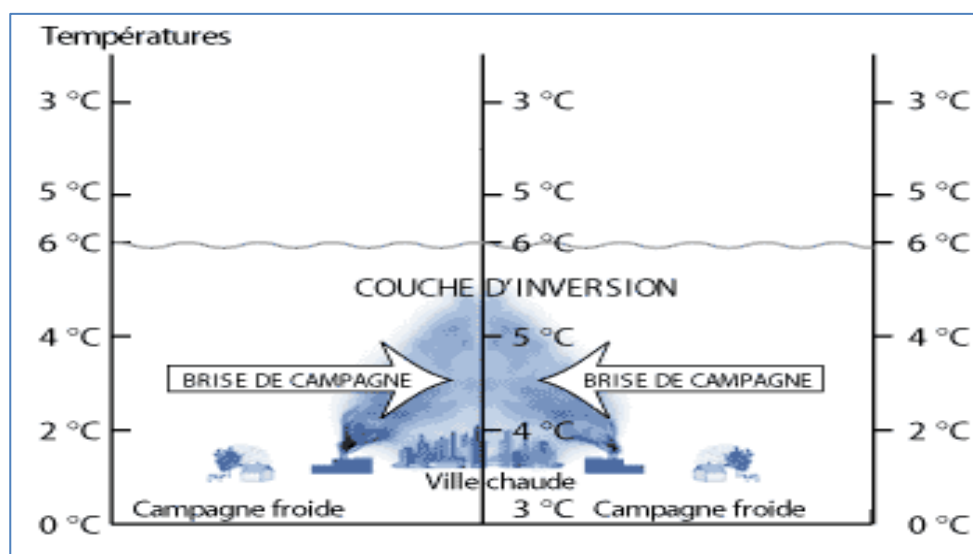


Figure n°04 : brise de campagne [18].

CHAPITRE II

LA POLLUTION PAR LE DIOXYDE D'AZOTE

II. LA POLLUTION PAR LE DIOXYDE D'AZOTE :

Introduction :

Le dioxyde d'azote est présent partout, à l'extérieur comme dans les locaux.

Sa demi-vie dans les locaux est de l'ordre de 30 à 50 minutes en raison de sa réactivité vis-à-vis des différentes surfaces et revêtements. Les émetteurs intérieurs sont nombreux.

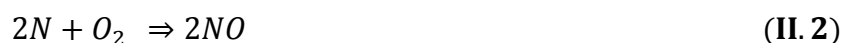
L'influence de l'air extérieur sur les teneurs internes dépend du taux de renouvellement d'air [22].

II.1 Caractéristiques :

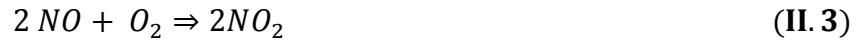
Le dioxyde d'azote (NO_2) est un gaz brun rougeâtre dont l'odeur âcre est déplaisante. Puissant agent oxydant, il donne, par réaction avec l'air, de l'acide nitrique, une substance corrosive, et des nitrates organiques dont l'effet est toxique. Il participe aussi aux réactions atmosphériques qui produisent l'ozone au sol, l'un des principaux constituants du smog. Le NO_2 est aussi un précurseur de nitrates, lesquels augmentent la quantité de particules en suspension respirables dans l'air [23].

II.2 Formation :

Le monoxyde d'azote NO se forme par combinaison de l'azote N_2 et de l'oxygène O_2 lors des combustions à hautes températures :



Dans l'air extérieur, le monoxyde d'azote NO est rapidement oxydé en dioxyde d'azote NO₂ par réaction avec d'autres oxydants de l'air (oxygène O₂, ozone O₃, ...):



La réaction s'arrête lorsque la concentration en NO devient faible, par suite de la dilution dans l'air.

D'autre part le NO₂ intervient dans la formation de l'ozone suite à ces deux réactions :



Ces deux réactions avec la réaction d'équation (II.4) est appelé cycle de CHAPMAN [24].

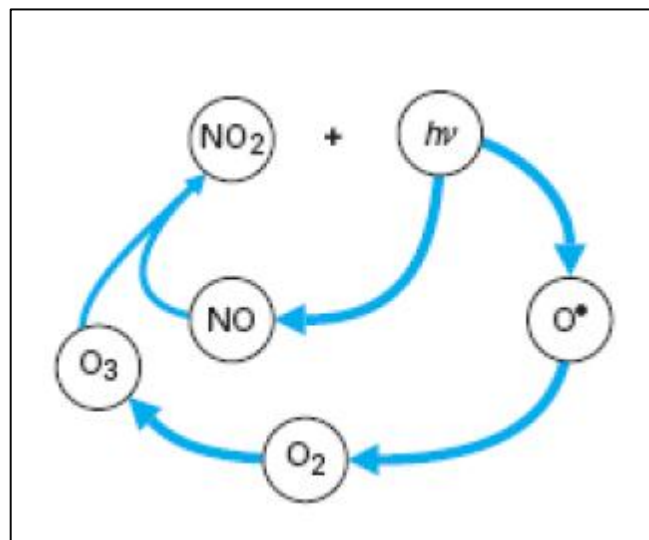


Figure n°05: Cycle de Chapman.

Dans une atmosphère polluée en ozone, la réaction d'oxydation du NO en NO₂ est relativement rapide, avec comme résultat la diminution de l'O₃.

L'oxydation de NO en NO₂ se poursuit dans l'atmosphère par l'action de l'oxygène, du rayonnement solaire et des composés organiques volatils (les COV) comprenant des hydrocarbures des aldéhydes, des alcools etc...

Ce qui explique la grande concentration de NO_2 par rapport à la concentration de NO_x malgré les fortes émissions de NO_x .

Le processus d'oxydation est très complexe et peut faire intervenir a des différents réactions complexes, et la molécule clé qui régule le cycle est le radical OH, qu'il a une importance qualitative dans la production d'ozone. Ceci se traduit par une compétition entre NO_2 et les COV pour le OH [25], ce radical permet la décomposition des hydrocarbures et la régénération du NO en NO_2 selon le mécanisme suivant [13] :

Premièrement, ils se transforment en un radical alkyl par la réaction :



Puis en un radical peroxyalkyl :



A cet instant, le peroxy alkyl est utilisé pour régénérer le NO en NO_2 et se transforme en alkoxy :



Les hydrocarbures sont donc décomposés une première fois pour la régénération du NO_2 .

Ensuite, l'alkoxy peut réagir directement avec O_2 par la réaction suivante :



Le RCHO créé peut ensuite continuer sa transformation et dans un certain cas de figure, déboucher sur la formation de PAN.

Le $H\dot{O}_2$ permet alors une nouvelle transformation de NO en NO_2 et la création d'un nouveau radical OH qui permettra de poursuivre la décomposition du même ou d'un autre hydrocarbure.



L'hydrocarbure RO peut également se décomposer en :



Et ainsi poursuivre sa décomposition en recommençant un nouveau cycle.

Si on s'intéresse au NOX, on remarque qu'ils jouent le rôle de **catalyseur** dans la production d'O₃.

En effet, ce n'est pas leur décomposition qui entretient le cycle de formation, mais leur concentration. A la fin d'un cycle, le nombre de NOX reste le même. Ils servent à produire l'O₃ de la manière suivante :



Le radical OH joue également le rôle de catalyseur. Ce radical très réactif permet l'oxydation des hydrocarbures et donc la formation de l'O₃. Sa faible concentration peut varier énormément. Dans une région fortement polluée (zone urbaine) les émissions de NOX sont élevées, le radical OH se transforme en HNO₃, l'espèce réservoir pour OH et NO (moins d'O₃ créé). Par contre, dans une région où les émissions de NOX sont faibles en présence d'hydrocarbures (zone rurale), ce sont les réactions de combinaisons des radicaux de type peroxy et HO₂ formant des acides organiques, des alcools ou des hydroperoxydes qui prennent le dessus (plus d'O₃ créé). La concentration d'hydrocarbures par rapport à celle de NOX est donc un facteur important pour la production d'O₃ [13].

Alors Si on se trouve en milieu urbain, donc avec une forte concentration de NO_x, la production d'ozone est freinée d'une part par la production de HNO₃ due à la réaction entre OH et NO₂ d'autre part, l'ozone présent sera détruit par la réaction (II.3) [26].

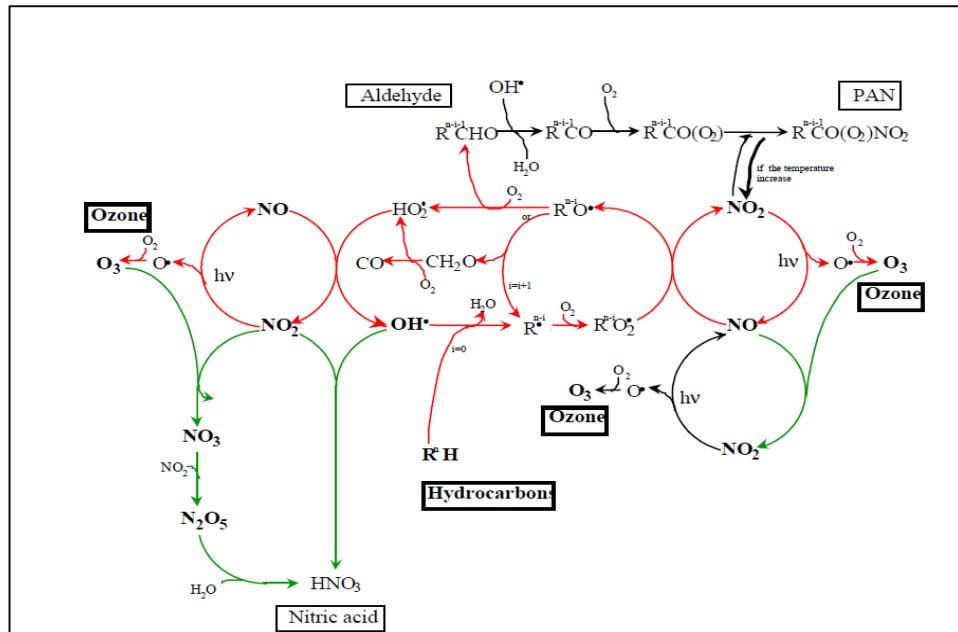


Figure n°06 : Schématisation de la production d'ozone en phase gazeuse[27].

II.3 Sources :

Toute substance brûlée en présence d'air donne des oxydes d'azote (NO_x), qui produit notamment le NO_2 . Hormis les émissions d'oxyde d'azote d'origine naturelle (feux de forêts, orages...), on distingue les sources fixes (installations de combustion, incinérateurs, chauffage domestique) et les sources mobiles (liées en grande partie aux transports) qui sont d'origine humaine [28].

A) Les sources mobiles :

a) Le transport routier :

Le transport routier est la principale source de dioxyde d'azote dans l'agglomération.

Dans les villes on peut avoir jusqu'à 80% de NO_x provient du trafic routier [17].

Si le perfectionnement du rendement des moteurs et l'amélioration de la qualité des carburants ont entraîné une réduction unitaire des émissions, celle-ci a été compensée par la hausse régulière du trafic [22].

En Algérie les concentrations en NO_x suivent aussi l'évolution du trafic routier [17].

Tous les moteurs à explosion forment des oxydes d'azote durant leur fonctionnement. Au moment de la combustion du carburant. Cependant, les quantités émises sont différentes selon les moteurs, et le carburant utilisé.

Les moteurs essence sont plus polluants vis à vis des oxydes d'azote que les moteurs diesel, c'est pourquoi la réglementation s'est durcie en imposant l'utilisation de pots catalytiques [29].

Pour un véhicule non catalysée, le gaz d'échappement contient en général 0,06% de NOx pour le moteur essence et 0,04% pour le moteur diesel [17].

Les émissions de NOx dépendent aussi du régime du moteur :

Tableau n°03 : Les émissions de NOx suivant la qualité du moteur [17].

	Au ralenti	Accélération	Croisierie	Décélération
Essence (cm ³ /cm ³)	15-45	670-2000	300-900	12-30
Diesel (cm ³ /cm ³)	50-68	800	200-300	10-40

(cm³/cm³) de gaz d'échappement.

B) Les sources fixes :

a) Le secteur du logement :

Nous sommes exposés à un grand nombre de polluants dans nos habitations : produits domestiques, agents biologique, plomb, produits antiparasitaires, aérosol, fumée de tabac, matières fibreuses.... Ces polluants sont émis par les activités humaines et par les matériaux de construction et d'ameublement.

Comme source extérieure, le chauffage des habitations et des immeubles représente une source fixe. La pollution à l'intérieur des locaux provient généralement des appareils domestiques de combustion (appareils de chauffage et de cuisson à gaz, appareils de chauffage au fioul...) et le tabagisme.

Il peut également être transféré de l'air extérieur par les fenêtres, les portes et les systèmes de ventilation. Pour information, les fenêtres en bois tendent à augmenter le taux d'échange entre l'intérieur et l'extérieur [22].

Malgré des efforts technologiques réalisés pour une meilleure maîtrise de l'énergie, les émissions de ce secteur n'ont pas diminué.

La croissance des émissions du secteur résidentiel est due à l'utilisation importante de combustibles fossiles. Ils possèdent en effet des facteurs d'émission élevés qui contribuent à maintenir à son plus haut niveau la présence des oxydes d'azote dans l'atmosphère [29].

b) Les émissions industrielles :

L'industrie lourde est peu développée en Algérie. Une dizaine d'établissements émettrait des tonnes de NOx par an, Les activités énergétiques (extraction et transformation) sont une source majeure d'émissions de NOx.

D'autres sources industrielles et le secteur des déchets (incinération...) représentent également une source importante de NOx.

Tout comme dans le secteur du logement, des facteurs d'émission de NOx ont été calculés pour chaque type de combustible.

Tableau n°04 : *Facteurs d'émission des NOx (gramme par GJ d'énergie) dans l'industrie en France [29].*

Type de combustible	Production de NOx
Fuel	100
Fuels lourds	180
Gaz naturel	60
Charbon (moyenne)	75

C) Les sources naturelles :

Principalement la foudre, les éruptions volcaniques et l'activité aérobie des bactéries du sol sont minimales par comparaison aux sources relatives à l'industrie humaine.

II.4 Impact sur la santé et l'environnement :

II.4.1 Les effets sur la santé :

Les études d'expérimentation animale ont montré que le NO₂ est quatre fois plus toxique que le NO [23].

Des essais effectués sur des cultures tissulaires et sur des animaux ont montré que jusqu'à 90 % du NO₂ inhalé est absorbé. Au contact du liquide qui tapisse les alvéoles pulmonaires, il entre en réaction avec les substances organiques et pénètre dans le sang sous forme de nitrite (NO₂⁻). Là, il se fixe à l'hémoglobine et est transformé en nitrate (NO₃⁻) par l'oxygène sanguin. Le nitrate est éliminé par les urines.

Le dioxyde d'azote pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires; les asthmatiques et les sujets atteints de bronchite chronique sont particulièrement sensibles à des concentrations peu élevées.

En ce qui concerne l'exposition expérimentale aiguë chez l'homme, de nombreux travaux ont démontré qu'une exposition à des concentrations élevées d'oxydants pouvait conduire à : une *irritation des muqueuses des voies respiratoires*, des *crises d'asthme* par élévation de la réactivité bronchique, de la *toux*, une *irritation des conjonctives*, et une *diminution de la résistance aux microbes pathogènes*.

Dans les études portant sur les enfants en âge scolaire, il a été trouvé que les enfants exposés à l'atmosphère plus polluée par le NO₂ manifestaient une plus grande tendance à l'infection pulmonaire que ceux vivant dans un milieu peu pollué.

Par contre, d'autres études ne confirment pas l'influence de l'utilisation d'appareils à gaz sur le système respiratoire [23,30].

II.4.2 Les effets sur l'environnement :

Le dioxyde d'azote se transforme dans l'atmosphère en acide nitrique, lequel est ensuite emporté par les précipitations (pluies acides) au sol et sur la végétation. Cet acide contribue ainsi, en association avec d'autres polluants, à l'acidification des milieux naturels.

Les oxydes d'azote participent également à la formation de l'ozone troposphérique dont ils sont l'un des précurseurs, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre [31].

II.4.3 Les effets sur les écosystèmes :

Les oxydes d'azote (NO_x) sous forme d'acides nitreux et nitriques contribuent à l'acidité des pluies. Ces acides sont transformés chimiquement en sels azotés et déposés à sec sous forme de poussières ou d'autres particules. Leur apport de pouvoir nutritif peut créer un déséquilibre nutritif dans les sols se répercutant sur les végétaux [32]

II.4.4 Les effets sur les végétaux :

Le NO_2 participe aux phénomènes de pluies acides. Les effets négatifs des oxydes d'azote sur les végétaux sont la réduction de la croissance, de la production et de la résistance aux pesticides [31].

II.4.5 Les effets sur les matériaux :

Les oxydes d'azote accroissent les phénomènes de corrosion. Décoloration des tissus, dégradation du caoutchouc [33].

I.5 Normes et directives :

Tableau n°05 : les Valeurs Limites de dioxyde d'azote dans l'air recommandées par l'OMS [34].

Seuil d'information et de recommandations aux personnes sensibles		Seuil d'alerte à la population	
200 µg/m ³ en moyenne horaire		400 µg/m ³ en moyenne horaire	
Valeur limites pour la protection de la santé humaine			
moyenne horaire	Moyenne annuelle	Moyenne pour 24h	
200 µg/m ³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	(150µg/m ³) en Moyenne journalière	
Valeurs limites pour la protection de la végétation			
30 µg/m ³ en moyenne annuelle pour la somme des NO et des NO ₂			

Les Valeurs Limites de NO₂ pour la communauté européenne sont les même que celles de l'OMS sauf pour la limite sur 24h, elle est fixer à 200 µg/m³.

En Algérie La détermination des Les Valeurs Limites pour le dioxyde d'azote s'est notamment appuyée sur des lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Et fixe la limite à 40 µg/m³ en moyenne annuelle et 200 µg/m³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an, le seuil d'alerte est fixé à 600 µg/m³ [35].

- **Seuil de recommandation et d'information** : correspond à des niveaux à partir desquels les pouvoirs publics informent de la situation. Ils mettent en garde les personnes sensibles et recommandent des mesures destinées à la limitation des émissions.
- **Seuil d'alerte** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque

pour la santé humaine et/ou l'environnement. Il enclenche des mesures d'urgence prises par le préfet.

- **Valeur limite** : un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement.

CHAPITRE III

TECHNIQUE DE PRELEVEMENT ET ANALYSE DE NO₂

III. TECHNIQUE DE PRELEVEMENT ET ANALYSE DE NO₂ :

Pour le dioxyde d'azote on distingue trois types de prélèvement ; automatique par principe de chimiluminescence, actif en utilisant une pompe et faire barboter l'air dans des réactifs, et passif par des tubes à diffusion.

Nous présentons dans ce qui suit les différentes méthodes de prélèvement et leurs principes d'analyses.

III.2 Prélèvement automatique (La chimiluminescence) :

Les oxydes d'azote (NO_x) sont composés essentiellement du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO₂). L'analyseur utilisé pour mesurer les concentrations en oxydes d'azote est basé sur la chimiluminescence.

La chimiluminescence est définie comme l'émission de lumière résultant d'une réaction.

Le principe est exploité essentiellement pour la mesure des oxydes d'azote à de très faibles teneurs dans l'atmosphère [36].

En effet, la réaction entre le NO et l'ozone est la suivante :

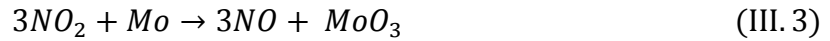


Le dioxyde d'azote excité (NO₂)^{*} retombe à un état fondamental stable (NO₂) en émettant un rayonnement lumineux de longueur d'onde comprise entre 600 et 1200 nm.

Ce rayonnement passe dans un filtre optique sélectif pour les longueurs d'onde supérieures à

610 nm et son intensité est mesurée par un photomultiplicateur (transformation du rayonnement lumineux en signal électrique mesurable). Cette méthode permet de mesurer la concentration de monoxyde d'azote.

Pour mesurer le dioxyde d'azote, il faut tout d'abord le réduire en monoxyde d'azote par passage dans un four convertisseur de molybdène à haute température (320°C) suivant la réaction suivante:



Le NO résultant est alors mesuré selon le principe décrit ci-dessus.

La mesure dans une atmosphère intérieure fournit donc la concentration en NO_x totaux (NO d'origine + NO₂ converti en NO). Par différence avec une mesure de NO seul, on peut alors déduire la concentration en NO₂.

Devant le photomultiplicateur et le filtre optique se situe un "chopper", c'est-à-dire une roue à trois secteurs correspondant aux phases suivantes :

- le masquage des deux chambres (zéro électrique), permettant la mesure du bruit électrique de fond,
- l'ouverture de la chambre NO (mesure du signal NO),
- l'ouverture de la chambre NO_x (mesure du signal NO_x).

Pour ce cas spécifique de la mesure des oxydes d'azote, l'ozone intervenant dans la réaction

(III. 1) doit d'abord être généré par oxydation de l'oxygène de l'air ambiant.

De manière plus générale, une réaction chimiluminescente impliquera toujours les trois étapes suivantes :

- réaction préliminaire de formation d'un composé intermédiaire (par exemple NO₂)
- excitation de ce composé intermédiaire par transformation de l'énergie chimique de l'étape précédente en énergie électronique (par exemple NO₂^{*})
- émission de lumière par le composé intermédiaire passant de l'état énergétique excité à un état énergétique inférieur.

Cette méthode convient assez bien pour mesurer des concentrations assez faibles, allant du ppb à quelques ppm en volume. Elle est par ailleurs très spécifique [23,37].

III.3 Prélèvement actif :

C'est une méthode en phase aqueuse de colorimétrie et qui nécessitent un piégeage des oxydes d'azote par barbotage de l'air à analyser. L'inconvénient majeur de cette technique est qu'il nécessite un temps d'échantillonnage très important, compris entre 30 minutes et plusieurs heures, alors que pour les techniques par chimiluminescence, le temps d'échantillonnage n'est que de quelques secondes [38].

L'air à analyser barbote dans une solution d'acide sulfanilic, N (1-naphthyl)-éthylènediamine dihydrochloride et acide acétique, appelée réactif de Saltzman, permettant la dissolution du NO₂. Le réactif de Saltzman contient une amine qui forme un complexe coloré en présence de NO₂.

Par oxydation du NO en NO₂ sur de l'oxyde de chrome (CrO₃), il est possible de connaître la concentration de NO. Cette méthode n'est pas adaptée pour la mesure des oxydes d'azote en atmosphère peu polluée, car il faut pouvoir détecter des concentrations bien inférieures au ppm. La coloration rose-violette obtenue est proportionnelle aux quantités de NO et de NO₂ échantillonnées. La mesure de la concentration se fait par lecture de densité optique par spectrométrie à 550 nm [39].

III.4 Prélèvement passif :

Introduction :

L'échantillonneur passif pour la mesure du dioxyde d'azote est basé sur le principe de la diffusion passive de molécules de dioxyde d'azote sur un adsorbant, la triéthanolamine. Les échantillonneurs utilisés consistent en un tube de polypropylène.

Le polluant gazeux est transporté par diffusion moléculaire à travers la colonne d'air formée par le tube jusqu'à la zone de piégeage où il est retenu et accumulé sous la forme d'un ou plusieurs produits d'adsorption (Figure n°08).

Après prélèvement l'ion nitrite issu du NO₂ piégé va subir une réaction de diazotation pour former un complexe dont la densité optique est mesurée par spectrophotométrie UV ou par chromatographie ionique. La quantité d'ions nitrite dans l'échantillon et par conséquent la quantité de NO₂ recueillie, est mesurée par référence à une courbe d'étalonnage obtenue à partir de solutions étalons de nitrite de sodium. La concentration moyenne de NO₂ dans l'air échantillonné est alors déterminée à partir de la masse de nitrite piégée [40].

Dans la pratique, l'échantillonneur est exposé dans l'air ambiant, les durées d'exposition des échantillonneurs passifs sont plus longues que celles des échantillonneurs actifs et automatique, de 8 h à 4 semaines [41].

Les tubes passifs les plus utilisés pour la mesure de dioxyde d'azote existent sont les tubes Radiello à géométrie radiale.

IV.4.1 Principe des tubes à diffusion :

L'échantillonneur passif Radiello est basé sur le principe de la diffusion passive de molécules de gaz jusqu'à une cartouche adsorbante placée dans un corps diffusif à géométrie radiale [41]. L'air est transporté dans l'échantillonneur par diffusion moléculaire (selon la loi de Fick) jusqu'à l'adsorbant.

L'échantillonneur diffusif est une boîte fermée, d'habitude cylindrique, dont une des deux surfaces planes est "transparente" aux molécules gazeuses alors que l'autre les adsorbe. On appelle *diffusive* la première surface et *absorbante* la deuxième (respectivement *S* et *A* en figure).

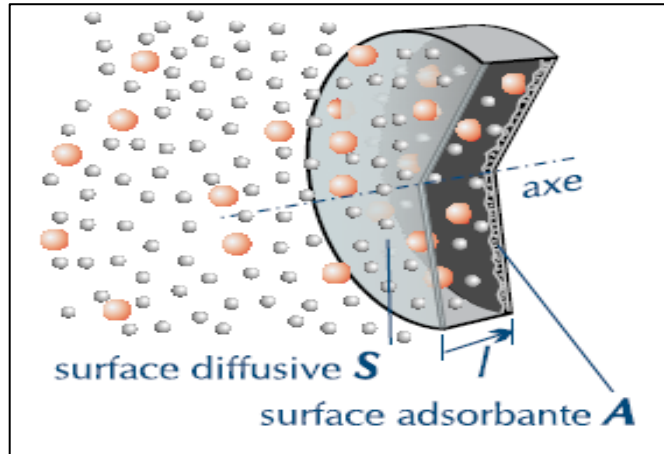


Figure n°07 : L'échantillonneur diffusif [42].

Note : les surfaces diffusive et adsorbante de l'échantillonneur diffusif axial sont deux faces planes et opposées d'une boîte fermée.

Sous un gradient de concentration, les molécules adsorbables (couleur) pénètrent la surface diffusive et viennent d'être piégées par celle adsorbante

Sous le gradient de concentration dC/dl , les molécules gazeuses reversent S en diffusant vers A , le long du parcours diffusif qui est parallèle à l'axe de la boîte. Celles adsorbables viennent d'être piégés par A suivant la loi de la diffusion

$$\frac{dm}{dt} = D S \frac{dC}{dl} \quad (\text{III. 3})$$

Où dm est la masse piégée pendant le temps dt et D est le coefficient de diffusion.

Si C est la concentration à la surface diffusante et C_0 est celle à la surface adsorbante, l'intégrale de [IV.1] est :

$$\frac{m}{t} = D \frac{S}{l} (C - C_0) \quad (\text{III. 4})$$

Qui va devenir :

$$\frac{m}{tc} = D \frac{s}{i} = Q \quad \text{ou} \quad c = \frac{m}{tQ} \quad (\text{III.5})$$

si la concentration à la surface adsorbante est égale ou très proche à 0.

Q est le débit de piégeage, dont les dimensions sont justement celles d'un flux (en exprimant m en μg , t en minutes et C en $\mu\text{g.l}^{-1}$, les dimensions de Q sont l.min^{-1}).

Donc, si Q est constant et connu, on peut connaître la concentration environnementale bien simplement par la mesure de la masse piégée et du temps d'exposition.

Afin d'améliorer la sensibilité analytique il faudrait augmenter m : cela peut se faire en augmentant Q .

D étant une constante, on ne peut atteindre la cible qu'en agissant auprès du rapport S/l , qui est la constante géométrique de l'échantillonneur. Néanmoins, si on élargit S , dans l'usuel échantillonneur axial on ne peut pas éviter d'élargir A aussi, car il faut que les deux surfaces diffusive et adsorbante se fassent face à distance constante. N'ayant qu'une seule façon de récupérer l'analyte piégé par l'échantillonneur axial - le déplacement par solvant - tout élargissement de A entraîne une augmentation proportionnelle du volume du solvant désorbant, de sorte que la dilution annule tout effet de l'augmentation de Q .

On pourrait réduire l mais, au-dessous d'une valeur critique (à peu près 0,8 mm), la loi de la diffusion n'est plus respectée si la vitesse de l'air est faible, la vitesse de piégeage devenant plus importante que celle de ravitaillement de nouvelles molécules à la surface diffusive [42].

Alors on peut augmenter Q si on change la géométrie de l'échantillonneur d'axiale en *radiale*.

C'est comme ça que *radiello* vient de paraître. C'est sa paroi cylindrique qui marche à barrage diffusif: les molécules se meuvent le long du rayon vers un adsorbant cylindrique lui-même et coaxial à la surface diffusive (Figure n°16).



Figure n°08 : L'échantillonneur Radiello [42].

En même diamètre du cylindre, S devient beaucoup plus grande que celle de l'échantillonneur axial, sans aucune augmentation de la masse d'adsorbant: bien que la surface adsorbante soit beaucoup plus petite que celle diffusive, la distance entre les deux est toujours constante.

Étant donné que $S=2\pi rh$ (h est la hauteur du cylindre) et que le parcours diffusif est le rayon, on doit écrire [IV. 3] dans la forme :

$$\frac{dm}{dt} = D2\pi hr \frac{dc}{dr} \quad (III.6)$$

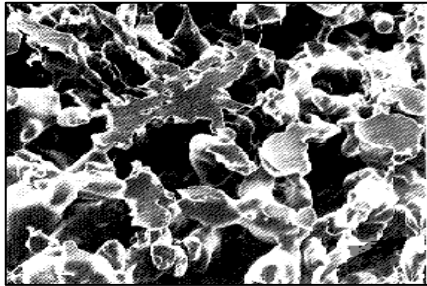
L'intégrale de [IV.6] du rayon de la surface diffusante r_d à celui de la surface adsorbante r_a devient :

$$\frac{m}{tC} = D \frac{2\pi h}{\ln \frac{r_d}{r_a}} = Q \quad (III.7)$$

Le terme

$$\frac{2\pi h}{\ln \frac{r_d}{r_a}} \quad (III.8)$$

est la constante géométrique de *radiello*. Donc, le débit est fonction directe de la longueur du cylindre diffusif et inverse du logarithme du rapport entre le rayon du cylindre diffusif et celui du cylindre adsorbant.



*La paroi diffusive de **radiello** est en polyéthylène Microporeux synthétisé en la traversant, les molécules suivent un parcours tortueux, dont la longueur est beaucoup plus grande que celle de l'épaisseur.*

Figure n°09 : Le corps diffusif au microscope électronique [42].

Alors qu'on peut mesurer par mètre la valeur de r_a , celle de r_d ne peut qu'être estimée par des mesures d'exposition. En effet, afin de n'agrandir pas trop *radiello* et de respecter en plein la loi de la diffusion, le barrage diffusif a été projeté sous forme d'un tube dont la paroi est épaisse et micro-poreuse: la longueur réelle du parcours diffusif n'est pas la différence entre les rayons extérieurs des tubes diffusif et adsorbant mais est beaucoup plus longue à cause de la tortuosité du parcours entre les pores. Un cylindre diffusif de 8 mm de rayon extérieur, 1,7 mm d'épaisseur et 25 μm de porosité, couplé avec une cartouche adsorbante de 2,9 mm de rayon, ne forme pas un parcours diffusant de $8-2,9=5,1$ mm mais bien de 18 mm [42].

IV.4.2 Avantages de la symétrie radiale :

Le débit de piégeage devient:

- **élevé**, parce qu'il ne change pas de manière linéaire avec le rapport surface/ longueur du parcours diffusif mais exponentielle ([IV. 7]). Le débit de piégeage est du moins trois fois plus élevé que celui de tous les échantillonneurs axiaux de même grandeur.

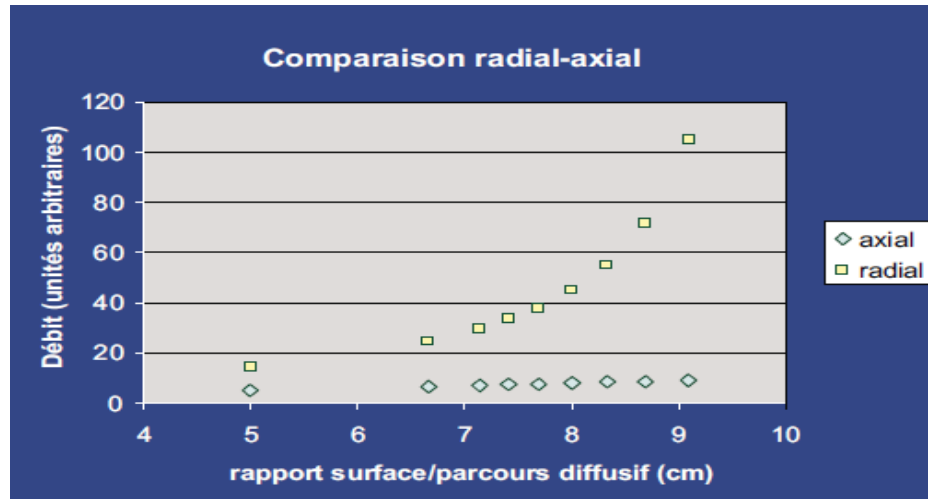


Figure n°10 : Comparaison de débit d'échantillonneur radial et axial [42].

- **constant** : dû de la grande capacité adsorbante de la cartouche;
- **bien reproductible** grâce à la rigidité du tube diffusif et de la cartouche
- **non affecté par la vitesse de l'air** : grâce à la tortuosité du parcours dans l'épaisseur de la paroi micro-poreuse du cylindre diffusif;
- **connu avec beaucoup de précision** : car il n'est pas calculé mais bien mesuré dans la chambre atmosphère contrôlée dans une vaste gamme de concentration, température, humidité, vitesse de l'air, présence d'interférents....

III.4.2.2. Avantages et inconvénients d'échantillonnage par les tubes passif :

✓ **Avantage** [43] :

- l'échantillonneur diffusif n'oblige pas à employer de pompes lourdes et encombrantes.
- n'a pas de limites dues de besoins énergétiques.
- ne demande pas de surveillance.
- ne fait pas de bruit, ne craint pas de milieux inflammables ou explosibles.
- tout le monde sait l'employer et partout.

- préparation, mise en œuvre et analyse faciles.
- aucun étalonnage sur le terrain.
- possibilité d'utilisation d'échantillonneurs en grand nombre.
- possibilité de réutilisation.
- ça ne coûte presque rien.

✓ **Inconvénient** [39] :

- Ne fournit pas de donnée en temps réel.
- une représentativité temporelle limitée à environ deux semaines, sans de prise en compte des fluctuations rapides des taux de NO₂ lors de l'exposition des tubes.
- des incertitudes supérieures à celles des analyseurs automatiques.

III.4.3. méthodes de séparation et d'analyse de dioxyde d'azote :

Deux méthodes d'analyse des tubes sont proposées, l'une par colorimétrie en utilisant un spectromètre et l'autre par chromatographie ionique [44].

a) Méthode spectrométrique :

La spectrophotométrie UV/Visible repose sur l'interaction du rayonnement électromagnétique et de la matière dans le domaine s'étendant du proche UV au très proche IR soit entre 180 et 1100 nm. Cette partie du spectre est relativement pauvre en informations sur la structure des composés moléculaires. En revanche, l'absorbance des composés dans le proche UV et le visible est exploitée en analyse quantitative par application de la loi de Beer-Lambert.

La méthode s'applique non seulement aux composés qui présentent une absorption dans le visible mais également aux composés dont un dérivé obtenu par une réaction chimique présente une telle absorption.

L'absorption dans le domaine UV / visible est due au passage d'un niveau électronique à un autre d'énergie supérieure avec changement des niveaux de vibration et de rotation ; au cours de ce processus, un électron passe d'une orbitale moléculaire à une autre d'énergie supérieure [45].

b) Méthode chromatographique :

La chromatographie ionique est une méthode spécifique des ions en présence contrairement à la méthode colorimétrique qui détermine l'absorbance d'une solution colorée.

C'est une technique séparative et d'analyse d'espèces ioniques inorganiques ou organiques dans des mélanges complexes en solution.

Il est fondé sur les propriétés des résines échangeuses d'ions qui permettent une fixation sélective des anions ou des cations présents dans une solution.

Sur la résine échangeuse d'ions conditionnée sous forme d'une colonne chromatographique, circule en permanence un éluant. Une très faible quantité de la solution à analyser (25 à 50 µL) est injectée et les ions sont fixés sélectivement sur la colonne chromatographique. L'éluant circulant en permanence sur la colonne, les ions sont ensuite progressivement « décrochés » en fonction de leur taille, leur charge et leur degré d'hydratation. Chaque espèce ionique est ainsi séparée et détectée par conductimétrie et/ou par mesure d'absorbance à la sortie de la colonne. La concentration de l'espèce ionique dans la solution est directement proportionnelle à la conductivité ou à l'absorbance [46].

CHAPITRE IV
METHODOLOGIE

IV. METHODOLOGIE :

Ce chapitre est consacré à la description de la méthodologie de travail adopté pour l'évaluation de la pollution par le NO₂ à Alger Centre et sa banlieue.

IV.1 Choix des sites et recommandations de placement des tubes :

Les critères fondamentaux de placement des tubes à diffusion pour les campagnes de mesure (NO₂) sont les suivants [28] :

- absence d'émissions industrielles proches.
- pour l'évaluation des échanges avec les zones périphériques, des tubes sont placés en bordure d'agglomération.
- direction du vent : échantillonneurs placés sous le vent de l'agglomération.
- répartition de la population : couverture de la zone urbaine, centre ville et quartiers résidentiels, à l'exception des axes de circulation.
- accès et sécurité : facilité d'accès et site peu exposé au vandalisme.
- aucun obstacle à une bonne homogénéisation de l'air.

IV.2 Types de sites :

Dans le but d'évaluer le niveau de pollution par le NO₂ au niveau du grand Alger et afin d'approcher de manière significative les niveaux d'exposition des citoyens au polluant suscités, nous avons sélectionné sept (07) sites de prélèvement d'air (S1, S2, S3, S4, S5, S6 et S7), qui tiennent compte aussi bien de l'intensité des émissions en polluants et de leur transport que de leur impact sanitaire.

➤ *les sites de fond* : placés en zone urbaine non influencée ou périurbaine en zone habitée. Ces sites permettent d'évaluer le risque « le plus fréquent » auquel est soumise la population. Ils sont situés à une distance supérieure à 50 m des sources de NO_x comme par exemple le fort trafic routier. En effet, le NO₂ issu des émissions d'origine automobile diminue sensiblement à partir du lieu de son émission (rue à grand trafic), jusqu'au lieu (50 à 100 m) où les processus de sa disparition (dispersion, absorption, réaction chimique...) équilibrent ceux de sa formation. Ce sont les sites pour lesquels les variations de concentrations en NO₂ avec la distance sont faibles [47]. Les sites de fond

sont utilisés pour réaliser une cartographie de la pollution. Pour ce type de sites nous avons choisis quatre (4) sites :

S1 : la cité universitaire de Bab Ezzouar 3 (cub3) : En ce campus située dans la banlieue Est d'Alger, le poste de prélèvement est implanté au niveau de la maison de jeunes à 3 m du sol et loin du trafic routier ou toute sorte de circulation dense ou gênante (Figure n°11).



Figure n°11 : Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S1.

S2 : Situé dans la banlieue Est d'Alger, implanté au niveau de l'Ecole National Polytechnique à Hassen Badi à El Harrach. Le poste de prélèvement se trouve à 2,5 m du sol et au moins à 50M des grands axes routiers (Figure n°12).



Figure n°12 : Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S2.

S3: implanté au niveau d'une maison, située dans la banlieue Est d'Alger, au niveau de la cité Jaafri dans la commune de Réghaia à environ 30Km du centre ville d'Alger. Le poste de prélèvement est implanté à une altitude de 4 m.

S4: Le poste de mesure se trouve au 06 rue Moussa Elmahdaouin à Bologhine sur le côté ouest d'Alger. En ce site, le tube de prélèvement est fixé à environ 3 m de haut est loin du trafic routier d'environ 150 m.

➤ **les sites de proximité :** ils sont influencés par les sources locales de proximité comme les routes à fort trafic (site « station trafic »), les sources fixes importantes (site industriel). Ces sites permettent d'évaluer le risque maximal auquel est soumise la population [47].

Pour ce type de sites nous avons choisis deux 2 sites :

S5: 51 Rue Didouche Mourad-Alger Centre

Le poste de prélèvement est à environ 4 m de haut et est distant d'environ 2 m de la voie de circulation automobile qui fait l'objet d'un trafic intense avec encombrement surtout à certaines heures de pointe (Figure n°13).



Figure n°13 : Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S5.

S6: Située au vieux-kouba dans le centre d'Alger, au niveau de l'institut national de technologie des travaux publics et bâtiment (INTTPB). Ce site est fortement influencé par les émissions de la bretelle allant de Hussein Dey vers la rocade sud (rocade Dar El Beida – Ben Aknoun)

Le poste de prélèvement se trouve à 2,5 m est distant d'environ 5m de la voie de circulation automobile (Figure n°14).



Figure n°14 : Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S6.

➤ *site semi urbain* : Ce genre de site est à choisir en dehors ou à la limite de l'agglomération, on l'appelle aussi site péri-urbain. Il doit être représentatif de la banlieue qui est moins polluée mais qui est susceptible de recevoir les polluants par transport du panache urbain en dehors de la ville. Le site semi-urbain sert en général à suivre la pollution photochimique dont le NO₂ en est un des constituants.

S7 : école nationale de protection civile à Bordj El Bahri ; située dans la banlieue Est d'Alger.

Le poste de prélèvement se trouve à 4m de haut.



Figure n°15 : Photo illustrant le Poste de prélèvement du site S7.

Nous illustrons en (Figure n 14) la localisation des sites de mesure sur la carte d'Alger.

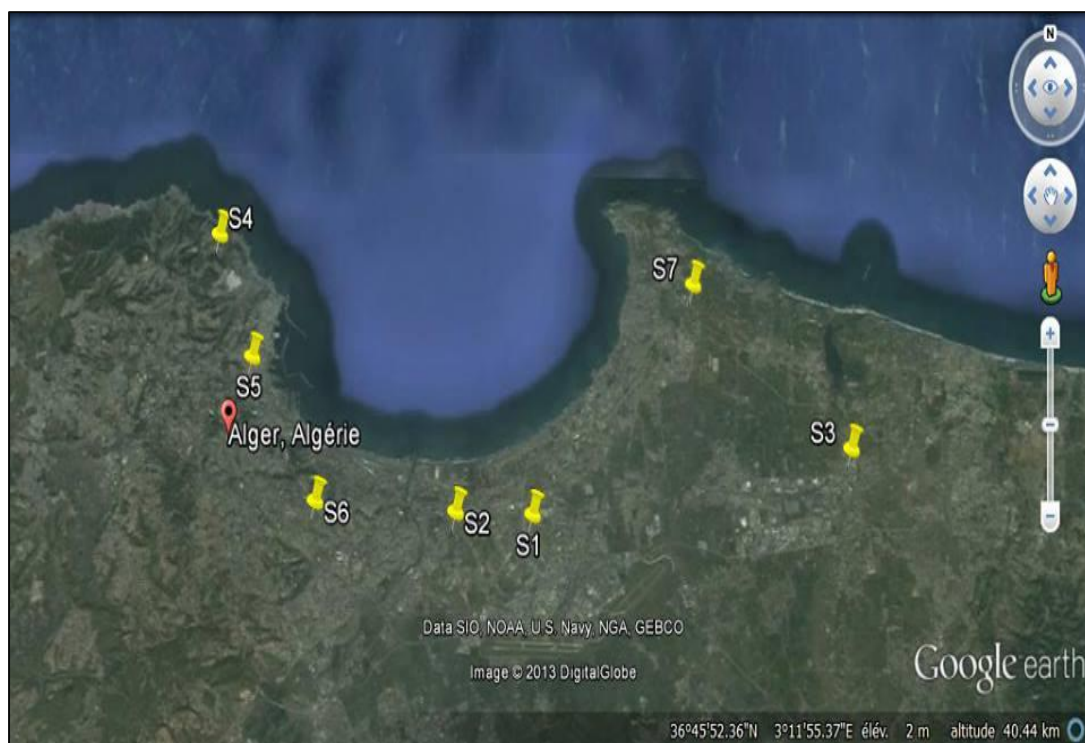


Figure n°16: Localisation des différents sites de prélèvement de NO_2 à Alger.

IV.3 Prélèvement de dioxyde d'azote :

IV.3.1 Echantillonnage de NO_2 « tube RADIELLO » :

IV.3.1.1 Les composants de *radiello* :

Les composants fondamentaux de *radiello* sont la cartouche adsorbante, le corps diffusif, la plaque de support et l'étiquette adhésive code barres. Tous les composants, sauf la cartouche s'il n'est pas déclaré le contraire, sont réutilisables des dizaines de fois.

a) La cartouche adsorbante :

Avec une longueur de 60 mm pour toutes et un diamètre de 4,8 mm.



Figure n°17 : cartouche absorbante.

- Code 166 (Dioxyde d'azote - NO₂)

b) Le corps diffusif :

Le corps diffusif disponible pour le NO₂ est de 16 mm de diamètre et 60 mm de hauteur.

Le **corps bleu, code 120-1**, est utilisé pour le NO₂ en polyéthylène microporeux est d'emploi général; l'épaisseur de sa paroi est de 1,7 mm et la porosité de 25±5 µm. La longueur du parcours diffusif est de 18 mm. Il est opaque à la lumière: il est employé pour piéger les composés photosensibles.



Figure n°18: Corps diffusif Radiello code 120-1

c) La plaque de support :

La plaque de support, **code 121**, est en polycarbonate et marche soit à bouchon soit à soutien du corps diffusif. Elle a un filet qui sert à y visser le corps diffusif, un clip pour son accrochage et une poche adhésive transparente à y introduire l'étiquette code barres. Il faut assembler les trois parties avant de l'employer.

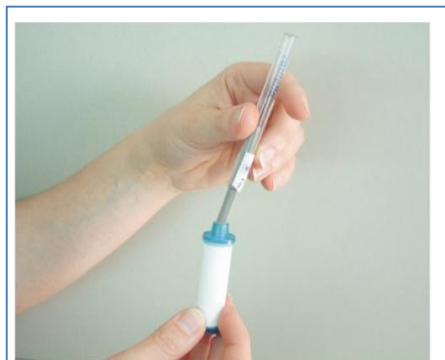


Figure n°19 : La plaque de support.

IV.3.2 Préparation du tube passif et déroulement de l'échantillonnage:**IV.3.2.1 Préparation du tube passif :**

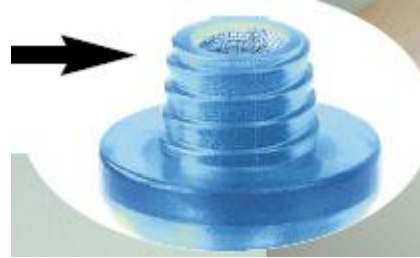
Avant de lancer la campagne de prélèvement, il faut assembler correctement les différentes parties du tube passif. A cet effet, on suit les étapes suivantes :

1- Introduire la cartouche dans le corps diffusif.



(1)

La base du corps diffusif est munie d'un siège à centrer la cartouche. Une cartouche dans son siège ne se penche pas du tout du corps.



2- On visse le corps diffusif à la plaque de support.



(2)

3- On la date et l'heure sur l'étiquette, puis on expose le tube *radiello*.

L'échantillonnage peut alors démarrer.



(3)

4- A la fin de l'exposition, on note la date et l'heure et on récupère la cartouche dans son tube.



(4)

Pour la réutilisation des corps diffusifs dans la deuxième campagne de mesure un entretien spécifique a été effectué. Ces derniers ont été plongés et lavés avec de l'eau et du détergent vaisselle ou du savon de Marseille pendant 20 minutes. Une fois le nettoyage est terminé. Les corps diffusifs ont été rincés par de l'eau courant et après par de l'eau distillée et enfin séché à l'air ambiant.

IV.3.2.2 Exposition et campagnes de mesure :

Aux sites décrits précédemment, nous avons réalisé deux campagnes d'échantillonnage d'une durée d'une semaine chacune :

- **Campagne n° 1 : 20/05/2013 au 27/05/2013**
- **Campagne n° 2 : 02/06/2013 au 09/06/2013**

IV.3.2.3 Analyse des échantillons :

Pour la récupération du NO₂ piégés par les cartouches adsorbantes, nous avons effectué une extraction par l'eau distillée. Les désorbats seront analysés par spectrométrie UV-visible à 537nm.

a) Dosage des nitrites :**Réactifs utilisés :**

- sulfanylamyde de marque PURISS.P.A
- *NEDA*: N-(1-naftyl) ethylendiammine dichlorhydrate de marque Biochem.
- nitrite de sodium(NaNO_2)

Préparation des réactifs :

- dissoudre 10 g de sulfanilamyde en 100 ml de HCl concentré et diluer-la à 1000 ml avec eau
- dissoudre 250 mg de N-(1-naftyl) ethylendiammine dichlorhydrate en 250 ml d'eau (rejeter-la si sombre).
- préparer une solutions de nitrite de sodium à concentrations comprises entre 0,1 et 15 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
- Mettre les réactifs dans des flacons bruns et les conserver à 4°C à l'abri de la lumière.

Courbe d'étalonnage :

On prélève 0,5 ml de la solution de nitrite de sodium qu'on introduit les dans un éprouvette de 10 ml en plastique ou en verre avec bouchon en y versant 5 ml de reactif sulfanilamyde.

Après agitation et repos de 5 minutes, on y ajoute 1 ml de reactif *NEDA*, on agite de nouveau et laisse au repos pendant 10 minutes

On mesure alors la densité optique par comparaison à l'eau à 537nm sur un appareil UV-visible de type SHIMADZU mini 1240 (SHIMADZU) PC.

Les résultats sont consignés dans le tableau n°06 et illustré en figure n°20.

Tableau n°06 : Courbe d'étalonnage des nitrites.

C ($\mu\text{g/ml}$)	0,1	0,5	2	5	10	15
DO	0,04	0,05	0,126	0,334	0,55	1,182

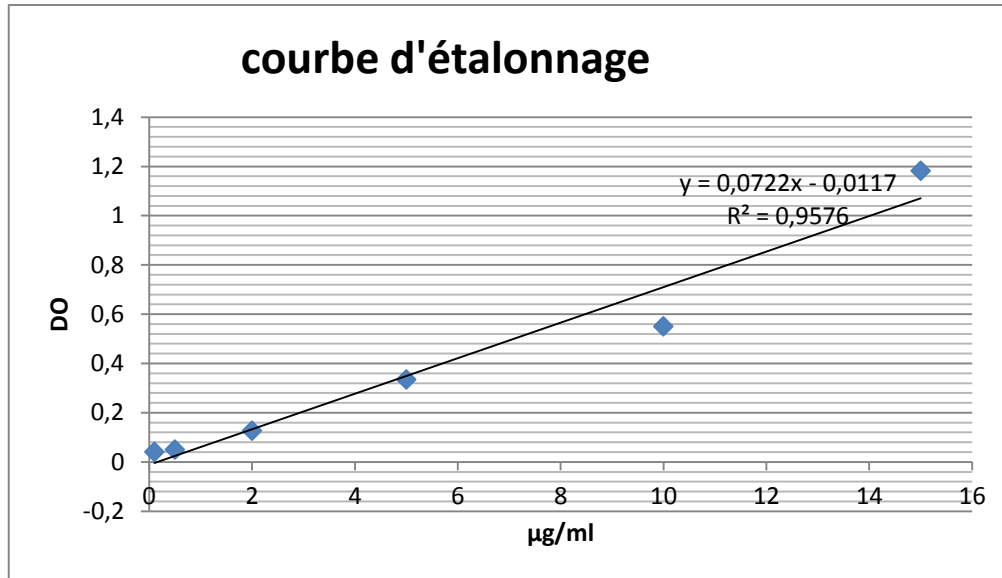


Figure n° 20: Courbe d'étalonnage des nitrites, $DO = f(C)$.

b) Analyse des échantillons :

L'analyse des échantillons a été faite comme suit :

On verse 5 ml d'eau dans l'éprouvette avec la cartouche adsorbante, on agite pour deux minutes.

Puis nous avons suivie les mêmes étapes que celle utilisés pour la courbe d'étalonnage en prélevons 0,5 de la solution d'extraction.

c) Calcul des teneurs atmosphériques :

Le débit de piégeage Q298 à 298 K (25°C) et 1013 hPa est 0,141ng·ppb-1·min-1.

La concentration CNO2 en ppb est calculée par:

$$C_{NO2} = \frac{m_{NO2}}{Q \cdot t}$$

Où mNO2 est la masse de nitrite en ng repérée dans la cartouche.

t est le temps d'exposition en minutes.

Q est la valeur du débit d'échantillonnage.

Les teneurs obtenues en ppb peuvent être transformé en µg/m3

CHAPITRE V
RESULTATS ET DISCUSSIONS

V- RESULTATS ET DISCUSSION

V.1. Evolution des teneurs atmosphériques en NO₂ au niveau de l'agglomération d'Alger :

Pour chacun des sept sites étudiés, nous avons effectués deux campagnes de prélèvement. Nous résumons en tableau n°07 quelques informations relatives à ces campagnes de mesure.

Tableau n°07 : Données relatives aux campagnes de mesure.

Site	Localisation	Type de site	Campagne de mesure N°1	Météo	Campagne de mesure N°2	Météo
S1	Campus CUB3 à Bab Ezzouar	Urbain (Ventilation naturelle moyenne)		-		
S2	ENP à Hassen Badi, El Harrach	Urbain (bonne ventilation naturelle)		Températures douces de 20 à 25 °C pendant la journée		Température modérée
S3	Cité Jaafri à Réghaia	Urbain (Ventilation naturelle moyenne)		-Temps très pluvieux, surtout pendant les deux premiers jours		- Vents faibles
S4	06rue Moussa Elmahdaoui à Bologhine	Urbain (Très bonne ventilation naturelle)	Du 20 au 27 Mai 2013		Du 2 au 9 Juin 2013	22 à 26 °C -Pas de précipitations
S5	51 rue Didouche Mourad à Alger centre	Station trafic (Rue de type canyon)		-Vents faibles à forts (inférieur à 4 m/s)		- Vent faible
S6	INTTPB à Kouba	Station trafic (ventilation naturelle moyenne)				
S7	ENPC à Bordj El-Bahri	Semi-urbain (Bonne ventilation naturelle)				

L'analyse des échantillons prélevés nous a permis de quantifier la pollution de l'air par le NO₂ dans l'air ambiant en ces différents sites de l'agglomération d'Alger. Les résultats obtenus sont résumés en tableau N° 8.

Tableau n°08 : teneurs atmosphériques de NO₂ (ppb).

Site	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
NO₂ (ppb) :							
Campagne n°1	9,19	13,19	2,03	4,71	27,75	26,73	8,17
Campagne n°2	14,06	16,35	8,85	8,02	37,45	40,03	7,78

L'étude quantitative montre que pour les 7 sites étudiés, les teneurs atmosphériques qui s'étalent de 2 à 40 ppb, varient d'un site à un autre et pour le même site d'une semaine à une autre. Cette variation spatiotemporelle est due certainement à l'influence des facteurs météorologiques et à aux variations dans l'intensité des émissions issues des activités humaines (trafic routier et autres sources émettrices). Ce type d'évolution est caractéristique de la pollution de l'air qui dépend de facteurs naturels aléatoires, difficilement prévisibles et sur lesquels l'homme ne peut avoir aucune influence.

Les figures n° 22 et n°23 illustrent les variations des teneurs atmosphériques en NO₂ dans les différents sites étudiés et ce pour chaque campagne d'échantillonnage. La figure 23 illustre les moyennes des teneurs observées sur les deux campagnes de mesure.

Afin de discuter la variation temporelle des teneurs mesurées, il est intéressant de voir quel est l'impact des facteurs météorologiques.

❖ **Analyse synoptique de la météo du mois de mai 2013 [48] :**

Le mois de mai 2013 a été particulièrement instable et pluvieux sur la majeure partie des régions nord suite au passage d'une succession de limites frontales parfois très intenses ayant entraîné localement des intempéries et même des pertes en vies humaines.

Mai c'est surtout durant la dernière décade (période du 21 au 31/05/13) qui a coïncidé avec notre première campagne d'échantillonnage) que l'activité pluvio-orageuse a été la plus intense, en liaison avec le développement à partir du 20, d'un système pluvio-

orageux sur les régions de l'Ouest et qui s'est intensifié durant les journées du 21 et 22 sur les régions du Centre et de l'Est provoquant des pluies diluviennes et de fortes intempéries (195 mm à Alger, 101 mm à Jijel, 62 mm à Médéa, etc.). Un second système pluvio-orageux, moins intense, s'est développé également à la fin de la décade. Ce 2^{ème} épisode pluvieux de moindre intensité s'est développé à partir du 26 sur le nord du pays notamment le Centre et l'Est ou on a enregistré en 24 heures 18 mm à Dar El Beida.

Selon la presse, les intempéries du (21 au 22) ont fait 2 morts à Alger et Tizi Ouzou, plusieurs blessés et d'importants dégâts matériels dans plusieurs wilayas.

A signaler que le mois de mai 2012 avait été très sec comparativement à mai 2013. Ainsi, à titre indicatif, on avait cumulé en mai 2012, 0 mm à Alger, 4mm à Jijel, 26mm à Médéa et 9mm à Tlemcen alors qu'en 2013 on a pu cumuler plus de 200 mm à Alger.

Le début de juin 2013 a été par contre ensoleillé et n'a pas connu d'épisode pluvieux. Cette situation exceptionnelle s'est répercutée sur les teneurs en NO₂ mesurées en mai. En effet, l'évolution temporelle montre que c'est durant la période pluvieuse qu'on enregistre les teneurs les plus faibles. Le lavage par les pluies a diminué le taux de pollution de plus de la moitié. Ceci est dû au fait que le NO₂ se dissout bien et participe à l'acidité des pluies.

Cette influence de la pluviométrie n'apparaît toutefois pas dans le cas du site semi-urbain de la protection civile. Nous pensons que le site de la protection civile était en alerte en raison du bulletin spéciale de la météo. Ce centre a dû connaître une grande effervescence et a procédé à un grand nombre d'interventions. Les déplacements à l'intérieur du centre des véhicules d'intervention ont certainement été à l'origine d'une plus forte pollution qu'en période normale de façon que globalement, on observe en ce site le même taux de pollution pour les deux campagnes de mesure.

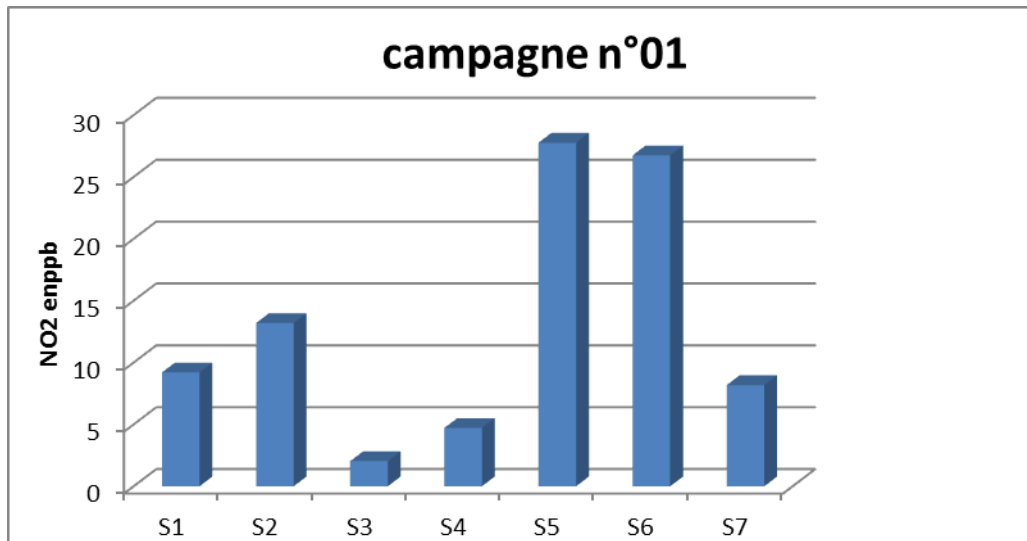


Figure n°21 : Variation des teneurs atmosphériques en NO₂ (Campagne n°1).

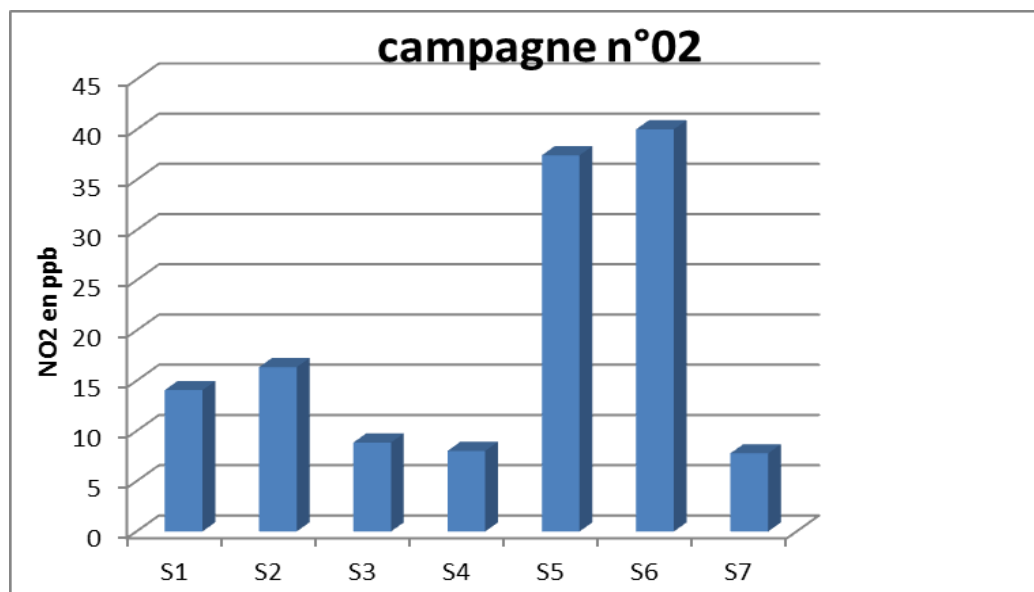


Figure n° 22 : Variation des teneurs atmosphériques en NO₂ (Campagne n°2)

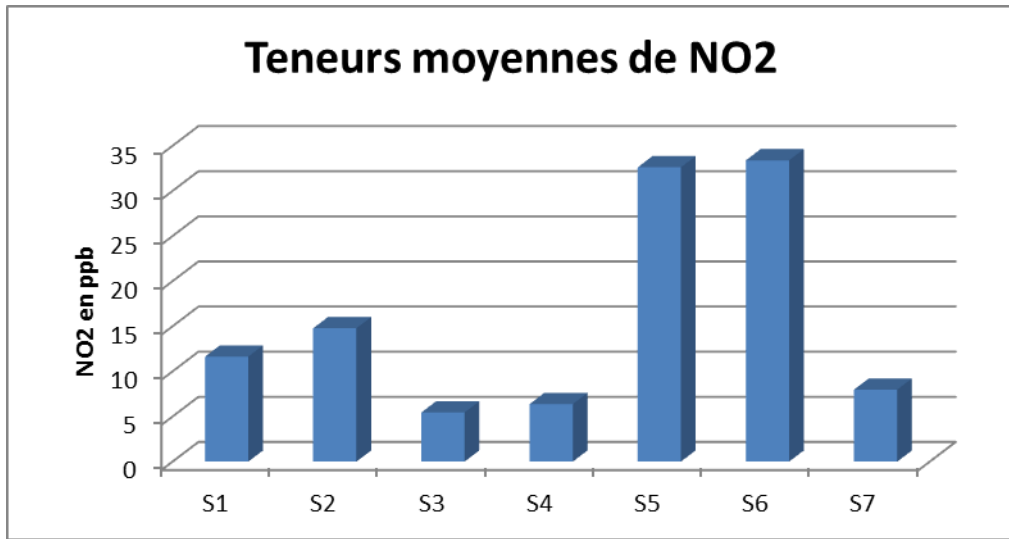


Figure n° 23 : Moyenne des teneurs atmosphériques en NO₂ pour les deux campagnes de mesure.

V.2. Niveaux de pollution :

L'avantage de l'échantillonnage passif est qu'il permet un suivi simultané sur plusieurs sites et qu'on peut de ce fait, pour une situation météorologique donnée, faire une comparaison intersites et de préférence une évaluation et comparaison pour une même typologie de sites.

V.2.1. Sites de type « station trafic » :

Nous illustrons en figure 24 les teneurs moyennes enregistrées aux deux sites de type station trafic qui sont la principale rue commerçante d'Alger, la rue Didouche Mourad (S5), et la pénétrante des Annassers (S6)

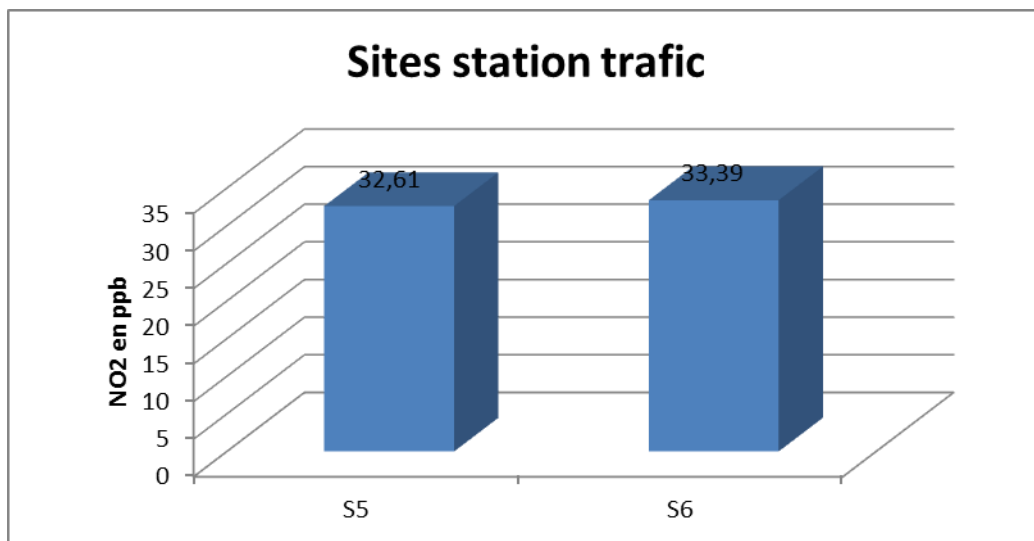


Figure n°24 : teneur de NO₂ dans les sites de type « station trafic ».

Parmi les sites étudiés, ces deux sites accusent les teneurs les plus élevés, on y mesure approximativement 33 ppb. Bien que présentant des configurations différentes, on y mesure des taux de pollution similaires.

Dans le cas de la rue Didouche Mourad (S5), ces fortes teneurs sont dues d’une part, à l’intensité du trafic et d’autre part, au phénomène d’accumulation des polluants. En effet, la configuration de la rue où circulent les voitures est défavorable à la dispersion des polluants émis : la rue est bordée de part et d’autre de la chaussée de bâtiments ; ces derniers sont plus hauts (5 à 6 étages en moyenne), ce qui empêche une bonne aération et donc une bonne dispersion des polluants par le vent : c’est l’effet canyon.

Au niveau du Site S6, nous retrouvons également l’influence de l’exposition directe aux émissions du trafic routier, mais aussi l’impact de la topographie. La pénétrante des Annassers est à 4 voies qui deviennent parfois 6 lors des heures de pointe et le trafic routier est bien plus intense qu’au site S5.

On note par ailleurs que la topographie du site n’est pas très favorable à la dispersion des polluants. On a certes la brise de mer, mais l’INTPP où est implanté le poste de mesure se trouve dans une zone qui est encaissée dans une vallée. Il en résulte qu’on a là aussi une certaine accumulation des polluants.

V.2.2. Les sites urbains de fond :

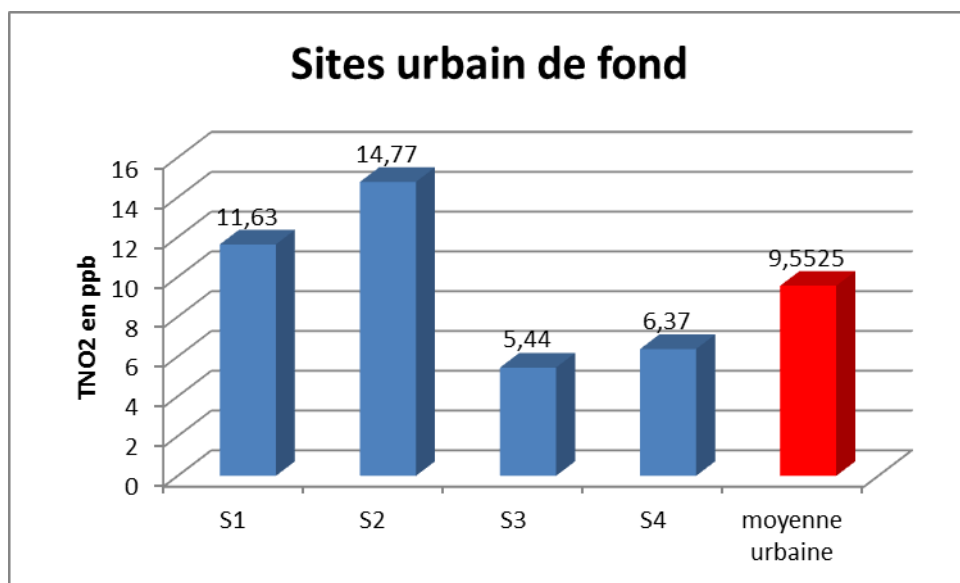


Figure n°25: teneurs atmosphériques moyennes en NO₂ au niveau des sites urbains de fond.

Dans le cas des sites urbains, on constate d'abord qu'on s'éloignant des axes routiers le taux de pollution est divisé par un facteur de 3 voir 4. A Bab-Ezzouar par exemple, la moyenne en NO₂ ne s'élève qu'au tiers de celle mesurée en site de type station trafic S5 ou S6.

On relève par ailleurs que Bab-Ezzouar et Hassen-Badi, où le taux de pollution est du même ordre de grandeur, semblent être représentatifs de toute la nouvelle extension de la ville d'Alger en direction de l'est (quartiers Bananiers, 5 juillet, Sorecal, etc.). Ces quartiers ont en commun :

- Ils sont tous plus ou moins exposés aux émissions de la RN5 et de l'autoroute
- Ils subissent une bonne ventilation naturelle par la brise de mer
- La population résidente est de classe moyenne et présente donc un taux de motorisation élevé
- Répartition uniforme dans les habitats
- Forte densité de population estudiantine ce qui se traduit par un transport en bus plus accentué qu'ailleurs.

Tous ces facteurs expliquent cette similitude dans le taux de pollution observée.

Dans le cas du site de Bologhine (S4), les faibles teneurs mesurées s'expliquent par le fait que la zone est isolée de l'agglomération urbaine par les collines avoisinantes et que le site est constamment balayé par les vents de la mer. Ces facteurs conjugués au faible trafic routier font qu'on enregistre des niveaux de pollution relativement faibles.

Au site S3 à Réghaia, on enregistre les plus faibles teneurs (5,44 ppb). Il n'y a pas de sources notables de NO₂ dans le voisinage et le trafic routier le plus proche se réduit à celui des locataires. Comme, le site ne se trouve pas sous le vent de la zone industrielle, le taux de pollution n'atteint pas des niveaux élevés. Ce site aurait pu être classé comme étant un site péri-urbain.

V.2.3.Site semi urbain :

Le site S7 de Bordj El-Bahri se trouve dans une zone à faible densité de population. En face de l'Ecole des pompiers, une vaste étendue est occupée par l'Ecole polytechnique Militaire et derrière, on a de vastes terrains agricoles. En ce site, comparé à Réghaia ou Bologhine, on s'attendait à mesurer les teneurs les plus faibles de l'étude. Le taux de 8 ppb qu'on y mesure ne peut être expliqué que par le transport des polluants de la ville de Bordj-el-Bahri qui comme son nom l'indique subit une ventilation naturelle

exceptionnelle due à sa position en bout de la baie d'Alger. La ville de Bordj-El-Bahri a connu ces dernières années une forte expansion et est devenu un grand carrefour pour les déplacements vers Alger-Plage et plus à l'Est vers Ain-Taya. Le site de mesure qui se trouve sous le vent de cette petite agglomération, reçoit alors la pollution de la ville.

V.3.Comparaison des résultats aux normes :

Il convient de rappeler ici que les capteurs ont été installés sur une période d'une semaine et par conséquent, les niveaux enregistrés ne sont pas représentatifs de la moyenne journalière. Les comparaisons entre les présents résultats et la valeur limite journalière ne sont effectuées qu'à titre indicatif.

Nous présentons en figure n°25 une comparaison des teneurs moyennes mesurées aux différents sites par rapport à, la norme de l'OMS.

Pour cette comparaison, l'unité en ppb des teneurs moyennes a été transformée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

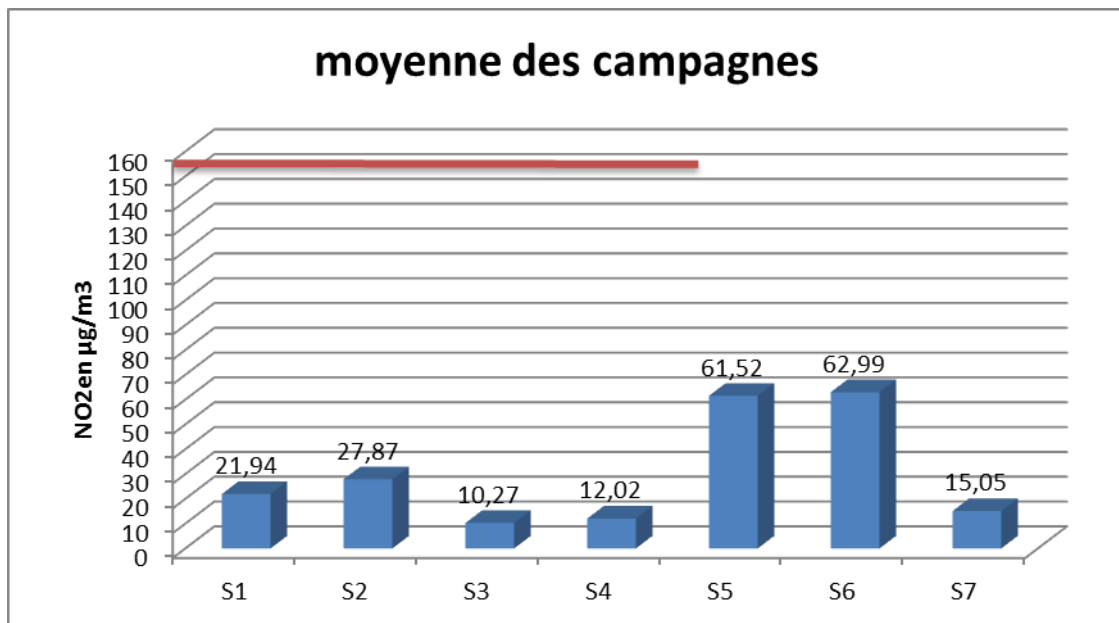


Figure n°26 : Comparaison avec la norme OMS des teneurs de NO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

On constate qu'aucun site n'a dépassé la limite journalière malgré les fortes teneurs en NO₂ trouvés dans les sites de proximité telle que la valeur maximale du site S6 qui est de 75,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Globalement, on peut dire qu'à Alger et durant la période étudiée, la pollution par le NO₂ reste à un niveau acceptable.

Il faut toute fois signaler que les teneurs observées ne correspondent pas à une période d'intense activité photochimique. En période où on a les conditions de formation de la pollution photochimique, les teneurs en NO₂ augmentent considérablement surtout en milieu urbain et semi urbain.

V.4.Comparaison des teneurs avec d'autres résultats :

V.4.1.Comparaison avec des données de la localité d'Alger :

Des mesures de NO₂ ont été faites par le réseau de la surveillance de la qualité de l'air à Alger (SAMASAFIA) dans les années 2002, 2003,2004 et 2006 au niveau de quatre sites : Ben Aknoun, Bab Elouad, 1^{er} mai et Hama

Les données de Samasafia sont données en moyenne mensuelle, durant la période des mois de mai et juin, alors la comparaison est faite à titre indicatif (Tabl. 10)

Tableau n°09 : Teneurs en NO₂ en µg/m³ mesurées par le réseau Samasafia [49].

	2002	2003	2004	2006
Ben Aknoun	39	50	29	52
1^{er} mai	37	20	49	60
Bab Elouad	40	07	32	18
Hama	42	06	-	-
Moyenne	39,5	20,75	36,66	43,33

Parmi les sites de Samasafia, on peut considérer les postes de 1^{er} Mai et de Ben-Aknoun comme étant plus des sites « station trafic » que sites urbains. La comparaison de ces deux sites avec nos mesures montrent qu'on a une tendance vers l'accentuation de la pollution par le NO₂. En 2006 Samasafia mesurait 60 et 52 µg/m³ et nous mesurons actuellement plus de 70 µg/m³. Ce résultat reflète l'augmentation de nombre de véhicule qui circule en ville.

Pour les sites urbains, la comparaison est difficile à faire, vu les différences dans les sites étudiés.

V.4.2. Comparaison des teneurs mesures avec des résultats d'autres pays

Pour situer les niveaux de pollution mesurés à Alger par rapport à d'autres villes, nous avons comparés nos résultats avec ceux données en littérature.

Le (Tableau n°10) présente une comparaison des teneurs observées dans d'autres pays.

Tableau n°10: Teneurs de NO₂ mesurées dans certains pays.

Lieu	Moyenne concentration de NO ₂	de Reference
32 locations dans le monde entier	20,4-103,3 µg/m ³	[50]
Londere UK	33.6 pbb,	[50]
Toronto canada	25.2 pbb	[50]
Atlanta USA	45.9 pbb	[50]
7 cités en Australie et la nouvelle Zélande	7.0-11.7 pbb	[50]
7 communautés en japon	7.0-31.3 ppb	[50]
Pays-Bas	12-58 µg/m ³	[50]
Munich (Allemagne)	19-67 µg/m ³	[50]
Suède	6-46.7 µg/m ³	[50]
12 communautés en sud Californie USA	4-39 ppb	[50]
Bangkok	44 µg/m ³	[51]
Colombo	37 µg/m ³	[51]

Hongkong	50 µg/m ³	[51]
Jakarta	72 µg/m ³	[51]
Bombay	18 µg/m ³	[51]
New Delhi	33 µg/m ³	[51]
Seoul	68 µg/m ³	[51]
Shanghai	58 µg/m ³	[51]
Tokyo	55 µg/m ³	[51]
Singapour	27 µg/m ³	[51]
Paris- (de fond)	21 µg/m ³	[52]
(de proximité)	50 µg/m ³	

En analysant les données du tableau, on remarque ainsi, que les plus fortes teneurs en NO₂ dans l'air ambiant sont enregistrées au niveau d'agglomérations se trouvant dans des pays en voie de développement. Tandis que dans les pays développés tels USA, Paris ou Canada, de faibles teneurs en polluants sont observées.

Ceci est probablement dû au fait qu'en Europe et aux Etats Unis, la plupart des véhicules qui circulent sont équipés de catalyseurs qui réduisent considérablement les émissions polluantes.

CONCLUSION

CONCLUSION :

L'étude nous a permis d'effectuer une évaluation de la pollution de l'air ambiant par le NO₂ dans l'agglomération d'Alger.

Nous avons utilisée le prélèvement passif qui a montré une grande efficacité pour la mesure de NO₂ dans l'air ambiant.

L'utilisation de l'échantillonnage passif nous a permis de mener une étude simultanée sur sept sites : 4 sites urbains, 2 sites station trafic et un site semi-urbain.

Les résultats obtenus dans ce travail nous ont permis de constater que :

- Les teneurs de NO₂ dans l'air ambiant observées varient selon le type de site. On mesure des concentrations maximales en proximité des axes routiers dans les sites de proximité (61,52 µg/m³ au niveau de la rue Didouche Mourad et 63 µg/m³ au niveau de la pénétrante des Anassers), En s'éloignant du trafic routier, le taux de pollution diminue fortement. Au niveau des sites urbains de fond les teneurs sont 3 à 6 fois moins importantes
- le grand écart observé entre les deux campagnes de mesure est directement lié aux conditions météorologiques.

La comparaison intersites montre que le trafic routier est la principale source de pollution de l'air par le NO₂ à Alger.

- les teneurs relativement faibles enregistrées dans les sites de fond montrent que l'industrie n'a pas une grande influence dans la pollution par NO₂, alors on peut dire que si on contrôle les émissions issues du trafic routier on peut réduire la pollution dans la ville d'Alger.

Le parc automobile algérois ne cessant de croître, si rien n'est fait pour réduire les émissions de NO₂, on risque une grave détérioration de la qualité de l'air de la ville d'Alger dans les prochaines années, avec tout ce que cela impliquerait comme conséquences sur la santé publique.

Cette pollution de l'air due au trafic routier peut être réduite, pour cela il faudrait :

- Renouvellement du parc automobile.

-l'intégration du pot catalytique dans tous les véhicules ; un véhicule équipé de catalyseur arrive à réduire la pollution de plus de 95 %.

-L'utilisation des énergies propre comme le gaz naturel carburant (GNC) et le gaz de pétrole liquéfié(GPL) comme carburant.

-Améliorer la fluidité de la circulation.

-Améliorer le transport public pour réduire les déplacements individuels motorisés.

Enfin, il faudrait élargir cette étude à un plus grand nombre de sites et un suivi sur une plus longue période afin d'élaborer une cartographie de la pollution et d'appréhender également les épisodes photochimiques qui on lieu le plus souvent en été.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Martin JUNIER ; Etude de la pollution photochimique sur le Plateau suisse à l'aide d'un modèle eulérien tridimensionnel. Travail pratique de diplôme, école polytechnique fédérale de Lausanne, 1998.
- [2] Dioxyde d'azote- tetraoxyde d'azote .Fiche de données de sécurité.Air Liquide Industrials et services, Paris la défense, 2004.
- [3] BELHOUT Dalila, *évaluation de la pollution atmosphérique : étude des particules fines en site urbain à Alger*. Mémoire magister, ENP, 2011.
- [4] BENDADA Mehdi, Contribution à l'étude des émissions issues des véhicules légers roulant au biocarburant. Mémoire magister, ENP, 2011.
- [5] Pierre MASCLET, Pollution atmosphérique: Causes, conséquences, solutions, perspectives. Ellipses, 2005.
- [6] Stern A.C, Air pollutants, their transformation and transport. Vol.1, academic press, London, 1976.
- [7] Stern A.C «Fundamentals of air pollution» Vol. VII, Academic press London, 1984
- [8] pollution atmosphérique. *www.actu-environnement.com*. [En ligne] http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/pollution_atmospherique.php4.
- [9] Festy. B, Coviaux. F, le Moulec. Y, Mouilleseaux. A « *Aperçu des différents aspects des Pollutions atmosphériques*» T.S.M l'eau. 6, 1988, pp. 330-335.
- [10] Bronwyn. L, Duffy and peter. F, Nelson «Non-rnetane exhaust composition in the Sydney Hrbour Tunel; a focus on benzene and l, 3-hutadienne» Atmos. Envir, 30(15), 1996, pp. 2753-2768.
- [11] KHATRAOUI Hichem, *Contribution à l'étude de la pollution de l'air par les composés aromatiques BTEX - Cartographie de la pollution à Alger - Mémoire de magister*, ENP, 2009.
- [12] <http://www.techno-science.net>
- [13] V. Buchard, P. Helfer, P. Mattle, C. Muller, Etude de la Pollution Atmosphérique Transfrontalière (EPAT), rapport de campagne d'étude, Lausanne, 2000
- [14] *CCI environnement et sécurité*. Basse Normandie : CCIR, Aout 2009.
- [15] DEGOBERT P., Automobile et pollution. Edition Technip, Paris, 1992.

- [16] BOUHILA KHODJA Zohra, *Contribution à l'étude de la pollution de l'air par les métaux lourds en utilisant la méthode d'Analyse par Activation Neutronique*, mémoire de magister, ENP, 2010.
- [17] kerbachi Rabah, cours pollution atmosphérique, 5eme année G.de l'environnement.
- [18] Education au développement durable, académie d'Amiene, <http://crdp.ac-amiens.fr>
- [19] Van den Bergh H., *Pollution atmosphérique I*, EPFL, Lausanne, 2001.
- [20] www.atmo-franche-comte.org
- [21] www.hec.fr/eurasia
- [22] Campagne de mesure du dioxyde d'azote par tubes à diffusion passive rue d'Antrain a Rennes, Airbreizh, avril 2004.
- [23] Martyna KUSKE, Jacques NICOLAS, *Les pollutions dans l'air à l'intérieur des bâtiments (Diagnostic Incidences sur la santé)*.
- [24] Office fédérale de l'environnement, des forêts et du paysage «L'ozone troposphérique»
Cahier de l'environnement, Berne, 1996.
- [25] Campagne inter régionale d'étude de l'ozone et du dioxyde d'azote sur le Nord de la France par tubes à diffusion passive, Rapport ATMO Picardie, Opal'Air, Arema Lille Métropole, Airnormand, Airparif, Aremartois, du 26/06/00 au 04/09/00.
- [26] Nicolet Mathieu, Morand Nicolas, Rochat David, Tscherner Thomas *Qualité de l'air : Etude Différentielle de deux Vallées Alpines*, Lausanne, novembre 2002.
- [27] L'air des 2 Savoie« Etude de la localisation des polluants photochimiques sur les agglomérations d'Annecy et Annemasse» rapport technique, Chambéry, 1997.
- [28] Etude de la distribution du dioxyde d'azote au moyen de tubes capteurs passifs sur l'agglomération de Nancy, Eté hiver 1996-97 – Rapport d'études Airlor/CUGN/Faculté de Pharmacie
- [29] Sandrine BOURDET, Serge RAPENNE *Etude de la distribution du dioxyde d'azote par la méthode des tubes passifs sur l'agglomération nancéienne Eté - Hiver 2002*
- [30] URSILA Akcermann- LIEBRICH and REGULLA Rapp, institute for social and preventive medicine; university of basal, basel switzerland, *epidemiological effects of oxides of Nitrogen, Especially NO2*, 1999.
- [31] www.airpl.org
- [32] www.emwelt.lu.

- [33] N.bonnard, M. brondeau, T. Clavel, D. Jargo, M. Falcy, O. Shneider fiche toxicologique ; Services techniques et médicaux de l'INRS, édition 2006.
- [34] <http://www.who.int>
- [35] Décret exécutif n° 06-02 du 7 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.
<http://www.mem-algeria.org>.
- [36] Berlin Environmental Atlas – 03.11 Traffic-Related Air Pollution – NO2 and PM10 (Edition 2008).
- [37] P.L. Kebabian, E.C. Wood, S.C. Herndon, and A. Freedman, Environ. Sci. Technol., 'A Practical Alternative to Chemiluminescence Detection of Nitrogen Dioxide: Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy', (2008).
- [38] Balin I, *Differential Optical Absorption Spectroscopy DOAS for Air Pollution Measurements*, Postgraduate Cycle in Environmentale Sciences, EPFL, Lausanne, 1999.
- [39] <http://www.skinc.com/skc>
<http://www.ineris.fr>
- [40] Luc Mosqueron, Vincent Nedelec (INVENTAIRE DES DONNÉES FRANCAISES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR A L'INTÉRIEUR DES BATIMENTS).décembre 2001
- [41] DRIF Seif Eddine, *étude de la pollution de l'air par les btex à Alger*. Mémoire de Magister, ENP, 2012.
- [42] Manual radiello FR (<http://www.radiello.com>)
- [43] Plan Régional pour la Qualité de l'Air Lorraine – août 2001
- [44] Segunda GARCIA-FOUQUÉ, Jean-Luc HOUDRET, Hervé PLAISANCE avec la collaboration technique de Stéphanee SAUVAGE et Benoît HERBIN (SYNTHÈSE DE L'EXPÉRIENCE ACQUISE PAR LES RÉSEAUX SUR L'ÉCHANTILLONNAGE PASSIF DU NO2). mai 2000.
- [45] F. Rouessac, A. Rouessac, D. Cruché ; Dunod Analyse Chimique, Méthodes et techniques instrumentales modernes, 6ème édition, Paris, 2004.
- [46] LOUIS Yoann et NOIRTIN iric, Travail d'Étude et de Recherche : Suivi géochimique du Gapeau, 2004.
- [47] Rapport technique sur la campagne de mesures réalisée sur l'agglomération mulhousienne– Rapport ASPA, 02031901-I-D, Du 06/02/01 au 20/03/01 et du 22/05/01 au 04/07/01.

[48] www.meteo.dz

[49] le réseau de la surveillance de la qualité de l'air à Alger (SAMASAFIA).

[50] Impact des technologies de post-traitement sur les émissions de NO₂ de véhicules diesel, et aspects sanitaires associés, afsset, 2009

[52] le rapport de responsabilité et de développement durable, document de référence, AIR LIQUIDE, 2012.

[51] Programme des nations unis pour l'environnement, GEO4, 2007.

ملخص :

دراسة التلوث الجوي بالـNO₂ بالعاصمة على مرحلتين سمحت لنا بتحليل وتحليل كمي للـNO₂ بعد التحليل لاحظنا أن معدل التركيز الأعلى للـNO₂ موجود في المناطق القريبة من حركة المرور ، وتنحصر بين 61,52 و 62,99 ميكرو غرام /م³ في المناطق الحضرية و الريفية التراكيز المسجلة تنحصر بين 10,26 و 27,87 ميكرو غرام /م³ وهي من 3 إلى 6 مرات أقل من تركيز المناطق القريبة من حركة المرور هذه الدراسة أظهرت لنا أن حركة المرور هي المصدر الرئيسي للـNO₂ نسبة هذا الأخير في هواء العاصمة زائدة خلال السنوات الأخير

كلمات مفتاحية :
تلوث الهواء , تركيز, حركة المرور, الجزائر العاصمة, NO₂

Résumé :

L'étude de la pollution atmosphérique par le NO₂ à Alger sur sept sites de types différents sur deux campagnes de mesure par la méthode d'échantillonnage passif, nous a permis de mesurer les teneurs en NO₂.

Nous avons constaté que la teneur la plus élevée de NO₂ trouvée au site de proximité, est qui est entre 61,52 et 62,99 µg/m³.

Aux sites de fond et semi urbain les teneurs enregistrées sont entre 10,26 et 27,87 µ/m³ ce qui est de 3 à 6 fois plus faible qu'aux sites de proximité.

L'étude a montré que le trafic routier est la source principale d'émission de NO₂, par ailleurs leur teneurs à Alger est considérée forte comparant aux résultats des dernières années.

Mots clés : pollution atmosphérique, NO₂, teneur, trafic routier, Alger.

Abstract:

The atmospheric pollution by NO₂ was assessed in seven sites of different types in Algiers. The passive sampling method was employed to measure the concentration of NO₂ within two experimental sampling campaigns.

The results show that the most high concentration of NO₂ was in the nearfield sites, with tenor between 61,52 and 62,99 µg/m³.

In the background urban sites the concentrations found are between 10,26 et 27,87 µ/m³, wich means they are 3 to 6 time higher comparing to nearfield sites.

This study highlights that urban road traffic is the main source of NO₂ emissions but also that these emissions highly increased during the last years.

Keyword: atmospheric pollution, NO₂, concentrations, road traffic, Algiers