

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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

جامعة أمحمد بوقرة بومرداس

**Université M'hamed Bougara de Boumerdès**



**Faculté des Sciences - Département de Chimie**

**Domaine : Science de la Matière**

**Filière : Chimie**

**Spécialité : Chimie de l'Environnement**

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Présentée et soutenue par

**BELHADI Houria**

**Thème**

**Traitement des données des polluants de l'air mesurés à la  
station « Nesma »  
du Centre de Développement des Energies Renouvelables  
(CDER)**

Mme LABRAOUI Karima	Maître de Conférences B-FS-UMBB	Présidente
Mme OUCHER Nassima	Maitre de Recherche B (CDER)	Promoteur
Mme LAKKI Taoues	Maître Assistante A-FS-UMBB	Co-promoteur
Mme BENSADALLAH Leila	Maître de Conférences B-FS-UMBB	Examinatrice

2020/2021



## *REMERCIEMENTS*

*Je remercie très sincèrement la présidente de jury  
Mme K. LABRAOUI et l'examinatrice Mme L. BENSADALLAH  
ayant acceptées d'évaluer ce travail.*

*Ce travail a été effectué au Centre De Recherche et du Développement  
des Energies Renouvelables (CDER) sous la direction du Chercheur  
Mme N. OUCHER, à qui j'éprouve toute ma gratitude de m'avoir  
permis de réaliser ce travail, de m'avoir encadrée durant ces cinq  
mois et de m'avoir toujours soutenues, pour sa gentillesse, sa  
disponibilité, sa patience et pour ses directives judicieuses tout au long  
de ce travail.*

*Et à ma Co-promotrice Mme T. LAKKI Merci pour tous vos aides  
dans ce travail, mais aussi pour les conseils avisés que vous m'avez  
donné au mémoire à des moments critiques sans oublier ses grandes  
qualités humaines.*

A decorative illustration in the top left corner featuring a green vine with several heart-shaped leaves and three blue butterflies. The butterflies are positioned at different points along the vine, one near the top left, one near the top right, and one near the middle left.

*Dédicace,*

*Tout d'abord louange à dieu tout puissant qui nous a donné toutes les capacités physiques et morales pour la réalisation du présent travail.*

*Mes chers parents, Sans qui je n'en serais pas là où j'en suis aujourd'hui et qui m'ont inculqué des valeurs essentielles. Vous m'avez soutenue sans relâche dans mes études et été confiants dans mon travail et mes choix. Merci pour toutes ces années pendant lesquelles vous avez toujours trouvé comment me remonter le moral dans les moments difficiles et pour avoir été présents au quotidien.*

*Mon frère Fatah, Mes chères sœurs, Pour leur soutien, leurs conseils de grands frères et leur humour, qui ont fait de moi une sœur fière de sa fratrie.*

*Mes amis,*

*Qui, de près ou de loin, et de quelque manière qu'il soit, ont été impliqués dans l'écriture de ce mémoire, notamment Hassiba. Merci à tous pour les moments inoubliables sur les bancs de la fac ou ailleurs...*

## ملخص

تم قياس تراكيز الأوزون ( $O_3$ ) وأكاسيد النيتروجين ( $NO_2$  و  $NO$ ) والمركبات العضوية المتطايرة غير الميثانية (NMVOC) على التوالي بواسطة أجهزة التحليل (APOA- 370) و (APNA-370) و (APHA - 370) لمحطة نسما لمراقبة جودة الهواء التي تم تركيبها في الموقع الحضري CHU مصطفى (الجزائر العاصمة). تم جمع أكثر من 19000 من البيانات كل ساعة عن هذه ملوثات الهواء للفترة بين أبريل 2017 ومايو 2018 والتي تم اختيارها لدراستنا. تم تحليل وتوضيح الاختلافات في التركيزات حسب الوقت من اليوم وشهر السنة ونوع اليوم (يوم العمل / عطلة نهاية الأسبوع). تم تسجيل قيم نموذجية (بالساعة ومتوسط) لكل ملوث في أوقات الذروة المرورية لأكاسيد النيتروجين ( $NO_2$  و  $NO$ ) و NMVOC، بينما لوحظت القمم  $O_3$  بعد عدة ساعات من تسجيل قيم أكاسيد النيتروجين  $NO_x$  و NMVOC. من الواضح أن متوسط تراكيز  $NO_x$  و NMVOC أعلى في أيام الأسبوع منه في عطلات نهاية الأسبوع، باستثناء الأوزون. تعتبر حركة مرور السيارات مسؤولة عن جزء كبير من انبعاثات NMVOC و  $NO$ . وكانت تراكيز الأوزون أعلى في الصيف منها في الشتاء، باستثناء أكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة غير العضوية. في الصيف، تكون ظروف الأرصاد الجوية هي الأكثر ملاءمة لتكوين وتراكم الأوزون بمستويات عالية تجاوزت أحياناً معايير الساعة التي وضعتها الجزائر ومنظمة الصحة العالمية. أخيراً، سمحت نتائج هذه الدراسة بتقييم تراكيز الملوثات في موقع CHU مصطفى وتبين أنه ملوث بالأوزون ومن انبعاثات NMVOC و  $NO_x$ .

**الكلمات المفتاحية:**  $O_3$ ،  $NO_x$ ، NMVOC، تلوث الهواء، موقع حضري.

## Résumé

Les concentrations horaires ambiantes d’ozone ( $O_3$ ), des oxydes d’azotes ( $NO_2$  et  $NO$ ) et des composés organiques volatils non méthaniques COVNM ont été mesurées respectivement par les analyseurs (APOA- 370), (APNA-370) et (APHA – 370) de la station de surveillance de la qualité de l’air Nesma installée au site urbain de CHU Mustapha (Alger). Plus de 19000 données horaires de ces polluants atmosphériques ont été collectées pour la période entre Avril 2017 et Mai 2018 qui est choisi pour notre étude. Des variations des concentrations selon l’heure de la journée, le mois de l’année et le type de la journée (jour ouvrable/week-end) ont été analysées et illustrées. Des pics (horaires et moyens) caractéristiques pour chaque polluant ont été enregistrés aux heures de pointes de la circulation automobile pour les  $NO_x$  ( $NO_2$  et  $NO$ ) et COVNM alors que pour l’ozone, les pics ont été observés plusieurs heures après l’enregistrement des pics des  $NO_x$  ( $NO_2$  et  $NO$ ) et des COVNM. Il apparaît clairement que les concentrations moyennes des  $NO_x$  et des COVNM sont systématiquement plus élevées les jours ouvrables que les week-ends sauf pour l’ozone. Le trafic automobile est responsable d’une grande part des émissions des COVNM et du  $NO$ . Cependant, les concentrations d’ozone ont

été plus élevées en été qu'en hiver, sauf pour les NO<sub>x</sub> et les COVNM. En été, les conditions météorologiques sont les plus favorables pour la formation et l'accumulation de l'ozone à des niveaux élevés qui excèdent parfois les normes horaires établies par l'Algérie et l'OMS. Enfin, les résultats de cette étude ont permis d'évaluer les concentrations atmosphériques dans le site de CHU Mustapha et ont montré que ce site est pollué par l'ozone et par ces précurseurs les NO<sub>x</sub> et les COVNM.

**Mots clés :** O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, pollution de l'air, site urbain.

### **Abstract**

The hourly ambient concentrations of ozone (O<sub>3</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>2</sub> and NO) and non-methane volatile organic compounds NMVOC were measured respectively by the analyzers (APOA- 370), (APNA-370) and (APHA - 370) of the air quality monitoring station Nesma installed at the urban site of CHU Mustapha (Algiers). More than 19000 hourly data of these air pollutants were collected for the period between April 2017 and May 2018 which is chosen for our study. Variations of concentrations according to time of day, month of the year and type of day (working day/weekend) were analyzed and illustrated. Typical peaks (hourly and average) for each pollutant were recorded at peak traffic times for NO<sub>x</sub>(NO<sub>2</sub> and NO) and NMVOCs, whereas for ozone, peaks were observed several hours after the recording of NO<sub>x</sub>(NO<sub>2</sub> and NO) and NMVOC peaks. It is clear that the average concentrations of NO<sub>x</sub> and NMVOC are systematically higher on weekdays than on weekends, except for ozone. Motor traffic is responsible for a large part of the NMVOC and NO emissions. However, ozone concentrations were higher in summer than in winter, except for NO<sub>x</sub> and NMVOC. In summer, meteorological conditions are most favorable for the formation and accumulation of ozone at high levels that sometimes exceed the hourly standards established by Algeria and WHO. Finally, the results of this study have allowed evaluating the atmospheric concentrations in the site of CHU Mustapha and have shown that this site is polluted by ozone and by its precursors NO<sub>x</sub> and NMVOC.

**Key words:** O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, air pollution, urban site.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Schéma structurel de l'atmosphère terrestre	19
<b>Tableau 02</b> : les effets des principaux polluants sur la	29
<b>Tableau 03</b> : Normes réglementaires aux expositions d'O <sub>3</sub>	32
<b>Tableau 04</b> : Normes réglementaires aux expositions des NO <sub>2</sub>	33
<b>Tableau 05</b> : Normes réglementant aux expositions aux COV	33
<b>Tableau 06</b> : Informations recueillies sur les données mesurées sur les périodes d'étude	47
<b>Tableau 07</b> : Récapitulatif de traitement des données des polluants étudiés	48
<b>Tableau 08</b> : Statistiques concernant les niveaux mensuels de l'ozone (ppb)	50
<b>Tableau 09</b> : Statistiques concernant les niveaux mensuels du NO (ppb)	59
<b>Tableau 10</b> : Statistiques concernant les niveaux mensuels des NO <sub>2</sub> (ppb)	60
<b>Tableau 11</b> : Statistiques concernant les niveaux mensuels des NO <sub>x</sub> (ppb)	61
<b>Tableau 12</b> : Statistiques concernant les niveaux mensuels COVNM (ppm)	72

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Structure de l'atmosphère	18
<b>Figure 02</b> : Représentation schématique des principaux mécanismes impliqués dans la formation de l'O <sub>3</sub> troposphérique	25
<b>Figure 03</b> : Mécanisme de la pollution atmosphérique	26
<b>Figure 04</b> : Photo d'un abri pour tubes passifs	36
<b>Figure 05</b> : Modèle de diffusion sur un échantillonneur passif	36
<b>Figure 06</b> : Localisation de la station Nesma de surveillance de la qualité de l'air au CHU Mustapha	38
<b>Figure 07</b> : Photos de la station Nesma de surveillance de la qualité de l'air au CHU Mustapha	39
<b>Figure 08</b> : Les différents analyseurs de la station Nesma	41
<b>Figure 09</b> : Analyseur d'Ozone (APOA- 370)	42
<b>Figure 10</b> : Analyseur de HCT « COV » (APHA - 370)	44
<b>Figure 11</b> : Analyseur des NO <sub>x</sub> (APNA – 370)	45
<b>Figure 12</b> : Distribution des fréquences de concentrations horaires d'ozone	49
<b>Figure 13</b> : Variation temporelle des concentrations horaires d'ozone durant la période d'étude (01/06/2017 - 22/02/2018)	51
<b>Figure 14</b> : Variation temporelle des concentrations horaires maximales d'ozone durant la période d'étude (01/06/2017 - 22/02/2018)	52
<b>Figure 15</b> : Nombre de jours de dépassement mensuels du seuil de protection de la santé de 80ppb sur 1h et seuil d'information de 90ppb sur 1h	52
<b>Figure 16</b> : Variation temporelle des concentrations moyennes journalières d'ozone	53
<b>Figure 17</b> : Nombre de jours de dépassement mensuels du seuil de protection pour la végétation 32.5ppb (65µg/m <sup>3</sup> ) sur 24 h	53
<b>Figures 18 a) à 18 e)</b> : Les variations journalières des concentrations horaires d'ozone pour des journées représentatives sélectionnées	55
<b>Figure 19</b> : Variation horaire des concentrations moyennes d'ozone pendant la période d'étude (01/06/2017 - 22/02/2018)	56
<b>Figure 20</b> : Variation mensuelle des concentrations moyennes d'ozone pendant la période d'étude (01/06/2017 - 22/02/2018)	57

<b>Figure 21</b> : Variation des concentrations horaires moyennes d'ozone durant les weekends et les jours ouvrables	57
<b>Figure 22</b> : Distribution des fréquences de concentrations horaires de NO	62
<b>Figure 23</b> : Distribution des fréquences de concentrations horaires des NO <sub>2</sub>	62
<b>Figure 24</b> : Distribution des fréquences de concentrations horaires des NO <sub>x</sub>	62
<b>Figure 25</b> : distribution temporelle des concentrations horaires des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub>	63
<b>Figure 26</b> : Variation temporelle des concentrations moyennes journalières des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub> pour la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)	64
<b>Figure 27</b> : Variation temporelle des concentrations horaires maximales des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub> pendant la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)	65
<b>Figure 28</b> : Variation horaire des concentrations moyennes de NO pendant la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)	65
<b>Figure 29</b> : Variation horaire des concentrations moyennes des NO <sub>2</sub> pendant la période d'étude (01/06/2017 - 22/02/2018)	66
<b>Figure 30</b> : Variation horaire des concentrations moyennes des NO <sub>x</sub> pendant la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)	66
<b>Figures 31 a) - 31e)</b> : Les variations journalières des concentrations horaires des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub> pour des journées représentatives sélectionnées	68
<b>Figure 32</b> : Variation des concentrations horaires moyennes des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub> durant les weekends et les jours ouvrables	70
<b>Figure 33</b> : Distribution des fréquences de concentrations horaires des COVNM	71
<b>Figure 34</b> : Distribution temporelle des concentrations horaire des COVNM durant la période d'étude (01/01/2018 - 31/05/2018)	73
<b>Figure 35</b> : Variation temporelle des concentrations horaires maximales des COVNM	74
<b>Figure 36 a) – 36c)</b> : Les variations journalières des concentrations horaires des COVNM pour des journées représentatives sélectionnées	75
<b>Figure 37</b> : Variation horaire des concentrations moyennes des COVNM selon le mois de l'année	76
<b>Figure 38</b> : Variation mensuelle des concentrations moyennes des COVNM pendant la période d'étude (01/01/2018 - 31/05/2018)	76
<b>Figure 39</b> : Variation des concentrations horaires moyennes des COVNM durant les weekends et les jours ouvrables	77



## Liste des abréviations

**ADEME** : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

**BTEX** : Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes.

**CDER** : Centre de Développement des Energies Renouvelables

**CH<sub>4</sub>** : Méthane

**CO** : Monoxyde d'oxygène

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde d'oxygène

**COV** : Composés Organiques Volatils

**COVNM** : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

**FID** : Détecteur à Ionisation de Flamme

**JOUE** : Journal Officiel de l'Union Européenne

**NO** : Monoxyde d'azote

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

**NO<sub>x</sub>** : Oxydes d'azotes

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

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**ONEDD** : Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable

**ONS** : Office National des Statistiques

**UE** : Union Européenne

**UV** : Ultra-violet

# Sommaire

Liste des tableaux	06
Liste des figures	07
Liste des abréviations	09
Introduction générale	14

## Chapitre I : Généralités sur la Pollution atmosphérique

I.1 L'atmosphère terrestre	17
I.1.1 Troposphère	17
I.1.2 Stratosphère	17
I.1.3 Mésosphère	17
I.1.4 Thermosphère	18
I.2 Composition chimique de l'atmosphère	19
I.3 Pollution de l'air	19
I.3.1 la Pollution de l'Air dans le monde	19
I.3.2 Définition de la pollution de l'air	20
I.3.3 Polluants atmosphériques	22
I.3.4 Sources des polluants atmosphériques	26
I.4 Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants	27
I.4.1 Le vent	27
I.4.2 La température de l'air	28
I.3.3 Les nuages	28
I.4.4 Le phénomène d'inversion de la température	28
I.5 Effets de la pollution de l'air	28
I.6 Normes sur la pollution atmosphérique	31
I.7 Techniques de mesures des polluants de l'air	34
I.7.1 Prélèvement actif (mesure automatique)	34
I.7.2 Les mesures par tube à échantillonnage passif	35

## **Chapitre II : Matériels et Méthodes**

II.1 Description de la station d'observation atmosphérique	38
II.2 Site d'échantillonnage	38
II.3 Méthode de prélèvement, d'analyse et description des analyseurs	40
II.3.1 Méthode de prélèvement et d'analyse	40
II.3.2 Description des analyseurs	40

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

III.1 Niveaux de concentrations horaires d'ozone (O <sub>3</sub> )	48
III.1.1 Bilan statistique des niveaux d'ozone	48
III.1.2 Variation temporelle des concentrations horaires d'ozone	51
III.1.3 Variation temporelle des concentrations horaires maximales journalières	51
III.1.4 Variation temporelle des concentrations moyennes journalières	52
III.1.5 Variation journalière des concentrations horaires d'ozone	53
III.1.6 Variation des concentrations horaires moyennes d'ozone durant la période d'étude	55
III.1.7 Variation des concentrations horaires moyennes d'ozone durant les weekends et les jours ouvrables	56
III.2 Niveaux de concentrations horaires des NO <sub>x</sub>	57
III.2.1 Bilan statistique des niveaux des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub>	58
III.2.2 Variation temporelle des concentrations horaires des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub>	63
III.2.3 Variation temporelle des concentrations horaires maximales	64
III.2.4 Variation mensuelle des concentrations horaires moyennes des NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub>	65
III.2.5 Variation journalière des concentrations horaires des NO <sub>x</sub> (NO, NO <sub>2</sub> )	66
III.2.6 Variation des concentrations horaires moyennes de NO, NO <sub>2</sub> et NO <sub>x</sub> durant les weekends et les jours ouvrables	59
III.3 Niveaux de concentrations horaires des COVNM	71
III.3.1 Bilan statistique des niveaux des COVNM	71
III.3.2 Variation temporelle des concentrations horaires des COVNM	73
III.3.3 Variation temporelle des concentrations horaires maximales des COVNM	73
III.3.4 Variation journalière des concentrations horaires des COVNM	74
III.3.5 Variation mensuelle des concentrations horaires moyennes des COVNM	76

III.3.6 Variation des concentrations horaires moyennes de COVNM durant les weekends et les jours ouvrables	77
Conclusion générale	79
Bibliographie	81

Actuellement, Alger ne dispose pas de réseau de surveillance de la pollution atmosphérique et aucune alerte ne peut être donnée pour prévenir les dégâts en cas de forte pollution. Les dernières mesures de Samasafia remontent à août 2009, si l'on se réfère aux informations mises sur le site de l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD), un organisme relevant du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement de l'époque, qui gère le réseau (Mohand Ouarab, 2019).

En Algérie, la croissance du parc automobile induite par le développement socio-économique et la forte urbanisation ont conduit à l'apparition chez la population citadine de maladies chroniques liées à la dégradation de la qualité de l'air. Nous avons actuellement dans la seule ville d'Alger centre (75541 habitants) plus d'un Million et demi de véhicules qui circulent (ONS, 2019).

Les grandes agglomérations craignent d'être asphyxiées par l'automobile. Du fait que, les Algériens vivent dans une atmosphère de plus en plus irrespirable, principalement due à la pollution automobile auxquels s'ajoute le chauffage urbain en hiver et les activités industrielles intra-urbaines. Les principaux polluants rencontrés dans l'atmosphère de la ville d'Alger et autres villes d'Algérie sont les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone CO, les composés organiques volatils COV et les particules fines PM. A ces polluants s'ajoute l'Ozone formé par réaction photochimique, essentiellement au printemps et en été, lorsque la durée d'ensoleillement est suffisante, ainsi que les particules qui sont à la fois émises directement ou formées par réaction gaz-particules (Kerbachi et al., 1998) ; (Kerbachi et al., 2006) ; (Talbi et al., 2018) ; (Dahech et Saihia, 2019). Comme mentionné dans les publications nationales et internationales (Kerbachi et al., 1998) ; (Kerbachi et al., 2006) ; (Talbi et al., 2018) ; (Dahech et Saihia, 2019) sur l'état de la qualité de l'air, la pollution de l'air est devenue est un problème environnemental en Algérie.

Des progrès importants dans la réduction de la pollution ont ainsi été accomplis à partir des années 1980 grâce à un renforcement de normes relatives aux différents polluants.

L'objectif principal de ce travail est de traiter les données des différents polluants mesurés par les analyseurs de la station de surveillance de la qualité de l'air Nesma du CDER installée au CHU Mustapha durant l'année 2017. Ce traitement statistique et graphique a permis de connaître les niveaux des polluants et les dépassements des normes requises.

Le présent manuscrit est scindé en trois chapitres :

Le premier chapitre est une revue de littérature concernant la pollution de l'air.

Le second chapitre est consacré aux descriptions de la station de surveillance de la qualité de l'air Nesma, du site d'échantillonnage et des analyseurs, et nous rapportons aussi la méthode de prélèvement et d'analyse des polluants gazeux comme l'O<sub>3</sub> et ses précurseurs (COVNM et NO<sub>x</sub>).

Le troisième chapitre est réservé à la présentation des résultats de ces trois polluants en étudiant leur évolution temporelle selon le jour de l'année, journée moyenne mensuelle et selon le type de la journée (jours ouvrables/week-ends). Aussi l'ajustement à une loi de probabilité théorique à la distribution des fréquences des concentrations horaires a été effectué.

Enfin nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

## **I.1 L'atmosphère terrestre**

L'atmosphère est la couche gazeuse entourant la terre. Elle a un rôle protecteur très important, permettant la vie sur la planète. Elle protège la terre de certains rayonnements cosmiques et solaires (Elichegary et al, 2010). Vu de l'espace, il forme une fine couche de lumière bleu foncé qui apparaît à l'horizon, il s'étend sur une altitude de quelques centaines de kilomètres, mais la majeure partie est confinée à une altitude de 50 kilomètres au-dessus de la surface de la terre (Benmedjahed M.2008).

Elle peut être décrite en quatre couches, du niveau le plus bas en altitude au niveau le plus haut : la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, et la thermosphère (Fig.1). Les couches de transition sont des zones où les gradients de température verticale changent de signe (Elichegary et al, 2010).

### **I.1.1 Troposphère**

La troposphère est la couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre. L'épaisseur moyenne de cette couche est d'une dizaine de kilomètres. Elle est caractérisée par la décroissance de la température avec l'altitude de 6 à 7°C en moyenne par kilomètre et représente 80 à 85 % de la masse de l'atmosphère. C'est dans cette couche qu'on retrouve la plus grande partie des phénomènes météorologiques (nuages, pluies, etc.) et les mouvements atmosphériques horizontaux et verticaux (convection thermique, vents) (Kebir M. 2011).

### **I.1.2 Stratosphère**

La stratosphère est au-dessus de la troposphère. C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone. Ce dernier absorbe la majorité des rayons ultraviolets du soleil, qui sont extrêmement nocifs pour tous les êtres vivants. Cette absorption se traduit par la libération d'énergie sous forme de chaleur. Pour cette raison, lorsqu'on monte dans la stratosphère, la température augmente (Kasbadji N. 2006).

### **I.1.3 Mésosphère**

Au-dessus de la stratosphère se trouve la mésosphère. La température commence à baisser avec l'altitude dans cette couche, atteignant -80°C à une altitude d'environ 80 kilomètres (Benmedjahed M.2008).

### I.1.4 Thermosphère

La thermosphère est la couche supérieure. Avec la hauteur, la température monte et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des centaines de kilomètres d'altitude avant de se dissiper dans l'espace. La thermosphère se refroidit à près de zéro degré et les molécules d'air se raréfient (Facon S. 2016).

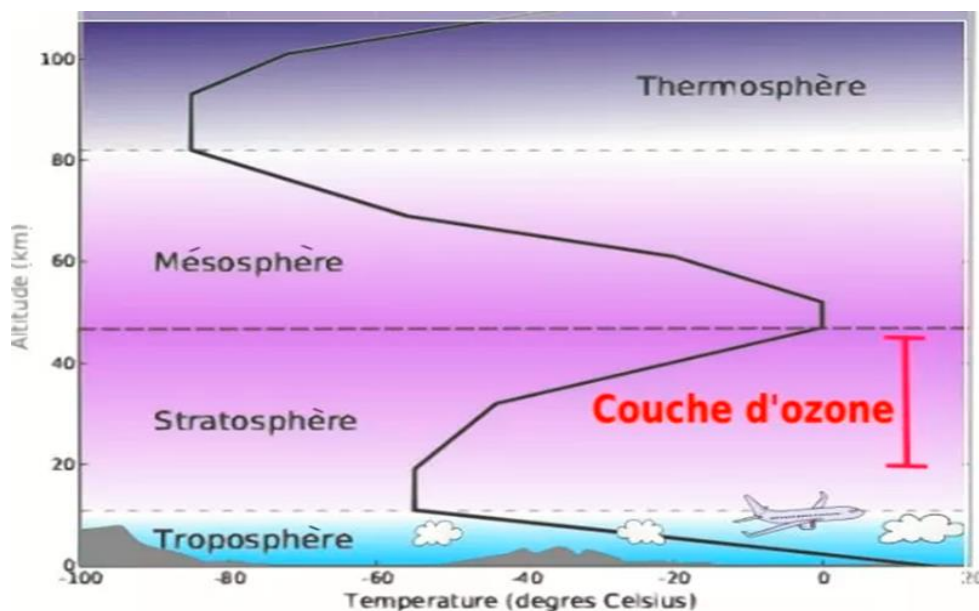


Figure 01 : Structure de l'atmosphère

La pression atmosphérique décroît très régulièrement avec l'altitude. Alors que, la température décroît, croît puis décroît avec l'altitude. Le sol est chauffé par les radiations solaires, l'essentiellement par absorption de la lumière infrarouge. Le sol transmet sa température à la basse troposphère (Masclat, 2005).

Dans la troposphère, les substances chimiques subissent des phénomènes de transports horizontaux (l'advection), due à l'apport, sous l'effet du vent. Le transport des gaz et particules peut s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres et certains polluants peuvent faire le tour de la terre (Masclat, 2005).

On a aussi les mixages verticaux (convection), ce transport atmosphérique est un phénomène analogue à la convection ou l'air chaud monte puis redescend. Ces deux phénomènes contribuent à un fort brassage de toutes les espèces chimiques gazeuses ou particulaires, dans les basses couches (Masclat, 2005).



## I.2 Composition chimique de l'atmosphère

L'atmosphère naturelle contenant principalement 78,01% d'azote, 20,95% d'oxygène, 0,93% d'argon, 360 ppm de dioxyde de carbone et de l'eau atmosphérique à l'état de vapeur et d'aérosol (tableau 01). La composition naturelle de l'air peut se modifier seulement dans les lieux où se produisent des émanations du sous-sol surtout dans tous les terrains volcaniques et marécageux (Ramade, 2000).

**Tableau 01** : Schéma structurel de l'atmosphère terrestre (Vendell, 2011)

<b>Constituant</b>	<b>Formule</b>	<b>Pourcentage volumique</b>
Azote	N <sub>2</sub>	78,09
Oxygène	O <sub>2</sub>	20,94
Argon	Ar	0,93
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	0,033
Néon	Ne	18,18 .10 <sup>-4</sup>
Hélium	He	5,239 .10 <sup>-4</sup>
Krypton	Kr	1.139 .10 <sup>-4</sup>
Hydrogène	H <sub>2</sub>	0,5 .10 <sup>-4</sup>
Xénon	Xe	0,086 .10 <sup>-4</sup>
Radon	Rn	6 10 <sup>-18</sup>

## I.3 Pollution de l'air

### I.3.1 Pollution de l'Air dans le monde

La pollution de l'air concerne tout le monde. Dans la vie moderne, nous passons, en moyenne, 80 % de notre temps dans des espaces clos ou mi-clos (à la maison, au travail, à l'école, dans les magasins ou les transports). L'air que nous y respirons peut avoir des effets non seulement sur notre confort, mais aussi sur notre santé (Lee et al, 2020).

Le parc automobile mondial est une source majeure de pollution et de changement climatique. Les émissions des véhicules, en particulier, sont une source importante de particules fines (PM<sub>2,5</sub>) et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et sont une source majeure de pollution de l'air urbain. Cependant, il existe des différences régionales importantes, la fabrication automobile en Asie et en Afrique augmentant de 8 %,

contre 3 % dans l'Union européenne. En 2016 par rapport à 2007, l'Europe de l'Est a connu une baisse de production de 1%, tandis que l'Amérique du Sud a connu une baisse de 11% (CCFA, 2017).

Concernant le parc automobile en Algérie, qui a atteint vers la fin de l'année 2019 un peu plus de 6,5 millions de véhicules, selon l'Office National des Statistiques, près de 50% de ces véhicules dépasse l'âge de quinze ans, contre seulement 20% ayant moins de cinq ans (ONS, 2019). Par rapport au réseau routier, l'Algérie possède l'un des plus denses réseaux de l'Afrique du nord et même du continent africain. Malgré toutes les réalisations, le réseau routier algérien ne brille pas par sa qualité. En effet, selon le dernier classement de l'organisme international portant sur la qualité des routes, sur 38 pays africains, l'Algérie occupe la 10<sup>ème</sup> place avec une note de 4 sur 10 (The-Global-Economy, 2019).

### **I.3.2 Définition de la pollution de l'air**

Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions ; les polluants de l'air « sont des substances gazeuses ou particulaires introduites par les activités humaines dans l'atmosphère ou naturellement présentes dans cette dernière mais dont la concentration est accrue par suite de diverses sources technologiques » (Ramade, 2000).

La pollution de l'air n'a pas de barrière. Certains polluants atmosphériques dont la durée de vie est élevée, peuvent migrer loin de leurs sources d'émission en interférant à différentes échelles spatiales. De ce fait, lors de la classification des phénomènes de pollution, on se réfère à l'échelle d'étude. Dans la littérature, on se limite à trois niveaux d'échelles, à savoir : locale, régionale et globale.

#### **❖ L'échelle locale**

Il s'agit des pollutions rencontrées au voisinage direct des sources d'émissions telles que : les foyers industriels de combustion, les axes de circulation, le chauffage domestique, l'incinération des déchets. Ces sources engendrent des pollutions de proximité et/ou des nuisances olfactives à des distances inférieures à quelques kilomètres. En effet, les particules en suspension (Particulate Matter, PM), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), les Composés Organiques Volatils (COV), les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et les métaux constituent les polluants les plus caractéristiques de ce type de pollution (Masclat, 2005).

### ❖ L'échelle régionale

La pollution régionale touche les zones distantes de quelques kilomètres à quelques centaines de kilomètres des sources d'émission de polluants. Cette pollution résulte des phénomènes physico-chimiques plus ou moins complexes dans l'atmosphère de polluants dits « secondaires » à partir de polluants dits « primaires » rejetés par des sources émettrices. L'ozone (O<sub>3</sub>), dont la formation dépend de la présence des NO<sub>x</sub> et des COV, est le principal représentant de la pollution photochimique ainsi que les acides nitriques et sulfuriques, à partir des (NO<sub>x</sub>) et du (SO<sub>2</sub>), sont responsables de la formation des pluies acides (Masclat, 2005).

### ❖ L'échelle globale ou mondiale

La pollution à l'échelle de la planète, qui peut affecter l'équilibre de l'écosystème, se caractérise par les substances impliquées dans le phénomène de changement climatique, notamment les gaz à effet de serre et en particulier le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), et par les substances responsables de la diminution de la couche d'ozone stratosphérique, principalement les émissions de Chloro Fluoro Carbures (CFC) (Masclat, 2005).

L'Organisation mondiale de la santé définit la pollution de l'air ambiant comme le plus grand risque environnemental pour la santé humaine, la présence dans l'atmosphère de substances étrangères à la composition normale de cette atmosphère et à des concentrations suffisamment élevées pour entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement d'une manière générale (OMS,2016).

En Algérie, les pouvoirs publics ont défini la pollution atmosphérique, à travers l'article 44 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 : « Constitue une pollution atmosphérique au sens de la présente loi, l'introduction, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances de nature à mettre en danger la santé humaine, influencer sur les changements climatiques ou appauvrir la couche d'ozone, nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, compromettre la sécurité publique, incommoder la population, provoquer des nuisances olfactives, nuire à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, altérer les constructions et porter atteinte au caractère des sites, détériorer les biens matériels».

### **I.3.3 Polluants atmosphériques**

#### **❖ Les types de polluants**

Les polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles bien distinctes : les polluants primaires et les polluants secondaires.

#### **➤ Les polluants primaires**

Les polluants primaires sont ceux qui proviennent directement d'une source polluante identifiée, qu'elle soit d'origine industrielle ou automobile. On y trouve des gaz et des particules issues des activités de transport (Mayer, 1999) ; (Buseck et Schwartz, 2014).

#### **➤ Les polluants secondaires**

Les Polluants secondaires résultent de réaction(s) chimique(s) ou photochimique(s) de polluants primaires dans l'atmosphère ; en particulier sous l'effet du rayonnement solaire. L'atmosphère est donc le siège d'une intense activité chimique, entre composés qui sont la plupart des temps à l'état de traces infimes (Buseck et Schwartz, 2014).

#### **❖ Les principaux polluants atmosphériques**

Presque toutes les activités humaines contribuent à la pollution de l'air, qui se présente sous deux formes :

- Solide : une suspension de poussière ou de particules ;
- Gazeuse : présence de gaz frais ou augmentation du pourcentage de gaz existant.

#### **➤ Les particules en suspension**

Les particules en suspension sont un mélange complexe des substances organiques et inorganiques, présentes dans l'atmosphère en tant que liquides et solides (Buchdahl, 2000). Ces particules proviennent de sources naturelles comme les éruptions volcaniques, la végétation (pollens...), les incendies de forêts... ou de sources anthropiques comme les émissions industrielles, la combustion des fossiles combustibles... (Fontan, 2003).

On distingue 4 types de particules (C.E., 2008):

- PM10 particules en suspension dans l'air, d'un diamètre aérodynamique (ou diamètre aéraulique) inférieur à 10  $\mu\text{m}$  ;
- PM2.5 dont le diamètre est inférieur à 2,5  $\mu\text{m}$ , appelées « particules fines » ;
- PM1 dont le diamètre est inférieur à 1,0  $\mu\text{m}$ , appelées « particules très fines » ;
- PM0,1 dont le diamètre est inférieur à 0,1  $\mu\text{m}$ , appelées « particules ultrafines » ou nanoparticules.

### ➤ **Les gaz**

Les polluants gazeux présents dans l'atmosphère sont très nombreux et il n'est pas possible de les énumérer, ni de les identifier tous. De ce fait, nous dressons une liste non exhaustive des principaux composés par grandes familles de polluants, à savoir :

- **Le dioxyde de Soufre (SO<sub>2</sub>)**

Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) est une des substances historiques de la pollution atmosphérique (CITEPA, 2016). La pollution atmosphérique au dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) provient principalement de la consommation de combustibles fossiles (fuel, houille, etc.), qui contiennent souvent du soufre. En effet, les impuretés soufrées contenues dans ces combustibles sont oxydées par l'oxygène de l'air pour donner du dioxyde de soufre. La combustion du charbon représente par ailleurs 50 % des émissions globales annuelles de SO<sub>2</sub>, celle du pétrole de 25 à 30 %, et sa durée de vie est de quelques jours à mois (ADEME, 2018).

- **L'ammoniac (NH<sub>3</sub>)**

Ce gaz est notamment émis par les lisiers d'élevage. Il est malodorant et irritant à forte concentration. Dans l'air, l'ammoniac contribue à la formation de fines particules et de nitrate d'ammonium, et contribue aux phénomènes d'acidification et d'eutrophisation des milieux naturels par dépôt de matière azotée (Elichegaray et al., 2009).

- **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Ce sont des composés organiques dont la molécule comporte au moins deux noyaux benzéniques. On y trouve des composés tels que le benzo(a)pyrène qui est cancérigène. Certains HAP peuvent aussi affecter le système immunitaire. Dans l'air ils proviennent notamment : des combustions du secteur domestique dans des conditions mal maîtrisées (mauvaises combustions du bois dans des cheminées et foyers ouverts) et à une plus faible part de la circulation automobile (Elichegaray et al., 2009).

- **Le monoxyde de carbone (CO)**

Le monoxyde de carbone est un gaz toxique, inodore et incolore dont des traces sont naturellement présentes dans l'atmosphère. Le monoxyde de carbone est produit par des processus naturels et par des activités humaines (FAO, 2010). Il s'oxyde lentement en dioxyde de carbone dans l'atmosphère avec une durée de vie de l'ordre d'un mois (Aubertin, 1996). La source principale du monoxyde de carbone dans l'atmosphère est le transport routier. De plus petites contributions viennent des processus impliquant la combustion de la matière organique, par exemple dans les centrales électriques et l'incinération des ordures (BLANCHOT, 2002).

- **Hydrocarbures et composés organiques volatils (COV)**

Les COV sont des composés organiques qui contiennent au moins un atome de carbone et un ou plusieurs éléments supplémentaires tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, les halogènes (fluor, chlore, brome, iode), le soufre, le phosphore, le silicium, etc(Grange D et al ; 2007). Ils ont tous un point commun : ils s'évaporent rapidement à température ambiante et se retrouvent dans l'air. Ils participent à des processus photochimiques dans l'atmosphère, résultant en une gamme diversifiée de composés de plusieurs familles chimiques ; Les hydrocarbures volatils (alcanes, alcènes, aromatiques) les composés carbonylés (aldéhydes et cétones) le benzène, le toluène.... (Notre-planete, 2017). Les sources de COV dans les environnements intérieurs sont nombreuses soit d'origine naturelle (les plantes et surtout les forêts de feuillus et de conifères) ou d'origine anthropique (la combustion, évaporation de carburants par le transport routier, et l'utilisation des produits courants contenant des solvants comme les peintures) (Charpin et al., 2016)

- **Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**

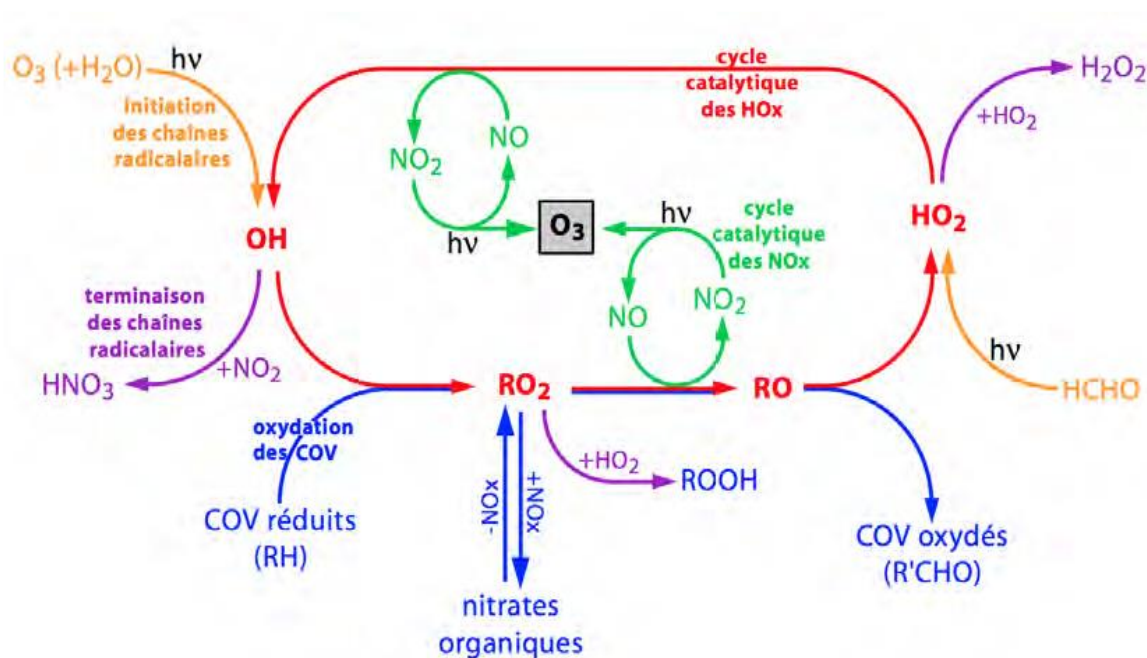
Le terme « NO<sub>x</sub> » regroupe deux oxydes d'azote émis dans l'atmosphère que sont le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), principalement émis dans l'atmosphère par les sols, les combustions naturelles et anthropiques. La principale source de NO est l'azote moléculaire de l'air, utilisé comme comburant alimentant le moteur. Le NO est généré par l'interaction de l'azote et de l'oxygène dans l'air en contact avec des surfaces à haute température, et sa production dépend fortement de la température et de la progression de la réaction. (KANDA I, 2004). C'est dans les zones ayant une forte circulation automobile que nous observons de fortes concentrations en NO et NO<sub>2</sub>. De plus, NO peut réagir avec l'oxygène de l'air pour se transformer en NO<sub>2</sub>. Les NO<sub>x</sub> pourraient donc constituer des traceurs de la pollution urbaine à l'échelle globale et plus ponctuellement de foyers importants de combustion comme les centrales de combustion urbaines et les trafics routiers. Les oxydes d'azote

présents dans l'atmosphère sont très nocifs. Ils peuvent causer des crises d'asthmes et des infections pulmonaires (Pénard-Morand et Annesi-Maesano 2008).

- **L'ozone (O<sub>3</sub>)**

L'ozone est un gaz avec trois atomes d'oxygène dans chaque molécule. Il est trouvé naturellement dans l'atmosphère terrestre, malgré sa grande réactivité et sa capacité à se décomposer en oxygène. Il est également présent dans la basse atmosphère, où il est produit par des processus atmosphériques secondaires impliquant des molécules primaires et la lumière UV. Sa source peut être naturelle, comme les incendies de forêt, ou artificielle, comme les émissions de gaz d'échappement ou les solvants (INRS ,2013). Parce que la présence du rayonnement solaire favorise la production d'ozone, les maxima de pollution sont le plus souvent observés au printemps et en été (Delmas et aL, 2005).

La formation d'ozone est schématisée ci-dessous en figure 02, impliquant les principaux mécanismes suivants :



**Figure 02 :** Représentation schématique des principaux mécanismes impliqués dans la formation de l'O<sub>3</sub> troposphérique

### I.3.4 Sources des polluants atmosphériques

Il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes, etc ... (Lacour, 2001).

Les sources de la pollution atmosphérique sont deux ; source naturel et anthropique.

Trois principales sources de pollution anthropiques sont mises en évidence :

- La circulation automobile ;
- Les installations industrielles (activités métallurgiques, pétrochimie, chimie, usine d'incinération...);
- Les installations de combustion (chauffage, production d'énergie...).

Les sources naturelles de pollution atmosphérique comprennent les éruptions volcaniques, les incendies spontanés et les régions marécageuses ... (Ramade, 2002).

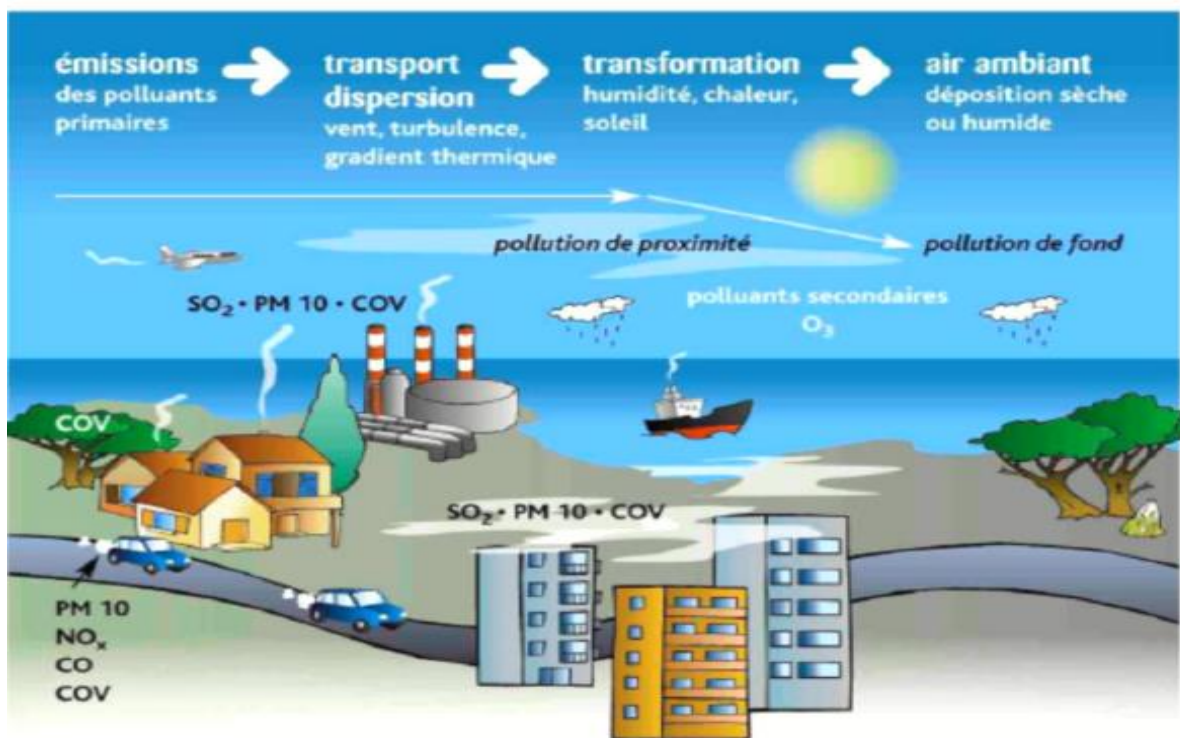


Figure 03 : Mécanisme de la pollution atmosphérique (SPF, 2016).



### ❖ **Source des aérosols**

Il existe deux types d'aérosols mélangés dans l'atmosphère, l'aérosol d'origine naturel et l'aérosol de pollution. La part de chacun des deux types dépend de l'éloignement des centres d'activités humaines et industrielles et d'une autre part l'éloignement des zones désertique et marines (Masclat, 2005).

### ❖ **Sources des polluants gazeux**

- *Les combustibles* de types fossiles mais il faut y ajouter la combustion des déchets.
- *Les polluants gazeux* : sont émis lors de l'incinération des déchets ou encore dans des aciéries.
- *Les activités industrielles* sont sources majeures de polluants, en raison de leurs grandes variétés, vont engendrer des pollutions diverses, parfois spécifiques.
- *L'évaporation des carburants et solvants*, les composés émis sont des hydrocarbures dont certains sont toxiques.
- *Les émissions de la végétation, des sols, de l'homme et des animaux* : La végétation émet des gaz biogénique, absorbant du gaz carbonique pendant le jour et le relâche en partie pendant la nuit mais elle émet aussi des hydrocarbures de type de l'isoprène et les terpènes.

## **I.4 Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants**

Les concentrations et la distribution spatio-temporelle des polluants ne sont pas déterminées que par les sources et les transformations physico-chimiques. Elles le sont aussi par des paramètres physiques qui relèvent de la dynamique atmosphérique (Masclat, 2005).

### **I.4.1 Le 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, il n'y a pas dispersion des polluants mais leur accumulation (Masclat 2005).

#### **I.4.2 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 (Barnea, 1974).

#### **I.4.3 Les nuages**

La présence des nuages à une hauteur proche du sol produit une surface fermée où la dilution des impuretés ne peut pas avoir lieu même dans des conditions satisfaisantes (se trouvant à faible altitude). La répétition de cette opération au cours de l'année augmente le taux de pollution dans les zones couvertes de nuages (Barnea, 1974).

#### **I.4.4 Le phénomène d'inversion de la température**

Sous l'action de la poussée d'Archimède, les polluants se dispersent verticalement. 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. Le sol se refroidit d'une 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. Un couvercle de pollution se forme et bloque les polluants émis à basse altitude (Buchard, Helfer et al. 2000).

#### **I.5 Effets de la pollution de l'air**

Depuis quelques dizaines d'années, des études ont montré un lien étroit entre la dégradation de l'environnement, de la santé humaine et la présence de ces polluants dans l'atmosphère (Monk, 2009) ; (Anderson, 2009) ; (Kulkarni et Grigg, 2008) ; (FNORS, 2008).

##### **❖ Effets sur la santé**

Les effets à long terme qui peuvent survenir après une exposition chronique (plusieurs mois ou années) à la pollution atmosphérique et qui peuvent induire une surmortalité et une réduction de l'espérance de vie. Certaines études américaines comparant les indices de mortalité des villes ayant la

meilleure qualité d'air avec les plus polluées semblent confirmer l'action néfaste de la pollution (Nacer t .m et., al ,2009).

En qui suit, le tableau 02 illustre les effets des principaux polluants sur la santé.

**Tableau 02** : les effets des principaux polluants sur la santé (Coparly,2004)

<b>LES POLLUANTS</b>	<b>LEURS EFFETS SUR LA SANTE</b>
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Il provoque une altération de la fonction pulmonaire chez les enfants et une exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire...).
<b>Oxyde d'azote (NO, NO<sub>2</sub>)</b>	Il pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires, entraînant une hyperréactivité bronchique chez les patients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.
<b>Particules en suspension (PM10)</b>	Les plus grosses particules sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Elles sont donc moins nocives pour la santé que les particules plus fines (<10 µm de diamètre) qui pénètrent plus profondément dans l'organisme ; elles irritent alors les voies respiratoires inférieures et altèrent la fonction respiratoire dans l'ensemble, ont également des propriétés mutagènes et cancérigènes.
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. Le système nerveux central et les organes sensoriels sont les premiers affectés, provoquant des céphalées, vertiges, asthénies ou troubles sensoriels.
<b>Composés organiques volatils (COV) dont benzène</b>	Ces molécules ont des effets très divers selon leur famille. De la simple gêne olfactive (odeurs), certains provoquent une irritation (aldéhydes), une diminution de la capacité respiratoire.
<b>Ozone (O<sub>3</sub>)</b>	Ce gaz, très oxydant, pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Il provoque de la toux et une altération pulmonaire, surtout chez les enfants et les asthmatiques, ainsi que des irritations oculaires. Irritation des muqueuses (gorge, nez, yeux).

### ❖ Effets sur l'environnement

Les êtres humains ne sont pas les seuls à être touchés par la pollution de l'air. Les plantes, les animaux et les bâtiments peuvent également subir les répercussions de la pollution atmosphérique. Les effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement peuvent se ressentir à différentes échelles géographiques. Les polluants peuvent également parcourir des distances importantes et atteindre des écosystèmes sensibles. Sous l'effet des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les pluies, neiges, brouillards deviennent plus acides et altèrent les sols et les cours d'eau (perte des éléments minéraux nutritifs). Ces apports engendrent un déséquilibre de l'écosystème. Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité puis par la perturbation du fonctionnement général des écosystèmes (Atmo, 2021).

### ❖ Effets sur les Végétation

Les végétaux sont exposés de manière durable à la pollution atmosphérique. Dans certaines recherches, ils sont d'ailleurs utilisés comme bio indicateur. A part les forêts, la pollution de l'air touche aussi les céréales et les plantes agricoles, comme les pois, les épinards et le trèfle. Certaines espèces d'arbres fruitiers sont également très sensibles ; le cas des abricotiers est bien connu. Les végétaux sont exposés à la fois à l'action des polluants en suspension dans l'atmosphère, aux retombées sèches de poussières et de métaux et aux dépôts acides. Ils sont atteints directement par le feuillage et aussi indirectement par l'intermédiaire du sol (lessivage d'éléments nutritifs). L'impact de la pollution de l'air sur les végétaux résulte essentiellement de trois polluants : oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et ozone (O<sub>3</sub>) (Mouaci, 2002).

Au niveau régional, les polluants atmosphériques participent à la formation des pluies acides qui contribuent au dépérissement des forêts et à la dégradation des sols. Le dioxyde de soufre (formant l'acide sulfurique) et les oxydes d'azote (formant l'acide nitrique) sont impliqués directement dans la formation des pluies acides, tandis que l'ozone altère la physiologie des arbres forestiers (DGAC, 2003).

## **I.6 Normes sur la pollution atmosphérique**

La notion de normes de qualité de l'air ambiant est un élément essentiel de la « gestion des ressources en air », c'est-à-dire de la lutte contre la pollution atmosphérique fondée sur la gestion de la qualité de l'air. L'idée de gestion des ressources en air a été exprimée clairement pour la première fois dans la loi américaine de décembre 1963, le Clean Air Act (Loi sur la pureté de l'air), et sa première application a été la fixation de normes sur la qualité de l'air par l'Etat de Californie (Heller et al.1966).

Les normes de la qualité de l'air sont fixées à l'échelle internationale par des organismes tels que la Communauté Européenne et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). La Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) qui date du 30 décembre 1996. Cette loi rend obligatoire la surveillance de la qualité de l'air au niveau local, tout en définissant des objectifs de qualité, des seuils d'alertes et l'obligation d'information de la population (Werner, 2009).

Les termes utilisés pour définir la qualité peuvent être résumés comme suit (WHO, 2000) :

➤ **Valeurs limites** : seuil de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère qui ne doit pas être dépassé sur la base d'une compréhension scientifique afin d'éviter, de prévenir ou d'atténuer les effets négatifs de ces produits chimiques sur la santé humaine ou l'environnement. Il existe des niveaux limites pour les particules, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, le plomb, le monoxyde de carbone et le benzène dans l'environnement dans son ensemble.

➤ **Valeurs cibles** : est un niveau de concentration de matières polluantes dans l'atmosphère qui est établi dans le but d'éviter, de prévenir ou de minimiser les effets néfastes sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble, et qui doit être atteint, dans la mesure du possible, dans un certain délai. L'ozone, l'arsenic, le cadmium, le nickel et le benzo(a)pyrène ont tous des niveaux cibles.

➤ **Seuil d'information** : Un niveau de concentration de matières polluantes dans l'atmosphère pour lequel une exposition de courte durée présente un danger pour la santé humaine de segments particulièrement vulnérables de la population, nécessitant une information urgente et appropriée ; Il existe un seuil d'information sur l'ozone.

➤ **Objectif de qualité** : un niveau à long terme de concentration de matières contaminants dans l'atmosphère pour assurer une protection adéquate de la santé humaine et de

l'environnement en général, à moins que cela ne soit pas possible par des mesures proportionnées.

➤ **Seuil d'alerte** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-dessus duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé publique ou la dégradation de l'environnement, nécessitant le recours à des mesures d'urgence ; les autorités doivent informer le public et élaborer des plans d'action à court terme ; il existe des seuils d'alerte pour le dioxyde de soufre, d'azote et d'autres polluants.

Les normes promulguées par certains pays et différents organismes officiels sont illustrés dans les tableaux suivants :

**Tableau 03** : Normes réglementaires aux expositions d'O<sub>3</sub>

<b>Pays ou Organisme</b>	<b>Normes</b>	<b>Observation</b>		<b>Référence</b>
<b>OMS</b>	50ppb (100µg/m <sup>3</sup> ) sur 8h 160µg/m <sup>3</sup> sur 1h	Seuil de protection pour la santé		(OMS, 2017)
	100ppb (200µg/m <sup>3</sup> ) sur 1h 32.5ppb (65µg/m <sup>3</sup> ) sur 24h	Seuil de protection de la végétation		
<b>Union Européenne</b>	60ppb (120µg/m <sup>3</sup> ) sur 8h plus de 25 jours par an (moyenne calculée sur 3 ans)	Seuil d'information	Seuil protection de la santé	(Airparif, 2017)
	60ppb (120µg/m <sup>3</sup> ) sur 8h	Objectif à long terme		
	AOT40 de Mai à Juillet (8h-20h) : 3000ppb (6000µg/m <sup>3</sup> ) sur 1h	Seuil de protection de la végétation		
<b>Algérie</b>	55ppb (110µg/m <sup>3</sup> ) sur 8h 80ppb (160µg/m <sup>3</sup> ) sur 1h	Seuil de protection de la santé		(JORA,200)
	90 ppb (180µg /m <sup>3</sup> ) 180 ppb (360µg /m <sup>3</sup> )	Seuils d'information Seuils d'alerte		
	32.5ppb (65µg/m <sup>3</sup> ) sur 24h 100ppb (200µg/m <sup>3</sup> ) sur 1h	Seuil de protection pour la végétation		

**Tableau 04 :** Normes réglementaires aux expositions des NO<sub>2</sub>

Pays ou Organisme	Normes	Observation		Référence
OMS	200µg/m <sup>3</sup> sur 1h	Seuil de protection pour la santé		(OMS, 2017)
	40µg/m <sup>3</sup> sur 1 an	Seuils d'alerte		
Union Européenne	100ppb sur 1h (200 µg/m <sup>3</sup> ) (moyenne horaire)	Seuil d'information	Seuil protection de la santé	(JOUE, 2018)
	20ppb (40 µg/m <sup>3</sup> ) (moyenne annuelle)	Objectif à long terme		
Algérie	67.5ppb (135 µg/m <sup>3</sup> ) sur 8 h	Seuil de protection de la santé		(JORA, 2006)
	200ppb (400 µg/m <sup>3</sup> ) 300ppb (600 µg/m <sup>3</sup> )	Seuils d'information  Seuils d'alerte		
	-	Seuil de protection pour la végétation		

**Tableau 05 :** Normes réglementant aux expositions aux COV

Pays ou Organisme	Normes	Observation	Référence
Union Européenne	200ppm soit 1080 mg/m <sup>3</sup>	VLE du trichloréthylène	(ADEME, 2018)
	75ppm soit 405 mg/m <sup>3</sup>	VME du trichloréthylène	

**NB :** La VLE totale s'applique à la somme massique des COV.

## **I.7 Techniques de mesures des polluants de l'air**

Plusieurs procédures de prélèvement sont possibles pour les mesures des polluants de l'air (Khatraoui, 2009) :

- Prélèvement réalisé de façon automatique (prélèvement actif) à l'entrée d'un système analytique ;
- Piégeage des composés de l'air à échantillonner sur support solide (cartouche d'adsorbant) par diffusion (prélèvement passif).

### **I.7.1 Prélèvement actif (mesure automatique)**

On peut distinguer pour notre étude, par exemple :

#### **➤ Mesure automatique d'O<sub>3</sub> :**

L'analyseur utilisé pour mesurer les concentrations en ozone est basé sur l'absorption UV (Ultraviolet). L'absorption de la lumière par l'ozone suit la loi de Beer-Lambert qui relie l'absorption à la concentration en ozone selon un coefficient connu. L'ozone présent dans l'air ambiant possède une bande d'absorption dans l'ultraviolet (longueur d'onde de 254 nm). Dans l'analyseur, l'air ambiant est d'une part exposé à une lampe UV centrée sur 254 nm et d'autre part, filtré de l'ozone qu'il contient. Selon la loi de Beer-Lambert, on calcule alors la concentration en ozone par différence entre la mesure de l'air sans ozone et celle de l'air contenant de l'ozone (ATMO, 2021).

#### **➤ Mesure automatique des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**

Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) sont composés essentiellement du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). L'analyseur utilisé pour mesurer les concentrations en oxydes d'azote est basé sur la chimiluminescence, La chimiluminescence est une émission d'énergie lumineuse résultant d'une réaction chimique. Elle est utilisée pour la mesure du monoxyde d'azote (NO) car il réagit avec l'ozone (O<sub>3</sub>) :  $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 + \text{photons}$  (ATMO, 2021).

#### **➤ Mesure automatique des (COV)**

L'analyseur des COV permet de mesurer en continu et en simultané des hydrocarbures totaux (THC), des hydrocarbures méthaniques (MHC) et des hydrocarbures non méthaniques (NMHC). Cet analyseur utilise le principe de l'ionisation de flamme (FID). Les THC sont mesurés directement, les



MHC sont mesurés après élimination des composés non méthaniques et les NMHC sont calculés par différence analogique (Clean air Europe, 2021).

### **I.7.2 Les mesures par tube à échantillonnage passif**

Il s'agit de petits tubes contenant un réactif chimique ou un adsorbant, en mesure de piéger spécifiquement le polluant que l'on cherche à mesurer. Ces échantillonneurs, après exposition de quelques jours à l'air ambiant, sont ramenés en laboratoires afin de procéder à l'analyse chimique du réactif, ou du polluant retenu.

Les échantillonneurs passifs présentent en effet divers avantages (coûts et encombrements réduits), ce qui permet, lors d'une campagne de mesure, de multiplier les points de surveillance afin d'y mesurer des concentrations moyennées sur la période d'exposition. En revanche, ces échantillonneurs ne permettent pas d'évaluer des concentrations sur des pas de temps très courts, à la différence des analyseurs automatiques.

#### **➤ L'utilisation des échantillonneurs passifs**

Ce dispositif de mesure est facile à mettre en œuvre. Il représente une bonne alternative aux appareils de mesure automatiques, car il permet d'étudier un large territoire sans engager d'investissements lourds, en assurant la qualité de la mesure.

#### **➤ Abri pour tube à échantillonnage passif**

Les tubes sont exposés sous abri sur plusieurs sites selon le type de pollution surveillée, à savoir la pollution de fond ou la pollution de proximité. Cette technique de surveillance permet de disposer d'un grand nombre de points de mesure sur une zone donnée. Il existe plusieurs types d'échantillonneurs en fonction du polluant à analyser.



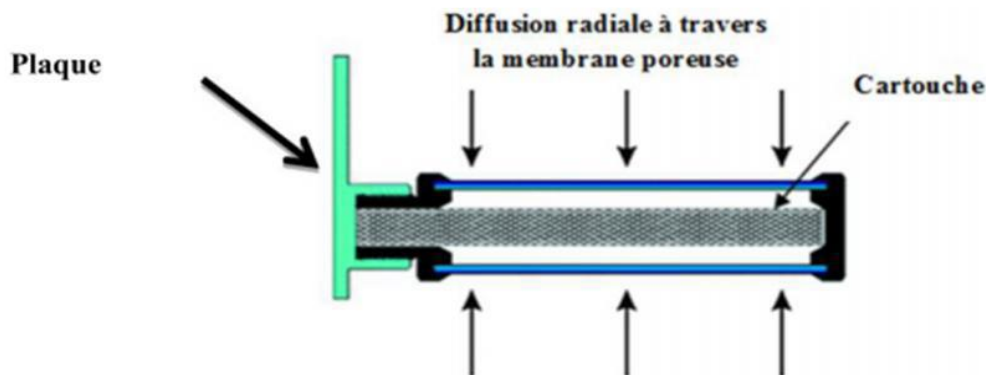
**Figure 04 :** Photo d'un abri pour tubes passifs

Cette technique de surveillance permet de connaître les concentrations moyennes de fond. Les alertes à la pollution (concentration horaire pour les pics de pollution) ne peuvent donc être détectées par ce type de technique.

➤ **Principe de fonctionnement**

L'échantillonnage passif consiste à exposer à l'air libre pendant une durée fixée, à environ 3 mètres de hauteur (hauteur d'homme), des cartouches adsorbants (tubes cylindriques d'environ 7 cm de longueur). Par simple diffusion du polluant depuis l'air, celui-ci va être piégé par l'échantillonneur.

L'échantillonneur peut être constitué de charbon actif ou d'autres composés chimiques. Après une exposition de quelques jours à quelques semaines selon le polluant surveillé, les tubes sont récoltés et analysés dans un laboratoire de façon à connaître la concentration moyenne durant la période d'exposition. La valeur d'analyse constitue donc une valeur moyenne enregistrée sur toute la période d'exposition.



**Figure 05 :** Modèle de diffusion sur un échantillonneur passif



## II.1 Description de la station d'observation atmosphérique Nesma

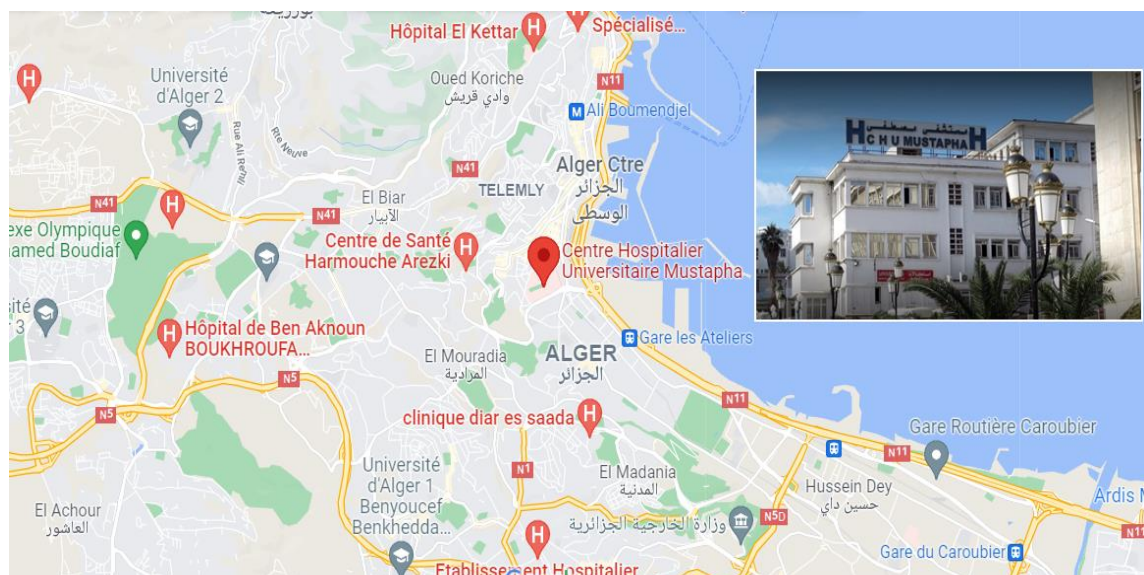
Le Centre de Développement et des Energies Renouvelables CDER a mis en place une station d'observation atmosphérique au niveau du CHU Mustapha au courant de l'année 2017 en vue de mesurer en continu et en temps réel les concentrations des principaux polluants présents dans l'air à l'état gazeux et/ou particulaire et d'évaluer leurs impacts sur la santé, l'intensité du rayonnement solaire et la production des énergies renouvelables.

Il n'y a pas longtemps de cela, Samasafia (Ministère de l'Environnement), premier réseau de surveillance de la qualité de l'air a été mis en place une station de surveillance dans ce site en mai 2002. Aujourd'hui, cette station (Samaasafia) est inopérante.

## II.2 Site d'échantillonnage

Le CHU Mustapha (commune de Sidi M'hamed) a été choisi pour être représentatif d'un site urbain (trafic automobile dense) et représenté les autres **grandes zones d'Alger non** dotées de stations de surveillance de la qualité d'air. La commune de Sidi M'hamed est parmi les principaux centres des activités commerciales d'Alger centre, avec une population de 67873 habitants (ONS 2008). Le site est situé à la latitude 36,772484 Nord et la longitude 3,0551159 Est. La photo (figure 06) relative au site est obtenue grâce à GoogleMaps.

Les figures 06 et 07 indiquent respectivement l'emplacement et les photos de la station Nesma de surveillance de la qualité de l'air au CHU Mustapha.



**Figure 06 :** Localisation de la station Nesma de surveillance de la qualité de l'air au CHU Mustapha

Le site inclut aussi :

- Gare ferroviaire : AGHA ;
- Port d'Alger ;
- Gare de bus : place du 1<sup>er</sup> Mai et Aissat Idir ;
- Taxi : Place de la Concorde (ex place du 1<sup>er</sup> Mai) ;
- Métro d'Alger, trois stations : Aïssat Idir, 1<sup>er</sup> Mai, Khelifa Boukhalfa.

Ce site est influencé principalement par les émissions :

- De véhicules provenant du grand carrefour de la place du 1<sup>er</sup> mai et des routes voisines très fréquentées ;
- De la combustion de carburant pour la cuisine et le chauffage.

Dans le détail, le parc roulant national, tous véhicules confondus comptait 6.577.188 unités en 2019 contre 6.418.212 unités à la fin de l'année 2018. Soit 158.976 unités supplémentaires, et une hausse de 2,4 %. Pour ce qui est du deuxième semestre de l'année 2019, l'organisme en question a indiqué que 861.837 automobiles avaient été immatriculées ou re-immatriculées. Ceci, contre 819.904 dans le même période en 2018, soit une hausse 5,11 % (ONS, 2021).



**Figure 07** : Photos de la station Nesma de surveillance de la qualité de l'air au CHU Mustapha.

### **II.3 Méthode de prélèvement, d'analyse et description des analyseurs**

La station de mesure Nesma se compose d'une cabine contenant cinq analyseurs pour mesurer les polluants suivants dans l'air ambiant : O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> (NO et NO<sub>2</sub>), COV (COVNM, CH<sub>4</sub>), PM (Particules Fines) et BC (Black Carbone) :

- Un analyseur d'Ozone (APOA- 370) ;
- Un analyseur des Oxydes d'Azote (APNA-370) ;
- Un analyseur de Composés Organiques Volatils (APHA - 370) ;
- Un analyseur de PM (PM-1, PM-2,5, PM-4, PM-10, PM<sub>tot</sub>, et nombre de particules par centimètre cube) (FIDAS200) ;
- Un analyseur de BC (Black Carbone) (Aéthalomètre AE33),

Cette station est également équipée d'une mini station météorologique.

Au besoin, il est possible d'ajouter d'autres analyseurs de surveillance (mesure par exemple de SO<sub>2</sub> (Dioxyde de Soufre), BTEX (Benzène – Toluène – Ethylbenzène – Xylènes), etc ...).

La station Nesma est munie d'un ordinateur d'enregistrement de données qui est relié à la base de données du CDER par Internet. Il est ainsi possible d'avoir accès en temps réel aux données et aux fonctions de diagnostic de l'équipement. Le logiciel TeamViewer est utilisé pour traiter ces données et convertir les sauvegardes journalières en fichier exploitable avec l'Excel.

Pour garantir l'exactitude des données recueillies, les analyseurs sont soumis à des opérations de vérifications et des étalonnages de routines conformément aux recommandations du fabricant (manuel de l'équipement).

#### **II.3.1 Méthode de prélèvement et d'analyse**

La station de surveillance Nesma est située sur la terrasse d'un bloc de bâtisse d'un étage, et les prélèvements d'air sont faits à 3 m au-dessus du sol. L'air est aspiré par pompe (insérée dans chaque analyseur) ; jusqu'aux analyseurs de polluants gazeux. Le débit d'échantillonnage d'air est environ de 0,7 - 0,8 et 0,9 (L/mn) respectivement pour l'analyse d'O<sub>3</sub>, des NO<sub>x</sub> et des COV. Ci-dessous, la photo des différents analyseurs de la station Nesma (figure 08).



**Figure 08** : Les différents analyseurs de la station Nesma

### II.3.2 Description des analyseurs

#### ❖ Analyseur d'O<sub>3</sub> (APOA - 370) de marque (HORIBA)

##### ➤ Caractéristiques

L'analyseur APOA-370 utilise la méthode de l'absorption ultra-violette en conjonction avec la modulation de flux croisé ainsi que la technique de calcul comparatif.

Ceci permet une mesure continue avec une grande stabilité et une grande sensibilité (0,1 ppm pleine échelle).

L'innovante technique Horiba de destruction de l'ozone par élément chauffé fournit le gaz de référence en décomposant l'ozone présent dans le gaz échantillon. L'avantage est de (1) réduire l'influence des interférents (2) rendre l'analyseur insensible aux modifications d'humidité et (3) augmenter la vie de l'analyseur.

Tous les matériaux en contact avec les gaz sont soit en Téflon soit en verre.

##### ➤ Spécifications

- Principe : Absorption ultraviolet
- Application : Mesure de l'ozone dans l'air ambiant
- Échelles standards : 0-01/0,02/0,05/1,0 ppm – échelles automatiques ou manuelles
  - Échelles optionnelles : 4 échelles sélectionnables entre 0-10 ppm dans un ratio de 10 fois. Automatique ou manuelles
- Limite de détection (LD) : 0,05ppb (3 sigma)

- Répétabilité : +/- 1% de la pleine échelle
- Linéarité : +/- 1% de la pleine échelle
- Dérive du zéro : < LD/jour a la plus petite échelle < LD/jour a la plus petite échelle
- Dérive du calibrage : < LD/jour a la plus petite échelle < LD/ semaine de la pleine échelle
- Temps de réponse T90 : Dans les 75 s a la plus petite échelle
- Débit de l'échantillon : Environ 0,7l/min
- Indications : Valeur mesurée, échelle, alarme, écran de maintenance
- Alarmes : Calibrage auto, erreur de calibrage, erreur de zéro, température du catalyseur, etc ...
- Langage disponible à l'affichage : Français, Anglais, Allemand, Japonais.
- Entrées/sorties : 0-1v/0-10v/4-20mA a spécifier, + communication série RS 232C.
- Température ambiante : 5 – 40°C
- Alimentation : 100/110/115/120/220/230/240 VAC,50/60 Hz a spécifier
- Dimensions : l 430 x P 550 x h 221 mm
- Poids : Environ 20 kg



**Figure 09** : Analyseur d'Ozone (APOA- 370)

❖ **Analyseur de HCT « COV » (APHA - 370) de marque (HORIBA)**

➤ **Caractéristiques**

L'analyseur APHA-370 utilise la combinaison (1) de détection par ionisation de flamme et (2) de la combustion sélective.

Ce qui offre l'avantage du simple détecteur sans dérive du zéro pour les mesures continues des HCT. La conception permet une grande stabilité et une grande sensibilité (5 ppm pleine échelle).



L'analyseur APHA-370 a une fonction de correction de la sensibilité relative pour le CH<sub>4</sub> et NMHC.

Une unité de catalyse pour la génération de gaz de référence et air de combustion est incluse dans l'équipement.

Tous les éléments nécessaires sont inclus dans l'analyseur comprenant l'unité de catalyse pour la combustion sélective ; un catalyseur de génération de gaz de référence et air de combustion, l'échantillonnage avec pompe. Le seul gaz requis est l'hydrogène comme combustible.

➤ **Spécifications**

- Principe : Ionisation de flamme avec combustion sélective
- Application : Mesure des HCT/NMHC et CH<sub>4</sub> dans l'air ambiant
- Échelles standards : 0-05/10/20/50ppmC – échelles automatiques ou manuelles
- Échelles optionnelles : 4 échelles sélectionnables entre 0-100ppmC dans un ratio de 10 fois. Automatique ou manuelles
- Limite de détection (LD) : 0,022ppmC (3 sigmas)
- Répétabilité : +/- 1% de la pleine échelle
- Linéarité : +/- 1% de la pleine échelle
- Dérive du zéro : < LD/jour a la plus petite échelle +/- 0,05ppmC/jour a la plus petite échelle
- Dérive du calibrage : < LD/jour a la plus petite échelle +/- 0,5% semaine de la pleine échelle
- Temps de réponse T<sub>90</sub> : Dans les 60 s a la plus petite échelle
- Débit de l'échantillon : Environ 0,9l/min
- Indications : Valeur mesurée, échelle, alarme, écran de maintenance
- Alarmes : Calibrage auto, erreur de calibrage, erreur de zéro, température du catalyseur, etc.....
- Langage disponible à l'affichage : Français, Anglais, Allemand, Japonais.
- Entrées/sorties : 0-1v/0-10v/4-20mA a spécifier, + communication série RS 232C.
- Température ambiante : 5 – 40°C
- Alimentation : 100/110/115/120/220/230/240 VAC,50/60 Hz a spécifier

- Dimensions : l 430 x P 550 x h 221 mm
- Poids : Environ 33 kg.
- Note : ppmC est un symbole et non pas une unité.



**Figure 10 : Analyseur de HCT « COV » (APHA - 370)**

❖ **Analyseur de NO<sub>x</sub> (APNA – 370) de marque (HORIBA)**

➤ **Caractéristiques**

L'analyseur APNA-370 utilise la combinaison du (1) principe de la chimiluminescence en double modulation de flux croisés (2) et de la méthode de calcul référentiel.

Ceci donne l'avantage du simple détecteur plus la capacité de mesurer en continu les NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>.

Cette conception offre une extrême sensibilité de mesure stable dans le temps.

L'équipement standard intègre un sécheur avec fonction automatique de recyclage pour fournir de l'air sec à l'ozonateur. Ceci permet des périodes de mesure continues très importantes.

Le détecteur utilise la technologie des semi-conducteurs pour une plus grande durée de vie et améliorer la compacité de l'analyseur.

L'analyseur inclut un générateur de gaz référent, un générateur d'ozone, un décomposeur d'ozone, le système d'échantillonnage avec sa pompe. Aucun gaz supplémentaire n'est requis.

➤ **Spécifications**

- Principe : Chimiluminescence et modulation de flux croisés
- Cellule de mesure dépressurisée
- Application : Mesure du NO<sub>2</sub>/NO et NO<sub>x</sub> dans l'air ambiant
- Échelles standards : 0-0,1/0,2/0,5/1 ppm – échelles automatiques ou manuelles

- Échelles optionnelles : 4 échelles sélectionnables entre 0-10 ppm dans un ratio de 10 fois. Automatiques ou manuelles
  - Limite de détection (LD) : 0,5ppb (3 sigma)
  - Répétabilité : +/- 1% de la pleine échelle
  - Linéarité : +/- 1% de la pleine échelle
  - Dérive du zéro : < LD/jour a la plus petite échelle +/- 1,0ppb/jour a la plus petite échelle
  - Dérive du calibrage : < LD/jour a la plus petite échelle +/- 1,5% semaine de la pleine échelle
  - Temps de réponse T90 : Dans les 90 s a la plus petite échelle
  - Débit de l'échantillon : Environ 0,8l/min
  - Indications : Valeur mesurée, échelle, alarme, écran de maintenance
  - Alarmes : Calibrage auto, erreur de calibrage, erreur de zéro, température du catalyseur, etc...
  - Langage disponible à l'affichage : Français, Anglais, Allemand, Japonais.
  - Entrées/sorties : 0-1v/0-10v/4-20mA à spécifier, + communication série RS 232C.
  - Température ambiante : 5 – 40°C
  - Alimentation : 100/110/115/120/220/230/240 VAC,50/60 Hz a spécifier
  - Dimensions : l 430 x P 550 x h 221 mm
  - Poids : Environ 21



**Figure 11** : Analyseur des NOx (APNA – 370)

La station de surveillance de la qualité de l'air Nesma, installée au site de CHU Mustapha, a permis d'acquérir une base de données des mesures de polluants atmosphériques exprimées en valeurs instantanées (de 5mn, 15mn et horaires) couvrant les périodes d'étude représentées dans le tableau 06. Cette base de données contient les informations suivantes, à savoir :

- Des données de concentration horaire d'ozone O<sub>3</sub> ;
- Des données de concentration horaire COV ;
- Des données de concentration horaire NO<sub>x</sub>.

Un prétraitement des données issues de cette station a été effectué pour supprimer les données aberrantes, les périodes lacunaires, ...etc. Il s'agit de concentrations négatives ou de concentrations minimales inférieures au seuil de détection des analyseurs utilisés. Les périodes lacunes concernent les journées de panne d'électricité, de maintenance des appareils ...etc. Le récapitulatif de traitement des données des polluants sur la période d'étude sont présentés dans le tableau 07.

**Tableau 06 :** Informations recueillies sur les données mesurées sur les périodes d'étude

<b>Polluants Atmosphérique</b>	<b>Période d'étude</b>	<b>Nombre de mois</b>	<b>Nombre de jours</b>	<b>Nombre d'heures</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	[01/06/2017-22/02/2018]	07	157	3346
<b>NO<sub>x</sub></b>	[13/10/2017-11/05/2018]	08	178	4111
<b>NO</b>	[13/10/2017-11/05/2018]	08	178	4111
<b>NO<sub>2</sub></b>	[13/10/2017-11/05/2018]	08	178	4115
<b>NMHC(COVM)</b>	[01/01/2018-31/05/2018]	06	151	3482

Le tableau 07 récapitule les données des polluants validées et manquantes sur la période d'étude.

**Tableau 07** : Récapitulatif de traitement des données des polluants étudiés

Polluants	Valide		Observations Manquant		Total	
	N	Pourcentage %	N	Pourcentage %	N	Pourcentage %
<b>O<sub>3</sub> (ppb)</b>	3346	65,76	1742	34,23	5088	100
<b>NO (ppb)</b>	4111	70,49	1721	29,50	5832	100
<b>NO<sub>2</sub> (ppb)</b>	4111	70,49	1721	29,50	5832	100
<b>NO<sub>x</sub> (ppb)</b>	4111	70,49	1721	29,50	5832	100
<b>COVNM (ppm)</b>	3482	80,26	886	19,73	4368	100

### III.1 Niveaux de concentrations horaires d’ozone (O<sub>3</sub>)

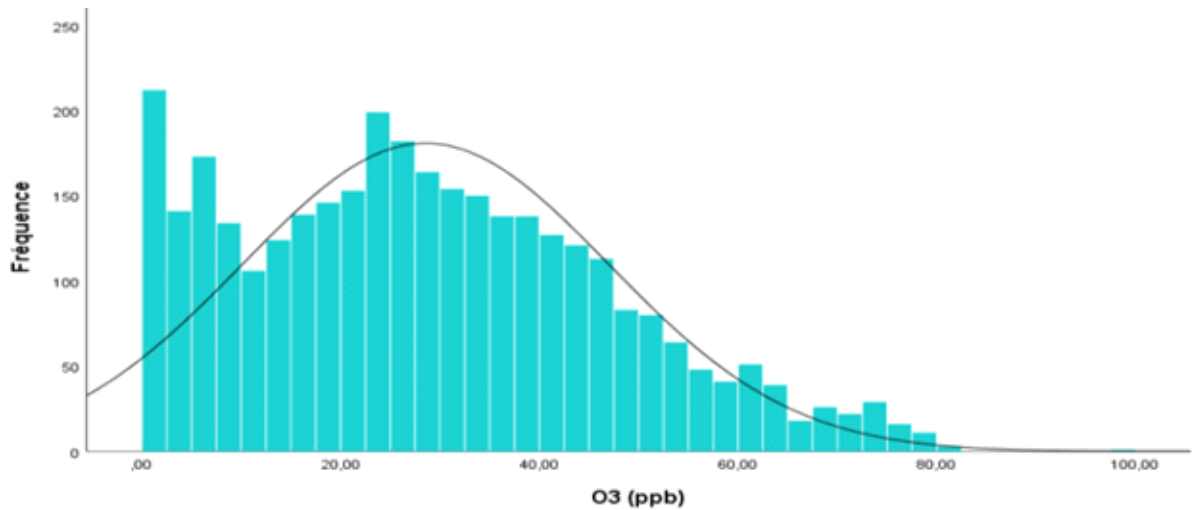
#### III.1.1 Bilan statistique des niveaux d’ozone

Les statistiques sur les niveaux de ce polluant pour chaque mois de la période d’étude sont présentées au tableau 07. Nous remarquons que tous les percentiles (PCT 5 ,10, ..., 95) ont présenté en général des valeurs élevées pour les mois d’été. Le percentile 95 le plus élevé a été de 73 ,8ppb (enregistré pour le mois d’août 2017), c’est-à-dire que 5 % des concentrations horaires sont supérieures à 73,8ppb et 95 % des concentrations sont inférieures à 73 ,8ppb. La concentration médiane (PCT 50) qui représente la valeur centrale est supérieure à 30ppb pour les mois d’été et inférieur à 20ppb pour les mois d’hivers. En outre, les concentrations horaires maximales ont été enregistrées aussi en mois d’été.

En été, l’ensoleillement est fort et la durée du jour est longue ce qui favorise la formation photochimique de l’ozone et son accumulation à des niveaux d’ozone très élevés (Kerbachi et al., 1998). En mois d’hiver, le percentile 95 le plus élevé n’a pas dépassé 30ppb, c’est-à-dire que 5 % des concentrations horaires sont supérieures à cette valeur alors que 95 % des concentrations sont inférieures à 30ppb. Comme, l’ensoleillement est faible, et la durée du jour est limitée en hiver, ce qui explique les niveaux très bas d’ozone. Cependant il n’est pas rare d’enregistrer des pics en mois d’hiver, te que le cas du mois de décembre ou une concentration de 97,90ppb a été enregistrée le 27/12/2017. Cette valeur est supérieure à la fourchette observée de 33,4 à 81,40ppb pour les autres.

La figure 12 représente l’histogramme correspondant à la distribution des fréquences qui s’obtient en exprimant chaque fréquence sous forme du nombre total d’observations.

L'examen de la figure précédente révèle la forme normale de la distribution de concentration horaire d'ozone (la normalité de la distribution a été testée à l'aide du logiciel SPSS). Par contre la plupart des distributions des données environnementales suivent de façon générale la loi log-normale : la plupart des valeurs des données environnementales renferment plus de valeurs faibles que de valeurs élevées.



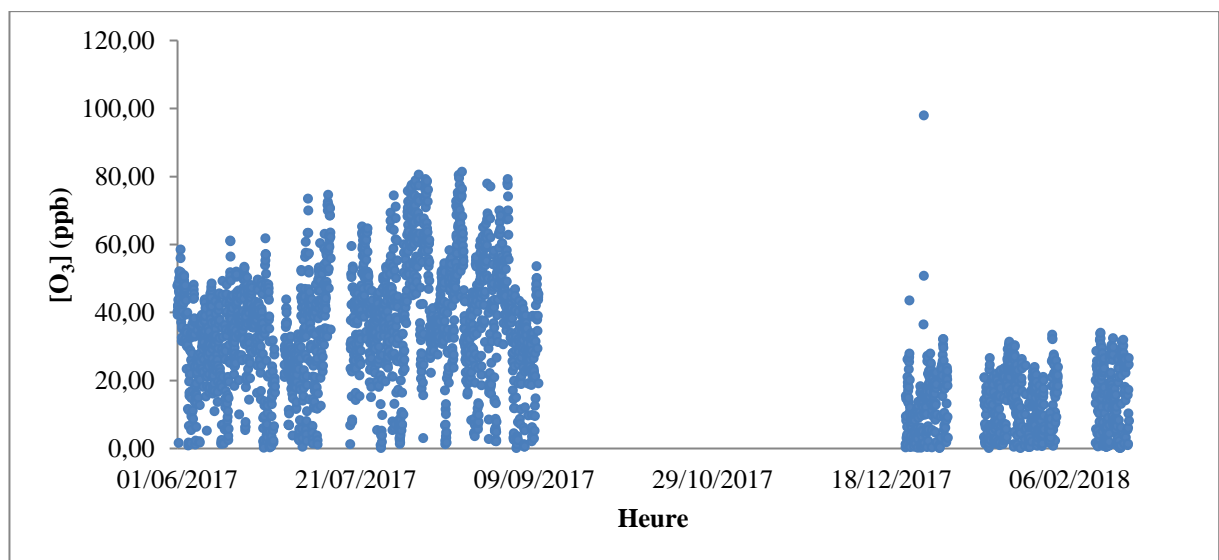
**Figure 12** : Distribution des fréquences de concentrations horaires d'ozone

**Tableau 08** : Statistiques concernant les niveaux mensuels de l’ozone (ppb)

Mois	Heures validées	Valeur minimale horaire	Valeur maximale Horaire	Moyenne mensuelle	Ecart-type	Mode	PCT 5	PCT 10	PCT 25	PCT 50	PCT 75	PCT 90	PCT 95
<b>Juin</b>	621	1.20	61.80	30.73	13,95	40.30	2.30	7.82	21.80	32.85	41,10	46.87	49.87
<b>Juillet</b>	613	0.10	74.60	35.08	15,72	27.50	5.54	13.82	24.80	35.10	45.50	55.14	61.62
<b>Aout</b>	744	1.20	81.40	43.20	19,30	37.50	6.30	15.90	31.30	43.95	57.75	68.85	74.10
<b>Sept.</b>	210	0.10	79.20	30.82	16,03	19.10	2.55	05.74	22.67	31.65	40.05	48.07	57.42
<b>Dec.</b>	172	0.10	97.90	12.91	10,82	0.30	0.40	01.43	05.22	12.15	18.07	23.27	26.93
<b>Jan.</b>	568	0.10	33.40	13.54	09,01	5.70	0.80	01.89	05.70	12.70	21.10	26.31	28.42
<b>Févr.</b>	417	0.10	35.40	15.32	09,50	26.20	0.79	01.58	06.50	16.20	23.35	27.40	29.30
<b>Total</b>	3346	0,10	97,90	28,56	18,45	26,20	1,90	4,60	14,00	26,90	24,68	53,60	62,28

### III.1.2 Variation temporelle des concentrations horaires d'ozone

La figure 13 illustre la distribution temporelle des concentrations horaires d'ozone sur le site du CHU Mustapha. Nous observons que les concentrations horaires les plus faibles ont été enregistrées en hiver (décembre-janvier-février), oscillant entre 0.10 et 97.90ppb, alors que les concentrations les plus élevées ont été enregistrées en été (juin-juillet-août), oscillant entre 0.10 et 81.40ppb. En été, l'ensoleillement et les températures élevées favorisent la transformation photochimique des polluants primaires (NO) et (COV) en polluants secondaires (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) (Mouvier, 1994, Kerbach et al., 1998).



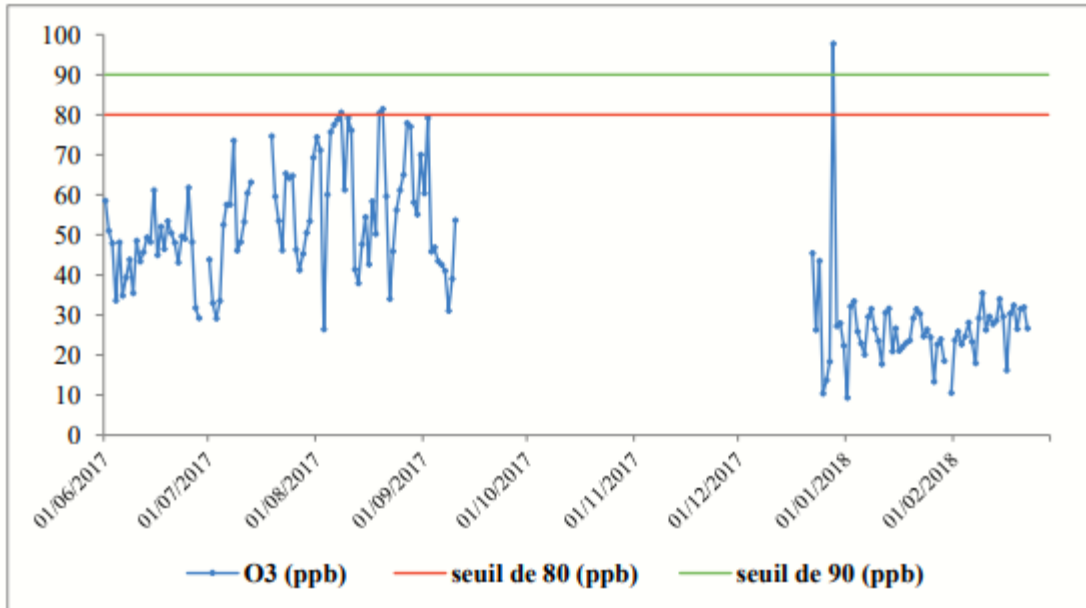
**Figure 13 :** Variation temporelle des concentrations horaires d'ozone durant la période d'étude (01/06/2017 - 22/02/2018)

### III.1.3 Variation temporelle des concentrations horaires maximales journalières

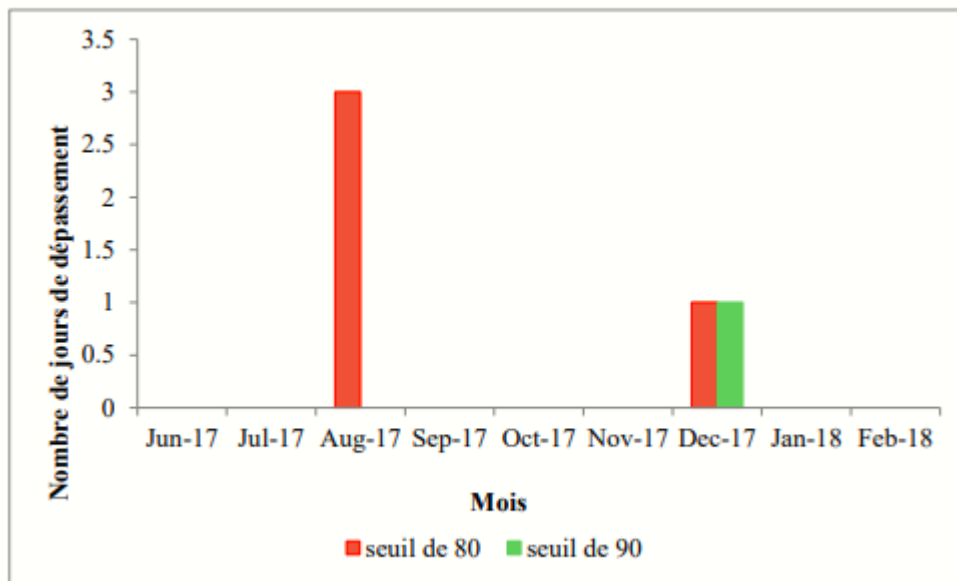
La figure 14 illustre la variation temporelle des concentrations horaires maximales journalières d'ozone enregistrées durant la période d'étude. On constate que les concentrations horaires oscillent entre 09,30ppb et 97,90ppb. En comparaison avec le seuil de protection de la santé (OMS et Algérie) (OMS, 2017 ; JORA, 2006) de 80ppb (160 µg/m<sup>3</sup>) sur 1h ; il y a quatre (4) valeurs qui dépassent ce seuil horaire d'ozone au cours de l'année 2017 et aucun de dépassement n'a été enregistré en 2018. Par contre le seuil d'information (Algérie) (JORA, 2006) de 90ppb (180 µg/m<sup>3</sup>) sur 1h est dépassé une seul fois durant la période d'étude. Cependant, le seuil d'alerte (Algérie) (JORA, 2006) de 180ppb (360 µg/m<sup>3</sup>) sur 1h n'a jamais été dépassé.

Le mois d'août 2017 seul, a connu trois (03) jours de dépassement (figure 15).





**Figure 14 :** Variation temporelle des concentrations horaires maximales d’ozone durant la période d’étude (01/06/2017 - 22/02/2018)



**Figure 15 :** Nombre de jours de dépassement mensuels du seuil de protection de la santé de 80ppb sur 1h et seuil d’information de 90ppb sur 1h

### III.1.4 Variation temporelle des concentrations moyennes journalières

La figure 16 illustre la variation temporelle des concentrations moyennes journalières d’ozone. Les valeurs moyennes élevées ont été enregistrées pendant les mois d’été ; alors que, les mois d’hiver ont présenté les valeurs moyennes faibles. Le seuil de protection pour la

végétation 32.5ppb ( $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur 24 h (OMS et Algérie) a été dépassé en 54 jours d'été (figure 17).

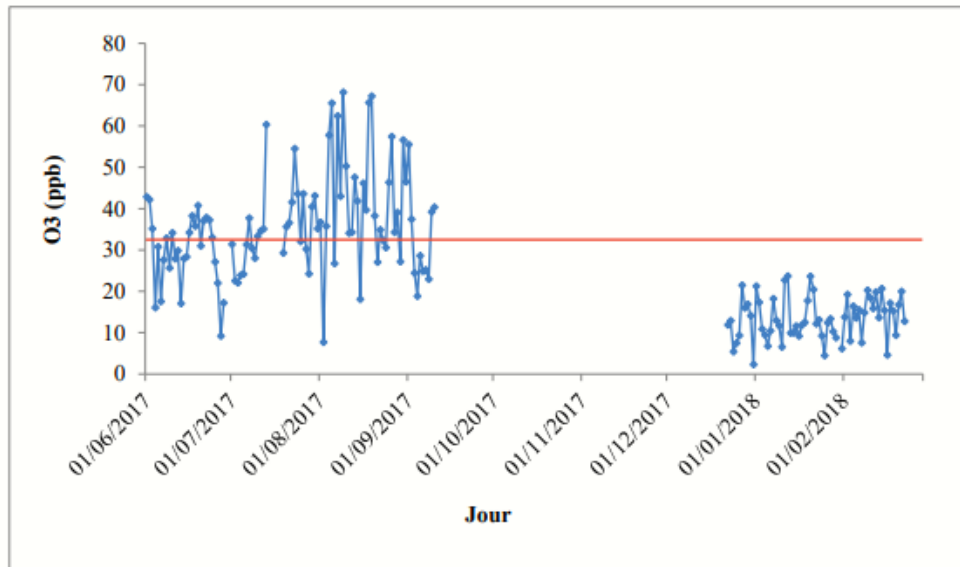


Figure 16 : Variation temporelle des concentrations moyennes journalières d'ozone

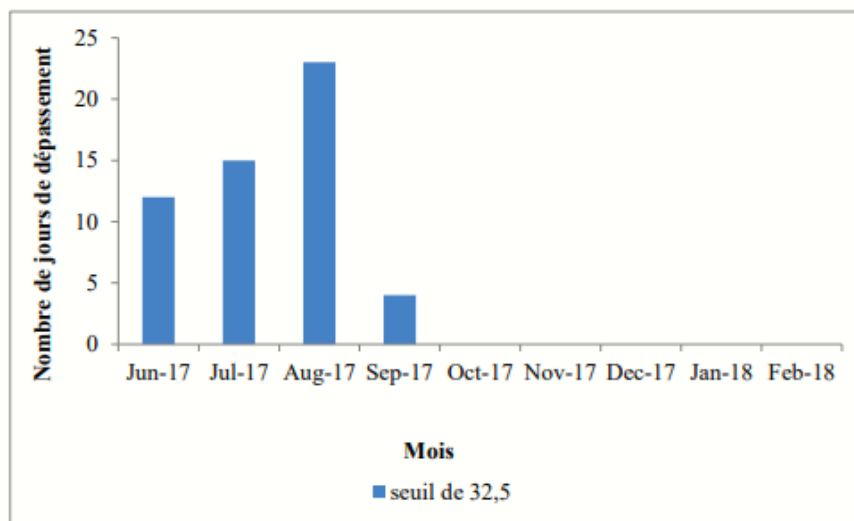
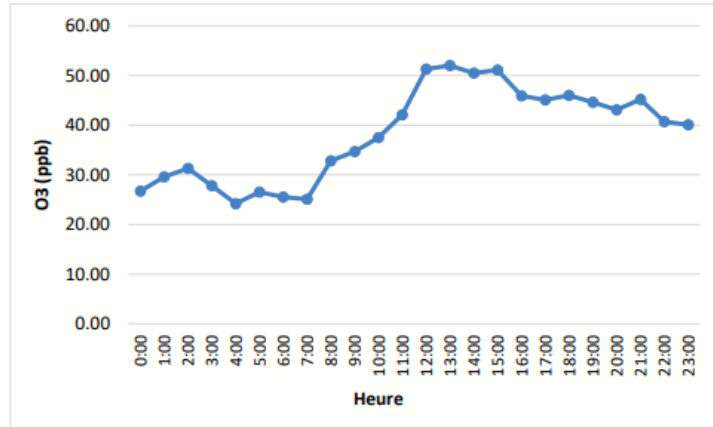


Figure 17 : Nombre de jours de dépassement mensuels du seuil de protection pour la végétation 32.5ppb ( $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur 24 h

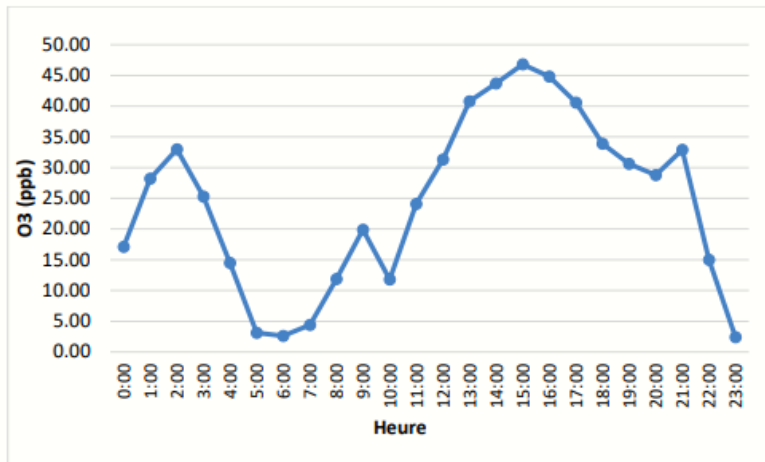
### III.1.5 Variation journalière des concentrations horaires d'ozone

Les figures 18a à 18e présentent les variations journalières des concentrations horaires d'ozone pour des journées représentatives sélectionnées parmi 157 journées.

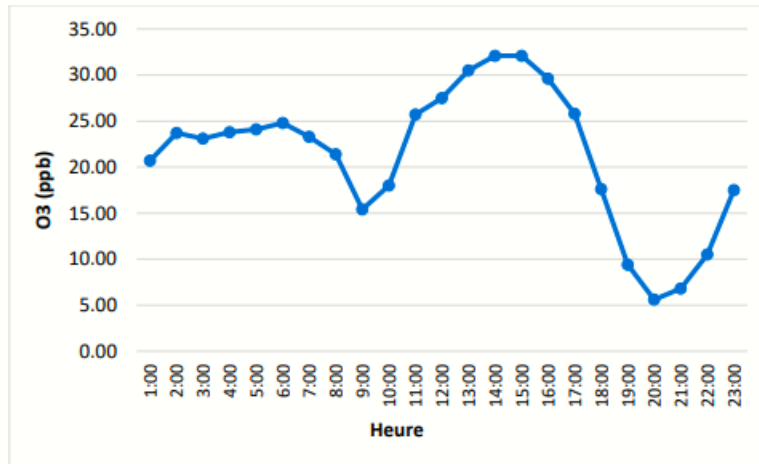
Les variations journalières des concentrations horaires d'ozone peuvent se résumer en cycle diurne où le profil journalier est classique se caractérisant par un max en début d'après-midi et qui décroît progressivement jusqu'au coucher du soleil et une min en fin de nuit. Toutefois, on constate une augmentation en fin de journée qui peut être cause par la recirculation par la brise de mer/terre et du transport à long distance d'ozone (Dahechi et Saihia, 2019).



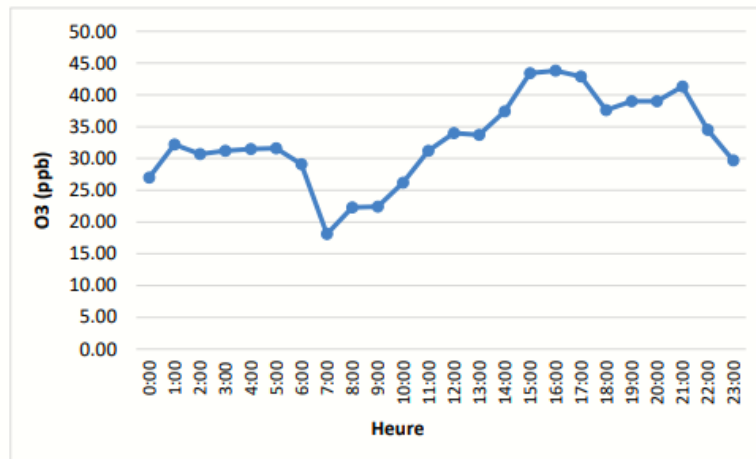
a) 17 Juin 2017



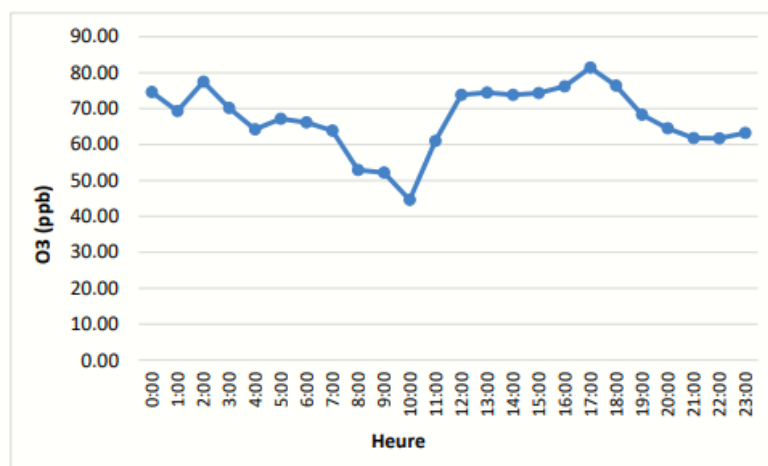
b) 03 Septembre 2017



c) 01 Janvier 2018



d) 08 Juin 2017

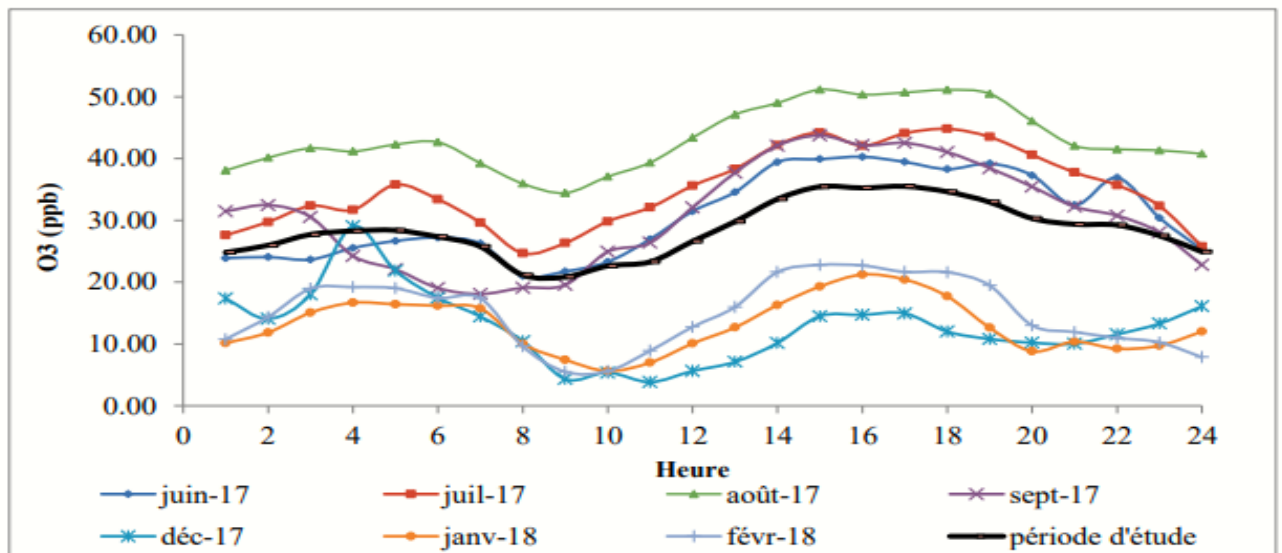


e) 19 Aout 2017

Figures 18a) à 18 e) : Les variations journalières des concentrations horaires d’ozone pour des journées représentatives sélectionnées

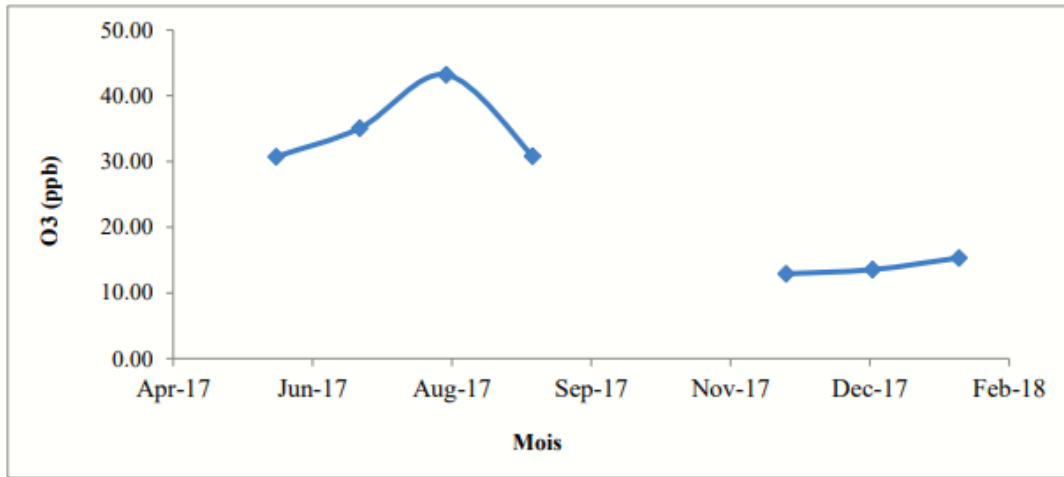
### III.1.6 Variation des concentrations horaires moyennes d’ozone durant la période d’étude

La figure 19 reproduit la variation journalière moyenne pour l’ozone calculée sur la base des données de tous les jours du mois et de la période d’étude. On constate que, les profils moyens mensuels des concentrations horaires moyennes d’ozone présentent la même allure (cycle diurne). A l’exception du mois de septembre qui présente une variation diurne très faible. L’ozone atteint son max au milieu de la journée et persiste ensuite à des teneurs élevées dans l’après-midi. D’autre part, on constate que, les teneurs nocturnes sont élevées, il reste bien en deçà des niveaux rencontrés dans la journée et croissent avec l’augmentation des niveaux d’ozone dans la journée. Un rabatement des concentrations d’ozone a été observé durant la matinée coïncidant avec les heures de pointes (forte émission de NO).



**Figure 19 :** Variation horaire des concentrations moyennes d’ozone pendant la période d’étude (01/06/2017 - 22/02/2018)

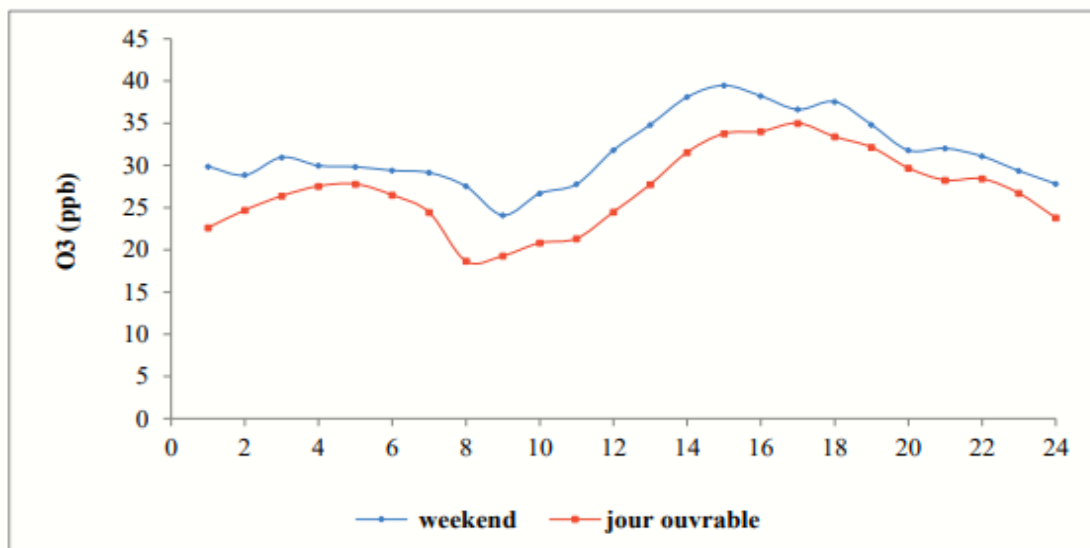
Le résultat des calculs met en évidence le fait que les moyennes les plus élevées sont celles enregistrées en été (figure 20).



**Figure 20 :** Variation mensuelle des concentrations moyennes d’ozone pendant la période d’étude (01/06/2017 - 22/02/2018)

### III.1.7 Variation des concentrations horaires moyennes d’ozone durant les weekends et les jours ouvrables

La figure 21 indique la variation journalière des concentrations horaires moyennes pour les jours ouvrables et les weekends. On constate que, les concentrations horaires moyennes sont plus élevées les weekends et plus faibles les jours ouvrables du fait, qu’il y a plus de circulation automobile, les jours ouvrables que les weekends. Donc, il y a moins de NO présent dans l’air et la destruction de l’ozone devient moins importante les weekends.



**Figure 21 :** Variation des concentrations horaires moyennes d’ozone durant les weekends et les jours ouvrables

### **III.2 Niveaux de concentrations horaires des NO<sub>x</sub>**

#### **III.2.1 Bilan statistique des niveaux des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>**

Les résultats portés dans le tableau 09 montrent que les niveaux de NO sont nettement élevés aux mois de : Octobre, Novembre, Décembre et Janvier par rapport aux mois de : Mars, Avril et Mai. Le percentile 95 du mois de Mai 2018 est de 53,70 ppb par contre pour le mois de décembre 2017 s'élève à 182,43 ppb. Sachant que, le percentile 50 varie entre 1,80 et 14,20 ppb, ces valeurs sont faibles alors que les pics enregistrés de NO sont nettement élevés, ce qui explique les valeurs élevées des percentiles 95.

Les émissions de ce polluant sont principalement issues du trafic automobile durant toute l'année auquel s'ajoute le chauffage domestique en hiver.

Pour le NO<sub>2</sub> (tableau 10), le percentile 95 est supérieur à 30ppb et n'excède 56ppb alors que, le percentile 50 est supérieur à 16,50ppb et ne dépasse pas 31ppb. Le NO<sub>2</sub> se forme dans l'air par oxydation du NO.

Les NO<sub>x</sub> (tableau 11), les percentiles (médiane PC50 = 32,00ppb, PC95 = 154,35ppb) et le maximum horaire est de 1008ppb alors que la moyenne pour la période d'étude est de 50,88ppb. Sachant que, la concentration horaire de NO<sub>x</sub> est la somme des concentrations horaires de NO et NO<sub>2</sub>.

Les histogrammes suivants : figures 22, 23 et 24 montrent les distributions de fréquences des données horaires des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>. Ces données sont ajustées à une loi de distribution normale.

Les données de la pollution de l'air sont généralement distribuées de façon log-normale. La déviation constatée est due au grand nombre de valeurs extrêmes enregistrées.

**Tableau 09** : Statistiques concernant les niveaux mensuels du NO (ppb)

Mois	Heures validées	Valeur minimale horaire	Valeur maximale Horaire	Moyenne mensuelle	Ecart-type	Mode	PCT 5	PCT 10	PCT 25	PCT 50	PCT 75	PCT 90	PCT 95
<b>Oct.</b>	395	0.3	328.5	34.43	48.49	3.6	0.97	1.74	4.8	12.7	43.55	49.46	138.37
<b>Nov.</b>	217	0.6	350	33.33	51.75	1.4	0.80	01.30	02.60	09.50	45.4	100.2	124.9
<b>Dec.</b>	506	0.3	923.3	45.96	82.56	0.7	0.70	01.15	4	14.20	51.85	134.7	179.43
<b>Jan.</b>	720	0.4	342.4	37.82	53.23	1	0.90	01.10	03.30	12.85	48.65	114.31	164.35
<b>Fév.</b>	552	0.4	254.8	27.06	39.67	0.9	0.70	0.90	01.50	07.85	39.05	74.92	108.55
<b>Mars.</b>	743	0.3	229.5	15.96	29.54	0.5	0.50	0.60	0.90	02.10	16.30	53.36	81.46
<b>Avr.</b>	719	0.3	136.8	12.17	21.7	0.7	0.50	0.60	0.90	01.80	11.95	39.92	60.48
<b>Mai</b>	259	0.1	98.8	8.72	16.25	0.6	0.49	0.60	0.80	03.20	07.80	18.24	49.74
<b>Total</b>	4111	0,1	923,30	26,54	48,20	0,60	0,60	0,70	1,30	6,30	4,60	78,40	117,15



**Tableau 10** : Statistiques concernant les niveaux mensuels des NO<sub>2</sub> (ppb)

Mois	Heures validées	Valeur minimale horaire	Valeur maximale Horaire	Moyenne mensuelle	Ecart-type	Mode	PCT 5	PCT 10	PCT 25	PCT 50	PCT 75	PCT 90	PCT 95
<b>Oct.</b>	395	3.1	97	30.98	14.26	32	8,58	12.8	21.80	30.60	39.60	47.72	56.16
<b>Nov.</b>	217	3.4	55.2	24.73	9.7	25.2	8.86	11.46	18.00	25.20	30.80	37.18	38.16
<b>Dec.</b>	506	2.7	113.1	26.17	13.55	13.07	6.30	09.35	14.50	26.85	36.10	41.25	46.75
<b>Jan.</b>	720	2.6	46.3	24.57	8.16	29.3	9.40	13.19	19.47	25.70	29.70	33.42	37.02
<b>Fév.</b>	552	6	47.8	26.4	7.67	28.6	11.7	15.01	20.78	28.10	32.10	35.10	37.35
<b>Mars.</b>	743	3.9	39.8	21.78	8.15	22.10	8.41	10.42	15.10	22.10	28.80	32.18	33.70
<b>Avr.</b>	719	4.2	42.9	21.79	8.01	11.4	8.50	11.40	15.10	22.00	28.00	32.00	34.82
<b>Mai</b>	259	4.2	60.8	19.48	10.26	11.20	6.61	08.24	11.20	16.50	27.40	33.00	37.27
<b>Total</b>	4111	2,60	113,10	24,32	10,27	28,80	8,50	11,00	16,50	24,70	23,30	36,50	40,00

**Tableau 11** : Statistiques concernant les niveaux mensuels des NO<sub>x</sub> (ppb)

Mois	Heures validées	Valeur minimale horaire	Valeur maximale Horaire	Moyenne mensuelle	Ecart-type	Mode	PCT 5	PCT 10	PCT 25	PCT 50	PCT 75	PCT 90	PCT 95
<b>Oct.</b>	395	3.5	389.2	65.41	58.54	30.5	9.97	15.26	27.3	45.6	86.35	138.68	182.93
<b>Nov.</b>	217	4.1	399.2	58.02	58.22	28.1	9.66	12.96	21.70	37.70	75.70	133.68	161.10
<b>Dec.</b>	506	3.1	1008	72.13	92.7	47.2	7.25	11.55	19.23	41.90	90.53	174.45	226.95
<b>Jan.</b>	720	3.2	378.1	62.39	58.26	31.6	11	15	23.80	40.65	79.10	144.1	194.85
<b>Fév.</b>	552	6.4	287.4	53.45	44.52	21.5	12.5	16.11	22.68	38.25	70.7	108.96	141.72
<b>Mars.</b>	743	4.2	261.9	37.74	34.74	15.6	9.1	11.02	16.2	25.1	46.15	82.96	112.34
<b>Avr.</b>	719	4.6	165.1	33.96	26.6	16.4	9.2	12.1	16.1	24.5	42.55	68.68	91.06
<b>Mai</b>	259	4.4	130.3	28.31	23.77	12.40	7.8	9.2	12.8	21.7	35.1	51.78	84.29
<b>Total</b>	4111	3,1	1008	50,88	54,88	19,50	9,35	12,40	18,70	32,00	28,80	113,00	154,35

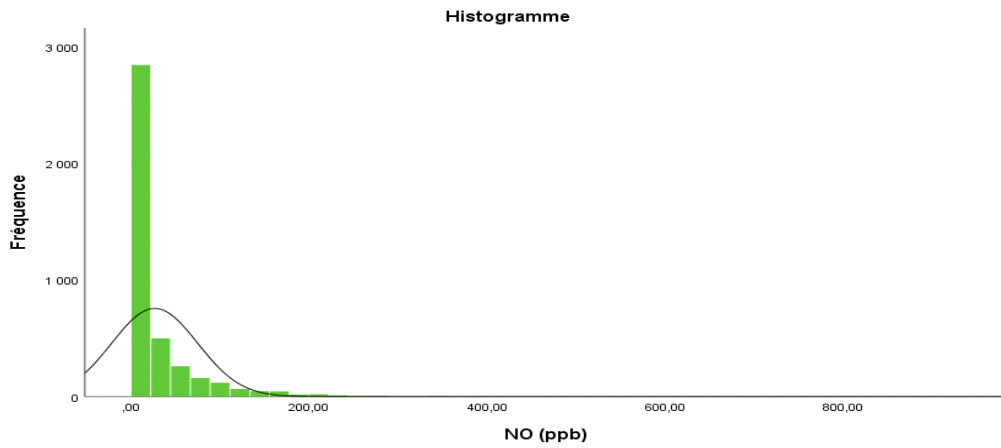


Figure 22 : Distribution des fréquences de concentrations horaires de NO

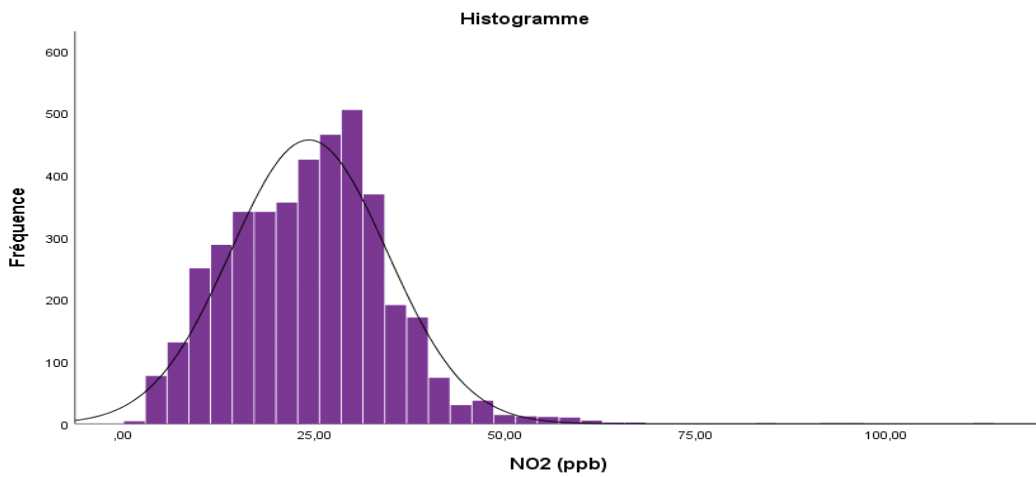


Figure 23 : Distribution des fréquences de concentrations horaires des NO<sub>2</sub>

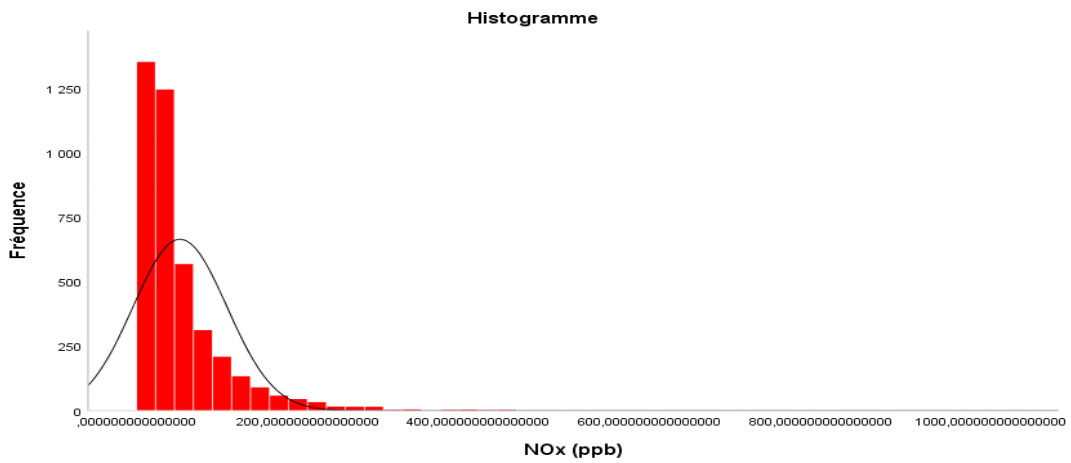
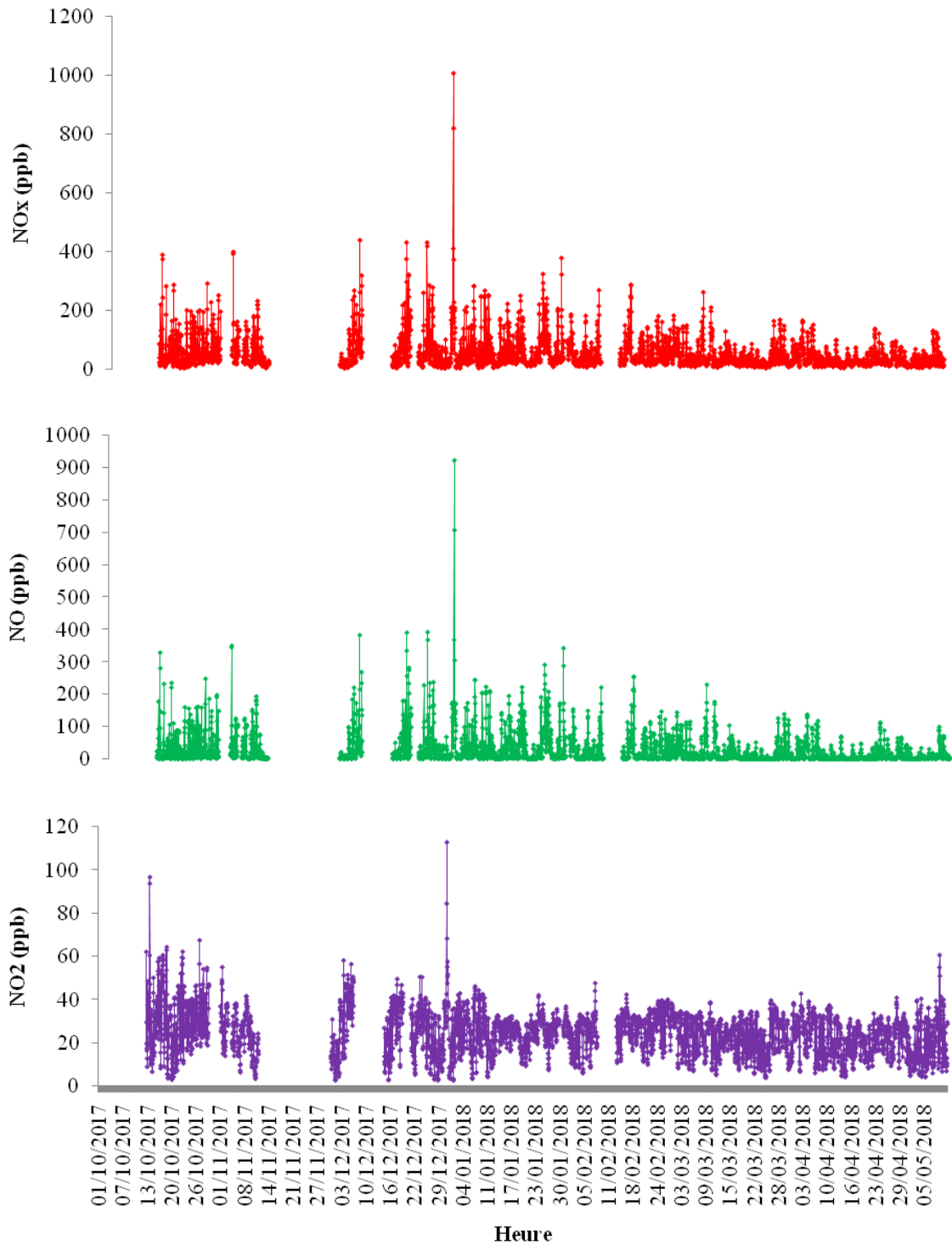


Figure 24 : Distribution des fréquences de concentrations horaires des NO<sub>x</sub>

### III.2.2 Variation temporelle des concentrations horaires des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>

La figure 25 illustre la distribution temporelle des concentrations horaires des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>. Sachant que, la concentration horaire de NO<sub>x</sub> est la somme des concentrations horaires de NO et NO<sub>2</sub>.

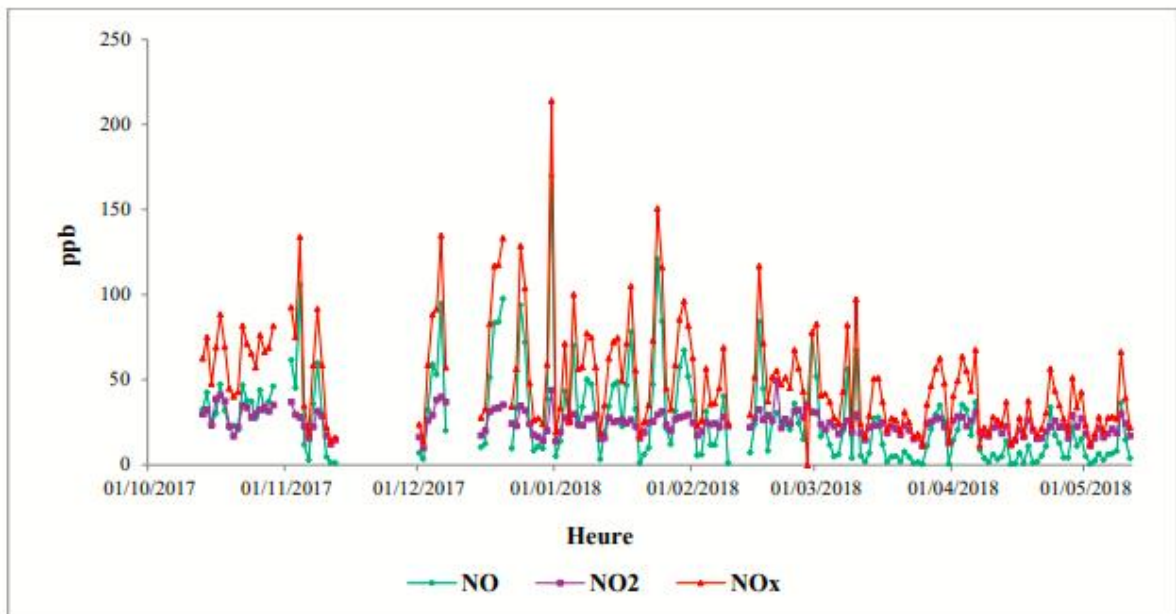


**Figure 25 :** distribution temporelle des concentrations horaires des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>

Les concentrations horaires de NO varient de 0,30 à 923,30ppb, la valeur la plus élevée a été enregistrée (le 31/12/2017 à 10h00). Cependant, les concentrations de NO<sub>2</sub> sont comprises entre 02,60 et 113,10ppb, la plus élevée des valeurs a été enregistrée (le 31/12/2017 à 11h00) ; ces dernières valeurs enregistrées restent très inférieures à celles des NO.

De ce fait, les concentrations en NO<sub>x</sub> sont normalement élevées pour site urbain caractérisé par un fort trafic automobile et entouré en périphérie par des zones de forte densité routière.

Sur toute la période d'étude, les moyennes journalières pour le NO varient entre 0,53 et 169,91ppb, cependant pour les NO<sub>2</sub>, elles oscillent entre 10,25 et 49,95ppb. Alors que pour les NO<sub>x</sub>, elles comprises entre 11,53 et 214,03ppb (figure 26).

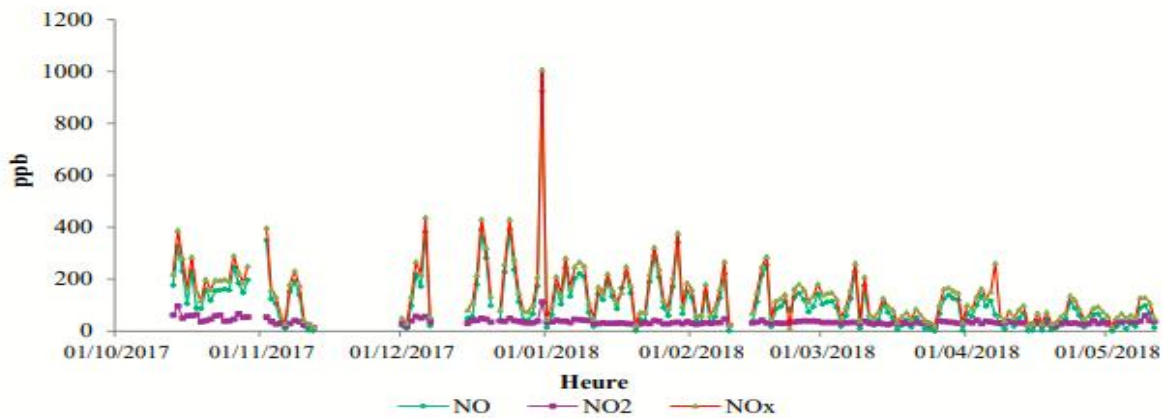


**Figure 26 :** Variation temporelle des concentrations moyennes journalières des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> pour la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)

### III.2.3 Variation temporelle des concentrations horaires maximales

La figure 27 illustre la variation temporelle des concentrations horaires maximales journalières des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> enregistrées durant la période d'étude. On constate que les concentrations horaires oscillent entre 0,80 et 923,33ppb ; 14,80 et 113,10ppb et 11,60 et 1008ppb respectivement pour les NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>.

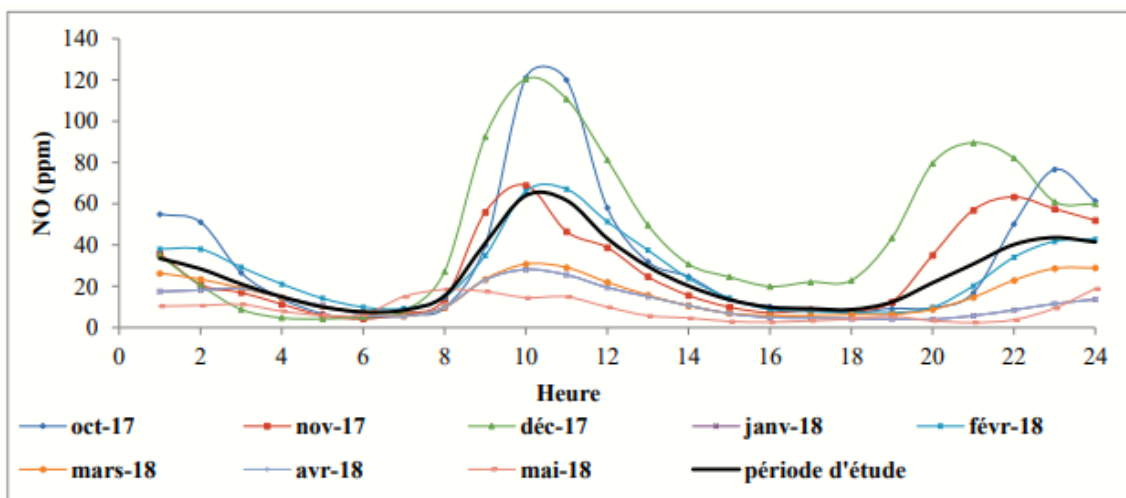
S'agissant de NO<sub>2</sub>, le seuil de protection pour la santé pour l'OMS est de 76,33ppb (200 µg/m<sup>3</sup>) sur 1h. Ce seuil a été dépassé deux (02) fois en deux (02) jours.



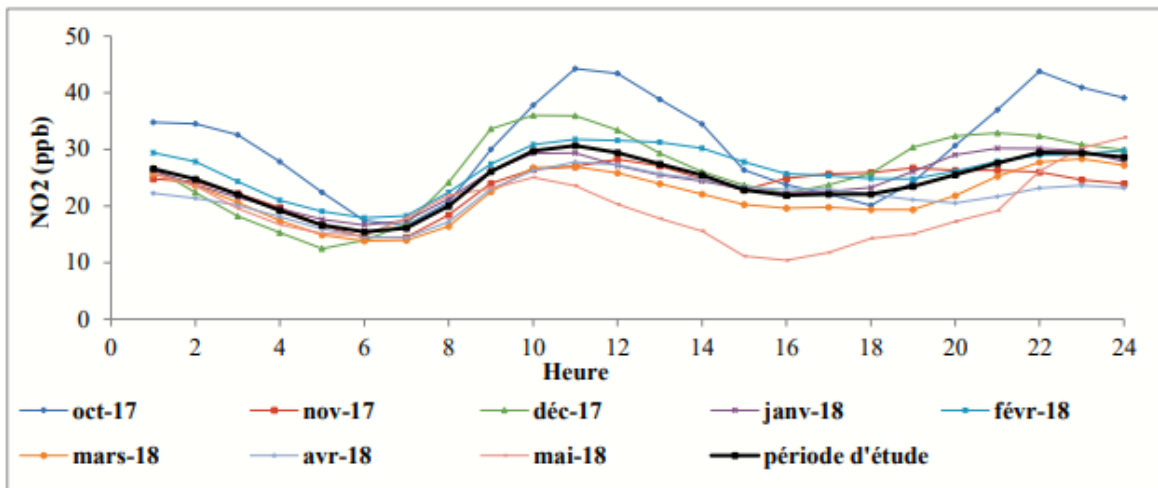
**Figure 27 :** Variation temporelle des concentrations horaires maximales des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> pendant la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)

### III.2.4 Variation mensuelle des concentrations horaires moyennes des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>

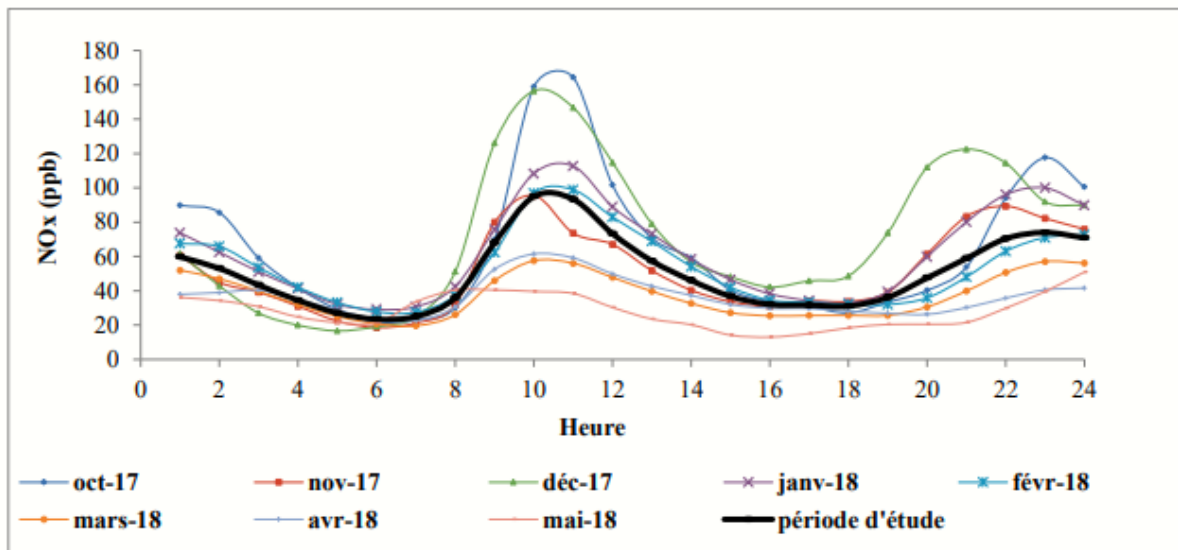
Les figures 28, 29 et 30 représentent les profils diurnes des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> des Variation mensuelle des concentrations horaires moyennes pour la période d'étude. L'examen des ces profils montre l'apparition de deux pics, l'un important au début de la journée et l'autre moins au début de soirée. Le premier pic coïcide avec les heures de pointes du matin.



**Figure 28 :** Variation horaire des concentrations moyennes de NO pendant la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)



**Figure 29 :** Variation horaire des concentrations moyennes des NO<sub>2</sub> pendant la période d'étude (01/06/2017 - 22/02/2018)

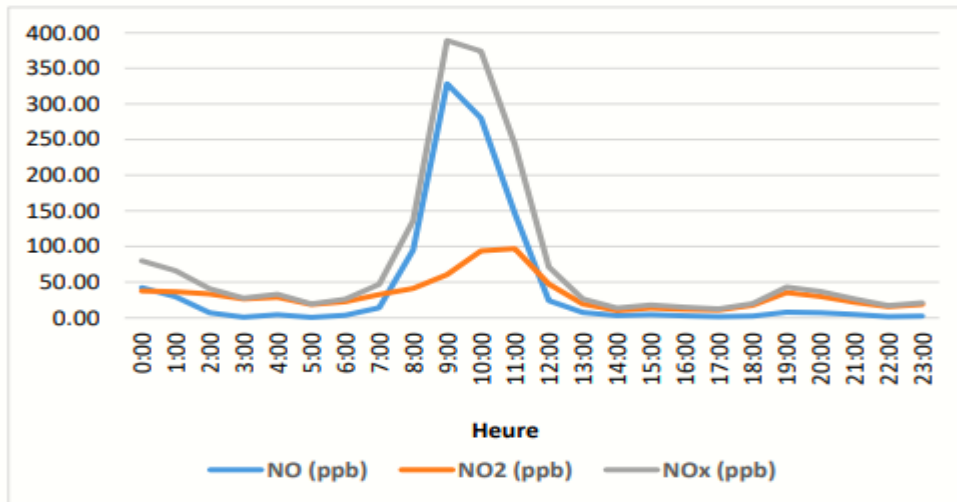


**Figure 30 :** Variation horaire des concentrations moyennes des NO<sub>x</sub> pendant la période d'étude (13/10/2017 - 11/05/2018)

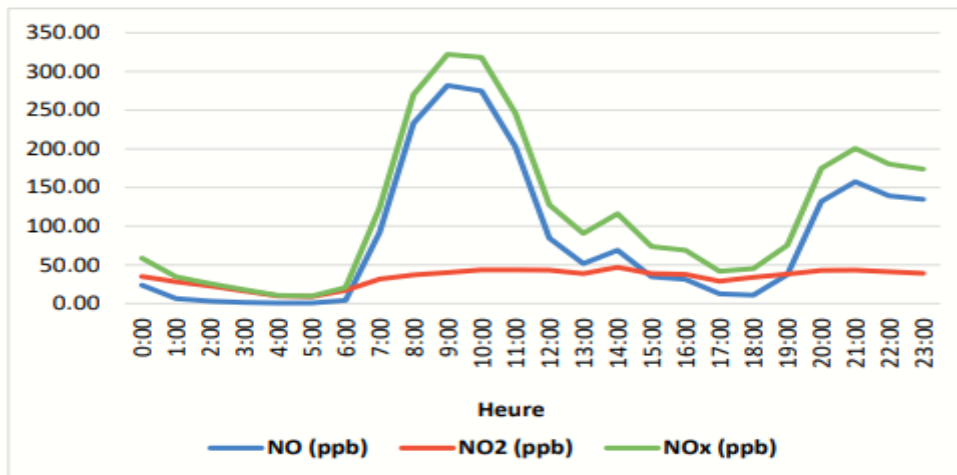
### III.2.5 Variation journalière des concentrations horaires des NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>)

Les courbes présentant la variation journalière des concentrations horaires en NO<sub>x</sub> (NO, NO<sub>2</sub>) (figures 31 a – 31 e). L'examen de ces courbes (NO et NO<sub>x</sub>) montre qu'elles présentent un à deux pics, le premier important lors des heures de pointes et le deuxième moyen important la nuit.

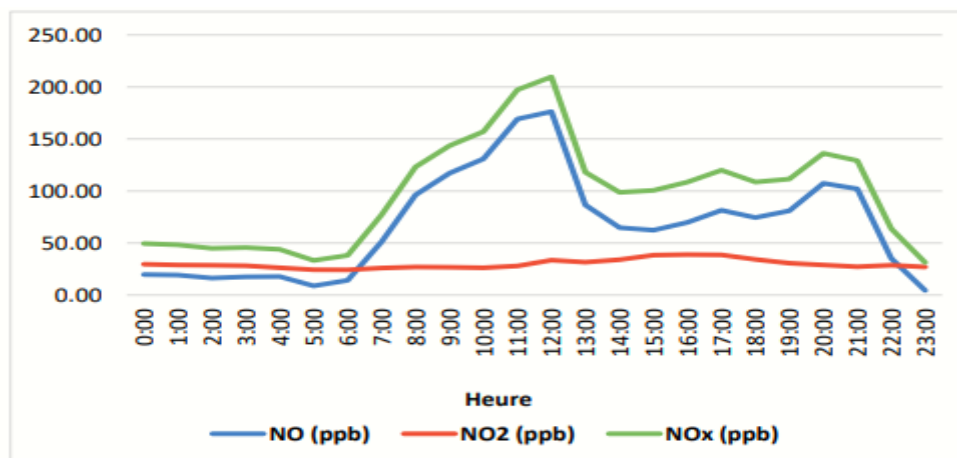
Comme déjà signaler, les concentrations horaires de NO<sub>2</sub> sont faibles par rapport à celles de NO. De fait, on ne remarque pas de pics pour les NO<sub>2</sub>.



a) 14 Octobre 2017

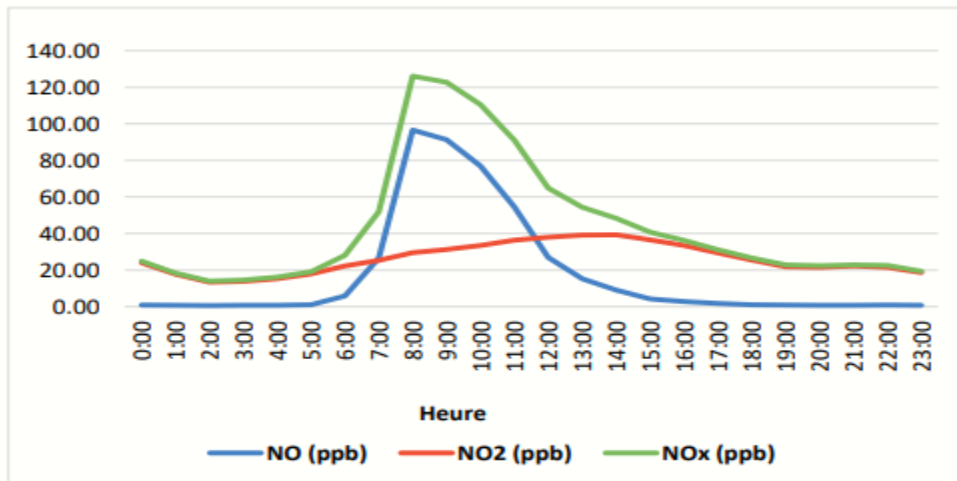


b) 19 Décembre 2017

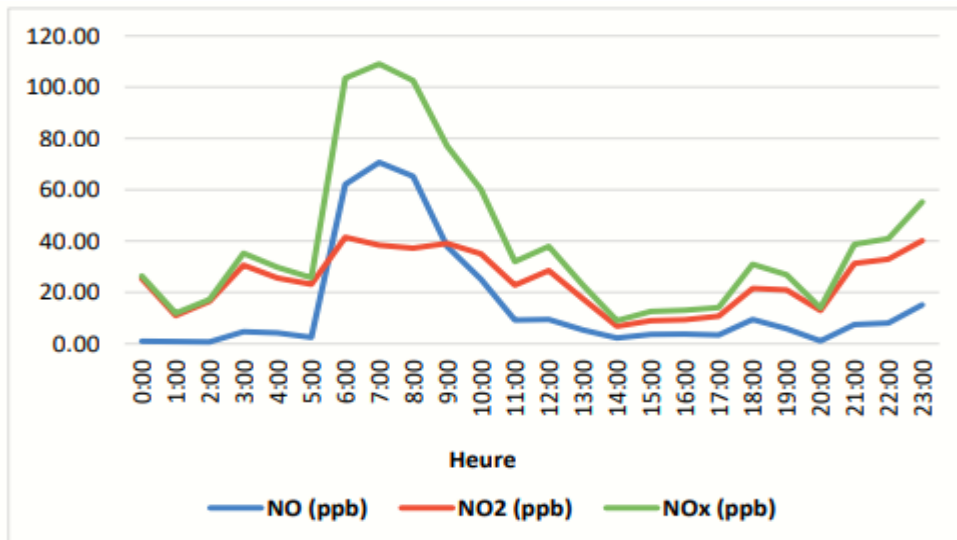


c) 10 Mars 2018





d) 05 Avril 2018



e) 10 Mai 2018

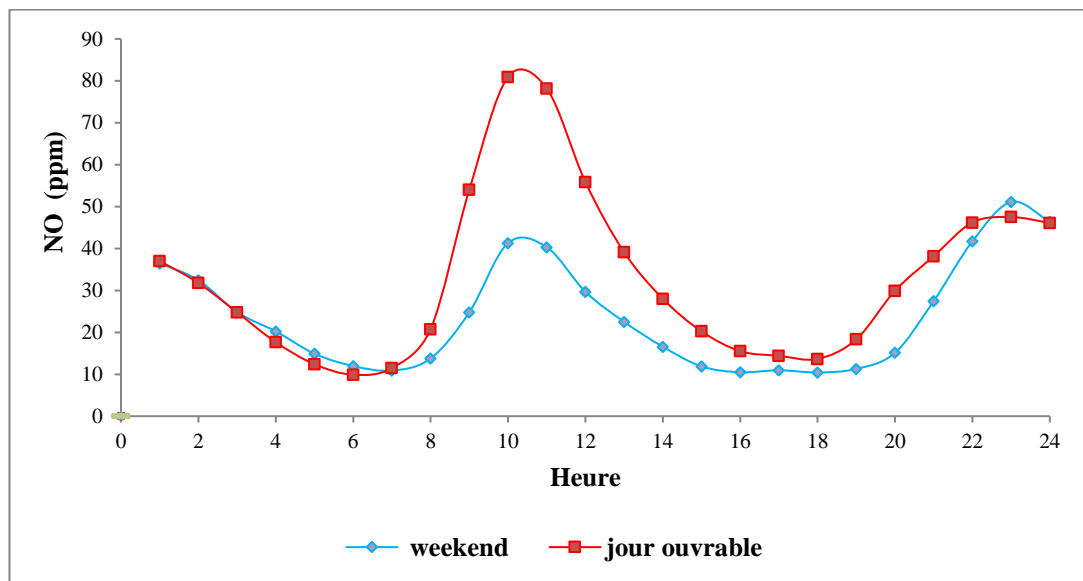
Figures 31 a) - 31 e) : Les variations journalières des concentrations horaires des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> pour des journées représentatives sélectionnées

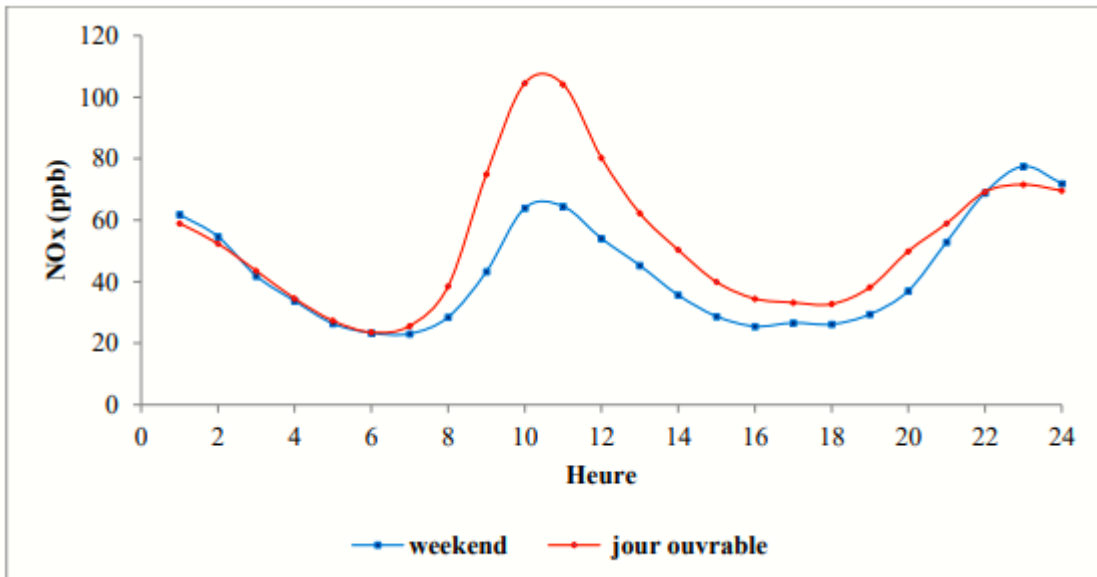
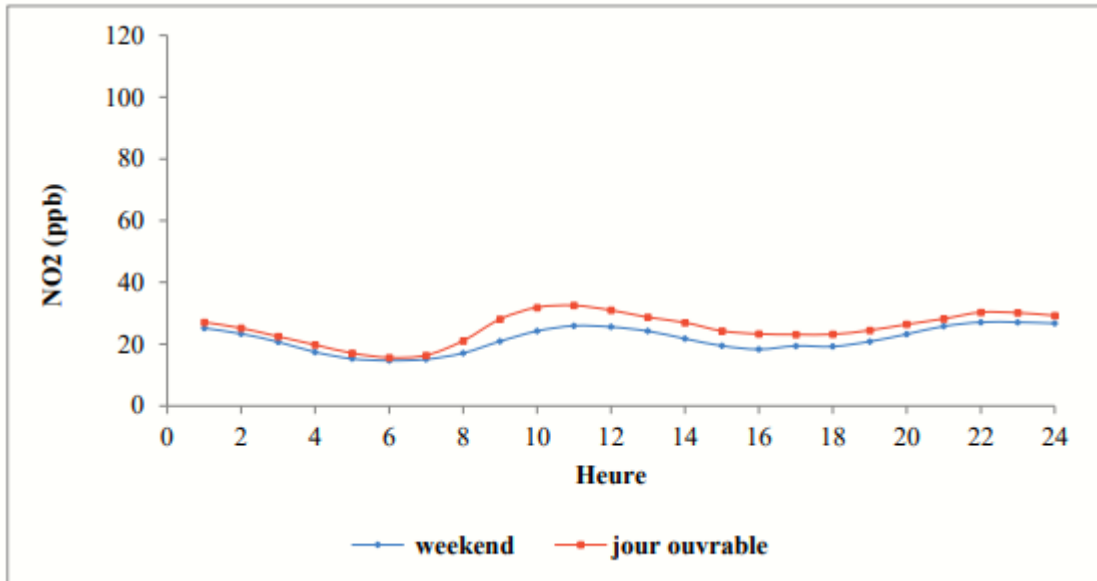
### III.2.6 Variation des concentrations horaires moyennes de NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> durant les weekends et les jours ouvrables

La variation journalière des concentrations des NO pour les jours ouvrables par rapport au weekend présentée en figure 32 reflète bien la variation des émissions liées au trafic automobile au site de mesure CHU Mustapha. Au cours de la journée, on constate une différence marquée de la concentration moyenne en NO en jour ouvrable moyen et weekend moyen. Les pics du matin et du soir observés se produisent au même moment pour les deux types de journées. Pendant la nuit, les émissions automobiles sont limitées pour les jours ouvrables et les weekends (moins de déplacement). Les valeurs se coïncident pour jours ouvrables et les weekends.

Les weekends, il y a moins de NO présent étant que les émissions sont plus faibles.

Comme illustré en figure 32, les concentrations en NO<sub>2</sub> sont en moyenne plus élevées, les jours ouvrables que les weekends. Un léger écart est constaté entre les jours ouvrables et les jours de weekends durant la journée.





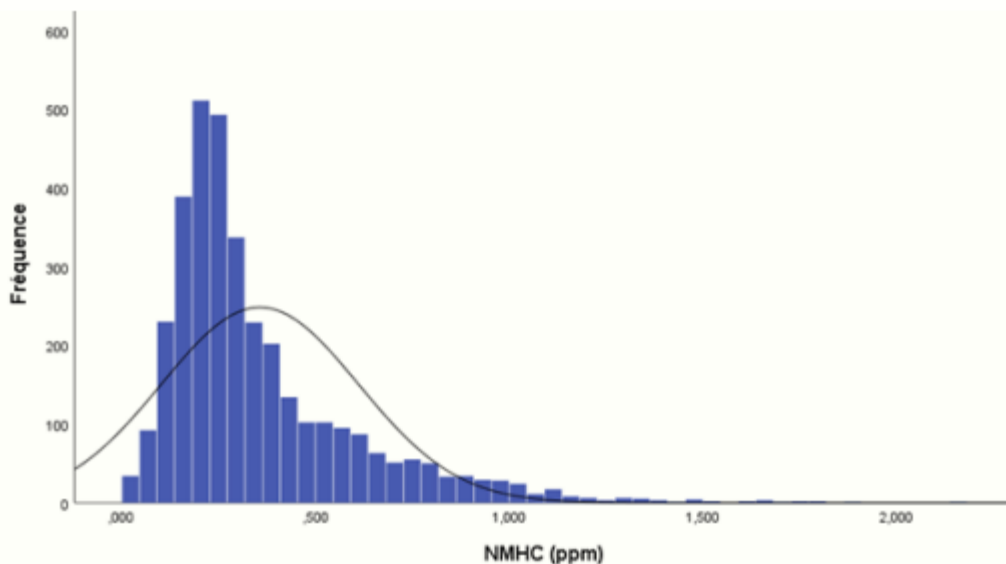
**Figure 32 :** Variation des concentrations horaires moyennes des NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> durant les weekends et les jours ouvrables

### III.3 Niveaux de concentrations horaires des COVNM

#### III.3.1 Bilan statistique des niveaux des COVNM

Les niveaux en concentration et statistique des COVNM selon les mois de l'année sont présentés en tableau 12. Le percentile 95, varie entre 0,64 et 1,04ppm. Alors que, le percentile 50, change peu pour les mois de (Janvier à Mai) ; à noter que, qu'il est deux fois plus élevé pour le mois de décembre 2017. Sachant que, que ces composés rentrent en réaction (se dégradent rapidement) pour la formation photochimique (formation d'ozone).

La distribution de concentrations horaire des NMHC, suit la loi de probabilité log-normale (figure 33).



**Figure 33 :** Distribution des fréquences de concentrations horaires des COVNM

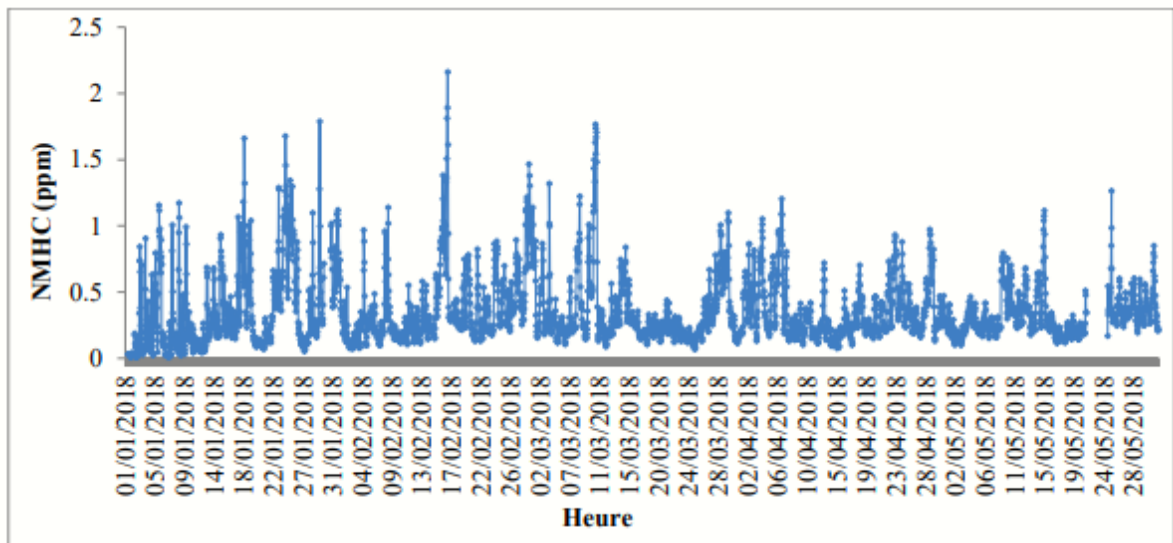
**Tableau 12** : Statistiques concernant les niveaux mensuels COVNM (ppm)

Mois	Heures validées	Valeur minimale horaire	Valeur maximale Horaire	Moyenne mensuelle	Ecart-type	Mode	PCT 5	PCT 10	PCT 25	PCT 50	PCT 75	PCT 90	PCT 95
<b>Jan.</b>	680	0.01	1.79	0.37	0.32	0.27	0.05	0.07	0.13	0.26	0.54	0.88	1.04
<b>Fév.</b>	671	0.07	2.16	0.37	0.27	0.19	0.12	0.14	0.19	0.28	0.45	0.75	0.92
<b>Mars.</b>	743	0.071	1.77	0.36	0.27	0.22	0.13	0.15	0.19	0.26	0.42	0.73	0.91
<b>Avr.</b>	719	0.08	1.2	0.35	0.21	0.24	0.14	0.16	0.21	0.28	0.45	0.67	0.79
<b>Mai</b>	669	0.1	1.26	0.33	0.16	0.24	0.14	0.17	0.22	0.28	0.38	0.56	0.64
<b>Total</b>	3481	0.01	12.16	0.36	0.25	0.22	0.1	0.14	0.19	0.27	0.44	0.72	0.88

### III.3.2 Variation temporelle des concentrations horaires des COVNM

Les données des séries chronologiques des concentrations horaires des COVNM durant la période d'étude sont présentées dans la figure 34.

On remarque que les niveaux des concentrations en COVNM sont observés en hiver et en début de printemps. Du fait, de la faible contribution des COVNM dans la formation photochimique de l'ozone (faible ensoleillement et basse température).



**Figure 34 :** Distribution temporelle des concentrations horaire des COVNM durant la période d'étude (01/01/2018 - 31/05/2018)

### III.3.3 Variation temporelle des concentrations horaires maximales des COVNM

Les concentrations de COVNM oscillantes entre 0.04 et 2,16 ppm (figure 35). Les pics enregistrés sont observés en mois d'hivers, période durant laquelle les conditions de dispersion de polluants sont les défavorables.

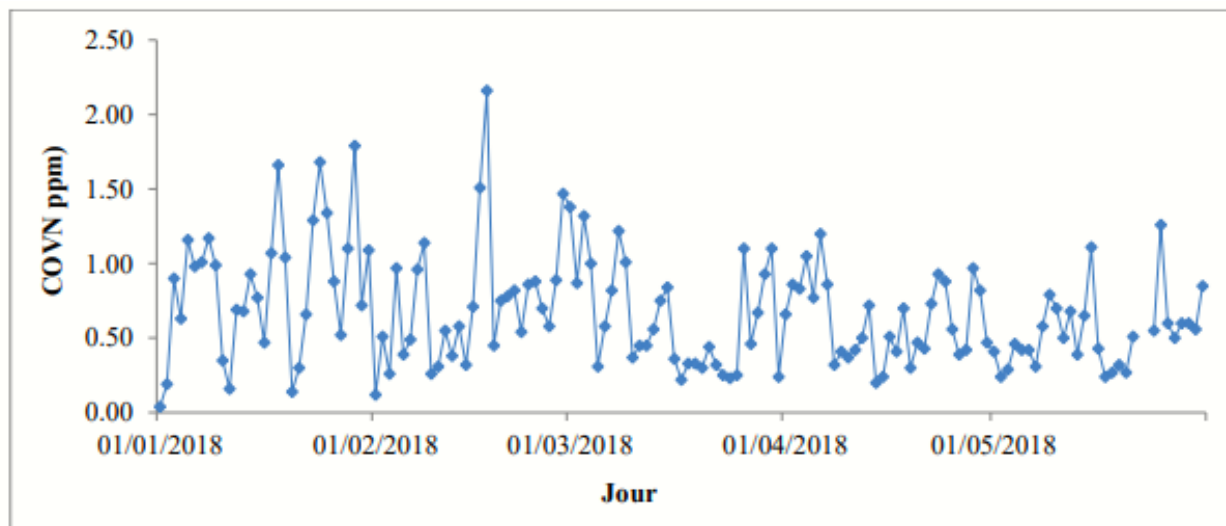
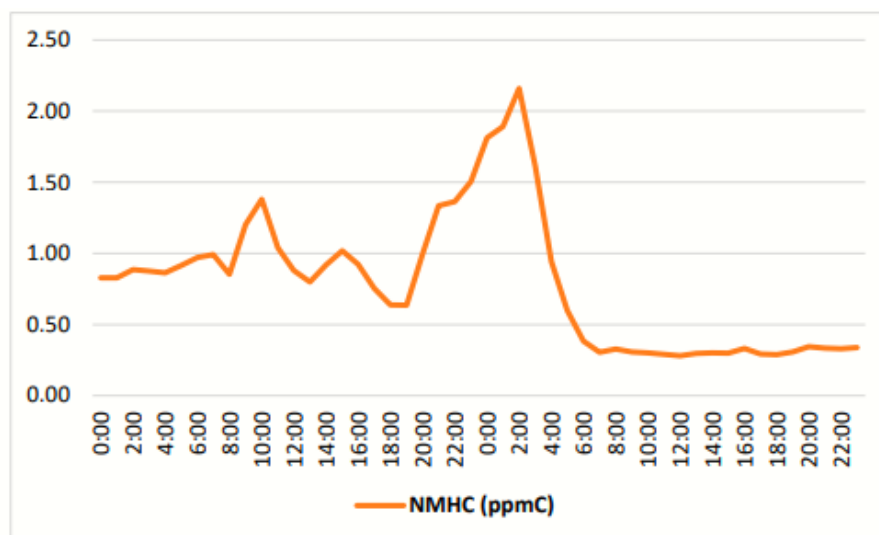


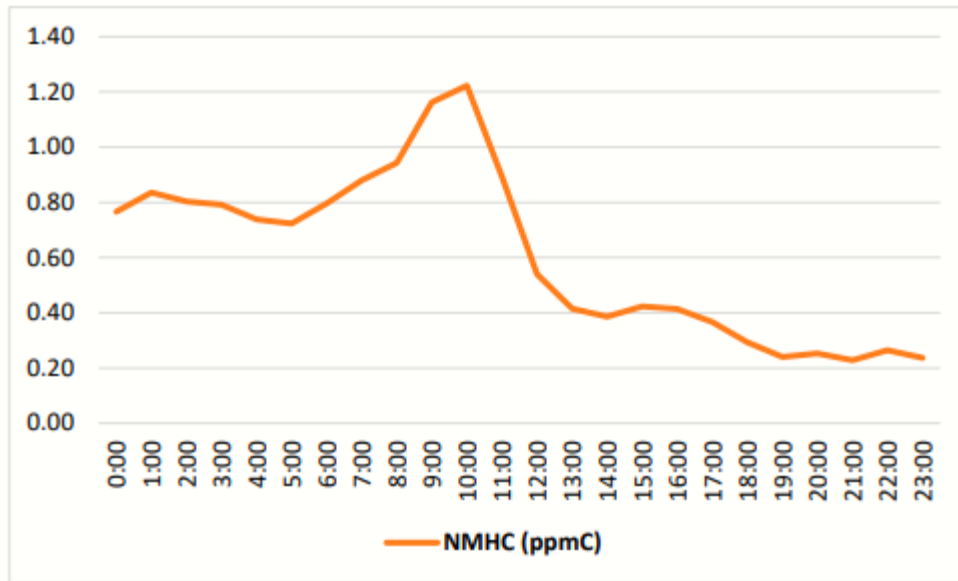
Figure 35 : Variation temporelle des concentrations horaires maximales des COVNM

### III.3.4 Variation journalière des concentrations horaires des COVNM

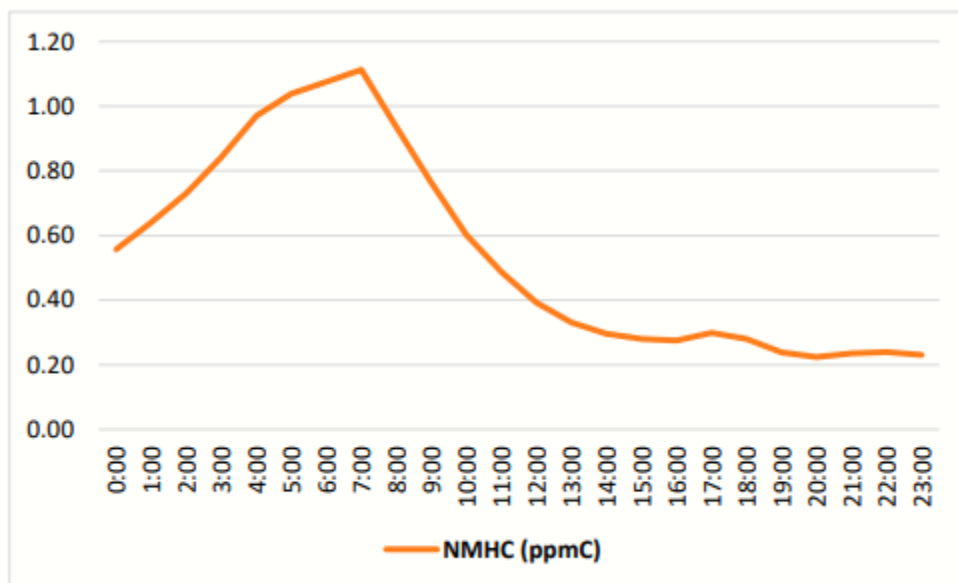
Les niveaux de concentration horaire des COVNM présentent des variations journalières similaires suivant le jour de l'année. On note des pics en heures de pointes durant la journée (Figures 36 a – 36 c).



a) 16 Février 2018



b) 08 Mars 2018



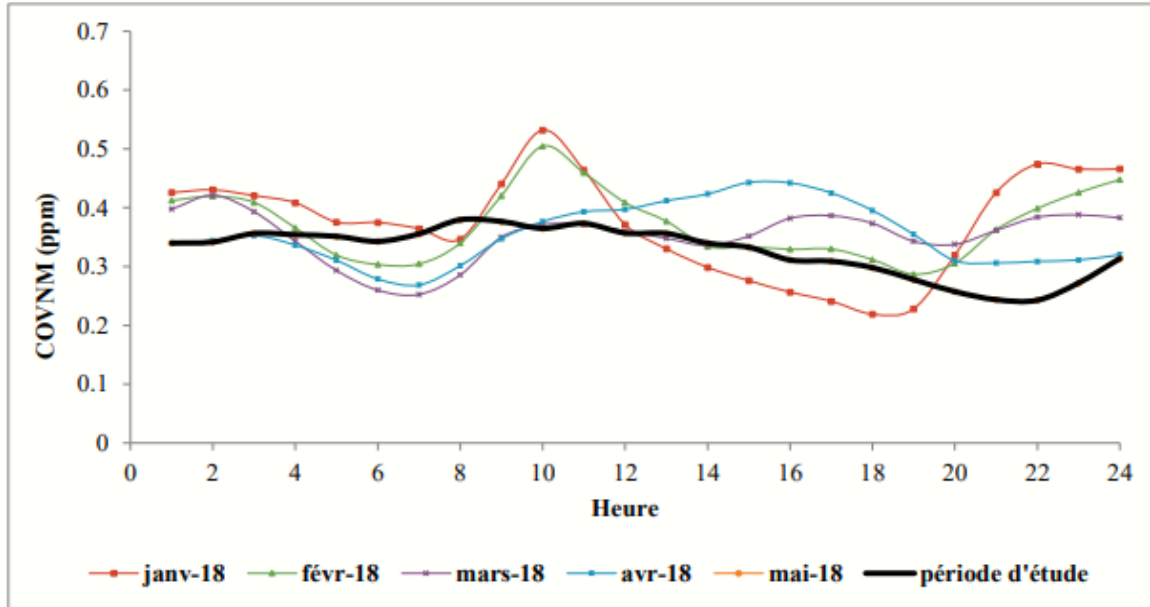
c) 15 Mai 2018

**Figure 36 a) – 36c) :** Les variations journalières des concentrations horaires des COVNM pour des journées représentatives sélectionnées



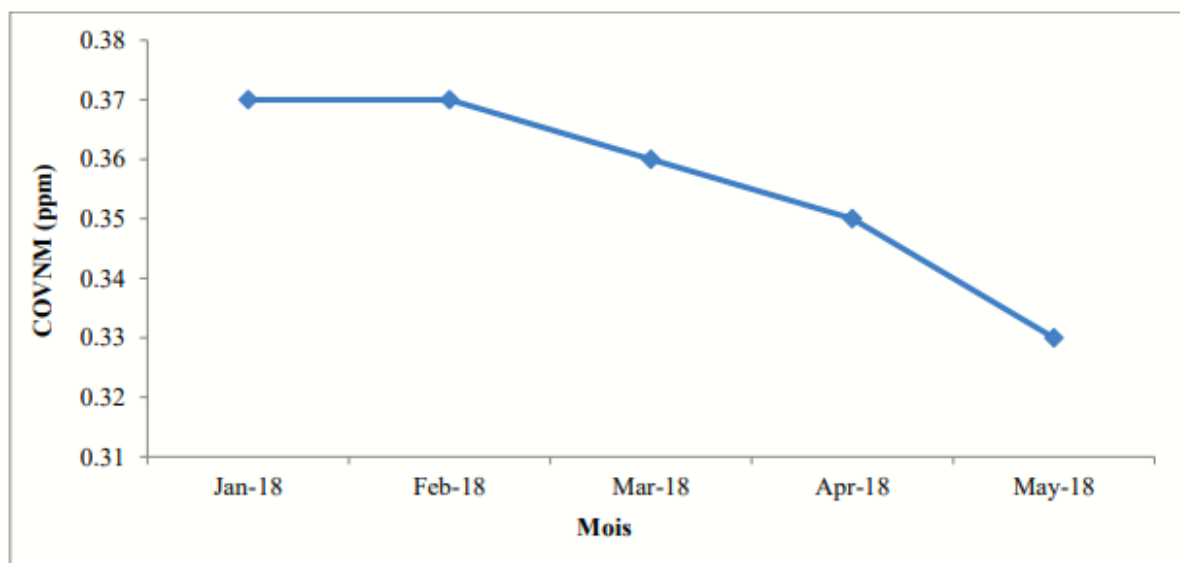
### III.3.5 Variation mensuelle des concentrations horaires moyennes des COVNM

Les profils moyennes changent d'un mois à autre, pour les mois d'hiver (janvier et février) on constate un comportement diurne avec les pics en heures de pointes matinales (10h00).



**Figure 37 :** Variation horaire des concentrations moyennes des COVNM selon le mois de l'année

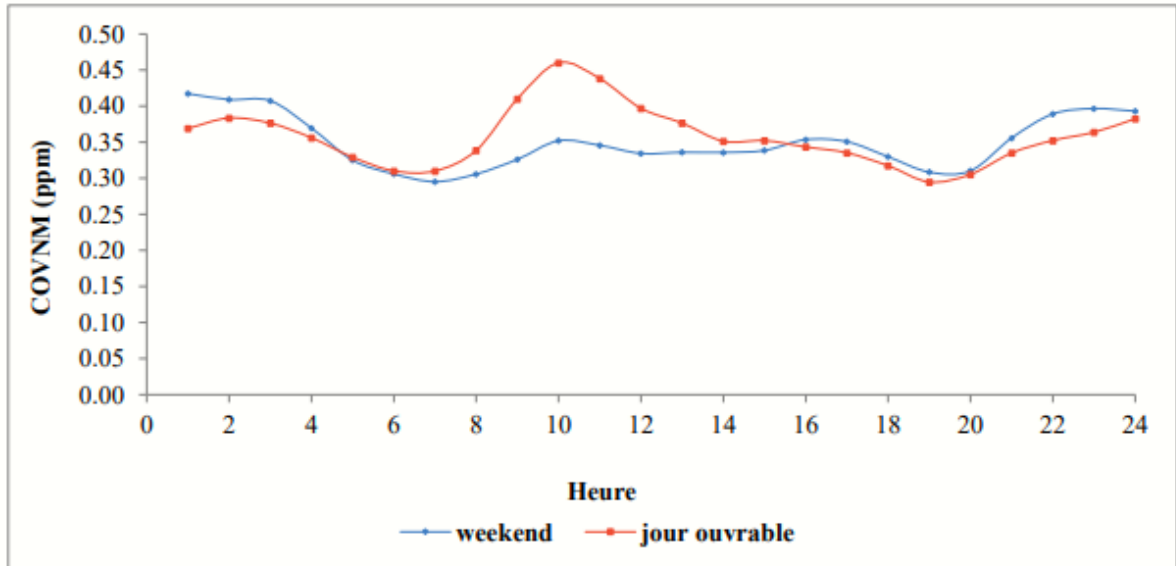
On constate une fois de plus que, les concentrations moyennes en COVNM sont élevées en hiver et faibles en printemps. Du fait, de la contribution des COVNM dans la formation photochimique de l'ozone (fort ensoleillement et température élevée) ...



**Figure 38 :** Variation mensuelle des concentrations moyennes des COVNM pendant la période d'étude (01/01/2018 - 31/05/2018)

### III.3.6 Variation des concentrations horaires moyennes de COVNM durant les weekends et les jours ouvrables

Comme tous les polluants primaires, les concentrations sont élevées durant les jours ouvrables par rapport aux weekends ; attribuable à la forte densité du trafic automobile (figure 39).



**Figure 39 :** Variation des concentrations horaires moyennes des COVNM durant les weekends et les jours ouvrables

Les données horaires des polluants atmosphériques ont été collectées des analyseurs de la station de surveillance de la qualité d'air Nesma du CHU Mustapha. On constate que, sur la période d'étude, les concentrations horaires des polluants varient d'une heure à l'autre, d'un jour à l'autre et d'un mois à l'autre ; ce qui a permis d'établir les différentes variations (journalières, mensuelles et selon le type de jours). Les profils obtenus de ce fait, étaient bien caractéristiques d'un site urbain.

Les concentrations horaires des NO<sub>x</sub> ont été plus élevées en hiver qu'en été ; les concentrations horaires de NO étaient plus élevées que les concentrations en NO<sub>2</sub>. De même, les concentrations horaires en COVNM ont présentées la même évolution. Sauf pour l'ozone, où les concentrations ont été plus élevées en été. Les conditions en été (fort ensoleillement et température élevée) sont propices à la formation photochimique de l'ozone. En hiver (ensoleillement réduit et faible température) sont favorables à l'accumulation des précurseurs (NO<sub>x</sub> et COV).

Une comparaison des concentrations horaires moyennes en jours ouvrables et weekends a été effectuée. Les concentrations des NO<sub>x</sub> et COVNM ont été plus élevées en jours ouvrables que les weekends sauf pour l'O<sub>3</sub> où les concentrations horaires moyennes ont été plus élevées les weekends que les jours ouvrables.

Des dépassements des normes requises (OMS et Algérie) ont été observés pour l'Ozone et les NO<sub>2</sub>.

D'après les résultats de cette étude, on conclut que le site du CHU Mustapha (1<sup>er</sup> Mai) est pollué et il est au même niveau de pollution que les grandes villes méditerranéennes (EEA, 2015).

- ADEME., (2018).** Guide « Comment respirer un air de meilleure qualité ? ». 30 p.
- Airparif. Association, (2017).** « Règlementation : Normes Européennes ». [Consulté le 12/04/2021] Disponible sur : [www.airparif.asso.fr](http://www.airparif.asso.fr).
- Anderson H.R., (2009).** « Air pollution and mortality: A history ». Atmospheric Environment. Vol. 43(1). 142-152.
- Atmo., (2021).** « Les effets de la pollution de l'air sur l'environnement : La qualité de l'air en Nouvelle-Aquitaine connaître, anticiper, agir ». [Consulté le 30/04/2021] Disponible sur : [www.atmo-nouvelleaquitaine.org](http://www.atmo-nouvelleaquitaine.org).
- Aubertin G., (1996).** « La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique ». Société française de santé publique. Collection Santé et société N° 4.
- Barnea M. et Ursu P., (1974).** « Pollution et protection de l'atmosphère ». Ed. Eyrolles, Paris.
- Benmedjahed M., (2008).** « Gisement éolien de la région côtière de Béni Saf et son impact sur l'environnement ». Mémoire de Magister. Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen. Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelable URMER Tlemcen, Algérie.
- Blanchot L., (2002).** « Doctissimo : Ma santé en un mot, pollution atmosphérique : Quels effets sur la santé ? ». [Consulté le 30/04/2021] Disponible sur : [https://www.doctissimo.fr/html/sante/mag\\_2001/mag0817/dossier/pollution\\_niv2.htm](https://www.doctissimo.fr/html/sante/mag_2001/mag0817/dossier/pollution_niv2.htm)
- Buchdahl J., (2000).** « Encyclopedia of the Atmospheric Environment ».
- Buseck P.R. et Schwartz S.E., (2014). « Tropospheric Aerosols ». Elsevier Ltd 4. 96-134.
- C.E., (2008).** « DIRECTIVE 2008/50/CE du parlement européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe ». Conseil Européen. 152/1 - 152/44.
- CCFA. (2017).** « L'industrie automobile française Analyse et statistiques 2017 ». 95p.
- Charpin D., et al., (2016).** « La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire. Document d'experts du groupe pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF) ». Revue des Maladies Respiratoires, 33(6), 484-508.
- Charron A., et Harrison R. M., (2003).** « Primary particle formation from vehicle emissions during exhaust dilution in the roadside atmosphere ». Atmospheric Environment. 37 (29).4109-4119.
- CITEPA., (2016).** « Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France ». Format SECTEN. 310 p.

**COPARLY (2004).** L'air et les polluants. Comité de coordination pour le contrôle de la Pollution Atmosphérique dans la Région Lyonnaise.

**DAhech S. et Saihia A., (2019).** « Pollution atmosphérique et brise de mer à Annaba (Nord-Est de l'Algérie) : cas de l'ozone et du dioxyde de soufre ». Climatologie, vol. 16. 1-22.

**Delmas R., et al., (2005).** « Physique et chimie de l'atmosphère ». Editions Belin, collection Echelles.640 p.

**DGAC (2003).** « Pollution atmosphérique et aviation : Aide-mémoire». Edité par Direction générale de l'aviation civile. Paris.56 p.

**EEA (European Environment Agency), (2015)** 'Air pollutant concentrations at station level (statistics)', Data Prod-ID: DAT-150-en, Created 26 Nov 2015 Published 12 Oct 2017, Last modified 26 Apr 2018. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/air-pollutant-concentrations-at-station>

**Elichegaray C., et al., (2010).** « Etat et évolution de la pollution atmosphérique ». Revue française d'allergologie, 50. 381-393.

**FAO., (2010).** « Archives de documents de la FAO, Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier, (...), Chapitre 2 - L'effet de serre ».

**FNORS., (2008).** « Santé et environnement dans les régions de France ». Ministère de la santé, de la Jeunesse, des Sports et de la vie associative.

**Fontan, J., (2003).** « Les pollutions de l'air les connaître pour les combattre ». Paris, Vuibert. Vol.(X-211p). 1 édition.

**Grange D., et al., (2007).** « Les composés organiques volatils (COV) : Etat des lieux : définition, sources d'émissions, exposition, effets sur la santé ». Observatoire régional de santé d'Ile-de-France.[https://www.orsidf.org/fileadmin/DataStorageKit/ORS/Etudes\\_2007\\_1/rapport\\_cov\\_final\\_1\\_.pdf](https://www.orsidf.org/fileadmin/DataStorageKit/ORS/Etudes_2007_1/rapport_cov_final_1_.pdf).

**Heller, A. N. et al., (1966).** « The air resource management concept ». J. Air Pollut. Control Ass., 16. 307-309.

**INRS., (2013).** « Ozone - Fiche toxicologique synthétique n° 43 ». [Consulté le 02/05/2021] disponible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETO-43>

**JORA (Journal Officiel de la République Algérienne), (2006).** « Les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique » N° 01, Décret exécutif n° 06-02.

**JOUE., (2018).** Journal officiel de l'Union européenne, 2008.

- KANDA I., (2004).** « Effets à longs termes de l'exposition aux émissions automobiles sur la fonction pulmonaire des femmes adultes à Tokyo ». Revue Environnement Risques et Santé.334-335.
- Karim Mouaïci., (2002).** « Étude de quelques sources de polluants atmosphériques dans la région de Bejaia ». Mémoire à l'université de Bejaia.
- Kasbadji N., (2006).** « Évaluation du gisement énergétique éolien, contribution a la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie ». Thèse de doctorat. Université Abou BekrBelkaïd de Tlemcen, Algérie.
- Kebir M., (2011).** « Etude et analyse des données météorologiques, en particulier le Vent dans la région d'Adrar ». Mémoire de Master en physique, Université Abou BekrBelkaïdTlemcen,Algérie.
- Kerbachi R., Boughedaoui M., Koutai N., Lakki T., (1998).** « La pollution par les oxydes d'azote et l'ozone dans la ville d'Alger ». Pollution Atmosphérique. 158. 89-101.
- Kulkarni N., et Grigg J., (2008).** « Effect of air pollution on children". Environmental Science, Paediatrics and Child Healt.
- Lacour S., (2001).** « Cours de pollution atmosphérique inventaire d'émissions ». Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique CEREAA. [http://cerea.enpc.fr/fich/doc\\_ENPC\\_transport.pdf](http://cerea.enpc.fr/fich/doc_ENPC_transport.pdf).
- Lee K.K. et al., (2020).** « Adverse health effects associated with household air pollution: a systematic review, meta-analysis, and burden estimation study». Lancet Global Health. 8(11).E1427-E1434.
- Mayer H., (1999).** «Air pollution in cities». Atmospheric Environment. Vol. 33(24-25). 4029-4037.
- Monk P.S. et al., (2009).** « Atmospheric composition change: global and regional air quality». Atmospheric environment. Vol.43 (33).5268-5350.
- Monk P.S. et.,al. (2009).** « Atmosphérique composition change: global and regional air quality ». Atmospheric environment. Vol.43(33). 5268-5350
- Nacer T.M., et., al, (2009).** «Analysis of Traffic-related NO<sub>x</sub> and EC concentrations at various distances from major roads in Japan», Atmospheric Environment. Vol. 43(15). 2379-2390
- Notre-planete.info., (2017).** « Pollution de l'air ». [Consulté le 20/04/2021] Disponible sur :[https://www.notre-planete.info/environnement/pollution\\_air/pollutionatmospherique.php](https://www.notre-planete.info/environnement/pollution_air/pollutionatmospherique.php)
- OMS., (2016).** « Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease ».

- OMS., (2017).** « Recommandations de l’OMS ». [www.respire-asso.org](http://www.respire-asso.org).
- ONS., (2019).** « Répartition du parc national automobile selon le genre et la wilaya au 31/12/2018 ». From: <https://www.ons.dz/IMG/pdf/e.wil31-12-2018.pdf>
- Pénard-Morand, C., et Annesi-Maesano, I., (2008).** « Maladies allergiques respiratoires et pollution atmosphérique extérieure ». *Revue des maladies respiratoires*. 25(8). 1013-1026.
- Ramade F., (2000).** « Les polluants de l’environnement et de l’homme ». Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edi science international. Paris.
- Ramade F., (2002).** « Dictionnaire encyclopédique de l’écologie et des sciences de l’environnement ». Paris. Dunod. 1075 p.
- Santé publique France., (2016).** « Pollution atmosphérique : Données épidémiologiques ». [Consulté le 02/04/2021] Disponible sur : <http://www.santepubliquefrance.fr/Actualites/pollutionatmospherique>.
- The-Global-Economy.com., (2019).** «Road’s quality in Africa. Business and economic data for 200 countries» [Consulté le 02/04/2021] Disponible sur:[https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads\\_quality/Africa/](https://www.theglobaleconomy.com/rankings/roads_quality/Africa/)
- Werner S., (2009).** « Optimisation des cadastres d’émissions : estimation des incertitudes, détermination des facteurs d’émissions du « Black Carbon » issus du trafic routier et estimation de l’influence de l’incertitude des cadastres d’émissions sur la modélisation. Application aux cadastres ESCOMPTE et Nord-Pas-de-Calais ». Thèse doctorat en chimie physique. Strasbourg (France).
- WHO., (2016).** « WHO Expert Consultation : Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs) ». Organisation mondiale de la santé, Bureau régional de l’Europe.