

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la**  
**Recherche Scientifique**



**Ecole Nationale Polytechnique**

**Département de Génie de l'Environnement**

Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Environnement

**Mémoire de master**

**En génie de l'environnement**

**Thème :**

**Étude par Echantillonnage Passif de la Pollution de l'Air par l'Ozone**

**Réalisé par :**

HAMBLI Hamza

**Soutenu le 18/10/2015 devant le jury :**

**Promoteur:** R. KERBACHI, Professeur, ENP

**Co-promotrice :** N. OUCHER, Chargée de recherche, CDER, Alger

**Président:** A. CHERGUI, Professeur, ENP

**Examineur:** Y. KERCHICH, MCB, université, Médéa

**Promotion 2015**

:

هذه الدراسة تعطينا مستويات تلوث الهواء بـ  
وذلك باستخدام طريقة أخذ العينات السلبية  
8 24 7 أيام .

بعد تحليل العينات وجدنا أن تركيز الأوزون بلغ كحد أقصى 138,04 ميكرو غرام/ م<sup>3</sup> 8  
24 7 أيام فكانت علي التوالي 47,71 ميكرو غرام/ م<sup>3</sup> 48,39 ميكرو غرام/ م<sup>3</sup> .

تظهر الدراسة أيضا أن الحد الأقصى

الكلمات المفتاحية: العينات السلبية مدينة الجزائر.

## Résumé:

Ce travail porte sur l'étude des niveaux de pollution de l'air par l'ozone.

Les prélèvements effectués par la méthode d'échantillonnage passif ont été réalisés en Ecole National polytechnique d'Alger. L'échantillonnage a été réalisé simultanément sur des durées de 8heures, 24heures et 7jours.

Les résultats obtenus montrent que la concentration en ozone s'élève respectivement à 138,04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 47,71  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 48,39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les prélèvements sur 8heures, 24heures et 7jours. Les teneurs nocturnes de l'ozone sont en général faibles. L'étude montre également que durant la période étudiée, la norme donnant la concentration maximale d'ozone a été dépassée plusieurs fois.

**Mots clés:** Ozone, échantillonnage passifs, Pollution photochimique, Alger.

## Abstract:

This study gives us the air pollution levels of ozone. It was carried out in national polytechnic school site at Algiers using sampling method. Sampling was carried out simultaneously over a period of 8 hours, 24 hours and 7 days.

The results obtained show that the ozone concentration amounted respectively to 138,04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 47,71  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 48,39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for withdrawals in 8 hours, 24 hours and 7 days. Nighttime levels of ozone are generally low. The study also shows that the standard giving the maximum ozone concentration has been exceeded several times.

**Keywords:** Ozone, passive sampling, photochemical pollution, Algiers.

## **Remerciements**

*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 R. KERBACHI, pour ses conseils et orientations tout au long de ce travail.*

*Je tiens à remercier mon Co-promoteur Melle N. OUCHER, pour toute son aide dans ce travail.*

*Je remercie vivement Mr A. CHERQUI, professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, pour l'honneur qu'il me fait de présider ce 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 à remercier notre ingénieure de laboratoire Melle A. TOUAHRIA qui m'a beaucoup aidée à réaliser ce modeste travail.*

*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.*

*Un grand merci à ma mère, à mes deux chères sœurs FATIHA et OUAFIA ainsi qu'à mes frères MOHAMED, RIADÉ et BRAHIME qui m'ont beaucoup soutenue.*

*Mes sincères remerciements vont aussi à mes amis et camarades de promotion surtout Amar BENDIEB ABERKANE, pour leur précieux soutien, sans oublier Mme HAMIDA, la secrétaire de notre département.*

*Enfin, tous mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

## *Dédicace*

**A mon père, paix à ton âme...**

## *Table des matières*

Listes des tableaux.....	i
Listes des figures.....	ii
Listes des abréviations.....	iii
Etude bibliographique	
<i>Chapitre I : Généralités sur la pollution de l'air par l'ozone</i>	
Introduction générale.....	1
I- 1 introduction.....	4
I- 2 Sources de l'Ozone Troposphérique.....	5
I- 3 Effets de l'ozone troposphérique sur la santé.....	7
I-4 Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants.....	9
I-4-1 Conditions météorologiques.....	9
I-5 Normes de protection.....	12
<i>Chapitre II : Techniques de prélèvement</i>	
II-1 Dosage automatique en continu.....	14
II-2 L'échantillonneur passif sur tubes Radiello.....	14
II-3 Paramètre influençant le débit d'échantillonnage.....	16
II-3-1 Influence de la vitesse du vent.....	16
II-3-2 Influence de la durée d'exposition.....	16
II-3-3 Influence de l'humidité relative.....	16
II-4 Prélèvement passif de l'ozone.....	16
<i>Chapitre III : Méthodologie expérimentales</i>	
III- 1 Site de prélèvement étudié.....	19
III-2 Campagnes de mesure.....	21
III-3 Analyse des échantillons d'O <sub>3</sub> .....	21
<i>Chapitre IV : Résultats et discussions</i>	
IV-1 Analyse des données météorologiques de la ville d'Alger.....	25
IV-2 Présentation et Interprétation des résultats d'O <sub>3</sub> .....	26
IV-3 Comparaison entre les différentes durées de prélèvement.....	27

IV-4 Comparaison des teneurs en O <sub>3</sub> mesurées pour les durées d'exposition de 8h et 24 h ...	30
IV-5 Evaluation des teneurs atmosphériques moyennes en O <sub>3</sub> .....	31
IV-6 Etude comparative .....	34
IV-6-1 Comparaison par rapport au normes.....	34
IV-6-2 Comparaison par rapport au mois d'avril et mai de l'année 2015 .....	35
<b>Conclusion général</b> .....	37
Références bibliographiques	

## *Liste des tableaux*

Tableau I-1 : Normes règlementant les expositions à l'ozone.....	12
Tableau III-1: Variation Des Concentrations en Fonction des Densité Optique.....	22
Tableau IV-1: Données météorologiques des trois campagnes de mesure.....	25
Tableau IV-2: Quantités d'O <sub>3</sub> piégées lors d'une durée d'exposition de 8h.....	26
Tableau IV-3: Quantités d'O <sub>3</sub> massiques piégées pour une durée d'exposition de 24h.....	27
Tableau IV-4: Masses d'O <sub>3</sub> piégées sur une durée d'exposition de 7 jours à l'ENP.....	27
Tableau IV-5: Masses moyennes d'O <sub>3</sub> pour les différentes durées d'exposition.....	27
Tableau IV-6: Teneurs massiques en O <sub>3</sub> sur 8heures et sur 24heures.....	30
Tableau IV-7: Teneurs atmosphériques en O <sub>3</sub> sur 8heures.....	32
Tableau IV-8: Teneurs atmosphériques en O <sub>3</sub> sur 24heures.....	33
Tableau IV-9: Teneurs atmosphériques en O <sub>3</sub> sur 7jours.....	33

## *Liste des figures*

Figure I-1: Les différentes couches de l'atmosphère terrestre .....	5
Figure I-2 : Cycle photodynamique des NOx .....	6
Figure I-3: Evolution diurne de l'ozone en milieu urbain.....	7
Figure I-4 : Cas d'inversion de température (a) stable (b) instable.....	11
Figure I-5 : Conséquence d'une inversion de température .....	11
Figure II-1 : Analyseur d'ozone par absorption UV .....	14
Figure II-2 : Schéma du modèle de diffusion sur un échantillonneur passif.....	15
Figure III-1: Localisation du site de prélèvement S .....	20
Figure III-2: Poste de prélèvement à l'école Nationale Polytechnique d'Alger .....	20
Figure III-3: Courbe d'étalonnage de l'ozone.....	22
Figure IV-1: Quantités massiques d'O <sub>3</sub> piégées pour les différentes durées d'exposition. ....	28
Figure IV-2 : Représentation graphique de l'évolution de l'ozone en fonction de la durée d'échantillonnage. ....	29
Figure IV-3: La quantité massique moyenne d'O <sub>3</sub> piégée pour les différentes durées d'exposition.....	29
Figure IV-4: Taux en % de la masse O <sub>3</sub> mesurée sur 8 h par rapport à celle de 24h.....	31
Figure IV-5: Teneurs en O <sub>3</sub> mesurées pour une durée d'exposition de 8h .....	32
Figure IV-6: Teneurs atmosphériques en O <sub>3</sub> (échantillonnage de 24h) .....	33
Figure IV-7: Teneurs atmosphériques en O <sub>3</sub> (échantillonnage de 7jours) .....	33
Figure IV-8: Evolution des teneurs en O <sub>3</sub> sur 8h par rapport la norme OMS.....	34
Figure IV-9: Evolution des teneurs en O <sub>3</sub> sur 8h de avril à août 2015 et comparaison par rapport la norme OMS.....	35



## *Liste des abréviations*

**CO : Monoxyde de carbone**

**CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone**

**MTBH : 3-Méthyl-2-benzothiazolinone hydrazonchlorure**

**NO : Monoxyde d'azote**

**NO<sub>2</sub> : Dioxyde d'azote**

**O<sub>3</sub> : L'Ozone**

**OMS : Organisation Mondiale de la Santé**

**PA : 4-Piridylaldéhyde**

**PPm : Partie par million**

**PTFE : Polytétrafluoroéthylène**

**SO<sub>2</sub> : Dioxyde de soufre**

# « *Introduction Générale* »

L'ozone (O<sub>3</sub>) est un gaz incolore qui fait partie des constituants naturels de l'atmosphère. Au niveau de la stratosphère (ou très haute atmosphère), l'ozone se forme et se dégrade continuellement sous l'action des rayons lumineux et des réactions chimiques avec des produits contenant de l'azote, de l'hydrogène ou du chlore. Ce gaz forme la couche d'ozone et permet la protection de la terre contre une surexposition aux rayons ultraviolets du soleil [1].

Au niveau de la troposphère (ou basse atmosphère à moins de 10 Km d'altitude), l'ozone n'a pas le même effet protecteur; il est à la fois identifié comme étant un gaz à effet de serre et un des principaux constituants du smog photochimique. Etant un puissant oxydant, il exerce des effets néfastes sur l'homme et la végétation [2].

L'ozone des basses couches de l'atmosphère (ozone troposphérique) est un polluant secondaire, car il n'est pas émis directement par les activités humaines mais résulte des réactions photochimiques qui se produisent sur des polluants primaires dits précurseurs tels que les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), les composés organiques volatils (COV) et le monoxyde de carbone (CO). Ces précurseurs sont essentiellement d'origine anthropique, ils proviennent essentiellement du trafic routier, des émissions industrielles dont celles des centrales électriques, de l'évaporation des combustibles liquides et des solvants, etc., et, en une plus faible proportion, d'origine naturelle – c'est-à-dire qu'ils sont générés par la végétation, lors des feux de forêt, etc... [3].

La formation de l'ozone et de ses composés est complexe et dépend de nombreux facteurs tels que l'intensité et la distribution des rayons du soleil, les concentrations de polluants précurseurs dans l'air ambiant ainsi que les vitesses des réactions photochimiques et autres procédés atmosphériques [4]. De façon générale, les conditions de formation de l'ozone sont plus favorables l'été lorsque les journées sont chaudes et ensoleillées et que la masse d'air est stable.

La pollution de l'air par l'ozone fait un peu partout dans le monde l'objet d'une attention particulière et d'une surveillance permanente. L'agglomération d'Alger, ne fait pas exception, et est aussi concernée par cette pollution. Alger offre en effet tous les facteurs propices à la formation d'ozone à des teneurs élevées et qui sont un trafic routier dense et un fort ensoleillement. Ces facteurs fournissent des conditions idéales dans lesquelles les réactions chimiques photolytiques sur les polluants NO<sub>x</sub> et les HC peuvent avoir lieu. Des études [5-7] ont montré qu'en milieu urbain le trafic routier est la principale source de pollution et que les polluants précurseurs NO<sub>x</sub>, HC, et CO existent en abondance.

D'où l'intérêt de notre étude qui porte sur l'étude des niveaux de pollution de l'air par l'ozone en un milieu urbain à Alger durant la saison estivale.

Pour accéder aux teneurs en ozone troposphérique, et en absence d'analyseurs automatiques, nous utilisons la méthode de l'échantillonnage passif qui est peu coûteuse et qui ne demande pas un équipement spécial d'échantillonnage (pompe d'aspiration, débitmètre, etc.).

## *Chapitre I*

*« Généralité sur la pollution de  
l'air par l'ozone »*

## I- 1 introduction :

L'ozone O<sub>3</sub> qui est la deuxième forme allotropique de l'oxygène est un composé naturel présent dans l'atmosphère à de faibles concentrations (quelques ppm). Son odeur est caractéristique (âcre). Son nom dérive du grec ozein et signifie exhaler, sentir une odeur. Sa répartition dans l'atmosphère n'est pas homogène. C'est dans la stratosphère vers 20 kilomètres d'altitude qu'on le rencontre à des teneurs maximales. Sa quantité totale équivaut à une couche qui, à température et pression normale, couvrirait la terre avec une épaisseur de 3 millimètres. Dans cette couche appelée «couche d'ozone », il joue le rôle d'un filtre protecteur en absorbant les radiations ultraviolettes très nocives de longueur d'onde courtes comprises entre 200 et 300 nanomètres [8].

La concentration en O<sub>3</sub> dans la stratosphère est bien plus grande que celle présente dans la troposphère. Cette couche troposphérique contient près de 10 % de la quantité totale d'ozone présent dans l'atmosphère [9]. Dans des conditions normales, il n'y a que très peu d'échange entre la stratosphère et la troposphère, de façon que les intrusions stratosphériques riches en ozone sont très rares. Des conditions turbulentes accrues seulement amèneraient de l'ozone stratosphérique vers le sol [10, 11].

A signaler aussi que dans les deux couches atmosphériques stratosphère et troposphère, la seule réaction de production directe d'ozone est la recombinaison d'un atome d'oxygène et d'une molécule d'oxygène en présence d'un troisième corps M (M : auxiliaire de collision N<sub>2</sub> ou O<sub>2</sub>) qui stabilise les produits de la réaction :  $O_2 + O\cdot + M \longrightarrow O_3 + M$

Alors que le mécanisme de formation d'une molécule d'ozone ne suit pas le même schéma dans les deux couches de l'atmosphère.

Lorsqu'on parlera, comme c'est le cas dans ce travail, de l'ozone en tant que polluant photooxydant, on désigne uniquement l'ozone dans les basses atmosphères ou ozone des couches proches du sol ou plus généralement ozone troposphérique [10].

Nous illustrons en figure I-1 les différentes couches de l'atmosphère

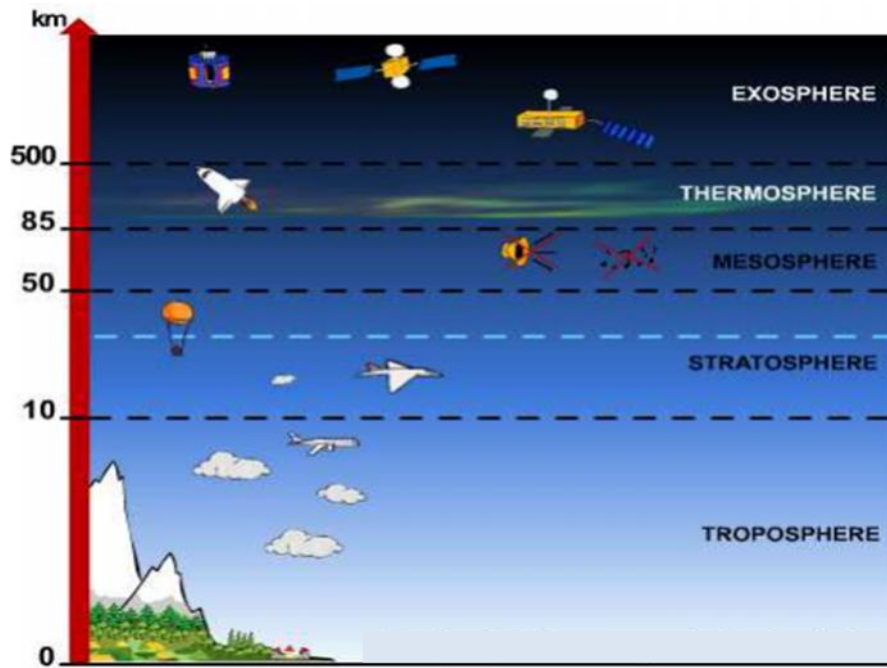


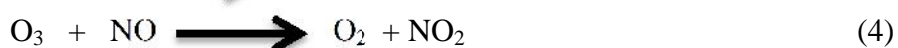
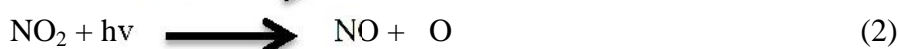
Figure I-1: Les différentes couches de l'atmosphère terrestre

## I- 2 Sources de l'Ozone Troposphérique

L'ozone que l'on trouve dans la troposphère est produit à proximité du sol par des réactions photochimiques mettant en jeu certains polluants tels que le monoxyde d'azote NO, le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> (désignés par la formule générale NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone CO et les hydrocarbures HC en présence de la lumière solaire [12]. Cette source, très importante, représente plus de 80 % de l'ozone troposphérique.

Le CO et le CH<sub>4</sub> à plus longues durées de vies donnent lieu à une production relativement lente d'ozone. Les composés organiques volatils non méthaniques (COV) donnent lieu à des formations bien plus rapides d'ozone. Cette dernière source tend à accroître de manière significative le contenu en ozone à proximité des aires urbaines et industrielles [12].

Les activités humaines produisent une grande quantité d'oxydes d'azote qui, sous l'effet du rayonnement UV, peuvent libérer des atomes d'oxygène. Ces atomes d'oxygène se combinent au dioxygène de l'air pour former de l'ozone qui réagit avec le monoxyde d'azote selon le cycle photodynamique suivant:



Ce cycle limite l'accumulation de l'ozone en milieu naturel non pollué.





D'autres facteurs interviennent également, parmi lesquelles l'activité industrielle, productrice de COV, ou la température de l'air, avec laquelle augmente la volatilité des COV.

En zones urbaines, la concentration importante en monoxyde d'azote permet d'éliminer efficacement l'ozone formé (Le NO est un puit de l'ozone: équation 4). Cette réaction intervient surtout la nuit en l'absence de formation d'ozone, mais peut aussi se produire le jour lorsque la concentration en NO est forte et celle en COV faible. Cette situation se produit notamment de manière régulière en début de matinée. A ce moment, la circulation automobile, productrice de NO, est intense et la température de l'air encore peu élevée, ce qui limite la volatilité des COV. En zones urbaines, la concentration en ozone suit donc un rythme diurne et est maximale en milieu d'après-midi et relativement faible la nuit. La représentation graphique de l'évolution diurne de l'ozone suit en général en courbe en forme de cloche (Figure I-3).

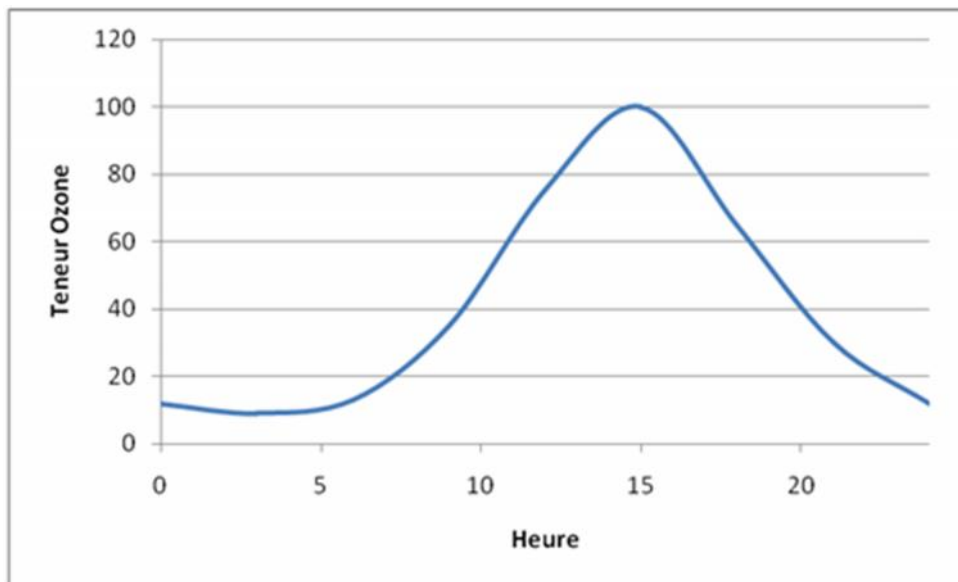


Figure I-3: Evolution diurne de l'ozone en milieu urbain [5-7].

### I- 3 Effets de l'ozone troposphérique sur la santé

L'étude des effets sanitaires des polluants atmosphériques est une tâche délicate, car ces effets sont généralement d'origines multiples (non propres à une substance) et les populations sont souvent exposées à des mélanges de polluants [16]. La mise en évidence des effets toxiques d'une substance telle que l'ozone devient ainsi difficile, et les conclusions tirées de ces effets proviennent souvent de la synthèse d'études scientifiques de disciplines multiples (toxicologie, épidémiologie, etc.).

Sur le plan de la toxicologie, les principales voies d'absorption et d'élimination de l'ozone sont respectivement l'inhalation et l'exhalation. Ce gaz, qui a une solubilité modérée, peut pénétrer dans les poumons, atteindre les bronchioles et les alvéoles, et entraîner des dommages par l'oxydation directe des molécules du corps humain ou encore, par la formation de radicaux libres ou d'intermédiaires réactifs dans les voies respiratoires inférieures [17].

Par ailleurs, les études épidémiologiques suggèrent qu'il existe une relation entre l'exposition à l'ozone à court terme (un à quelques jours) et certains effets respiratoires – dont la diminution des fonctions pulmonaires - et l'augmentation de l'inflammation des poumons, de la perméabilité pulmonaire, de l'hyperréactivité des voies respiratoires ainsi que des visites aux urgences et des hospitalisations attribuables à des problèmes respiratoires. Une association probable est aussi suggérée avec la mortalité, et les connaissances scientifiques montrent aussi une possible association avec des effets cardiovasculaires et neurologiques [4].

En ce qui concerne l'exposition à long terme, les évidences épidémiologiques suggèrent un possible lien avec des morbidités respiratoires, telles l'émergence de nouveaux cas d'asthme et l'accentuation des symptômes respiratoires chez les asthmatiques. Les études font aussi état d'une possible relation avec des effets cardiovasculaires et neurologiques, des effets toxiques sur la reproduction et sur le développement de même qu'avec une mortalité toutes causes confondues [4].

Ainsi, les effets d'une exposition à l'ozone sont très variés. Toutefois, leur ampleur pourrait dépendre non seulement de différents paramètres associés à l'exposition, telles la concentration, la durée et la coexposition à d'autres facteurs environnementaux (ex. : la chaleur), mais également de paramètres individuels, dont l'intensité de l'exercice physique pratiqué au moment de l'exposition ou encore les susceptibilités individuelles (ex : prédispositions génétiques, condition physique, âge, sexe). Les enfants, les asthmatiques et les personnes travaillant à l'extérieur seraient parmi les individus les plus vulnérables aux effets de l'ozone [4].

## **I-4 Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants :**

Les concentrations et la distribution spatio-temporelle des polluants ne sont pas seulement déterminées par les sources et les transformations physico-chimiques. Elles le sont aussi par des paramètres physiques qui révèlent de la dynamique atmosphérique.

Un épisode de pollution est observé lorsque :

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

Il existe quatre situations météorologiques favorisant les phénomènes de pollution :

- ✓ Absence de vent ou vent faible
- ✓ Chaleur et lumière
- ✓ Absence de pluies
- ✓ Couche d'inversion basse [18].

### **I-4-1 Conditions météorologiques**

#### **➤ Influence du vent**

Le vent tend à disperser la pollution surtout en absence de relief. Plus le vent est fort, plus la pollution se disperse rapidement. En zone montagneuse, si les polluants rencontrent une barrière montagneuse, la pollution peut alors retourner en arrière et revenir sur son site d'origine. Dans ce cas il n'y a pas dispersion des polluants mais accumulation, c'est le cas des villes situées dans des cuvettes en montagne (Grenoble) [18].

#### **➤ La température de l'air :**

A la base du mouvement de l'air est la température qui a des valeurs différentes à la surface du sol due à des caractéristiques thermiques différentes et à des variations d'emménagement de la chaleur solaire. Alors que les différences de température sur de grandes surfaces déterminent la production des vents, celles qui se produisent sur des surfaces restreintes provoquent de petits courants horizontaux ou seulement un déplacement vertical. Le plus important phénomène dû à la température est la convection sur la verticale, qui représente l'ascension de l'air d'une couche inférieure de l'atmosphère voisine du sol, à la suite de son échauffement par le soleil. Ce phénomène a lieu à cause du gradient thermique de l'air en continue baisse avec l'altitude (approximativement de 1° par 100 m). La convection ascendante représente un des phénomènes les plus importants de l'auto-purification ; dans ce courant sont entraînées, en même temps que l'air, les impuretés évacuées par différentes sources de pollution. De cette manière, le volume d'air dans lequel se réalise la dilution augmente [19].

➤ **Les nuages :**

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

Plus cela dure et plus cela se répète souvent au cours de l'année, plus la pollution est grande. Il existe des années et des périodes où les nuages se trouvent fréquemment à faible altitude empêchant le phénomène d'auto-purification.

Ces sortes de zones se rencontrent surtout dans les régions nordiques et montagneuses pendant les périodes froides de l'année. En revanche, les nuages en mouvement qui ne couvrent que partiellement une région peut entraîner les impuretés, réalisant ainsi une auto-purification [19].

➤ **Le phénomène d'inversion de température**

Habituellement, la température de l'air diminue avec l'altitude. L'air pollué près du sol est plus chaud et moins dense que les couches d'air supérieur. Il monte alors sous l'action de la poussée d'Archimède. Les polluants se dispersent ainsi verticalement. Cependant, il peut se produire un phénomène appelé inversion de température qui consiste à piéger une masse d'air froid sous une masse d'air plus chaud. Il se crée dans deux situations (Figure 4). Le cas stable, pour lequel il y a une inversion de température (**Figure I-2-a**) est un phénomène contribuant à une augmentation de la pollution au niveau du sol. Il se produit plutôt l'hiver, par de belles journées peu ventées qui suivent une nuit claire et froide. Le sol s'est refroidi de façon importante pendant la nuit, la masse d'air qui se trouve près du sol (plus froide et plus lourde) ne peut alors s'élever et se disperser dans l'atmosphère. La température, à quelques centaines de mètres d'altitude, est alors supérieure à celle mesurée au niveau du sol, les polluants se trouvent bloqués sous un « couvercle » d'air chaud, appelé couche d'inversion. Le phénomène d'inversion peut durer de quelques heures à plusieurs jours. Pour la deuxième situation appelée cas instable (**Figure I-2-b**), la température de l'air diminue avec l'altitude jusqu'à une certaine hauteur, puis augmente avec l'altitude dans les couches supérieures. Nous rappelons qu'en altitude il existe en permanence une couche d'inversion qui se situe donc au-dessus de la couche instable quand elle existe [20].

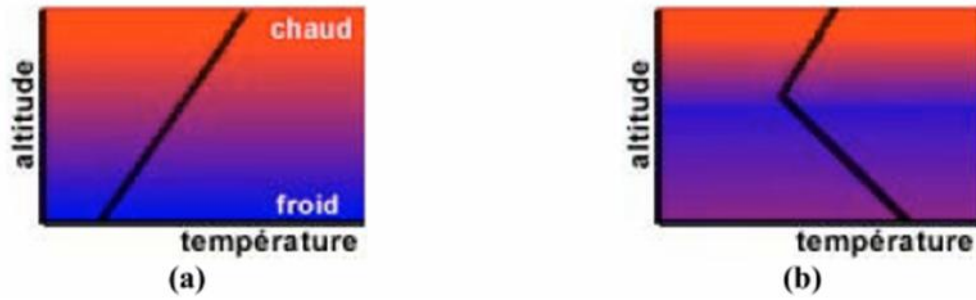


Figure I-4 : Cas d'inversion de température (a) stable (b) instable

La Figure I-5 présente les conséquences sur les panaches de cheminées pour les deux types d'inversion précédents. Dans un cas d'inversion voici ce qui se passe sur les panaches de cheminée. Les polluants sont piégés à basse altitude. Dans le premier cas un couvercle de pollution se forme et bloque les polluants émis à plus basse altitude. Dans le deuxième cas, la cheminée se trouve sous la couche d'inversion de température, alors la fumée qui s'échappe est freinée par la couche d'air chaud et stable en altitude, et se rabat vers le sol. Dans une telle situation, l'air de la couche inférieure a tôt fait de se charger de polluants [20].

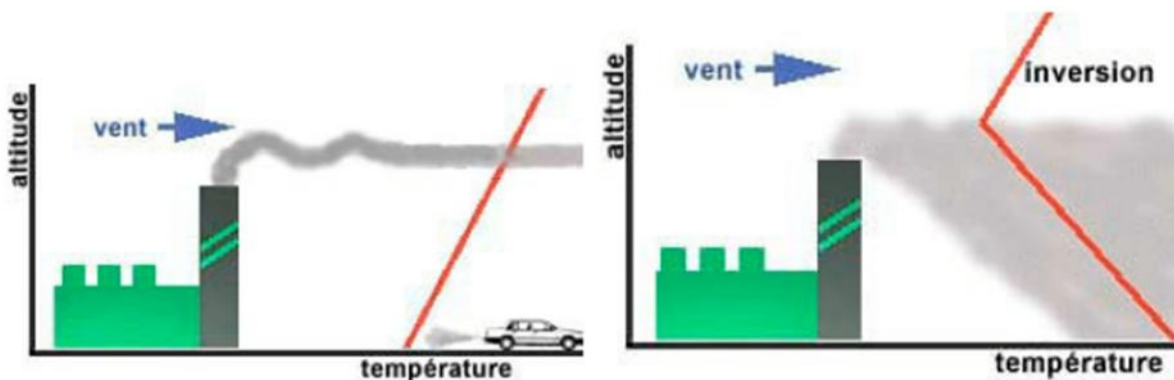


Figure I-5 : Conséquence d'une inversion de température

L'inversion de température est un phénomène naturel qui habituellement n'engendre pas de conséquences néfastes. Cependant, si une inversion se produit dans une grande ville polluée, elle provoque une augmentation rapide de la concentration des polluants au niveau du sol et occasionne des pointes de pollution sur de larges zones géographiques, appelées épisode de pollution généralisée [20].

Dans le cas de l'ozone, on aura des épisodes de pollution ou smog photochimiques néfastes pour la santé humaine et la végétation

**I-5 Normes de protection :**

De part ses nuisances, l'ozone est un polluant réglementé. Les principales normes réglementant les expositions à l'ozone sont donnés dans le tableau I-1.

**Tableau I-1 Normes réglementant les expositions à l'ozone.**

<b>Pays ou organisme</b>	<b>Normes</b>	<b>Observation</b>	<b>Référence</b>
<b>OMS</b>	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8 h 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 1h	Seuil de protection de la santé	[21]
	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 1h 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h	Seuil de protection de la végétation	
<b>Union Européenne</b>	360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 1h	Alerte à la population	[21]
	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 1h	Seuil d'information pour la population	
	110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8h	Seuil de protection de la santé	
<b>Algérie</b>	110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8h		[21]
	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 1h	Seuil de protection de la santé	
	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h		
	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 1h	Seuil de protection pour la végétation	

## *Chapitre II*

*« Technique de prélèvement »*

Il existe plusieurs méthodes de prélèvement et de dosage de l'ozone. Les plus importantes sont:

- Prélèvement et dosage automatique par analyseur UV
- Echantillonnage passif sur tube Radiello

### II-1 Dosage automatique en continu :

La méthode consiste à utiliser un analyseur qui dose l'ozone par absorption UV.

L'échantillon d'air, prélevé en continu par une pompe placée en fin de circuit, traverse préalablement un filtre poussière, puis est dirigé vers une chambre optique où les molécules d'ozone absorbent sélectivement le rayonnement UV centré sur une longueur d'onde de 254nm. La mesure de la concentration d'ozone est effectuée par différence entre l'absorption UV due à l'échantillon gazeux et celle due à l'échantillon exempt d'ozone. Le minimum détectable est inférieur à 1 ppb. Le débit de prélèvement est de 1,5 L/min. C'est sur la base d'un tel analyseur qu'est mesuré l'ozone dans les réseaux de surveillance.

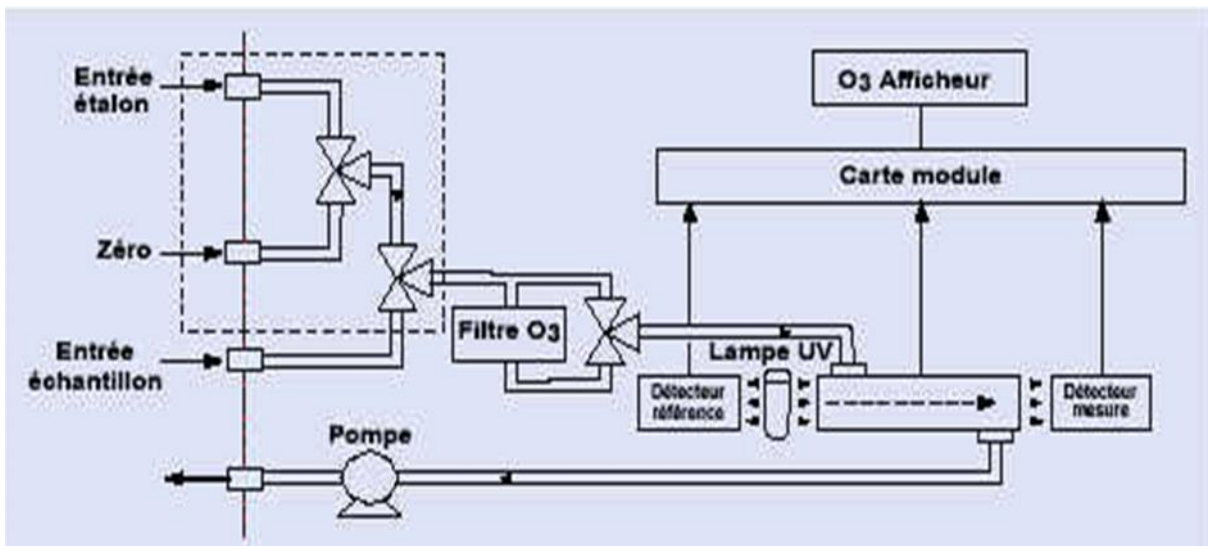


Figure II-1 : Analyseur d'ozone par absorption UV [23]

### II-2 L'échantillonneur passif sur tubes Radiello :

En 1996, le tube à diffusion radial « Radiello » a été développé. Il est formé d'une membrane poreuse qui permet d'isoler le parcours de diffusion des mouvements de l'air et d'une cartouche contenant un adsorbant adapté à la nature des composés ciblés. La membrane contrôle le débit d'échantillonnage des analytes.



La méthode de mesure repose sur le principe de la diffusion moléculaire régie par la loi de Fick. Pour ce type d'échantillonneur, la diffusion des composés se fait sur toute la circonférence du tube et sur toute sa longueur d'une façon radiale. Le tube est adapté à des durées variables de prélèvement variant entre 8 heures et 7 jours pour des niveaux de concentration rencontrés dans l'air ambiant (ppb) grâce à son débit d'échantillonnage élevé de plusieurs dizaines de  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Les principales caractéristiques du tube Radiello sont illustrées en figure II-2.

Au cours de l'échantillonnage, un gradient de concentration va s'établir entre l'air entourant le tube et la surface de piégeage de la cartouche. Les composés vont diffuser naturellement à travers la membrane poreuse de la zone la plus concentrée en composés (air ambiant) vers la surface de l'adsorbant où ils sont captés et accumulés. Les caractéristiques de la membrane (porosité et épaisseur) vont conditionner le flux de composés arrivant sur l'adsorbant.

En effet, le parcours de diffusion des composés sera dépendant de l'épaisseur de la membrane et de sa porosité, ce qui entrainera des débits d'échantillonnage pour les composés visés plus ou moins élevés. Elle a également comme fonction de limiter l'effet du vent sur l'échantillonnage en imposant un parcours de diffusion "tortueux" (à travers les pores de la membrane) qui entrainerait une sensibilité réduite aux mouvements de l'air se produisant sur la surface externe de la membrane.

Le tube Radiello est vissé sur une plaque d'appui pour la phase d'exposition dans l'air ambiant.

Le tube Radiello est un échantillonneur passif à diffusion radiale. Sa surface de contact avec l'air est de  $360^\circ$  sur toute la longueur de l'échantillonneur [21].

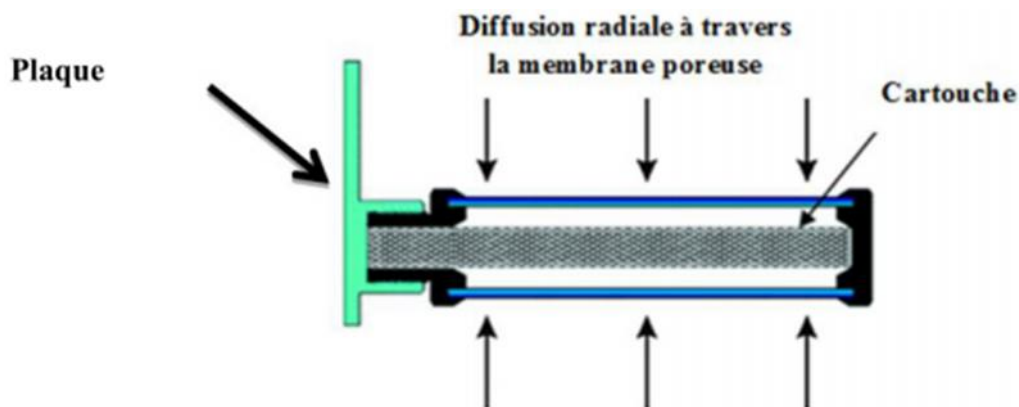


Figure II-2 : Schéma du modèle de diffusion sur un échantillonneur passif

## II-3 Paramètre influençant le débit d'échantillonnage

Le débit d'échantillonnage peut être influencé par plusieurs facteurs environnementaux : la concentration en polluant dans l'air, la température, la pression, l'humidité, la vitesse du vent et la durée d'exposition.

### II-3-1 Influence de la vitesse du vent

Le mouvement de l'air peut affecter le transfert de masse du polluant lors de la diffusion de deux façons :

- si le vent est faible, une zone pauvre en polluant va apparaître à l'entrée de l'échantillonneur provoquant un rallongement du parcours de diffusion. Ceci aura pour effet de sous-estimer la concentration.

- si le vent est important à l'entrée du capteur, il se crée de la turbulence qui va raccourcir la longueur de diffusion. Ce processus va accélérer le transfert de masse et créer ainsi une surestimation de la concentration.

### II-3-2 Influence de la durée d'exposition

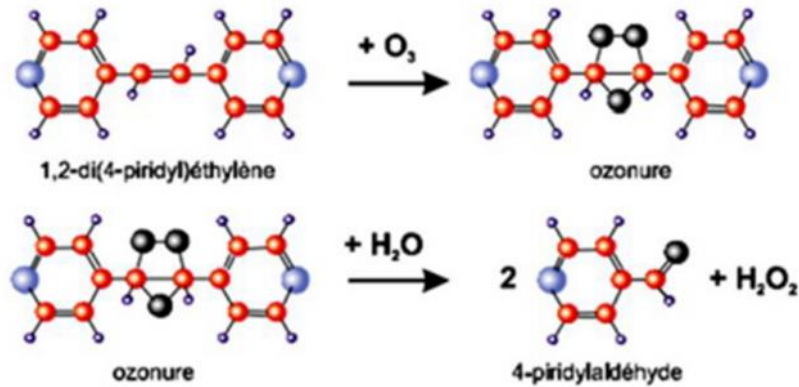
Le débit d'échantillonnage peut dépendre de la durée d'exposition. En effet, plus la durée de prélèvement est longue, plus la masse de composé adsorbée est importante et plus les sites d'adsorption du matériau vont être occupés. Or, il y a un seuil au-delà duquel une saturation à la surface de la cartouche est atteinte. En conséquence, la totalité des molécules arrivant sur la surface adsorbante n'est plus piégée et le débit d'échantillonnage diminue.

### II-3-3 Influence de l'humidité relative

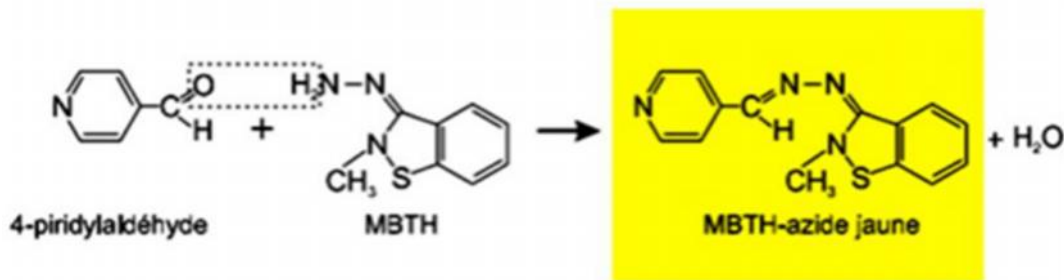
La rétention de l'eau sur l'adsorbant peut entraîner une diminution de la capacité d'adsorption. Cette diminution est liée à la nature de l'adsorbant.

## II-4 Prélèvement passif de l'ozone

Pour l'étude de l'ozone, les tubes Radiello utilisent une substance absorbante qui est du gel de silice revêtu de 4,4'-dipiridyléthylène contenu dans un tube en polyéthylène microporeux, enfermé d'un bout par un bouchon PTFE. Pendant l'exposition, l'ozonolyse en milieu acide du 4,4'-dipiridyléthylène produit du 4-piridylaldéhyde selon le schéma réactionnel suivant:



La présence constante d'eau, qui est nécessaire à la réaction, est assurée par le gel de silice. Après l'exposition, on fait réagir le 4-pyridylaldéhyde formé lors de l'échantillonnage avec le 3-méthyl-4-benzothiazolinone hydrazone (MTBH) qui donne l'azide la correspondante, colorée en jaune, dont l'absorbance est mesurée par spectrophotométrie à 430 nm.



La production du 4-pyridylaldéhyde est spécifique de l'ozone: n'interfèrent ni les oxydes d'azote ni les composés organiques, y inclus les aldéhydes [22].

La durée d'exposition des tubes Radiello peut aller de quelques heures à 7 jours. La technique qui présente une limite de détection de quelques ppb est suffisante pour détecter même les faibles teneurs d'ozone naturel. Le suivi de l'ozone par cette méthode d'échantillonnage passif est de plus en plus utilisé pour élaborer une cartographie de la pollution sur de vastes zones.

*Chapitre III*  
*« Méthodologie expérimentale »*

Dans ce chapitre, nous allons présenter le site étudié et la méthodologie d'échantillonnage et de dosage adoptée pour l'étude du polluant ozone ainsi que les campagnes de mesure réalisées.

### III- 1 Site de prélèvement étudié :

L'objectif de l'étude est de suivre les teneurs atmosphériques en ozone urbaine loin des émetteurs de précurseurs comme les routes à grande circulation ou les sites industriels. A cet effet, le positionnement des tubes doit répondre à certains critères afin d'optimiser l'information contenue dans la mesure:

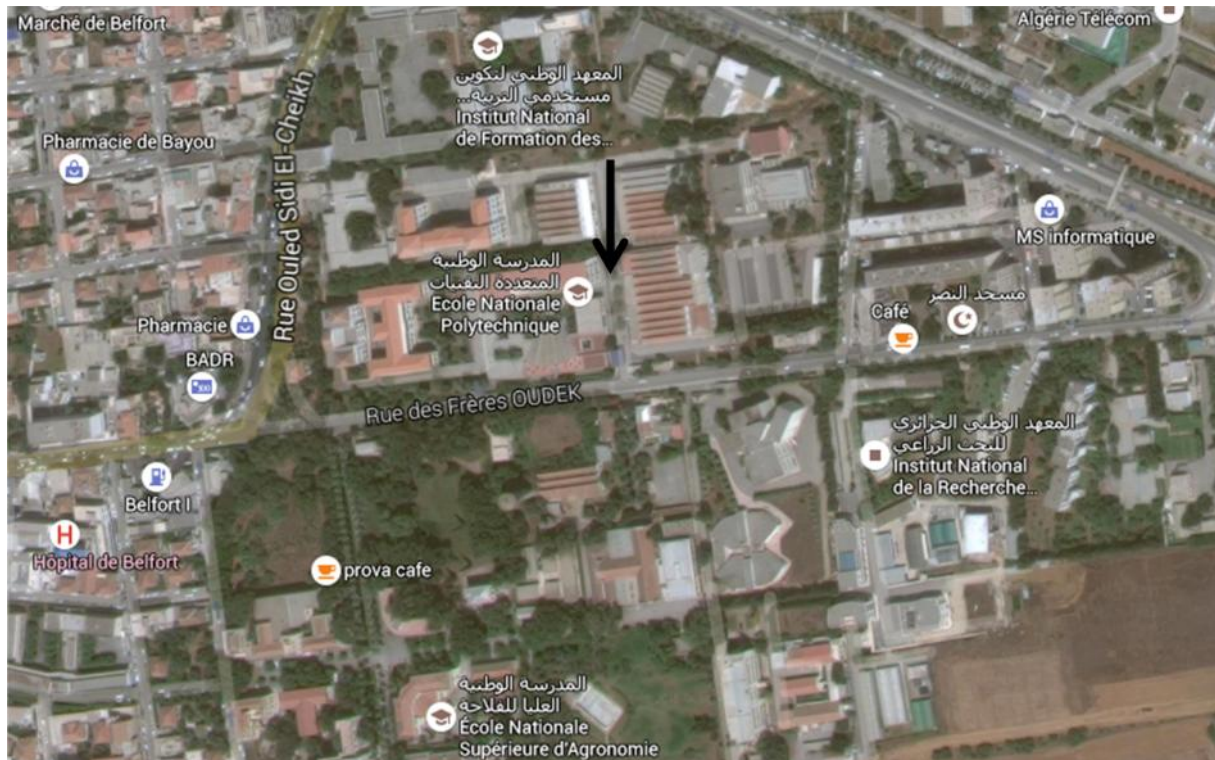
Aucun obstacle ne doit empêcher la diffusion des polluants en créant des turbulences autour du tube.

Le site doit être suffisamment aéré pour éviter les phénomènes d'accumulation des polluants autour du tube.

Pour l'étude en site urbain de fond, les tubes d'échantillonnage doivent être placés à une distance minimum de 50 mètres de toute source importante de pollution.

Le site urbain S que nous avons retenu pour l'étude de l'ozone en période estivale est implanté au niveau de l'Ecole Nationale Polytechnique, avenue Hassen Badi à El Harrach. Le poste de prélèvement se situe exactement au niveau de la cour centrale de l'Ecole. L'échantillonneur est fixé à un lampadaire en bordure de la terrasse de l'Atelier Génie civil à environ 3,5 m du sol. Ce site est représentatif d'une zone urbaine fréquentée par le milieu étudiant et où se trouvent également deux hôpitaux et plusieurs cités d'habitation (Cité Radieuse, Cinq Maisons, etc..). L'intense trafic routier qui caractérise la région d'El-Harrach n'exerce pas une influence directe sur ce site.

Nous représentons sur la carte d'Alger (Figure III-1) la localisation du site étudié.



**Figure III-1: Localisation du site de prélèvement S**

Pour une meilleure visualisation du poste de mesure, nous présentons en Figure III-2 la photo illustrant la localisation du poste de prélèvement.



**Figure III-2: Poste de prélèvement à l'école Nationale Polytechnique d'Alger**

### III-2 Campagnes de mesure :

Au niveau du site retenu, nous avons réalisé plusieurs campagnes de mesure de l'ozone.

Pour étudier l'influence de la durée d'échantillonnage, nous avons retenus trois durées de prélèvement :

- Une exposition des tubes durant **8 heures** (de 10H du matin à 18H).
- Une exposition des tubes durant **24 heures** (de 10H du matin à 10H du lendemain).
- Une exposition des tubes durant **7 jours** (de 10H du matin à 10H du 8<sup>ème</sup> jours).

Les trois prélèvements d'ozone sont lancés simultanément le même jour.

Les campagnes de mesures ont été réalisées durant la période allant du 12 juillet au 13 août 2015.

Nous avons ainsi réalisé 7 prélèvements sur 8 heures, 2 prélèvements sur 24 heures et deux prélèvements sur 7 jours

### III-3 Analyse des échantillons d'O<sub>3</sub>

#### a) Réactifs utilisés :

- 3-méthyl-2-benzothiazolinone hydrazonechlorure MBTH.
- 4-piridylaldéhyde (PA).
- filtre microporeux 0,45 µm.
- Acide sulfurique concentré (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

#### b) Préparation de la solution de MBTH :

- Peser 5 g de MBTH, les verser dans une fiole de 1 litre,
- Compléter à 1 litre avec de l'eau déminéralisée,
- Ajouter 5 mL d'acide sulfurique concentré.

#### Procédé:

Otez la cartouche de son tube plastique, enlevez son bouchon PTFE et versez-en le contenu dans le même tube plastique.

Introduisez dans le tube 5 ml de solution de MTBH, enfermez le tube et secouez.

Attendre une heure en agitant de temps en temps. Filtrez le mélange dans un second tube et lisez l'absorbance de la solution filtrée à 430 nm par comparaison avec de l'eau. La solution gardée dans le tube bien enfermé, sa couleur est stable pendant plusieurs jours.



### c) Courbe d'étalonnage

Dissolvez 100  $\mu\text{L}$  (112,2 mg à 20 °C) de 4-piridylaldéhyde dans 1 L d'eau et diluez cette solution avec de l'eau dans les rapports, par exemple, 1/1, 1/2, 1/5, 1/10.

Versez 0,5 ml de chaque solution dans un tube avec 4,5 ml de solution de MBTH.

Agitez et attendez une heure.

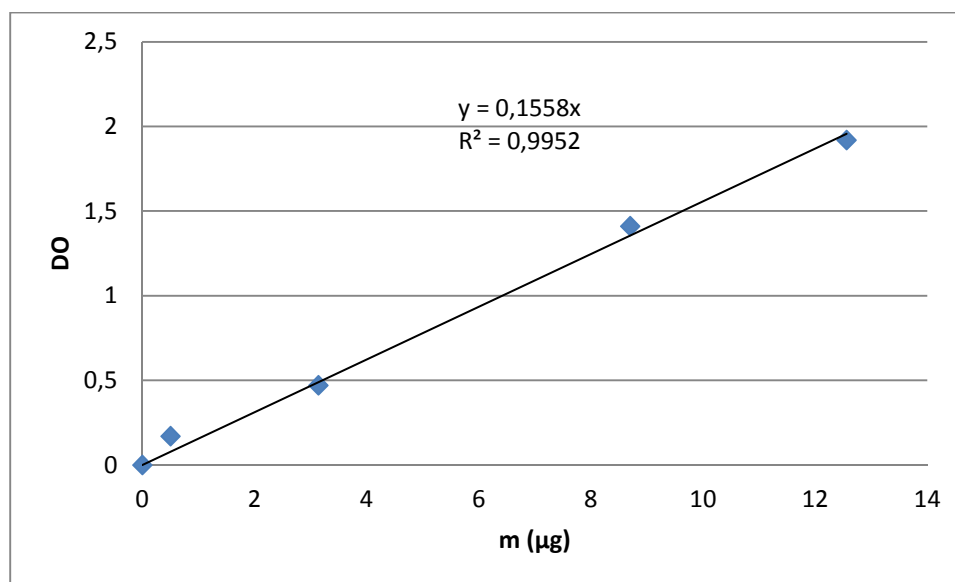
On mesure alors la densité optique à 430nm sur un appareil UV-visible de type SHIMADZU mini 1240 (SHIMADZU) PC.

En tenant compte de l'équivalence 1  $\mu\text{g}$  de 4-piridylaldéhyde = 0,224  $\mu\text{g}$  d' $\text{O}_3$ , on trace la droite d'étalonnage de  $\text{O}_3$ .

Les résultats sont donnés en tableau III-1, La figure III-3 représente la droite d'étalonnage ainsi obtenue.

**Tableau III-1: Variation Des Concentrations en Fonction des Densité Optique.**

<b>m (<math>\mu\text{g}</math>)</b>	0	0,125	0,5	3,14	12,56
<b>DO</b>	0	0,02	0,17	0,47	1,92



**Figure III-3: Courbe d'étalonnage de l'ozone.**

La courbe obtenue ( $R^2 = 0,995$ ) est une droite d'équation  $\text{DO} = K \cdot C$  avec  $K = 0,1558$



**d) Calcul des teneurs atmosphériques :**

La valeur du débit de piégeage  $Q_{298}$  à 298 K (25°C) et 1013 hPa est de  $24,6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  et est linéaire dans l'étendue d'expositions  $10.000 - 4.000.000 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$ . Les changements d'humidité dans l'intervalle 10-90% et de vitesse de l'air dans l'intervalle  $0,1-10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  n'affectent pas le piégeage.

La concentration  $C$  en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est calculé par :

$$C [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{m [\mu\text{g}]}{Q \cdot t} \cdot 1\,000\,000$$

Où:

**m** : est la masse piégée de  $\text{O}_3$  en ( $\mu\text{g}$ ).

**t** : est le temps d'exposition en minutes (min).

**Q** : est la valeur du débit de piégeage.

## *Chapitre IV*

*« Résultats et discussions »*

Pour interpréter les résultats obtenus, il est primordial d'analyser les facteurs météorologiques de la ville d'Alger du mois de juillet-août et étudier l'impact de ces derniers sur les niveaux d'ozone (O<sub>3</sub>).

#### IV-1 Analyse des données météorologiques de la ville d'Alger

Il est important d'intégrer à notre interprétation, des données météorologiques (température, pluviométrie, humidité, vitesse et direction des vents) afin de comparer les conditions opératoires des prélèvements.

Les résultats fournis par la station météorologique de Dar El Beida (Alger) sont les résumés dans le tableau IV-1.

**Tableau IV-1: Données météorologiques des trois campagnes de mesure.**

	Jours	T max (C°)	V du vent moy (m/s)	Humidité moy en %	Direction du vent en (°)	Ciel prédominant
1ère campagne de mesure	12/07/2015	30	11 km/h	48	70°	Ensoleillé
	13/07	30	13 km/h	62	20°	Ensoleillé
	14/07	31	16 km/h	56	50°	Ensoleillé
	15/07	31	14 km/h	44	30°	Ensoleillé
	16/07	31	9 km/h	57	0°	Ensoleillé
	17/07	31	8 km/h	39	10°	Ensoleillé
	18/07	31	18 km/h	64	60°	Ensoleillé
	19/07	34	8 km/h	58	0°	Ensoleillé

2ème campagne de mesure	19/07/2015	34	8 km/h	58	0°	Ensoleillé
	20/07	32	10 km/h	66	110°	Ensoleillé
	21/07	33	7 km/h	51	230°	Ensoleillé
	22/07	32	6 km/h	43	40°	Ensoleillé
	23/07	32	8 km/h	41	30°	Ensoleillé
	24/07	35	19 km/h	68	340°	Ensoleillé
	25/07	32	11 km/h	54	340°	Ensoleillé
	26/07	32	10 km/h	55	60°	Ensoleillé

3ème campagne de mesure	27/07	39	9 km/h	61	300°	Ensoleillé
	03/08	32	11 km/h	59	80°	Ensoleillé
	07/08	33	8 km/h	48	40°	Ensoleillé
	10/08	35	14 km/h	51	70°	Ensoleillé
	13/08	37	7 km/h	55	30°	Ensoleillé

Durant la première campagne de prélèvement effectuée entre le 12/07/2015 et le 19/07/2015 nous avons enregistré des températures qui caractérisent la prédominance d'un

temps relativement chaud. Les vitesses de vent sont modérées et la direction du vent nord-est est prédominante.

De fin juillet à début août, les températures ont légèrement augmenté pour atteindre un maximum de 39 °C le 27/07. Durant toute la période étudiée, il y a absence totale de pluie et de nuages. Les vitesses de vent sont en général faibles à moyenne. Le vent soufflait dans des directions variables, le plus souvent dans la direction nord-est.

Ces données correspondent à une situation météorologique caractéristique de la saison d'été en Algérie. Les mois de juillet et août 2015 sont surtout caractérisés, par la prédominance d'un temps chaud et ensoleillé sur l'ensemble du pays. Nous ne relevons pas une météo exceptionnelle (fumée et chaleur d'incendie, stagnation de l'air) durant cette étude.

#### IV-2 Présentation et Interprétation des résultats d'O<sub>3</sub>

Les résultats obtenus lors de l'analyse des quantités massiques d'O<sub>3</sub> piégées sur les tubes Radiello durant les campagnes d'échantillonnage sont présentés dans ce qui suit en fonction de la durée d'exposition.

##### ➤ Prélèvement en milieu de journée sur une durée de 8 heures :

Les masses d'ozone piégées lors de l'exposition des tubes sur une durée de 8 heures (de 10H00 à 18H00) sont résumées en tableau IV-2.

**Tableau IV-2: Quantités d'O<sub>3</sub> piégées lors d'une durée d'exposition de 8h**

Site	Date	m(O <sub>3</sub> ) µg
ENP	12/07	1,09
	19/07	1,17
	27/07	1,63
	03/08	1,35
	07/08	1,14
	10/08	1,23
	13/08	1,47

Le 27 juillet et le 13 août, nous avons enregistré les quantités les plus élevées en O<sub>3</sub>. Ce résultat s'explique par le fait que les conditions météorologiques régnant pendant ces deux jours ont probablement favorisé le piégeage de l'ozone. En effet, le 27/07 la température a été de l'ordre de 39°C avec une vitesse de vent de 9 Km/h. de même pour le 13/08 où on a mesuré une température de 37°C et 7 km/h comme vitesse de vent. Dans le cas où les précurseurs sont de même ampleur, ces conditions de température élevée correspondant à un

fort ensoleillement et de vent faible sont très favorables à une plus forte accumulation de l'ozone.

➤ **Prélèvement sur une durée de 24 heures :**

Les masses d'ozone piégées lors de l'exposition des tubes sur une durée de 24 heures sont résumées en tableau IV-3.

**Tableau IV-3: Quantités d'O<sub>3</sub> massiques piégées pour une durée d'exposition de 24h**

Site	Date	m(O <sub>3</sub> ) µg
ENP	12-13/07	1,53
	19-20/07	1,69

Pour ces deux journées du mois de juillet avec des conditions atmosphériques similaires, les teneurs mesurées sont pratiquement du même ordre de grandeur.

➤ **Prélèvement sur une durée de 7 jours :**

Les masses d'ozone piégées lors de l'exposition des tubes sur une durée d'une semaine sont résumées en tableau IV-4.

**Tableau IV-4: Masses d'O<sub>3</sub> piégées sur une durée d'exposition de 7 jours à l'ENP.**

date	m(O <sub>3</sub> ) µg
12-19/07	12,59
19-26/07	12,37

Ces résultats suggèrent que les émissions en précurseurs associés à des conditions météorologiques similaires ont conduit à des taux comparables d'ozone piégé. Les températures ont été homogènes, seule la direction du vent a fortement varié durant le deuxième prélèvement hebdomadaire (voir Tableau IV-1). Cette variation a eu probablement une influence sur la direction de transport des précurseurs, d'où une légère diminution en passant de la première semaine 12-19/07 à la semaine suivante du 19-26/07.

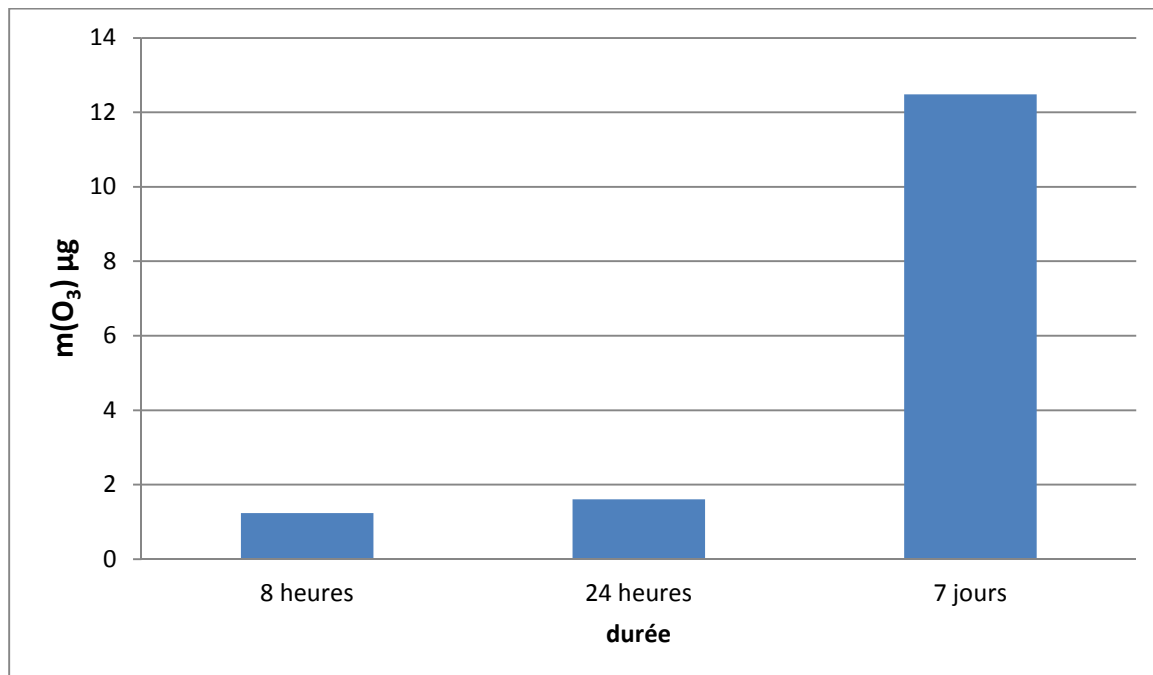
### IV-3 Comparaison entre les différentes durées de prélèvement :

Afin de pouvoir comparer entre les différentes quantités d'ozone échantillonnées pour les différentes durées d'exposition, nous avons calculés les moyennes de ces dernières.

Les résultats obtenus sont présentés en tableau IV-5 et illustrés en figure IV-1.

**Tableau IV-5: Masses moyennes d'O<sub>3</sub> pour les différentes durées d'exposition.**

durée d'exposition	8h	24h	7jours
m(O <sub>3</sub> ) µg	1,24	1,61	12,48



**Figure IV-1: Quantités massiques d'O<sub>3</sub> piégées pour les différentes durées d'exposition.**

On constate que plus la durée d'exposition est longue, plus les masses d'O<sub>3</sub> piégées sont importantes. Cette évolution n'est toutefois pas linéaire. Comme le montre la figure IV-2, l'ozone varie très peu entre une durée de 8H et 24h, puis semble être proportionnel à la durée pour les échantillonnages de 1 jour à 7 jours.

Ceci s'explique par le fait que durant une journée donnée, l'ozone atteint des niveaux élevés en milieu de journée (cas du prélèvement de 10H à 18H) et diminue fortement en soirée et pendant la nuit (évolution journalière de l'ozone sous forme de courbe en cloche), de façon que globalement, on constate qu'en triplant la durée d'exposition (de 8heures à 24 heures), les teneurs n'augmentent que légèrement (Figure IV-3). En d'autres mots cela signifie que c'est durant la journée qu'on a les teneurs les plus élevées en ozone.

En effet, l'ozone est un polluant dont les teneurs maximales sont relevées en début d'après-midi, les principales conditions favorisant l'apparition de ce pic d'ozone sont :

- L'ensoleillement qui atteint son maximum, puisque le rayonnement UV est directement à l'origine de la formation d'ozone.
- La présence de précurseurs (NOX et COV) en milieu urbain.

Les teneurs minimales d'O<sub>3</sub> sont relevées la nuit où il n'y a plus de photochimie et où l'ozone du jour est détruit au sol.

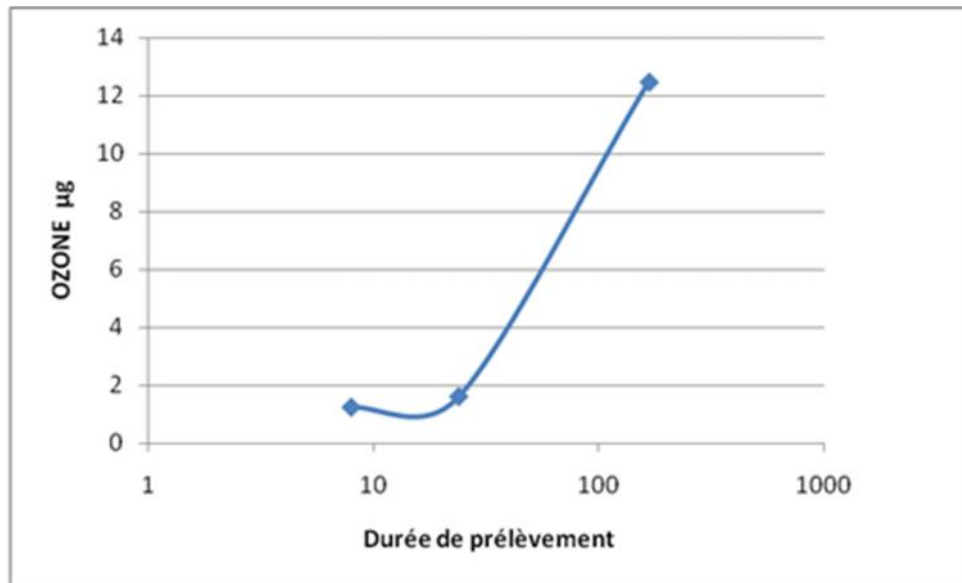


Figure IV-2 : Représentation graphique de l'évolution de l'ozone en fonction de la durée d'échantillonnage.

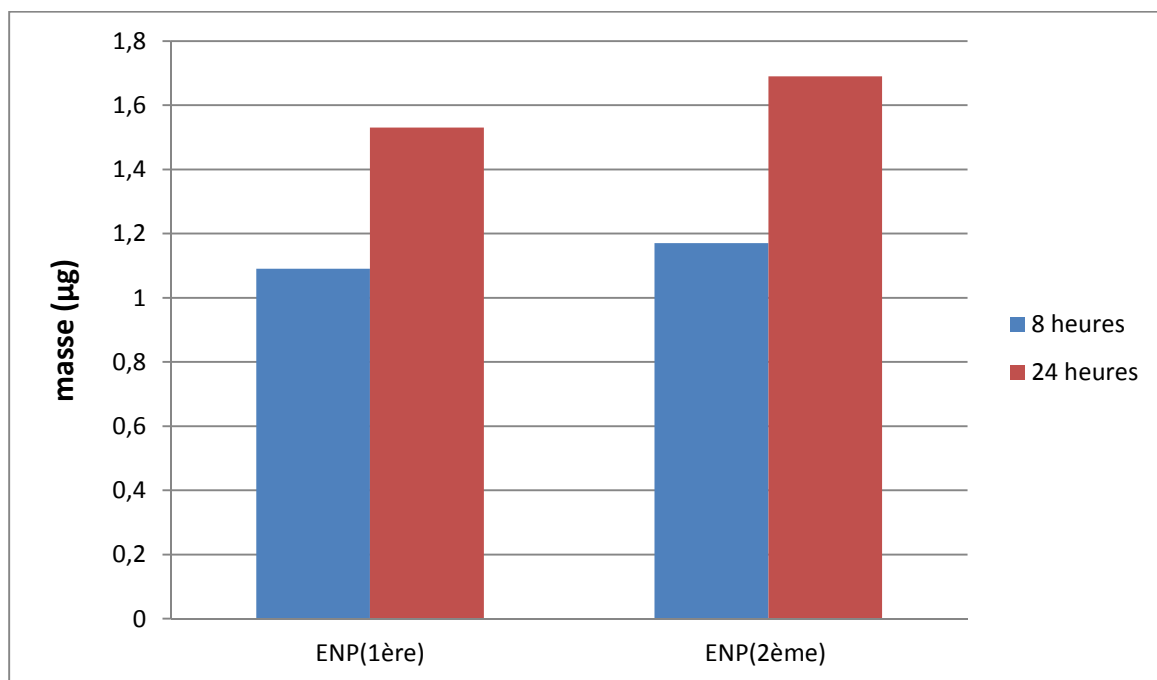


Figure IV-3: Quantité massique moyenne d' $\text{O}_3$  piégée pour les différentes durées d'exposition

Ceci est conforme avec les observations faites par plusieurs études sur l'évolution journalière de l'ozone.

Par ailleurs l'étude montre que la méthode par échantillonnage passif permet d'avoir des quantités facilement détectables même sur des durées de prélèvement très courtes. En effet,

dans le cas de l'ozone, l'échantillonnage passif peut se faire facilement et avec une bonne précision des résultats sur une durée de prélèvement de 8 heures. Ce qui n'est pas le cas pour d'autres polluants. Cette durée permet aussi d'avoir la possibilité de comparer les teneurs avec la norme de l'ozone donnée sur 8 heures.

La situation est cependant différente si on compare les prélèvements sur 24H avec les prélèvements sur 7 jours. Une telle comparaison montre qu'il y a une certaine linéarité proportionnelle des masses piégées à la durée de prélèvement. En effet, on note que la masse collectée sur 7 jours correspond environ à 7 fois la masse collectée sur une journée (Tableau IV-5). Le rapport moyen entre la masse du prélèvement de 7 jours et la masse de 7 fois le prélèvement de 24 h est  $R = 1,1$ .

En d'autre terme, dans des conditions météorologiques et des émissions de précurseurs similaires, on peut déterminer le niveau journalier en ozone à partir des niveaux hebdomadaires et vice-versa.

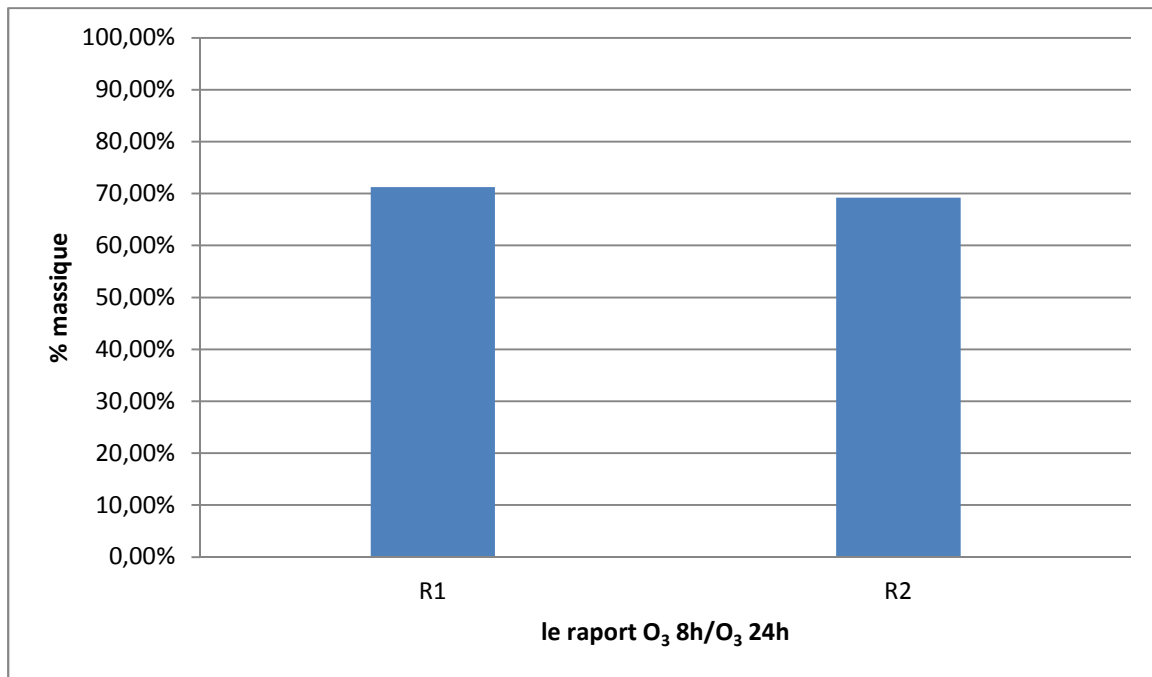
#### IV-4 Comparaison des teneurs en $O_3$ mesurées pour les durées d'exposition de 8 h et 24 h

En comparant l'ozone sur 8h avec l'ozone sur 24h, on peut avoir une idée sur la part de l'ozone nocturne (tableau IV-6 et Figure IV-4).

**Tableau IV-6 : Teneurs massiques en  $O_3$  sur 8heures et sur 24heures.**

Date	12/07	19/07
m $O_3$ ( $\mu\text{g}$ ) sur 8h	1,09	1,17
m $O_3$ ( $\mu\text{g}$ ) sur 24h	1,53	1,69
Rapport $R = m O_3 (8h) / m O_3 (24h)$	71,24%	69,23%





**Figure IV-4: Taux en % de la masse O<sub>3</sub> mesurée sur 8h par rapport à celle de 24h**

D'après ces données, on constate que la teneur d'O<sub>3</sub> sur 8h (en milieu de journée à partir de 10H du matin jusqu'à 18 heures de l'après midi) constitue environ 70 % de l'ozone total mesuré sur 24 heures. L'ozone nocturne (de 18h du soir à 10h du matin suivant) ne constituant que 30%.

L'absence de photochimie conjuguée au NO émis dans la nuit qui est un puit de l'ozone conduit ainsi à une forte diminution de l'ozone.

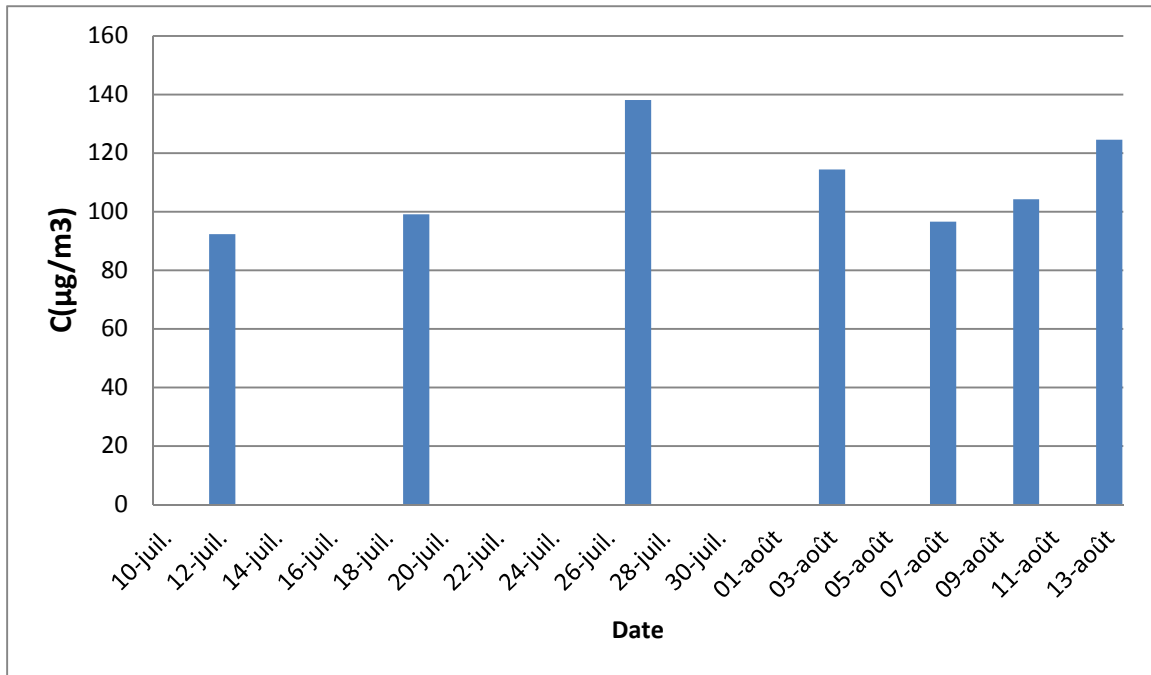
Le pourcentage d'ozone obtenu durant cette étude estivale rejoint celui que nous avons obtenu en saison de printemps de la même année [hamza HAMBLI, Etude par échantillonnage passif de la pollution de l'air par l'ozone et le dioxyde d'azote, PFE, ENP, juin 2015]. Ainsi, il semblerait que la saison n'a pas d'influence sur le taux moyen d'ozone nocturne par rapport à l'ozone diurne.

#### **IV-5 Evaluation des teneurs atmosphériques moyennes en O<sub>3</sub>**

Les analyses des échantillons prélevés lors des campagnes d'échantillonnages nous ont permis de quantifier la pollution par l'O<sub>3</sub> sur huit heures et vingt-quatre heures dans l'air ambiant. Les teneurs atmosphériques en O<sub>3</sub> sur huit heures obtenus lors de différentes campagnes de mesure sont présentés dans le tableau IV-7 et illustrées en figure IV-5.

**Tableau IV-7: Teneurs atmosphériques en O<sub>3</sub> sur 8 heures**

Date	12/07	19/07	27/07	03/08	07/08	10/08	13/08
C (µg/m <sup>3</sup> )	92,31	99,09	138,04	114,33	96,54	104,17	124,49

**Figure IV-5: Teneurs en O<sub>3</sub> mesurées pour une durée d'exposition de 8h.**

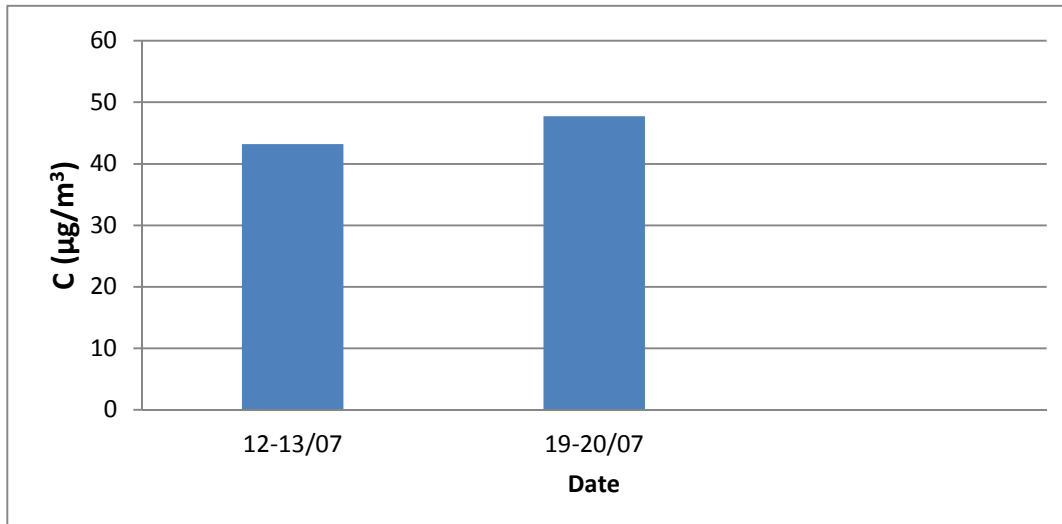
On remarque que pour la majorité des jours étudiés, les teneurs en O<sub>3</sub> ont été élevées qui dus aux facteurs météorologiques, cette période a été caractérisée par la prédominance d'un temps chaud (Tmax : 39°C) et ensoleillé.

On remarque une certaine variation journalière des teneurs en O<sub>3</sub>, cette variation des teneurs peut être due aux variations des conditions météorologiques et aux variations des activités humaines. Les concentrations d'O<sub>3</sub> durant toute la période d'échantillonnage varient entre une valeur minimale de 92,31µg/m<sup>3</sup> et une valeur maximale de 138,04µg/m<sup>3</sup>. La teneur moyenne s'élève à 109,85 µg/m<sup>3</sup>. Ce ne sont toutefois pas des teneurs excessives pour une période estivale. Il est fort probable que le site de l'ENP est exposé au NO des émissions du trafic routier qui neutralise l'ozone (Le NO est un puit de l'ozone).

Les résultats des concentrations en ozone sur vingt-quatre heures obtenus lors des différentes campagnes de mesure sont présentés dans le tableau IV-8 et figure IV-6.

**Tableau IV-8: Teneurs atmosphériques en O<sub>3</sub> sur 24heures**

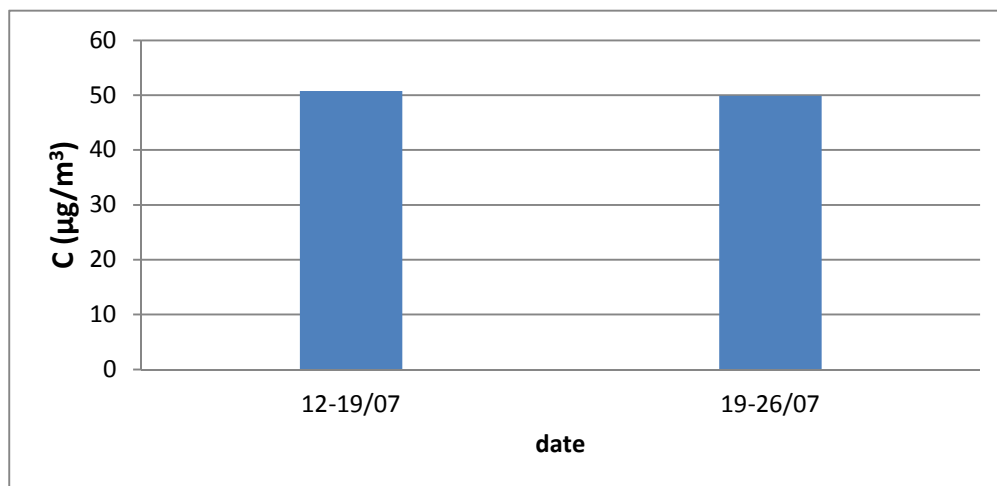
Site	Date	C (µg/m <sup>3</sup> )
ENP	12-13/07	43,19
	19-20/07	47,71

**Figure IV-6: Teneurs atmosphériques en O<sub>3</sub> (échantillonnage de 24 h)**

Comme noté auparavant (tableau IV-3), la période de mi-juillet se caractérise par des teneurs en ozone du même ordre de grandeur. En moyenne la teneur journalière s'élève à 45 µg/m<sup>3</sup>. La teneur journalière est ainsi beaucoup plus faible que la teneur sur 8h.

**Tableau IV-9: Teneurs atmosphériques en O<sub>3</sub> sur 7jours**

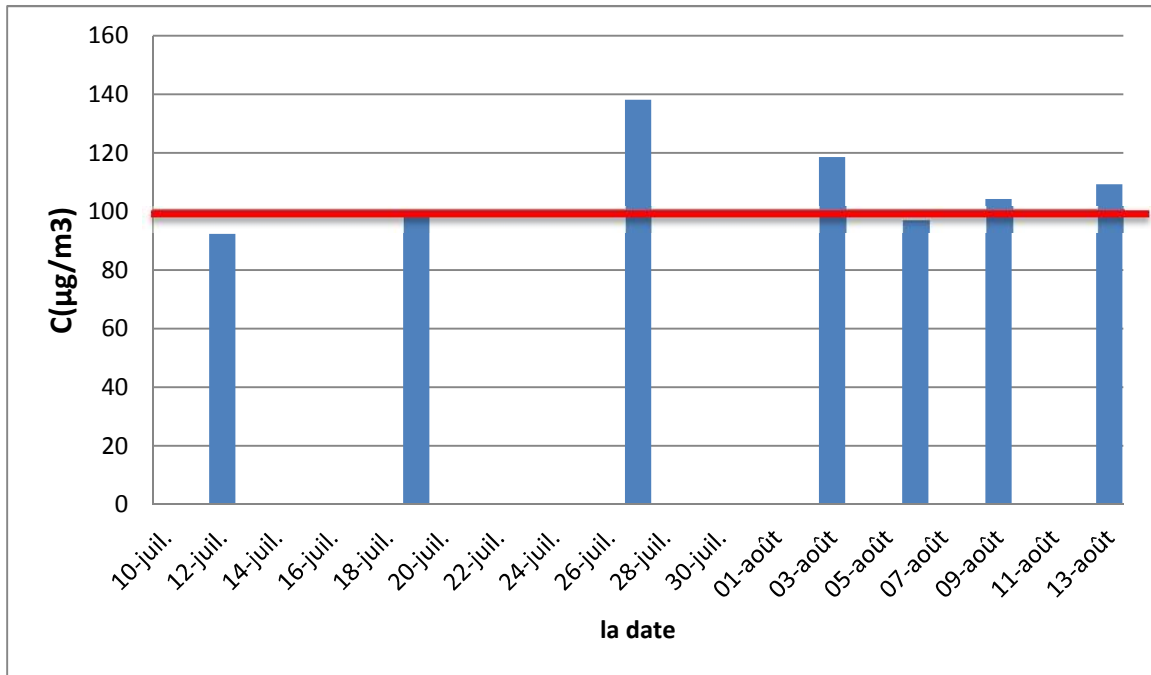
Site	date	C (µg/m <sup>3</sup> )
ENP	12-19/07	50,77
	19-26/07	49,88

**Figure IV-7: Teneurs atmosphériques en O<sub>3</sub> (échantillonnage de 7jours)**

## IV-6 Etude comparative

### IV-6-1 Comparaison par rapport aux normes

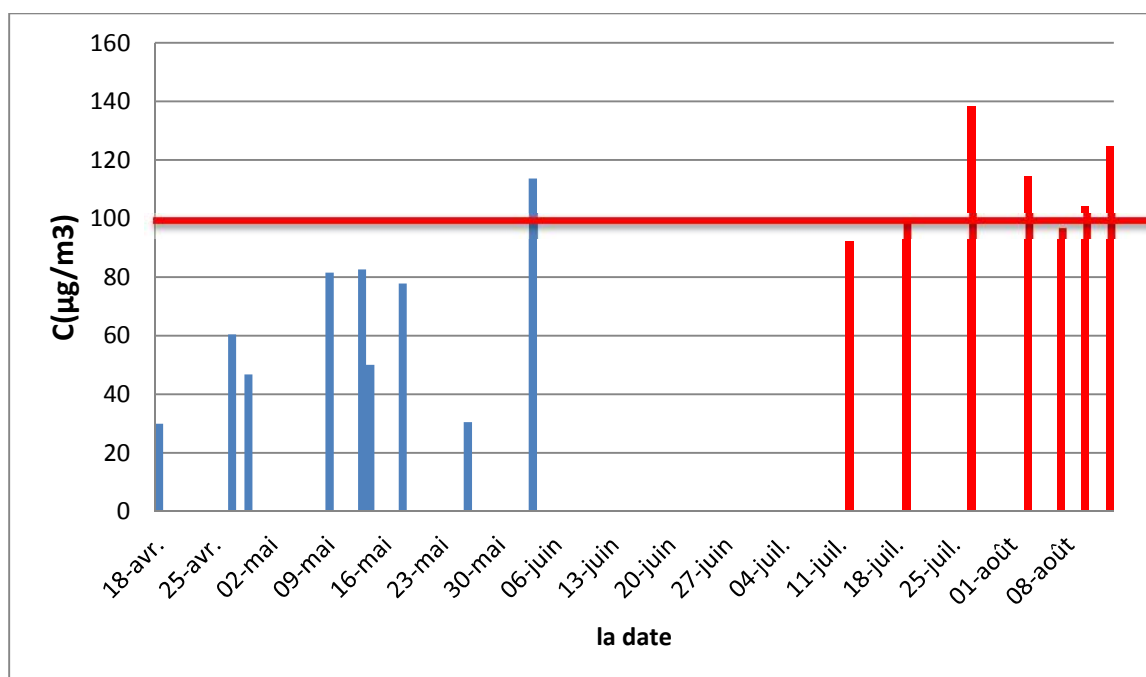
Nous présentons sur la figure une comparaison des teneurs moyennes mesurées par rapport à la norme de l'OMS (norme sur 8h de la journée qui est de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Figure IV-8: Evolution des teneurs en  $\text{O}_3$  sur 8h par rapport la norme OMS.**

Cette comparaison montre que la valeur limite de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur huit heures recommandée par l'OMS est dépassée légèrement pendant plusieurs jours de prélèvement. L'ampleur de ces dépassements n'est cependant pas trop importante. Il en ressort que durant notre période d'étude et malgré des températures élevées, il n'y a pas eu d'épisodes de pollution par l'ozone au site étudié.

## IV-6-2 Comparaison par rapport au mois d'avril et mai de l'année 2015:



**Figure IV-9: Evolution des teneurs en O<sub>3</sub> sur 8h de avril à août 2015 et comparaison par rapport la norme OMS.**

Cette évolution montre clairement que c'est en été (intensification de la photochimie) que les teneurs atmosphériques en ozone sont les plus élevés. On passe en moyenne de 70 µg/m<sup>3</sup> au printemps à environ 110 µg/m<sup>3</sup> en été.

« *Conclusion générale* »

Nous avons utilisé le prélèvement passif qui a montré une grande efficacité pour la mesure des concentrations d'Ozone ( $O_3$ ) dans l'air ambiant. Les prélèvements sur une durée de 8h ont mis en évidence les très faibles niveaux de l'ozone nocturne.

L'étude montre que dans l'agglomération d'Alger, la pollution de l'air par L'Ozone atteint des niveaux relativement élevés, qui dépassent les normes, la teneur moyenne sur huit heures est de l'ordre de  $110 \mu g/m^3$ .

Cette étude montre que les dépassements de la norme OMS sont très fréquents entre juin et août. Ces mois constituent en effet les mois de l'année où les radiations solaire sont importantes.

Comme l'ozone ne peut pas s'accumuler en des sites qui peuvent être exposés aux émissions du trafic routier, il serait intéressant dans le futur à faire des études similaires en zone rurale où semi-rural loin des centres urbains où l'ozone peut atteindre des teneurs plus élevées que celles que nous avons mesuré.

A la lumière de ces résultats nous proposons quelques réflexions pour réduire la détérioration de la qualité de l'air dans l'agglomération d'Alger :

Pour lutter contre la pollution photochimique les autorités publiques doivent sensibiliser les citoyens de l'effet néfaste de l'ozone sur leur santé et sur l'environnement surtout en été en encourageant la société civile à organiser des journées et des campagnes comme celles de la journée sans voitures à Alger et utilisé les transports en commun non polluants comme le métro, le tramway, les téléphériques.

Actuellement un renouvellement du parc national doit être envisagé en encourageant l'achat des voitures moins polluantes. À court ou moyen terme le gouvernement doit interdire l'importation des voitures sans catalyseurs.

Les services de l'environnement doivent installer plusieurs stations de contrôle de la qualité pour suivre l'air en des sites adéquats pour surveiller la pollution photochimique.

*« REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES »*



- [1] Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – MDDEP. (2010). Fine particles and ozone in Quebec relative to the Canada-Wide standards (2009 Report). Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de la qualité de l'atmosphère.
- [2] Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – MDDEP. (2010). Le programme de surveillance de la qualité de l'air. [En ligne]. [http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/programme\\_surveillance/index.htm](http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/programme_surveillance/index.htm). (Page consultée le 2 juin 2012).
- [3] Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – MDDEP. (2010). Mise à jour des critères québécois de qualité de l'air. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- [4] United State Environmental American Agency – U.S. EPA. (2006). Air quality criteria for ozone and other photochemical oxidants, no EPA /600/P-93/004aF.
- [5] KERBACHI. R, BOUGHEDAOU. M, KOUTAI. N et LAKKI. T. (1998) - La pollution par les oxydes d'azotes et l'ozone à Alger. Pollution Atmosphérique, avril-juin, p. 89-101.
- [6] KERBACHI . R, BOUGHDAOUI . M, et KEDDAM M. (1999) -Aromatic hydrocarbons in urban air of Algiers. 8th International Symposium Transport and Air pollution, Graz, Autriche, may 31- june 2.
- [7] KOUTAI . N, (1995) - Contribution à l'étude de la pollution atmosphérique par les oxydes d'azote et l'ozone dans le grand ALGER. Thèse de magister, ENP.
- [8] MEGIE. G, (1988) - Les modifications chimiques de l'atmosphère et leurs effets sur l'environnement. Pollution Atmosphérique, janvier-mars, p. 5-11.
- [9] ACADEMIE DES SCIENCES (octobre 1993) - Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère. Rapport No. 30, Lavoisier, Paris, 262 p.
- [10] SINGH . H. B, LUDWIG . F. L et JOHNSON . W. B, (1978) - Tropospheric ozone concentrations and variabilities in clean remote atmosphere. Atmospheric Environment, 12, p. 2185-2196.
- [11] MARENCO . A, (1986) - Variation of CO and O<sub>3</sub> in the troposphere evidence of O<sub>3</sub> photochemistry. Atmospheric Environment, 20, p. 911-915.

[12] LEIGHTON .P. A, (1961) - Photochemistry of air pollution. Academic Press, New-York.

[13] DEGOBERT . P « Automobile et pollution ». Edition Technip, Paris, 1992.

[14] GERMAIN . G « Observatoire des Nuisances Aériennes, Bureau d'études des nuisances aériennes » février 2006.

[15] http: Il [www.airparif.asso.fr](http://www.airparif.asso.fr)

[16] Institut national de santé publique du Québec. (2012). Bilan de la qualité de l'air au Québec en lien avec la santé, 1975-2009. Québec : Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec.

[17] Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles – INRS (1997). Fiche toxicologique N.43 : Ozone. [En ligne]. <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%2043>.(Page consultée le 2 juin 2012).

[18] MASCLET. P « Pollution atmosphérique : causes, conséquences, solutions, perspectives », Edition Ellipse, Paris, (2005).

[19] BARNEA . M . P. Ursu «Pollution et protection de l'atmosphère», Ed. Eyrolles, Paris, 1974.

[20] BUCHARD . V, HELFER. P, MATTLE . P, MULLER . C « Etude de la Pollution Atmosphérique Transfrontalière (EPAT), rapport de campagne d'étude ». Lausanne, 2000.

[21] NORMES APPLIQUEES DANS LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT Pr. R. KERBACHI Dpt de Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Polytechnique B.P.182, El-Harrach, Alger 16200, Algérie.

[22] MANUALRADIELLO FR (<http://www.radiello.com>).

[23] KERBACHI. R « cours pollution atmosphérique » 5<sup>ème</sup> année Génie de l'Environnement.