

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة أمحمد بوقره بومرداس
Université M'hamed Bougara de Boumerdes



Faculté des sciences

Département de biologie

Mémoire de master académique

Domaine : science de la nature et de la vie

Filière : Ecologie

Spécialité : BIODIVERSITÉ ET ENVIRONNEMENT

Thème

**Etude des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique
à El Harrach pour la période 2016-2017**

Présenté par : CHETTA Zineb, DICHOU Rachida et LARBAOUI Ikram.

Devant le Jury composé de:

M ^{me} BENZINA F.	MCA	UMBB	Présidente
M ^r AMGHAR F.	MCA	UMBB	Examineur
M ^{me} BENAISSA F.	MCA	UMBB	Promotrice

Année universitaire 2019/2020

Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : Généralité sur la pollution atmosphérique	
Introduction.....	3
I.1. Définition de la pollution atmosphérique.....	3
I.2. Principaux polluants de l'air.....	3
I.3. Sources d'émission des polluants atmosphériques.....	4
I.4. Les facteurs qui influencent la dispersion des polluants.....	5
I.4.1. La turbulence atmosphérique	5
I.4.2. La vitesse et la direction du vent.....	5
I.4.3. L'humidité.....	5
I.5. Les différentes échelles de la pollution.....	6
A. La pollution atmosphérique locale.....	6
B. La pollution atmosphérique régionale.....	6
I.6. Pollution automobile.....	6
I.7. La pollution particulière et sa caractérisation	7
I.8. Sources des particules.....	8
I.9. L'ozone et ses caractéristiques.....	9
I.10. Les personnes à risque par la pollution atmosphérique.....	9
I.11. Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé et sur l'environnement	10
I.11.1. Effets Sur l'appareil respiratoire.....	13
I.11.2. Effets Sur l'appareil cardiovasculaire.....	13
I.11.3. Effets à court terme.....	14
I.11.4. Effets à long terme (plusieurs années).....	14
I.12. Toxicité des polluants atmosphériques.....	14
I.13. Recommandations et législations des émissions des particules.....	16
I.14. Évaluations de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique et leur principe.....	19
I.15. Conclusion.....	20

CHAPITRE II : Matériel et Méthode

Introduction.....	21
II.1. Description de la zone d'étude.....	23
II.1.1. Situation géographique.....	23
II.1.2. Climatologie générale.....	23
II.1.2.1. Température et précipitation.....	24
II.1.2.2. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)....	24
II.1.2. 3. Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	25
II.1.2.4. Vent.....	26
II.2. Période d'étude.....	27
II.3. Les facteurs d'émissions des polluants atmosphériques sur Alger (El Harrach).....	27
II.3.1. Le trafic.....	28
II.3.2. Les industries.....	28
II.4. Evaluation de l'Impact Sanitaire de la Pollution de l'Air à El Harrach....	28
II.4.1. Construction d'indicateurs de pollution.....	29
II.4.2. La surveillance de la qualité de l'aire (SAMASAFIA).....	29
II.4.3. Construction d'indicateurs de santé.....	30
II.4.4. Recueil des données sanitaires au service médecine interne de l'Hôpital Zemirli (El-Harrach).....	30
II.4.5. Traitement des données.....	30
II.5. Etude d'Impact Sanitaire.....	31
II.5.1. Formule utilisée.....	31
II.5.2.Scénarios étudiés.....	31
II.7. Conclusion.....	33

CHAPITRE III : Résultats et discussions

Introduction.....	34
III.1. Indicateur de pollution.....	34
III.1.1. Évolution des teneurs en PM-10, PM2.5 et l'ozone mesurées à Alger...	34
III.1.2. Corrélations entre PM ₁₀ , PM _{2,5} et PM ₁	35
III.2. Recueil des données sanitaire.....	36

Sommaire

III.2.1. Problème de morbidité dans la région d'El Harrach.....	36
III.2.2. Fréquences des pathologies.....	36
III.2.3. Répartition des hospitalisés selon l'âge.....	37
III.2.4. Répartition des hospitalisés selon le genre.....	38
III.2.5. Comparaison de nombres des maladies cardiorespiratoires entre les femmes et les hommes 2016-2017.....	38
III.3. Etude d'impact sanitaire.....	39
III.3.1. Gain sanitaire de morbidité totale.....	43
III.3.2. Gain sanitaire des cardiorespiratoires.....	43
III.4. Comparaison des résultats avec ceux d'autres études.....	44
III.5. Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	46
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

Remerciements

- ❖ Avant tout, nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la patience pour arriver à la réalisation de ce modeste travail.
- ❖ En premier lieu, nous exprimons notre profonde gratitude à notre promotrice Madame BENAÏSSA Fatima maître de conférences, pour nous avoir acceptés de travailler avec lui et pour ses orientations, ses lectures critiques des travaux réalisés ainsi que son soutien moral qui ont fort contribué à la réalisation de ce travail de fin d'études.

- ❖ Pour la même occasion, nous adressons nos remerciements à tous nos enseignants pour leurs efforts épargnés qui ont guidé nos pas et enrichi nos travaux tout le long de nos études universitaires :

- ❖ Monsieur HARITI
- ❖ Monsieur BELLOUT Y.
- ❖ Monsieur LATRACH
- ❖ Monsieur BENSGHIR L.
- ❖ Monsieur AMGHAR F.
- ❖ Madame BENZINA F.

- ❖ Enfin, nous remercions toute personne qui a contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude A tous ceux qui ont sacrifié pour m'offrir les conditions propices à ma réussite:

À celui qui a lutté et sacrifié pour m'offrir les conditions propices à ma réussite: Mon très cher père « Youcef »

À Ma mère bien-aimée « Malika » à qui je dois la réussite, pour l'éducation qu'elle m'a prodigué ; avec tous les moyens et au prix de toutes les sacrifices qu'elle a consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'elle m'a enseigné depuis mon enfance

À mes sœurs Dounia et Serine

À mes frères SAID, WALID

À mes grands parents et toute ma famille DICHOU avec tous mes sentiments de respect, d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés pour m'élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleurs conditions pour leurs encouragements et leurs soutiens

À toute la promotion Biodiversité et environnement et à tous mes amis

À toute personne que je n'ai pas nommée ici et à tous ce qui m'on aidée.

Que ce travail soit l'expression de ma grande affection et un témoignage de mon attachement et de mon grand profond amour.

Rachida

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes parents, mes estimes pour eux sont immenses, je vous remercie pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Ma très chère mère «Fadila », lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, qui n'a jamais cessé de m'encourager et prier pour moi.

Mon très cher père« Nour El Dinne », l'homme de ma vie, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, pour ses encouragements.

Que dieu vous préserve une longue vie heureuse.

À mon cher oncle « Madani »

Mon conseiller, qui m'a assisté dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser des épreuves pénibles....Vous avez toujours été présents pour les bons conseils, Je te suis très reconnaissante, et je ne te remercierai jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse.

À ma cher sœur « Tinhinnen » et à Mon petit cher frère « Mountadhar»

Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

À ma grande mère maternelle et à tous les membres de ma famille, petits et grands

Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

À ma belle binôme«Rachida»

Merci pour votre effort pour m'aider dans tous les jours où j'ai été faible.

À toute personne que je n'ai pas nommée ici et à tous ce qui m'on aidée.

Que ce travail soit l'expression de ma grande affection et un témoignage de mon attachement et de mon grand profond amour.

Ikram

Dédicaces

C'est avec une grande joie que je dédie ce modeste travail à :

*Une très grande pensée à celle qui a combattu depuis ma naissance,
pour voir un jour une femme de fierté et d'honneur «ma chère mère»*

À la mémoire de mon père

À mes sœurs et mes frères

À mes oncles et mes tantes

À tout la famille : Chetta

*Et toute les personnes qui ont une place dans mon cœur et à tout les étudiants de
deuxième année Master «Biodiversité et environnement»*

Zineb

Abréviations, sigles et symboles

AVC : Accident Vasculaire Cérébrale

BPCO: Broncho-pneumopathie Chronique Obstructive

CCME : le Conseil Canadienne des Ministères d'Environnement

CFC : les chlorofluorocarbones

CH₃Br : les bromures de méthyle

CO: Monoxyde de Carbone

CO₂: Dioxyde de Carbone

COV: Composés Organiques Volatils

D : Décès

DV: Direction des Vents

EIS: Evaluation d'Impacts Sanitaires

EIS-PA: Etude d'Impact Sanitaire de Pollution Atmosphérique

EPH: Etablissement Public Hospitalier

E-R : Exposition-Risque

GPL : Gaz de pétrole liquéfié

HAP : Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

H.C : Hospitalisation Cardiovasculaires

H.R: Hospitalisation Respiratoires

InVS : Institut de Vielle Sanitaire

N₂: Azote

NH₃: Ammoniac

NO: Monoxyde d'Azote

NO₂: Dioxyde d'Azote

NO₃:Acidenitrique

NOX: Oxydes d'Azote

NPA: nitrates de peroxyacétyle

O₂ : le dioxygène

O₃: Ozone

OAP: Otites Aigues Pulmonaires

OMM: l'Organisation Mondiale de la Météorologie

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

ONM : Office Nationale de la Météorologie

Abréviations, sigles et symboles

Pb: Plomb

PCDD : Polychlorodibenzofuranes

PCDF: Polychlorodibenzofuranes

PF : Les particules fines

PM: Particule en suspension

PM₁: Microparticules dont le diamètre est inférieur à 1 micromètre

PM_{2.5}: Microparticules dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres

PM₇: Microparticules dont le diamètre est inférieur à 7 micromètres

PM₁₀: Microparticules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres

PUF : les particules ultrafines

PVC: Polychlorure de vinyle

Q1: Premier quartile

RR: Risque Relatif

SO₂: Dioxyde de Souffre

SO₃: Acide Sulfurique

T: Température

US-EPA : United States Environmental Protection Agency

UV : ultraviolet.

Les unités

µm: Micromètre

µg: Microgramme

Km : kilomètre

Kg: Kilogramme

Mg : Milligramme

MM : Millimètre

Liste des figures

Liste des figures:

Figure 1 :	Effet de différents types de particules sur le système respiratoire humain	11
Figure 2 :	Pyramide des effets associés à la pollution atmosphérique	13
Figure 3 :	Principe de l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique	19
Figure 4 :	Station géographique de la région El Harrach	23
Figure 5 :	Diagramme Ombrothermique de la région d'El Harrach	25
Figure 6 :	Localisation de la région d'El Harrach sur le Climagramme d'Emberger	26
Figure 7:	Variation mensuelle des moyennes de la vitesse du vent de la région d'El Harrach l'année 2016	27
Figure 8 :	Evolution des concentrations de PM _{2.5} et PM ₁₀ à Alger 2002 a 2017	34
Figure 9 :	Évolution des teneurs moyennes mensuelles d'Ozone	35
Figure10 :	Nombre des hospitalisés de 2016 et 2017	36
Figure11:	Répartition des patients de l'hôpital de Zemirli par maladie de 2016 à 2017	37
Figure12:	Répartition des hospitalisés selon l'âge	38
Figure13 :	Répartition des hospitalisés selon l'année et le sexe	39
Figure 14 :	Comparaison de nombres des maladies cardiorespiratoires entre les femmes et les hommes de 2016-2017	39
Figure 15 :	Comparaison des résultats, des EIS réalisées dans les trois régions d'El Harrach, Béjaia et Boumerdes en utilisant PM ₁₀ comme indicateur de pollution.	44

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau 1 :	Les polluants primaires et secondaires	4
Tableau 2 :	Composition des gaz d'échappement des véhicules routiers	4
Tableau 3 :	Résumé statistique des concentrations moyennes annuelles dans les PM ₁ , PM _{2,5} et PM ₁₀ en bordure de route	7
Tableau 4 :	Les populations plus fragiles	8
Tableau 5 :	Effets des principaux polluants sur l'environnement et sur la santé	9
Tableau 6 :	Les différentes normes pour les PM ₁₀ et les PM _{2,5} et l'Ozone	18
Tableau 7 :	Moyennes mensuelles et annuelles de la température et des précipitations de la région d'El Harrach durant l'année 2016	24
Tableau 8 :	moyenne mensuelles et annuelles du vent (m /s) de région de El Harrach l'année 2016	27
Tableau 9 :	Les clés de répartition des émissions totales de l'industrie à Alger en fonction de la surface de chaque zone industrielle	28
Tableau 10 :	La concentration des particules fines et très fines	29
Tableau 11 :	Les scénarios étudiés	33
Tableau 12 :	Corrélations entre PM ₁₀ , PM _{2,5} et PM ₁	36
Tableau 13 :	Les gains sanitaires de deux années et les deux cas de morbidité selon les différents scénarios	41

Introduction générale

L'air est le premier des éléments nécessaires à la vie, et celui que nous consommons en plus grande quantité : en moyenne un adulte respire chaque jour 14 kg d'air, tandis qu'il consomme environ 1,5 kg de nourriture et 2 kg d'eau (Elichegaray, 2006). L'atmosphère joue également un rôle majeur vis-à-vis de la régulation des climats et le maintien des conditions de vie de la biosphère (Magdelaine, 2001). Cependant, la qualité de l'air n'a rien d'immuable dans le temps et dans l'espace, car sa composition résulte d'équilibres complexes entre d'une part des apports permanents de matière provenant de sources naturelles ou liés aux activités humaines et d'autre part, l'élimination et le recyclage continu de cette matière par divers mécanismes physico-chimiques (dépôts secs et humides de gaz et particules, transformations dans l'atmosphère, assimilation par la végétation, les océans...) (Rimetz, 2007). Que le bilan de ces échanges soit perturbé notamment sous l'effet de l'activité humaine et la composition de l'air s'en ressent, avec pour risques des effets indésirables sur la santé et l'environnement (Lacour, 2001).

Les progrès socio-économiques enregistrés au début du 20^e siècle à travers le monde, ont engendré de graves problèmes de pollution qui ont touché la terre, la mer et l'atmosphère, portant ainsi atteinte à la santé humaine et à l'équilibre écologique (Martins et al. 2010).

La pollution atmosphérique découle des modifications de la composition chimique de l'air, sous l'effet des activités humaines. Elle peut se manifester depuis l'échelle urbaine et locale jusqu'à l'échelle planétaire et les risques liés à ces changements ne sont pas de même nature selon l'échelle spatio-temporelle concernée (Elichegaray 2006). Les changements de la composition chimique de l'air à l'échelle planétaire se manifestent notamment par un accroissement des teneurs en gaz à effet de serre tels que le gaz carbonique ou le méthane, et génèrent principalement un risque de modification majeure du climat de la planète. En revanche, les pollutions locales, en milieu industriel ou urbain par exemple, présentent surtout des risques pour la santé humaine du fait des teneurs en polluants tels que les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, les particules, qu'on peut alors rencontrer (Martins et al., 2010). D'autres formes de pollution se manifestent également aux échelles intermédiaires, notamment sous forme de pollutions acido-oxydantes, et peuvent affecter les écosystèmes (Elichegaray, 2006).

Introduction

L'Algérie, à l'instar des autres pays, a connu au cours des dernières années, un important développement économique qui a profité à plusieurs secteurs vitaux implantés essentiellement sur le littoral et autour des grandes agglomérations urbaines. Ce développement économique n'a cependant pas toujours pris en compte la dimension environnementale (Elichegaray 2006). Il a généré des rejets polluants sous forme de déchets liquides, solides ou gazeux qui ont altéré les ressources naturelles, et détérioré l'hygiène du milieu et du cadre de vie.

La commune d'El Harrach fait partie des régions de l'Algérie où la dégradation du cadre de vie a atteint des pics alarmants. Aucune commune n'est épargnée par la pollution, qui gagne du terrain faute de solutions.

En milieu urbain, la pollution de l'air est principalement due aux Émissions des véhicules automobiles (Godzinski et al, 2019). Des tentatives existent pour réduire ces pollutions, telles que l'ajout des pots catalytiques pour les véhicules à essence, de filtres à poussières pour les véhicules diesel ou GPL...etc. Néanmoins la quantité de polluants produits par les transports, augmente sans cesse en raison de l'accroissement du parc de véhicules et du nombre de kilomètres parcourus annuellement par chaque véhicule (Lombaert, 2002).

Dans ce contexte, l'étude que nous allons présenter répond à la nécessité d'évaluer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans la région d'Alger dans la ville d'El Harrach. Ce mémoire est articulé en trois chapitres.

-Dans le premier chapitre, nous donnons des généralités sur la pollution Atmosphérique à travers les définitions, et l'identification des différentes sources de cette pollution, aussi par la description des différents polluants et enfin par l'explication des différents impacts sanitaire et environnementale engendrés par cette pollution.

-Le deuxième chapitre est dédié à un spectacle L'ensemble des matériaux et méthodes que nous allons réaliser les mesures de pollution atmosphérique par les Particules en suspensions (PM) et l'Ozone pour la réalisation de l'étude.

-Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats et de leurs interprétations. Nous concluons par une étude d'impact sur la santé pour guider les décisions en matière de protection de la santé publique.

Chapitre I

L'air demeure un élément fondamental et indispensable pour les êtres vivants. Ainsi, chaque jour, nous inspirons environ 20 m³ d'air. Celui-ci se compose originellement d'un ensemble de gaz et de particules dont la présence et les concentrations sont telles que la vie est possible, ce qui reste pour l'instant un cas unique dans l'ensemble des planètes connues (Arteta, 2005). Les différents troubles à l'environnement ont alors commencé à faire leur apparition suite à cette industrialisation massive et au développement croissant des villes qui ne cessent de nos jours de s'agrandir. En effet l'homme qui progressivement a fait la découverte de nombreuses innovations comme la machine à vapeur, la locomotive, la métallurgie et plus tard l'avion et d'autres moyens de transport. Tout cela n'est pas sans conséquences. Le rejet de poussières, de fumées, de vapeurs et divers gaz laissent des traces sans précédents sur terre (Rahal, 2015). Ce chapitre a pour but d'apporter une vision d'ensemble des questions touchant la pollution atmosphérique. Nous allons présenter les différents polluants avec leurs sources, leurs impacts sur la santé humaine d'une part, et sur l'environnement d'autre part.

I.1. Définition de la pollution atmosphérique

La pollution de l'air(ou pollution atmosphérique) est un type de pollution défini par une altération de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations différentes et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou écotoxique. On compte aujourd'hui des dizaines de milliers de molécules différentes, polluants avérés ou suspectés qui agissent en synergie entre eux et avec d'autres paramètres (UV solaire, ozone, hygrométrie, acides, etc.). Les effets de ces synergies sont encore mal connus. Les seuils de pollution sont mis en évidence par des indicateurs comme l'Ozone qui n'est pas classé comme polluant mais comme gaz irritant, puisqu'étant un élément majeur de la dépollution de l'air. Cette pollution atmosphérique ou intérieure est un enjeu de santé public, au niveau mondial comme individuel (Masclat ,2005).

I.2. Principaux polluants de l'air

Les principaux polluants atmosphériques se classent dans deux grandes familles bien distinctes: les polluants primaires (SO₂, PS, NO_x, COV, CO,...etc.) et les polluants secondaires (O₃, NPA,...etc.) (tableau1). Les polluants primaires sont directement issus des sources de pollution alors que les polluants secondaires résultent des phénomènes de dispersion et de transformations photochimiques dans l'environnement. Les polluants

primaires, émis directement, et les polluants secondaires, tels que l’Ozone, qui sont issus de la transformation chimique des polluants primaires dans l’atmosphère (Busque et al, 2010).

Tableau 1: Polluants primaires et secondaires (Busque et al, 2010).

Polluants primaires	Polluants secondaires
<ul style="list-style-type: none"> • Monoxyde de carbone (CO) • Dioxyde de soufre (SO₂) • Composés organiques volatiles (COV) • Oxydes d’azote (NO_x) • Particules en suspension (PS) 	<ul style="list-style-type: none"> • L’ozone troposphérique - • Les NPA (nitrates de peroxyacétyle) • Les COV (composé organiques volatiles) dits « COV secondaires

I.3. Emissions d’échappements moteurs – Cas de l’automobile

Le développement de tous les moyens de transport (terrestre, maritime, aérien) a entraîné une pollution spécifique importante. Nous n’aborderons dans cette partie que le cas des moteurs des véhicules terrestres.

Pour les véhicules équipés de moteurs à essence, les polluants proviennent des gaz d’échappement, des gaz de respiration du carter, de la ventilation des hydrocarbures présents dans le réservoir ou du rejet d’hydrocarbures par le carburateur (élévation de la température sous le capot lors de la demi-heure qui suit l’arrêt du moteur). Les émissions polluantes des véhicules à moteur diesel ne proviennent quant à elles que des gaz d’échappement. Le fonctionnement normal du moteur à essence conduit à émettre des quantités d’imbrûlés tandis que le moteur Diesel émet, lors du fonctionnement en surcharge, des suies provenant du craquage des vapeurs de gazole ou des imbrûlés liquides. Le tableau(2) présente la composition des principaux gaz d’échappement des véhicules routiers (Lombaert, 2002).

Tableau 2 : Composition des gaz d’échappement des véhicules routiers (Lacour et al, 2006).

Polluant	Moteur essence	Moteur diesel
	Pourcentage	
CO ₂	9	9
CO	4	0.1
O ₂	4	9
H ₂	2	0.03
HC	0.5	0.02
NO _x	0.06	0.04
SO ₂	0.006	0.02

I.4. Facteurs qui influencent la dispersion des polluants

La dispersion des polluants dans l'atmosphère a été et est toujours une question primordiale. Les espèces polluantes émises ou transformées dans l'atmosphère sont très nombreuses. Même si leurs concentrations sont très faibles (mesurées en général en microgrammes par mètre cube), elles peuvent avoir des effets notamment sur la santé (Rahal, 2015). Parmi ces facteurs qui interviennent soit directement, soit indirectement dans le transport et la dispersion des polluants on a : la turbulence atmosphérique, la vitesse et la direction des vents, l'ensoleillement et température et l'humidité (Rahal, 2015).

I.4.1. Turbulence atmosphérique

L'atmosphère est constamment animée de mouvements qui se traduisent par des variations plus ou moins rapides de la vitesse et de la direction du vent. Ces mouvements ont plusieurs origines : convection thermique, présence de reliefs etc.... Les mouvements à petite échelle brassent les masses d'air et permettent la dilution des polluants (Rahal, 2015).

I.4.2. Vitesse et la direction du vent

. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. Un vent faible favorise donc l'accumulation des polluants (Rahal, 2015).

I.4.3. Humidité

Elle joue un rôle dans le captage des particules polluantes. Les gouttelettes d'eau en suspension retiennent les polluants, ce qui accroît leur stagnation. Des réactions chimiques peuvent être favorisées par la présence d'humidité dans l'air (Rahal, 2015).

I.5. Différentes échelles de la pollution

On distingue souvent la pollution atmosphérique à l'échelle locale, la pollution à l'échelle régionale et la pollution à l'échelle globale.

A. La pollution atmosphérique locale

La première forme de pollution atmosphérique provient de sources de proximité comme les installations industrielles ou les véhicules (Christelle, 2004). Les polluants les plus caractéristiques de cette échelle d'impact sont :

- Les particules (PM)
- Les oxydes d'azote (NO_x)
- Le dioxyde de soufre (SO₂)
- Le monoxyde de carbone (CO)

- Les composés organiques volatils (COV)
- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- Les métaux.

B. La pollution atmosphérique régionale

Elle caractérise des pollutions que l'on observe dans des zones situées à quelque dizaine, voire à plusieurs centaines de kilomètres des sources des pollutions. Trois phénomènes sont regroupés sous ce terme, la pollution photochimique (abordée précédemment), les rejets accidentels (le cas de Tchernobyl) et les pluies acides. Les oxydes d'azote et de soufre par combinaison avec la pluie créent des acides nitrique et sulfurique qui attaquent la végétation (Elichegaraych, 2008).

C. La pollution atmosphérique globale ou à l'échelle planétaire

La dernière forme de pollution concerne les substances impliquées dans les phénomènes de changements climatiques les « gaz à effet de serre » et, en particulier le CO₂ (Christelle ph, 2004).

I.7. La pollution particulière et sa caractérisation

Les particules respirables ou bien les particules fines ou ultrafines sont des particules de taille nanométrique moins de 0,1 µm ou 100 nanomètres de diamètre désignent un mélange hétérogène de particules solides et liquides en suspension dans l'air (Laj et al, 2003; Masclet, 2005). Elles ont des origines naturelles (incendies de forêt, volcanisme, érosion éolienne...) et anthropiques (échappement des moteurs et chaudières, raffineries, usure de pneus, peintures, freins et autres sources mécanique, soudure et autres systèmes fonctionnant à systèmes haute température, etc.) Elles sont classées en deux catégories selon leur grosseur plutôt que leur composition. Plus elles sont petites, plus elles peuvent être toxiques parce qu'elles pénètrent alors plus profondément dans le système respiratoire et peuvent même atteindre le système cardiovasculaire. Selon la taille des « diamètre aéraulique », on distingue en métrologie les « PM₁₀ », les « PM_{2,5} » ou les « PM₁ » selon la taille des particules en micromètre ou microns (10⁻⁶ m ou 1 µm).

PM₁₀ dont le diamètre est égal ou inférieur à 10 µm.

PM_{2,5} dont le diamètre est inférieur à 2,5 micromètres, appelées « particules fines (Masclet, 2005).

PM_{0,1} dont le diamètre est inférieur à 0,1 micromètre, appelées particules ultrafines ou nanoparticules (Just et al , 2006).

Ces particules sont construite par des différents éléments avec des diverses moyennes qui sont montrer dans le tableau 3.

Tableau 3: les concentrations moyennes annuelles (ng/m^3) des métaux lourds dans les PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ et PM_1 en site urbain(Kerchich, 2017).

Les éléments	Les moyennes (ng m^{-3})		
	PM_1	$\text{PM}_{2.5}$	PM_{10}
Sc	76.11	80.84	80.84
Mo	28.86	49.11	91.58
Se	19.92	30.20	67.28
Cr	19.81	45.47	42.37
As	54.66	93.20	78.78
Pb	204.18	370.57	119.17
Sr	426.10	616.94	468.97
Cu	1230.91	2662.18	861.22
Mn	2061.14	3298.70	3804.72
Ba	3544.94	4279.12	4767.68
Fe	3293.83	7202.63	5214.17
Ca	3540.23	5751.70	14212.34

I.8. Sources des particules

- Les activités urbaines qui participent à l'émission de particules résultant de la combustion de carburants comme le bois, le charbon ou le fioul pour le chauffage, la cuisine, etc. Cette source d'émission représente plus de la moitié de celles qui génèrent des PM_1 (68%). Par ailleurs, 35% et 51% des PM_{10} et des $\text{PM}_{2,5}$ sont respectivement issues de cette source.
- L'agriculture, avec essentiellement, le travail du sol, la fermentation entérique, la gestion des déchets vétérinaires, et la consommation de combustibles fossiles; les activités agricoles représentent respectivement 21%, 9% et 3% des sources d'émission de PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ et PM_1 .
- Le transport: le trafic routier représente la source qui génère la partie la plus importante de PM émis par les activités de transport. D'autres sources comme le transport aérien, ferroviaire ou maritime produisent aussi des PM . Le transport

représente environ 15% des sources d'émission anthropogéniques de PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁.

Elles peuvent aussi être issues de sources naturelles: sables (saharien), sels, feux naturels, cendres volcaniques. Et plus elles sont petites, plus elles sont toxiques (Hleis, 2010)..

I.9. Caractéristiques de l'Ozone

L'ozone est une variété allotropique de l'oxygène, c'est-à-dire un composé ayant une molécule composée de trois atomes d'oxygène (O₃), au lieu de deux atomes dans le cas de la molécule d'oxygène, constituant majeur de l'air (Fontan, 2003).

L'ozone ou le trioxygène O₃, a une odeur électrique pour une concentration de plusieurs centaines de ug/m³, cette odeur est perceptible (Ulrich et al. 2006) et à laquelle notre odorat s'habitue rapidement (OFEFP, 1996). L'ozone est incolore à température ambiante et de couleur bleue à très basse température ; c'est un oxydant très puissant aussi bien en milieu acide qu'en milieu basique (Ulrich et al, 2006).À des doses infimes, l'ozone est toxique pour l'être humain, les animaux et les plantes.

I.10. Les personnes à risque par la pollution atmosphérique

Les personnes âgées et les enfants jusqu'à 12 ans sont plus sensibles à la pollution atmosphérique, car leur organisme est moins bien protégé, les femmes enceintes, et les personnes dites « sensibles » qui souffrent d'allergie, de maladie cardiorespiratoire et les fumeurs doivent également faire attention. Lorsque les pics de pollution sont atteints, il est recommandé à ces personnes à risque de ne pas sortir (FFC, 2015).

Tableau4:Populations plus fragiles à la pollution de l'air.

Populations plus fragiles	Les causes
Les enfants	Jusqu'à l'âge de 8 ans, leurs poumons sont en croissance, les alvéoles pulmonaires continuent de se développer.
Les personnes âgées	la diminution de leurs défenses respiratoires et au vieillissement de leurs tissus.
Les individus souffrants de pathologies chroniques	De part une diminution de l'oxygénation périphérique, d'une augmentation de la viscosité sanguine et des modifications du rythme cardiaque.
Les fumeurs	l'appareil respiratoire étant déjà irrité par le tabac

I.11. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé et sur l'environnement

On peut résumer les effets de la pollution atmosphérique sur la santé et sur l'environnement (Lacour, 2001) dans le tableau 5.

Tableau 5: Effets des principaux polluants sur l'environnement et sur la santé (Coparly, 2004).

Les polluants	Effets sur la sante	Effets sur l'environnement
Dioxyde desoufre (SO ₂)	C'est un gaz irritant. Il provoque une altération de la fonctionpulmonaire chez les enfants et une exacerbation des symptômesrespiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire...). Lespersonnes asthmatiques y sont particulièrement sensibles. Synergieavec les particules.	Participation au phénomène des pluies acides par transformation en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air. Dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux bâtiments.
Oxydes d'azote(NO, NO ₂)	C'est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications desvoies respiratoires, entraînant une hyperréactivité bronchique chez lespatients asthmatiques et un accroissement de la sensibilité desbronches aux infections chez l'enfant. Irritation des bronches chez unpublic sensible.	Participation au phénomène des pluies acides Participation à la formation de l'ozone troposphérique (celui des basses couches) Atteinte de la couche d'ozone stratosphérique Participation à l'augmentation de l'effet de serre.
Particules ensuspension	Les plus grosses particules sont retenues par les voies respiratoires supérieures. Elles sont donc moins nocives pour la santé que lesparticules plus fines (<10 µm de diamètre) qui pénètrent plusprofondément dans l'organisme ; elles irritent alors les voiesrespiratoires inférieures et altèrent la fonction respiratoire dansl'ensemble. Certaines, selon leur nature, ont également des	Effets de salissure des monuments et bâtiments.

	propriétés mutagènes et cancérigènes.	
Monoxyde de carbone (CO)	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. En cas d'exposition très élevée et prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles. Vertiges, Maux de tête, Nausées.	Participation à la formation de l'ozone troposphérique Dans l'atmosphère, il contribue à l'augmentation de l'effet de serre par transformation en dioxyde de carbone CO ₂ .
Composés organiques volatils (COV)	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. D'autres, comme le benzène, provoquent des effets mutagènes et cancérigènes. Diminution de la fonction respiratoire.	Participation à la formation de l'ozone troposphérique (rôle majeur avec les oxydes d'azote) Participation indirecte à l'augmentation de l'effet de serre (par intervention dans des mécanismes conduisant à la formation des gaz à effet de serre).
Métaux (Pb, As, Ni, Hg, Cd...)	Ces différents éléments s'accumulent dans l'organisme, ce qui entraîne un risque de toxicité à long terme impliquant d'éventuelles propriétés cancérigènes. Toxicité par bioaccumulation dans le système nerveux, les poumons, les reins...etc.	Contamination des sols et des aliments Accumulation dans les organismes vivants et perturbation des mécanismes et équilibres biologiques.
Ozone (O ₃)	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).	Diminution des rendements agricoles Dégradation des matériaux Participation à l'augmentation de l'effet de serre.

I.11.1. Effets Sur l'appareil respiratoire

Certains polluants, comme le SO_2 , sont fortement solubles dans l'eau, ce qui fait qu'ils sont rapidement absorbés dans les voies respiratoires hautes (par les muqueuses du nez et de l'oropharynx), mais une petite fraction peut néanmoins se fixer sur des particules fines inhalées et atteindre les voies respiratoires inférieures. Chez l'homme, la réponse à une exposition expérimentale au SO_2 à des concentrations relativement élevées se manifeste, en quelques minutes, par l'apparition de symptômes tels que la toux et des sifflements, ces troubles étant aggravés par l'exercice physique (Simon *et al.*, 2010).

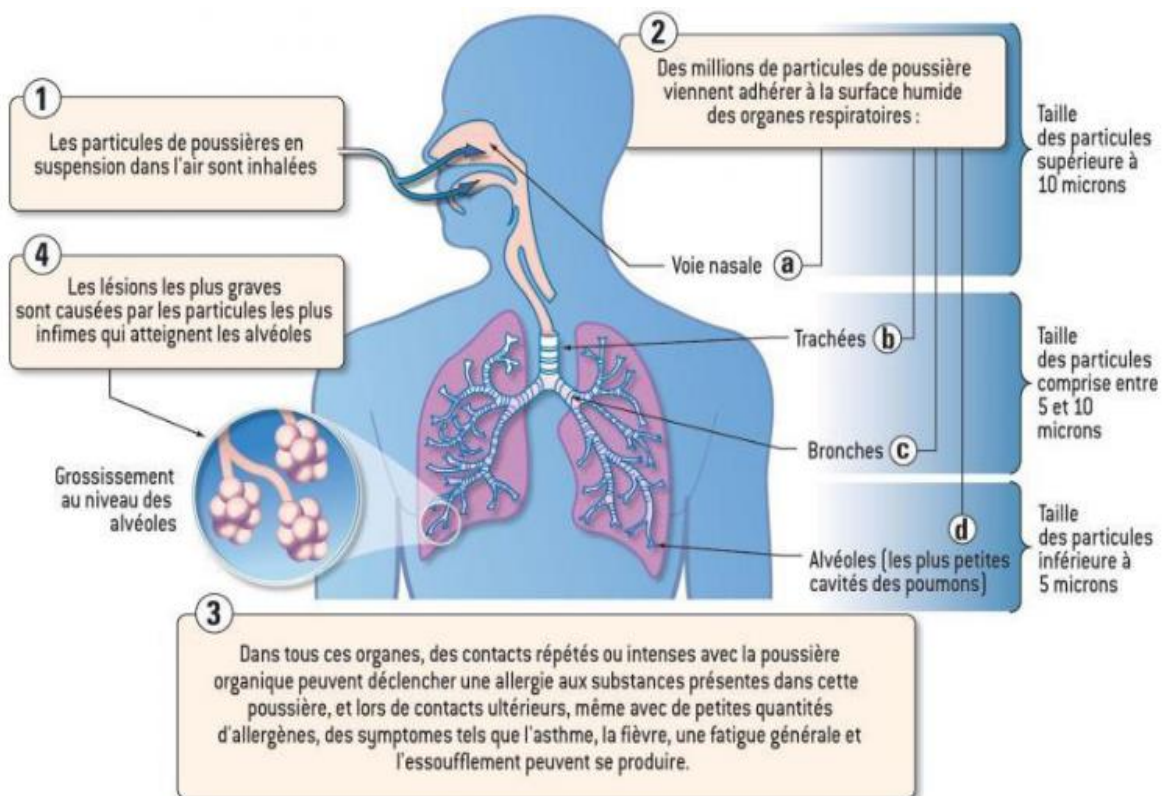


Figure 1: Effet de différents types de particules sur le système respiratoire humain (OMP, 2015).

I.11.2. Effets Sur l'appareil cardiovasculaire

Les phénomènes inflammatoires qui se produisent dans les poumons ont aussi des répercussions indirectes sur le système cardio-vasculaire. Les réactions à certains polluants réduisent la capacité de l'hémoglobine à transporter l'oxygène (c'est le cas du CO) et à le livrer aux tissus périphériques (CO et oxyde d'azote NO).

Ainsi, si le CO, en tant qu'indicateur de la pollution atmosphérique d'origine automobile ne semble pas présenter de liens avec la mortalité totale ni, globalement, avec les admissions en urgence pour affections cardio-vasculaires ou pour affections obstructives chroniques chez les sujets de plus de 65 ans, il existe une association positive entre les niveaux de CO et les hospitalisations pour insuffisance cardiaque congestive chez les personnes de plus de 65 ans, association d'autant plus importante que la température est basse (Stanek et al., 2011).

I.11.3.Effets à court terme

Les effets se manifestent quelques heures ou quelques jours après l'exposition. Chaque polluant a des effets spécifiques, mais il est difficile d'établir la nocivité respective de chacun d'eux car on les respire en même temps (Souf.1999).

I.11.4. Effets à long terme (plusieurs années)

Constatés après une exposition chronique sur plusieurs mois ou années (ex : cancer) Haute-Normandie (Cire, 2005). Ces effets sont plus difficiles à étudier car l'intensité des effets est faible, la caractérisation de l'exposition est délicate, les effets apparaissent après un délai parfois très long et les maladies provoquées sont d'origine multiple. L'affirmation d'une relation de causalité demande donc de la prudence. Quelques études ont montré que l'exposition prolongée à la pollution urbaine pouvait diminuer de façon durable la fonction respiratoire et entraîner la mort (Souf.1999).

I.12.Toxicité des polluants atmosphériques

Des études épidémiologiques montrent que les polluants atmosphériques particuliers augmentent le risque de morbidité et de mortalité liées à des maladies respiratoires. La toxicité des particules dépend de leur composition chimique, leur conférant des propriétés mutagènes et/ou cancérigènes, mais également de leur granulométrie qui va conditionner leur pénétration et rétention dans les voies respiratoires. Les particules fines (PF<2,5µm) et surtout les particules ultrafines (PUF<0,1µm) peuvent ainsi atteindre les voies aériennes les plus profondes où leur épuration s'effectuera lentement par clairance macrophagique. Bien que les PUF possèdent une réactivité de surface et donc une toxicité potentielle plus élevées que les PF, leur impact toxicologique réel reste à déterminer (Gustin et al, 1993).

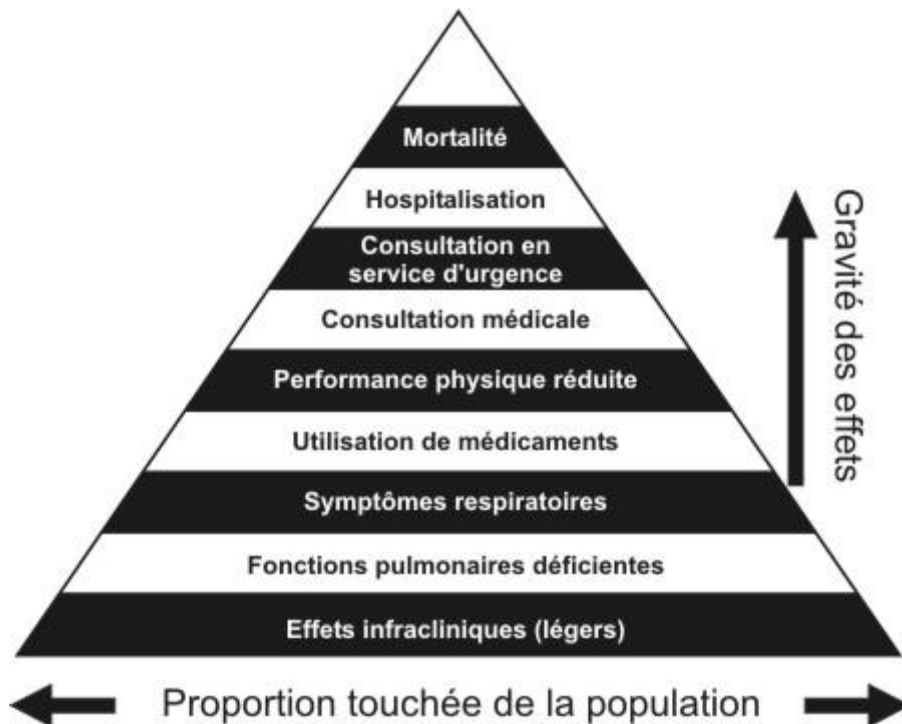


Figure 2: Pyramide des effets associés à la pollution atmosphérique (Based on US-EPA).

• Mortalité

Selon l'OMS, 91% de la population mondiale vit dans des endroits où l'air est de mauvaise qualité et ne respecte pas les limites fixées par l'OMS. L'exposition aux polluants atmosphériques survient principalement dans les zones industrielles et urbaines en raison de la présence de différentes sources d'émission. De nombreuses études épidémiologiques ont mis en évidence le lien entre l'exposition aux PM (à court et à long terme) et une augmentation de la mortalité (Rabl, 2003).

• Surmortalité

Une étude de mortalité prospective a trouvé des associations entre certaines pathologies et une exposition à long terme aux particules fines. Une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de particules fines dans l'air ambiant a été associée à une surmortalité de 4% (toutes causes), de 6% (cardio-pulmonaire) et de 8% cancer du poumon (Pope, 2002).

• Morbidité

De nombreuses études épidémiologiques établissent le lien entre l'exposition aux polluants atmosphériques et le développement et l'exacerbation de différentes maladies qui menacent la vie.

Même à des concentrations relativement faibles dans l'atmosphère, les polluants entraînent des effets négatifs sur la santé, avec une augmentation des admissions à l'hôpital, une exacerbation des maladies respiratoires et cardiovasculaires ainsi que d'autres effets sur la santé (Boutaric *et al.*, 2008). Cependant, cet impact sanitaire est difficile à quantifier parce que l'état de santé de populations exposées et la concertation des polluants diffèrent d'un endroit à un autre

I.13.Recommandations et législations des émissions des particules

En Algérie, l'article 3 du décret exécutif n° 06-138 du 5 avril 2006, régleme les émissions des gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, dans l'atmosphère; ainsi, les valeurs limites de ces rejets dans l'atmosphère sont fixées (Tableau 6). L'article 7 stipule qu'en cas de défaillance susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites des rejets atmosphériques, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise, en réduisant ou, arrêtant si besoin, les activités concernées.

Contrairement aux normes algériennes traitant des particules fines sans leur donner une définition, les normes européennes portent sur les particules PM_{10} et $PM_{2,5}$. La politique européenne concernant les PM_{10} (1999/30/CE) prévoit d'imposer des limites plus strictes sur les villes et les gouvernements locaux et à partir du 1er Janvier 2010, les seuils de PM_{10} furent changés de la sorte:

- La moyenne journalière ne dépasse pas $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sur plus de sept jours par an
- La moyenne annuelle ne dépasse pas $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dix ans plus tard, la directive 2008/50/CE a établi des seuils de $PM_{2,5}$ pour la première fois:

1. En 2020, les états membres doivent réduire leur indicateur moyen d'exposition des $PM_{2,5}$ de 20%, en fonction de leurs niveaux de 2010. Cet indicateur doit prendre en compte les concentrations moyennes des années 2008, 2009 et 2010.
2. L'indicateur annuel d'exposition moyenne des $PM_{2,5}$ des zones urbaines ciblées est fixé à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, condition à remplir avant 2015.
3. Le niveau annuel moyen des $PM_{2,5}$ ne doit pas excéder $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans toutes les zones ciblées ou pas ciblées, avant 2015.
- 4 .En 2020, la limite moyenne annuelle des $PM_{2,5}$ sera refixée à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, norme à respecter par toutes les stations de mesure (pour zones ciblées et pas ciblées).

Tableau6: Différentes normes pour les PM₁₀ et les PM_{2,5} et l'Ozone (µg/m³)

	OMS	Europe	US-EPA	France	Canada	Algérie	Pékin	Australie	Annaba	Tiaret	Bejaia	Boumerdés
PM ₁₀ (µg/m ³)	20	20	20	40		Poussières fines 80	135.9	77.5			78.8	100.8
PM _{2.5} (µg/m ³)	10	25	15	25	10					33.57		18.5
O ₃ (ppm)	100	100		120	40	270			170			

I.14. Évaluations de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique et leur principe

Les études épidémiologiques permettent de fournir des mesures quantitatives des effets sanitaires des expositions à la pollution atmosphérique dans une population. Ces liens sont habituellement exprimés sous la forme d'un risque relatif ou d'une relation exposition-risque (E-R), qui mesurent la probabilité additionnelle qu'un événement sanitaire survienne du fait d'une exposition à un niveau de pollution. Ces relations quantitatives sont utilisées dans les EIS (Figure 3) pour quantifier un nombre d'événements sanitaires (nombre de décès, d'hospitalisations...) ou d'années de vie perdues attribuables à la pollution atmosphérique.

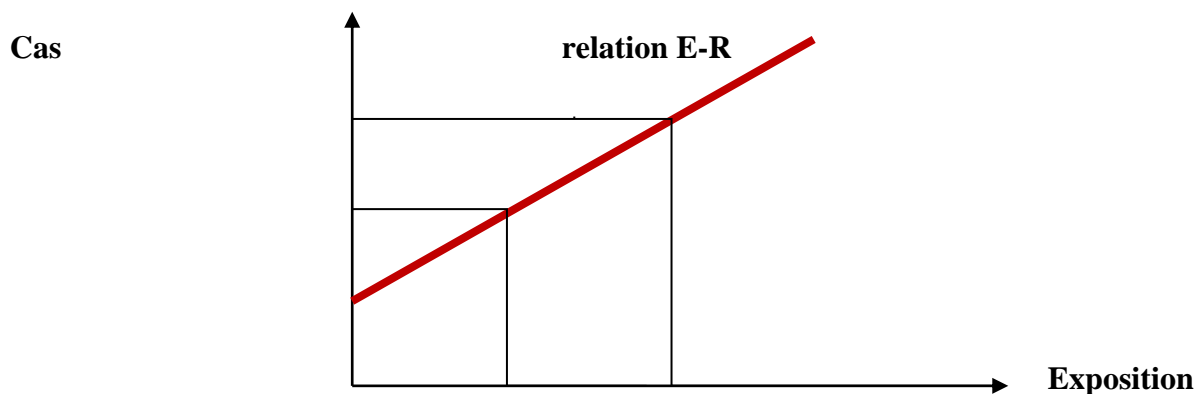
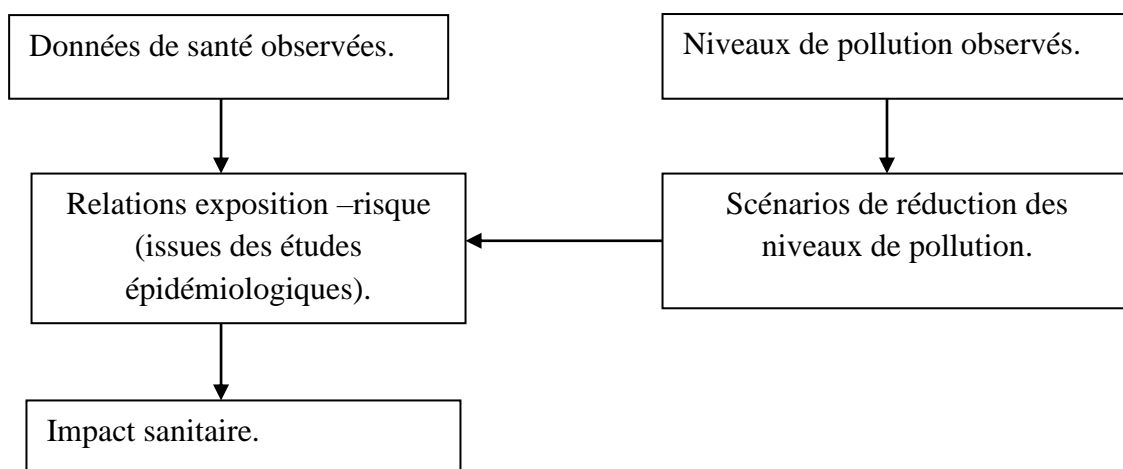


Figure 3 : Principe de l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

Elles sont appliquées à une situation locale donnée, caractérisée par ses niveaux de pollution de l'air et une fréquence de survenue d'événements de santé dans sa population (prévalence de la pathologie ou taux de mortalité). Des quantifications peuvent également être réalisées pour étudier les bénéfices sanitaires et économiques escomptés de différents scénarios de réduction des niveaux de polluants (Hos et al, 2012).

I.15. Conclusion

La pollution atmosphérique est le résultat des modifications de la composition chimique de l'air sous l'effet des activités humaines. Ce phénomène se manifeste sur une très grande ampleur, de l'échelle urbaine jusqu'à l'échelle planétaire, avec à chaque fois des conséquences et des risques différents pour la santé et les écosystèmes. Ce chapitre rassemble les informations sur la caractérisation et la description de la pollution atmosphérique. Il a été identifié que les polluants se distinguent en deux catégories: polluants gazeux (SO₂, NO_x, CO, CO₂...) et polluants particulaires (poussières, métaux lourds...) sont appelés, polluants primaire puis, au contact les uns avec les autres produits des réactions chimiques avec d'autres composants de l'atmosphère, ce qui génère des polluants dits secondaires, pour but d'investiguer les impacts sanitaires et environnementale engendrée par celle-ci.

CHAPIRE II

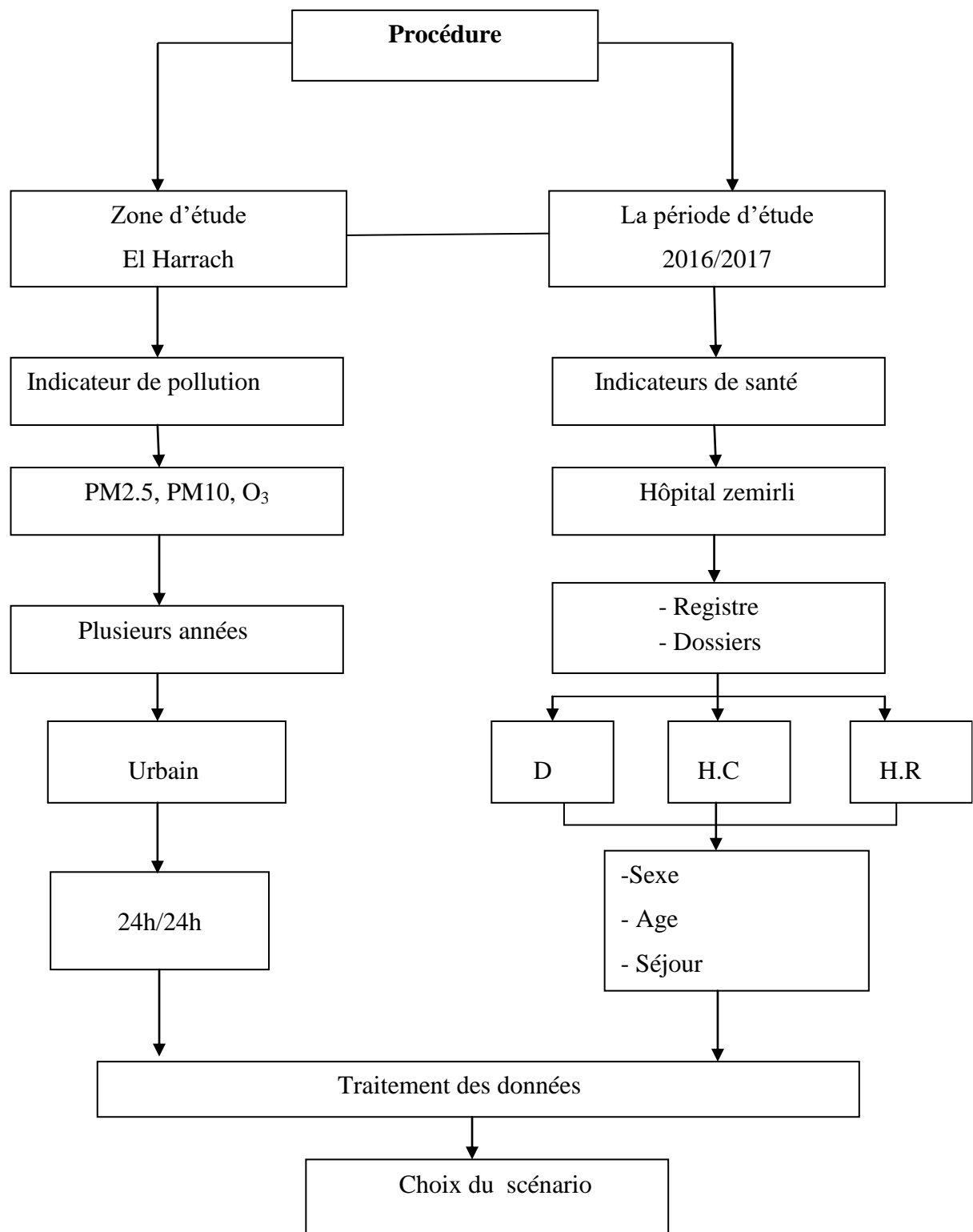
Introduction

Les agglomérations urbaines aujourd'hui connaissent une triple croissance : celle de la population, celle de l'activité économique et celle du trafic. La résultante environnementale de ces croissances et non seulement la pollution atmosphérique, mais aussi la congestion elle-même de pollution. Cette pollution effectuée une population de plus en plus nombreuse des bâtiments, les cultures périurbaines et contribue largement à la dégradation de l'environnement. L'un des cas les plus significatifs est celui de la région d'El-Harrach qui connaît une pollution de l'air non négligeable en raison d'un trafic routière intense (8710 tonne /année) et une activité économique (1 128 688 tonne /année) importante et une concentration humaine considérable (Rahal, 2015).

La réalisation d'un cadastre des émissions est nécessaire afin d'évaluer la qualité de l'air sur l'ensemble d'El-Harrach en particulier sur les zones non couvertes par les stations de mesure. De travail s'intéressera surtout aux émissions de trafic routier en raison de la part importante du secteur des transports Algérois dans l'émission des polluants gazeux surtout.

La pollution atmosphérique constitue un risque pour la santé publique. Les études épidémiologiques montrent un lien étroit entre l'exposition aux polluants atmosphérique émis par le trafic routier à El-Harrach et l'exacerbation et le développement de maladies respiratoires, cardiovasculaires et le cancer. Dans la présente étude, il est projeté d'estimer pour la première fois les risques relatifs de mortalité et de morbidité hospitalière à court et à long termes pour une exposition aux niveaux de différents indicateurs de pollution. Ce dans le but d'estimer l'impact de la pollution particulaire de l'air extérieur sur la santé respiratoire des habitants de la ville de " El-Harrach" sur une population de 48 900 habitants (2008) en mettant en relation les données sanitaires disponibles avec des mesures des particules de plusieurs tailles (1 μm , 2,5 μm , 7 μm et 10 μm). Pour cela une estimation de l'impact sanitaire (EIS) a été effectuée en utilisant les méthodes classiques.

Pour réaliser notre étude, nous avons suivi le protocole du diagramme ci-dessous.



II.1. Description de la zone d'étude

Notre étude a été réalisée dans la région de El Harrach (anciennement Maison-Carrée lors de la colonisation) est une commune de la wilaya d'Alger s'étend sur une superficie de 24.51 km², La commune d'El Harrach est située à environ 12 km à l'est d'Alger, elle fait partie en même temps du Mitidja et du Sahel algérois (Anonyme, 1973).

Le centre de la ville d'El-Harrach se trouve à environ 2 km en amont de l'embouchure de l'Oued El Harrach, la ville étant séparée en deux parties par les rives de ce cours d'eau (Calvet et Dosseur, 1974).

II.1.1. Situation géographique

El Harrach est située entre une latitude 36.72° nord et une longitude 03.14° est, elle est bordée du côté nord-est par Dar El Beida, du côté nord-ouest Hussein Day, et du sud par Baraki, et Bir Mourad Rais du côté sud-ouest Figure (4) (Google Earth 2020).

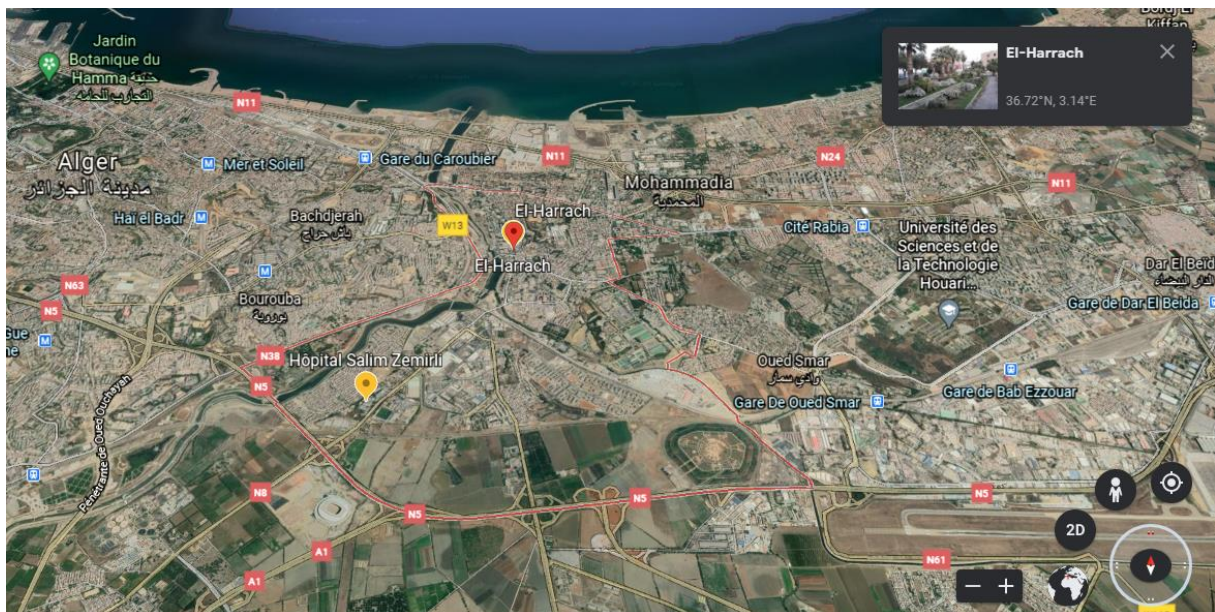


Figure 4: Station géographique de la région El Harrach.

II.1.2. Climatologie générale

Dans l'atmosphère les substances émises subissent diverses modifications sous l'effet des conditions météorologiques: le vent, l'humidité, les gradients de température que contrôlent la dispersion des polluants ou au contraire leur accumulation. La prévision de la qualité de l'air doit prendre en compte l'ensemble de ces facteurs. Ainsi, vent et pluie favorisent la dispersion, le brassage et le lessivage du polluant (Lounaci, 2005).

II.1.2.1. Température et précipitation

El Harrach possède un climat méditerranéen chaud avec été sec selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à El Harrach est de 19.7°C et les précipitations sont en moyenne de 672.3 mm (BALL et al, 2000). Le tableau 7 présente les moyennes mensuelles et annuelles de la température et des précipitations de la région d'El Harrach pour l'année 2016.

Tableau 7: moyennes mensuelles et annuelles de la température et des précipitations de la région d'El Harrach durant l'année 2016 (OMS, 2017).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
m(c°)	5.6	5.8	7.5	10	12.8	16.2	19.6	20	17.9	14.7	10.3	6.8
M(c°)	17.1	17.1	19.5	22.2	25.4	29.2	32.3	32.6	29.6	27.1	21.4	18.1
T=(M+m) /2	11.4	11.5	13.5	16.1	19.1	22.7	26	26.3	23.8	20.9	15.9	12.5
P(mm)	72.1	87.5	72.1	48.4	41.3	9.1	1.5	11.6	25.2	60	116.9	97.9

P (mm) : précipitation moyennes annuelles.

M (c°) : températures maximales annuelles moyennes.

m (c°) : températures minimales annuelles moyennes.

II.1.2.2. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)

Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN est une représentation qui consiste à déterminer les périodes sèches et les périodes humides d'une région donnée.

Un mois biologiquement sec lorsque les précipitations mensuelles (p), exprimées en millimètres sont inférieurs au double de la température moyenne : $T = (M+m) / 2$ (C°)

$$P \leq 2T$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : température moyenne (C°)

M : température maximale de chaque mois (C°)

m : température minimale de chaque mois (C°)

Le période sèche correspond à toute la partie pour laquelle la courbe thermique se trouve au-dessus de la courbe pluviométrique, et les deux zones extrêmes du graphe sont les périodes humides (Peguy, 1970).

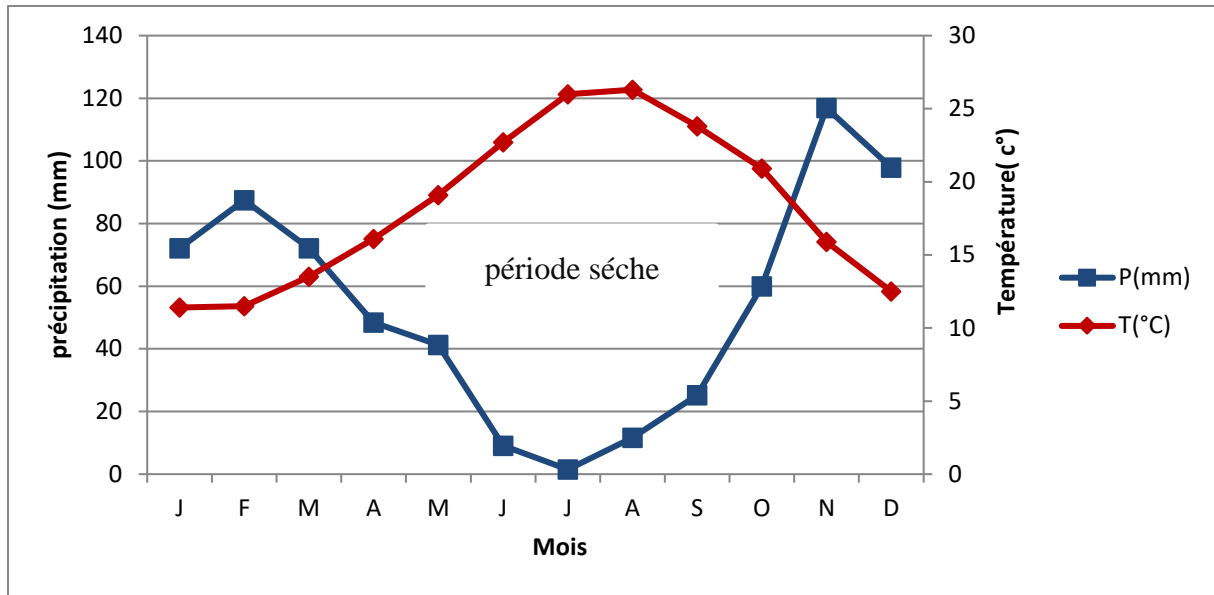


Figure 5:diagramme Ombrothermique de la région d’El Harrach.

Notre région d’étude est caractérisée par une saison sèche de 06 mois (de la fin de mai jusqu’à la fin d’octobre) et une saison humide hivernale qui s’installe sur 06 mois (entre novembre et mars).

II.1.2. 3. Quotient pluviométrique d’EMBERGER

Le climagramme d’EMBERGER permet la classification des différentes régions étudiées dans un étage bioclimatique distinct, il a été établi pour les régions méditerranéennes (Dajoz ,2000).

Le quotient pluviométrique d’EMBERGER (Q2) tient compte de variation annuelle de la température en fonction de l’évaporation.

$$Q2=2000 P/ (M^2-m^2)$$

Avec :

P : pluviométrie moyenne en mm.

M : moyenne des maximas du mois le plus chaud en °C.

m : moyenne des minimas du moi le plus froid en °C.

Mais le Q2 n’est pas suffisant, pour cela on le complète par la température des minimas (m) qui joue un rôle important que les autres facteurs.

Le Q2 de la région d’El Harrach est de 104.pour m= 5.6 montre l’appartenance de la région à l’étage bioclimatique subhumide à hiver doux, voire la figure(6).

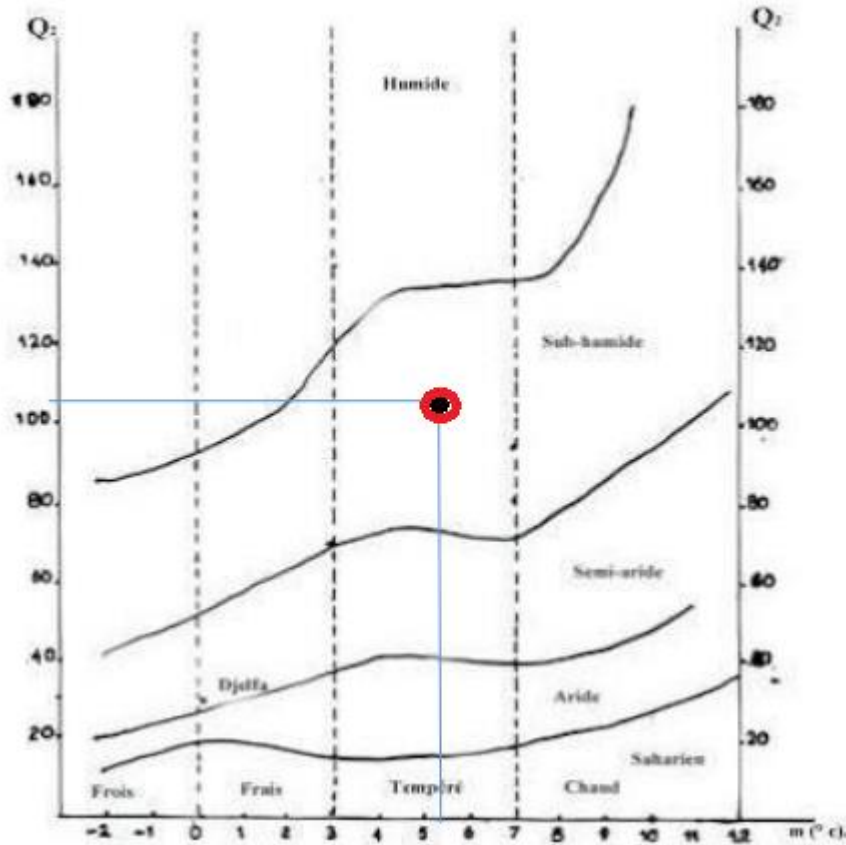


Figure 6: localisation de la région d'El Harrach sur le Climagramme d' Emberger.

II.1.2.4. Vent

C'est un mouvement de l'air définie par rapport à la surface terrestre, il est mesuré grâce à 4 critères : la vitesse, la direction, la force et la fréquence. Il a une action directe en modifiant la température et l'humidité (Dajoz, 2000).

- **Le rôle du vent dans le transport des polluants**

Dans la couche limite atmosphérique, la vitesse des vents horizontaux est quelques mètres par seconde alors que celle des vents verticaux est de l'ordre du millimètre ou du centimètre par seconde ce qui est négligeable par rapport à la turbulence. Le vent est donc la source principale de transport horizontal des pollutions. Il augmente avec l'altitude mais seins s'annule au voisinage du sol sous l'effet de la rugosité du terrain et des obstacles naturels ou artificiels. (Rahal, 2015).

La vitesse du vent enregistrée pour l'année 2016 de la région El Harrach (figure 7), (tableau8) O.N.M 2017.

Tableau 8: moyenne mensuelles et annuelles du vent (m /s) de région de El Harrach l’année 2016 (O.N.M) 2017

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelles
Vitesse Mensuelle du vent (m/s)	2.4	2.9	2.9	2.7	2.8	2.8	2.9	2.8	2.6	2.1	2.4	2.1	2.6

La valeur maximale du vent de la région d’El-Harrach est marquée au mois de Février, Mars, Avril, Mai, et la valeur minimale au mois d’Octobre.

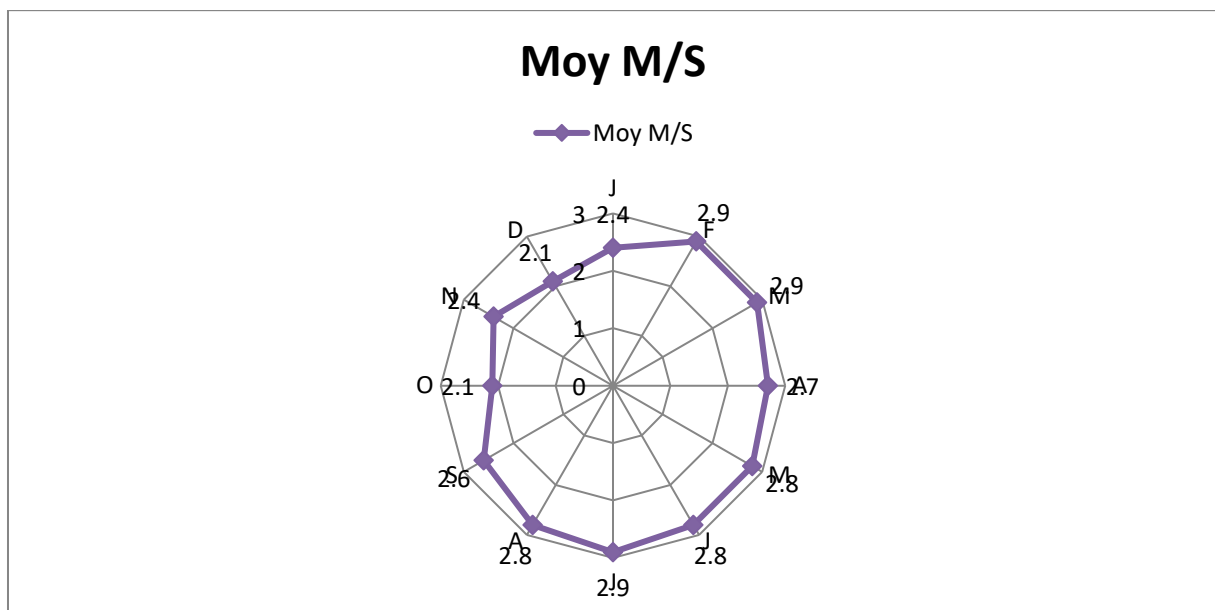


Figure 7:variation mensuelle des moyennes de la vitesse du vent de la région d’El Harrach l’année 2016.

II.2. Période d’étude

Les données quotidiennes collectées sur la mortalité et les admissions hospitalières ont été collectées concernant les malades souffrant des pathologies cardiorespiratoires à l’Etablissement Public Hospitalier (EPH) de Zemirli (El-Harrach) sont collectées entre la période de 2016 et 2017.

II.3. Les facteurs d'émissions des polluants atmosphériques sur Alger (El Harrach)

En Algérie où l'urbanisation et la motorisation se développent rapidement, la dégradation de la qualité de l'air et les nuisances sont déjà perçues. Des études ont montré que le Grand Alger (3,5 millions d'habitants, 800.000 véhicules) est, comme toute grande agglomération urbaine, confronté à une intense pollution atmosphérique (Boughedaoui et coll. 2004). Les principales sources des émissions sont le trafic routier et les industries. La pollution par les particules fines n'a cependant pas fait l'objet d'une attention particulière.

II.3.1. Le trafic

Les taux des principaux polluants primaire et secondaire sont mesurés en continu à Alger par 4 stations automatique de l'observatoire nationale de l'environnement et de développement durable la plupart des polluants sont directement ou indirectement au trafic automobile. (Boughedaoui et al. 2004).

Selon l'Office National des Statistiques le parc automobile a dépassé 6,4 millions de véhicules à la fin 2018a relevé que 30,08 % du parc automobile national est-il concentré dans la wilaya d'Alger et dans la wilaya de Blida (ONS, 2018).

II.3.2. Les industries

Il existe dans la région d'Alger un grand nombre d'unités industrielle activant dans la transformation des métaux, l'agroalimentaire, les métaux de construction les textiles, les cuirs et dans de nombreux autre domaine. Ces unités sont situées soit dans des zones industrielles soit dans des zones activités (APPL, 2003).

La surface de ces zones nous permet de déduire des clés de répartition spatiale des rejets gazeux issus de l'industrie, Tableau (9).

Tableau9 : Les clés de répartition des émissions totales de l'industrie à Alger en fonction de la surface de chaque zone industrielle

Les zones	Surface (h)	Taux
Oued Smar	400.00	24.27
El Harrach	78.00	4.73

II.4. Evaluation de l'Impact Sanitaire de la Pollution de l'Air à El Harrach

Étude descriptive pour évaluer l'impact sanitaire de la pollution de l'air par les PM₁₀ et PM_{2,5} et l'Ozone sur la santé des cardiorespiratoire au niveau de la ville d'El Harrach. Étendue sur une période d'une année.

II.4.1. Construction d'indicateurs de pollution

En pratique, l'exposition à la pollution atmosphérique n'est évaluée qu'au travers de la concentration de quelques polluants indicateurs. Les effets observés ne peuvent être attribués spécifiquement à ces polluants mais plutôt à l'ensemble des composés qui sont émis ou formés avec lui. Dans le cadre de cette évaluation, l'exposition à la pollution atmosphérique est évaluée par les niveaux de particules (PM₁₀, PM_{2,5}) et d'Ozone.

Les indicateurs de pollution doivent être les plus susceptibles de rendre compte dans le temps et l'espace des modifications survenues en lien avec la mise en place d'interventions. Dans notre étude, Des mesures de particules fines et très fines ont été réalisées continuellement et pour plusieurs années par l'équipe de Kerchich au laboratoire (Environmental Science and Technology Laboratory, National Polytechnic School of Algiers, Algiers 16200, Algeria). Avec les résultats obtenus un travail a été publié en 2018 par cette même équipe (Kerchich, 2018). et les mesure d'ozone est 270 $\mu\text{g m}^{-3}$ ont été réalisées continuellement et pour plusieurs années par l'équipe de Dr. Kerbachi (1998)

Tableau10 : La concentration des particules fines et très fines ($\mu\text{g m}^{-3}$)

Les stations	La concentration des particules fines et très fines ($\mu\text{g m}^{-3}$)	
	PM _{2,5}	PM ₁₀
Bordure de route	20.82–49.85	45.90–77.23
Station urbaine	18.53–47.58	43.8–91.62
La concentration moyenne annuelle dans les deux stations	32.23	60.01

II.4.2. La surveillance de la qualité de l'aire (SAMASAFIA)

Selon la législation européenne, dès qu'on dépasse les 100 mille habitants, un réseau de surveillance doit être mis en place. Ainsi, Paris comptait, en 2003, plus de 70 stations. Il est vrai que le coût d'une station est assez élevé : plus de 1 milliards de centimes ; l'opération est menée par le ministère de l'Environnement qui inscrit son action ainsi :

- l'évaluation du degré réel de la pollution en zone urbaine et mise en œuvre d'une politique de protection de la santé des citoyens

- s'inscrire dans l'esprit des conventions et protocoles internationaux demandant à tous les pays d'assurer une surveillance de l'état de l'environnement.

SAMASAFIA ("Ciel pur"), Installée en Algérie depuis avril 2002, un des premiers réseaux de surveillance de la qualité de l'air qu'était existé sous cette forme en Afrique, avec 4 stations (Bab El Oued, Ben Aknoun, El Hamma, et place du 1er Mai) (Djaballah, 2008).

Aujourd'hui ces stations ne soient plus en service, faute de pièces de rechange depuis 2009.

II.4.3. Construction d'indicateurs de santé

Les indicateurs de santé sont des statistiques produites dans l'objectif de renseigner, mesurer et suivre l'état de santé d'une population

II.4.4. Recueil des données sanitaires au service médecine interne de l'Hôpital Zemirli (El-Harrach)

À partir des registres d'hospitalisations, des données quotidiennes, sur la mortalité et les admissions pour causes respiratoires engendrées par la pollution atmosphérique, ont été recueillies et des tableaux comme celui de l'annexe 1, ont été remplis par les mêmes données.

- **Concernant la mortalité**

Les données sont à recueillir par :

- Date de décès,
- Âge, sexe

- **Concernant les admissions hospitalières**

Les données concernant le nombre annuel d'admissions pour motifs respiratoire et sont à extraire des registres d'admissions et des dossiers des malades au service pneumo-phtisiologie de l'hôpital. Les malades sont à classés par :

- Un numéro d'entrée,
- L'âge, le diagnostic,
- La date d'entrée et la date de sortie.

II.4.5. Traitement des données

Pour le traitement des données de mortalité et de morbidité recueillies dans les registres et les dossiers de malades, nous avons utilisé le logiciel Excel. Nous avons fait une classification des patients selon leur sexe, leur âge et leur pathologie. Pendant la période concernée, nous avons appliqué le test de comparaison de moyennes pour faire une comparaison entre :

- le nombre de patient femme et homme pour l'année 2016 et 2017,
- le nombre de maladies cardiovasculaire, les BPCO, les maladies respiratoires, asthme et autres
- Le problème de morbidité et de mortalité dans la région d'étude.
- La répartition de fréquences des pathologies des hospitalisés selon l'âge.
- La répartition des hospitalisés selon le genre.

II.5. Etude d'Impact Sanitaire

Cette étape permet de quantifier l'impact sanitaire en calculant un nombre d'événements attribuables à un indicateur d'exposition donné pour un indicateur sanitaire donné sur la période d'étude choisie à savoir celle de 2016 et 2017.

II.5.1. Formule utilisée

Elle consiste à appliquer les relations E-R aux données locales de pollution, de mortalité et de morbidité collectées pour cette étude. Dans la démarche locale d'évaluation de risque, le nombre d'événements sanitaires attribuables à une exposition donnée est calculé à partir du risque relatif (RR) associé à l'exposition et du nombre moyen d'événements sanitaires survenus au cours de la période considérée selon la formule suivante :

$$\Delta y = y_0(1 - e^{-\beta \Delta x})$$

Où :

- Δy est le nombre de cas en moins associé à une baisse de la pollution.
- y_0 est le nombre de cas de référence observé dans la population pour les mêmes années que celles utilisées pour la pollution de l'air.
- Δx est la baisse du niveau de pollution.
- $\ln(RR)/10$ est la pente de la relation exposition-risque.
- RR est le risque relatif associé à l'exposition pris dans la littérature.

Une feuille de calcul Excel a été développée pour faciliter la réalisation d'EIS portant sur les impacts à court-terme des PM_{10} sur la mortalité totale non-accidentelle, et sur les hospitalisations pour causes cardiovasculaires et respiratoires. Il s'agit du logiciel EPI-EXPO (RNCP, 2015).

II.5.2.Scénarios étudiés

Afin d'évaluer le gain sanitaire qu'est quantifié à court attendu si des mesures visant à réduire les niveaux de pollution observés étaient prises, différents scénarios ont été étudiés :

-Scénario « réduction de fond » : diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des valeurs annuelles pour l'ozone, les PM_{10} et les $PM_{2,5}$.

- Scénario « Amsterdam » :L'abaissement des concentrations des polluants vers celles de Amsterdam.

- PM_{10} et $PM_{2,5}$: leurs concentrations sont ($0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

- La concentration de L'Ozone est ($46\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- Scénario « OMS » :

- ozone : les niveaux journaliers (maximum journalier des moyennes sur 8 heures) mesurés sont ramenés à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur guide recommandée par l'OMS actuellement) pour les jours où ce seuil est dépassé.

- particules : les niveaux moyens annuels sont abaissés aux recommandations OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les PM_{10} et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les $PM_{2,5}$). La moyenne annuelle pour les PM_{10} selon l'OMS c'est la même valeur de guide européenne et American et la moyenne annuelle pour les $PM_{2,5}$ c'est la même valeur de guide Canadienne.

- Scénario « EUROPENNE » : gain sanitaire attendu sous l'hypothèse d'une diminution de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur guide recommandée européenne actuellement) de la moyenne annuelle des $PM_{2,5}$.

- Scénario « CCME » : ozone : les niveaux journaliers (maximum journalier des moyennes sur 8 heures) mesurés sont ramenés à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur guide recommandée par l'CCMA actuellement).

- Scénario « US-EPA » :

Diminution de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur guide selon United States Environmental Protection Agence) de valeur annuelle pour $PM_{2,5}$.

- Scénario« Algérienne» :

Les niveaux moyens annuels sont abaissés aux recommandations le journal officiel de la République Algérienne du 8 Dou el Hadja 1426 / 8 janvier 2006 consacre les articles 06 pour la surveillance de la qualité de l'air

Art. 6. Les valeurs limites ainsi que les objectifs de qualité de l'air sont fixés comme suit :

•Ozone :

a) Objectif de qualité : 110 µg/m³

b) Valeur limite : 200 µg/m³

• Particules fines en suspension :

a) objectif de qualité : 50 µg/m³

b) valeur limite : 80 µg/m³

On peut résumée les scénarios des diminutions des expositions aux PM10 PM2.5 et l'ozone au tableau suivant :

Tableau11 : les scénarios étudiant.

Les scénarios	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	Ozone (µg/m ³)
Scénario « réduction de fond »	5	5	5
Scénario « Amsterdam »	0	0	46
Scénario « OMS »	20	10	100
Scénario «EUROPEENNE »	20	25	100
Scénario « CCME »		10	40
Scénario « US-EPA »	20	15	
Scénario « Algérienne»			200

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons mis en aperçu la méthodologie utilisée pour réaliser notre étude. Nous avons d'abord présenté la zone d'étude El-Harrach et leur situation géographique, leur climatologie, Juste après, nous avons présenté les différents facteurs d'émissions des polluants, on a précisé logiciels utilisés pour la réalisation de l'analyse de ces données obtenues sur ses mesures. Ensuite, nous avons passé à la démonstration de la méthodologie suivie pour la récolte des données concernant l'enquête statistique effectuée au niveau des deux établissements sanitaires publiques d'El-Harrach. Cette démonstration est terminée par la présentation de la méthode d'analyse statistique appliquée pour traitées les données récoltées. En fin, nous avons présenté les scénarios de notre étude d'impact.

CHAPIRE III

Dans ce chapitre, nous allons présenter tout d'abord une synthèse des résultats de travaux effectués sur des particules fines et sur l'ozone dans la région d'étude d'Elharrach. Puis nous allons passer à la présentation des données de santé recueillies à partir de l'hôpital de Zemirli. Et en fin nous allons présenter notre EIS-PA.

III.1. Indicateur de pollution

Pour la réalisation d'une EIS-PA, au sein de la région étudiée (El Harrach), on a utilisé les résultats des études de l'équipe de Kerchich au laboratoire (Environmental Science and Technology Laboratory, National Polytechnic School of Algiers, Algiers 16200, Algeria)(Talbiet al, 2017) sur les PM et les résultats d'étude de l'équipe de Kerbachi(Kerbachi et al.,1998) sur l'ozone. Avec ces mêmes résultats, on a pu développer les points en ci-dessous.

III.1.1. Évolution des teneurs en PM₁₀, PM_{2.5} et l'Ozone mesurées à Alger 2002 à 2017

Avec notre synthèse réalisée sur les travaux précédents (de 2002, 2009, 2017), on a tracé l'histogramme de la figure 08 dont laquelle on a représenté les concentrations massiques de PM_{2.5} et PM₁₀, dans la région urbaine d'Alger et on a tracé les courbes de la figure 9 qui donne les concentrations mensuelles de l'Ozone.

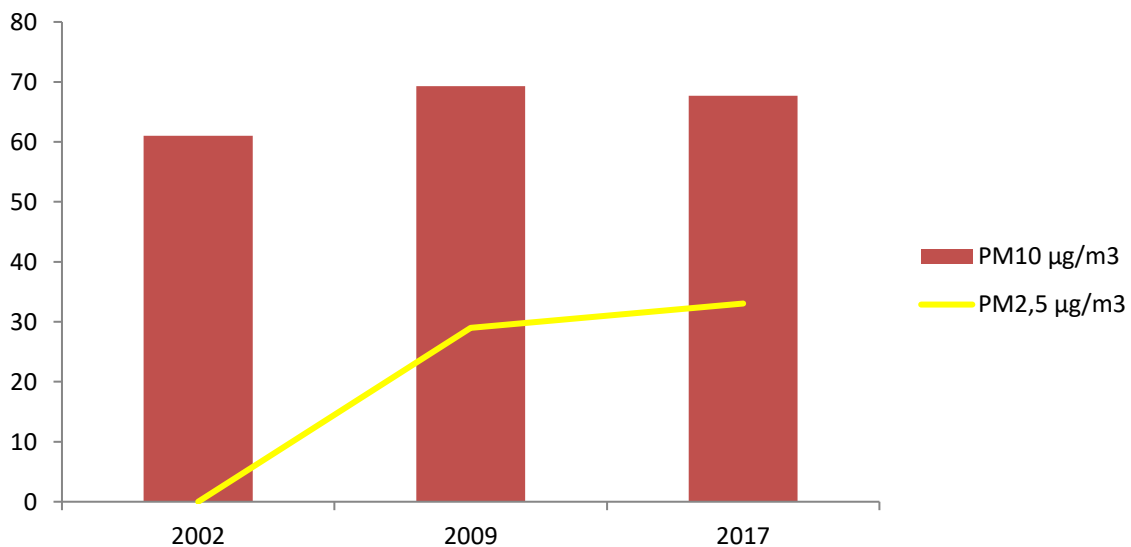


Figure 8 : Evolution des concentrations annuelles moyennes de PM_{2.5} et PM₁₀ à Alger 2002-2017.

Parmi tous les paramètres étudiés et qui montrent tous que les concentrations des PM dans la région d'El Harrach sont élevées par rapport aux normes internationales, nous avons choisi à présenter la moyenne. Ainsi les moyennes annuelles des concentrations de PM, figurées dans l'histogramme, dépassent les valeurs de l'OMS qui sont de l'ordre de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} et de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour $\text{PM}_{2.5}$.

L'histogramme montre une différence de concentrations de PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$ de 2002 à 2017 et qui est due, selon les auteurs, à plusieurs raisons, telles que :

- les changements climatiques,
- l'évolution des mouvements de circulation pendant cette période.
- l'augmentation des routes pour éviter la congestion des voitures dans El Harrach.

Selon la figure 9 donnant la variation des concentrations moyennes mensuelles et celles des concentrations maximales, on constate que les niveaux les plus élevés apparaissent au mois de juillet et août, et que janvier et février accusent les teneurs moyennes les plus basses.

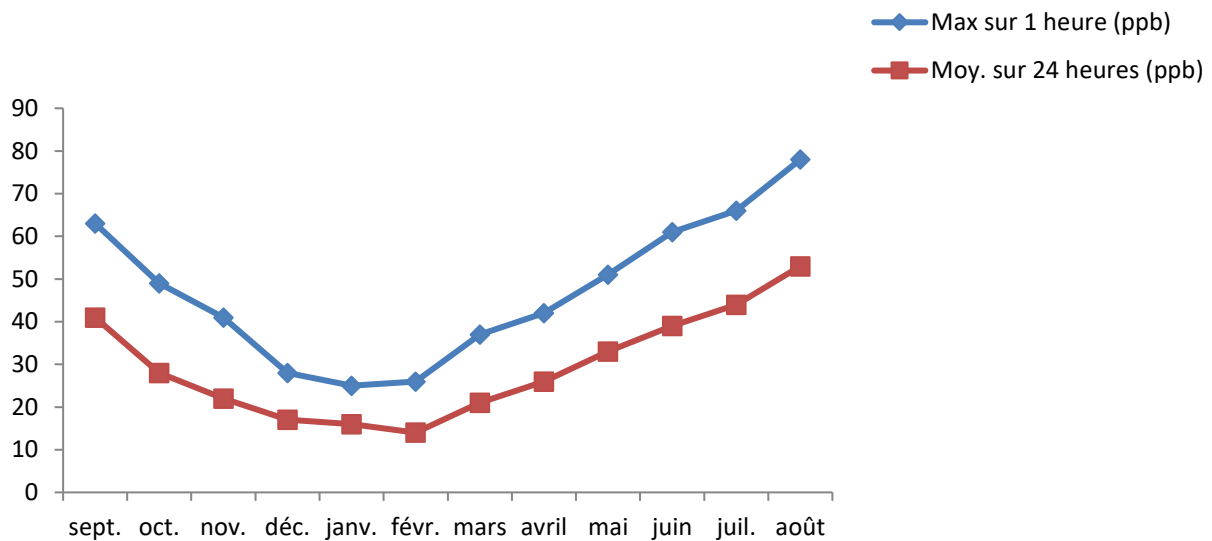


Figure 9: Évolution des teneurs moyennes mensuelles de l'Ozone dans la zone urbaine d'Alger pour l'année type de 2004.

C'est naturellement qu'en période estivale et surtout en mois d'août, avec de fortes températures (de $32\text{ }^\circ\text{C}$) et une longue période d'ensoleillement (de 10 heures par jour), qu'on enregistre les teneurs les plus excessives. Ainsi durant ce mois la moyenne horaire en O_3 max s'élève à 78 ppb. En comparaison avec les valeurs guides de l'OMS qui fixent les seuils limites à ne pas dépasser 60 ppb sur une durée de 8 heures et 100 ppb sur une heure, cette valeur enregistrée dans la région d'étude présente un risque de santé publique.

III.1.2. Corrélations entre PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁

La corrélation entre les PM₁₀ et les PM_{2,5}, les PM₁₀ et les PM₁, et les PM_{2,5} et les PM₁ sur le site urbain est présentée dans le tableau 12.

Sur le site urbain d'El Harrach, les coefficients de corrélation obtenus entre PM₁₀-PM_{2,5} ($p = 0.040$; $r = 0.79$), PM₁₀-PM₁ ($p = 0.074$; $r = 0.59$) et PM_{2,5}-PM₁ ($p = 0.037$; $r = 0.82$) indiquent qu'il n'y a pas de corrélation entre PM₁₀-PM₁.

Tableau 12 : Corrélations entre PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁

	PM ₁₀ -PM _{2,5}	PM ₁₀ -PM ₁	PM _{2,5} - PM ₁
Site urbain	0.79 ($p = 0.040$)	0.59 ($p = 0.074$)	0.82 ($p = 0.037$)

Cela implique que les PM₁₀ pourraient provenir d'activités anthropogéniques, de poussières géologiques, de suspension de poussières de route et de formation d'aérosols secondaires, ce qui est différent de l'émission de véhicules.

III.2. Recueil des données sanitaire

Concernant cette partie du travail, nous allons présenter les résultats des enquêtes épidémiologiques de la région d'étude. Il s'agit d'une analyse statistique descriptive des données de mortalité et de morbidité pour causes cardiovasculaires et respiratoires. Les patients seront donc classés selon leur sexe, leur âge et leur pathologie.

III.2.1. Problème de morbidité dans la région d'El Harrach

Les résultats illustrés par la (figure10) montrent que le nombre des hospitalisés augmentent de 2016 à 2017. Cela porte le nombre total de patients hospitalisés de 866 patients par 100.000 habitants en 2016 à 1102 patients par 100.000 habitants, en 2017.

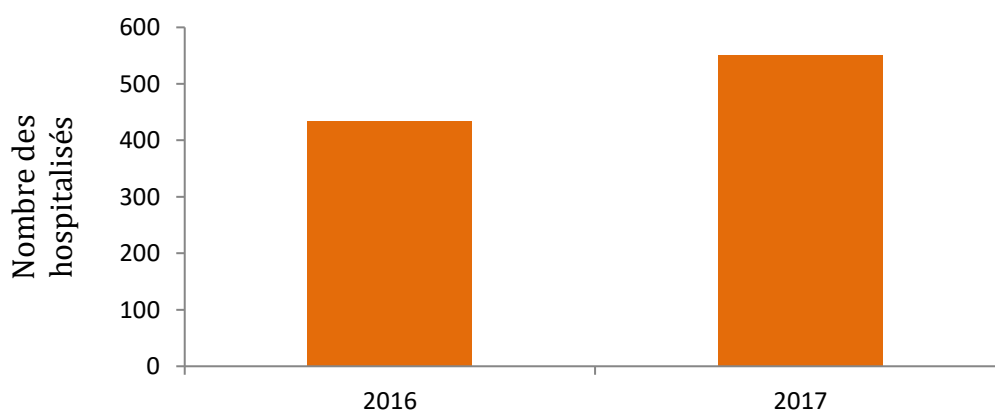
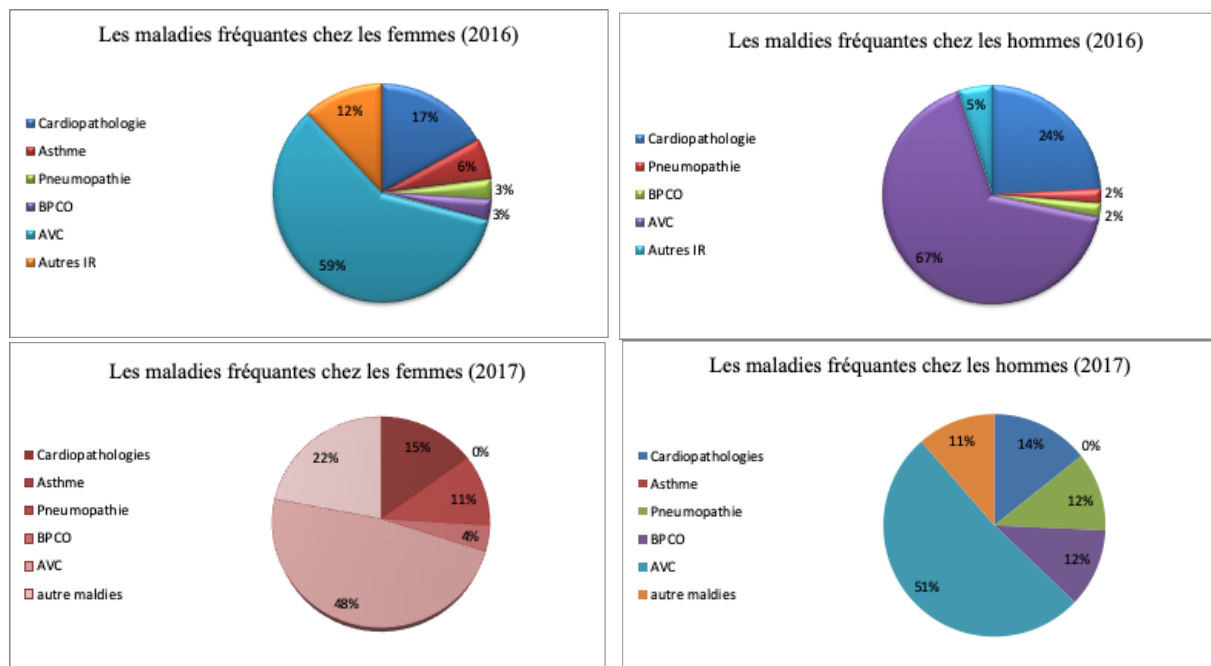


Figure 10 : Nombres standardisés (par 100.000 habitants) des hospitalisés pour causes cardiovasculaires et respiratoires à l'hôpital de Zmirli (El Harrach) pour les deux années de 2016 et 2017.

Cette augmentation de nombre de cas coïncide avec l'augmentation des concentrations en polluants mais, sur le plan épidémiologique, une période de deux n'est pas suffisante pour confirmer la cause à effet des polluants sur la santé.

III.2.2. Fréquences des pathologies à l'hôpital Zmirli

Les maladies qui pourraient être liées à la pollution atmosphérique extérieure, décrites par la (figure11), sont responsables d'une morbidité considérables dans la région d'El Harrach. Il s'agit des maladies cardiovasculaires, des Pneumopathies, des Broncho-Pneumopathies Chroniques Obstructives (BPCO), et d'autres maladies comme le cancer du poumon.



AVC : Accident Vasculaire Cérébral
 BPCO : BronchoPneumopathie Chronique Obstructive
 IR : Infection Respiratoire

Figure11: Répartition des patients de l'hôpital de Zemirli par maladie de 2016 à 2017.

Selon les secteurs de représentation des données de la figure 11, nous remarquons que les AVC et les maladies cardiovasculaires sont les maladies les plus fréquentes avec 84% cas cardiovasculaire de l'ensemble des pathologies et 9% pneumopathies pour la période 2016 - 2017.

III.2.3. Répartition des hospitalisés de l'hôpital de Zmirli selon l'âge

La distribution des pathologies cardiovasculaires et respiratoires varie très fortement selon la classe d'âge de la population. Les catégories d'âge qui affichent les valeurs les plus importantes (figure12) sont celle de 75 à 90 ans avec un effectif total de 70 individus par 100000 habitants et celle des personnes âgées de 60 à 75 ans avec un effectif total de 80 individus par 100000 habitants.

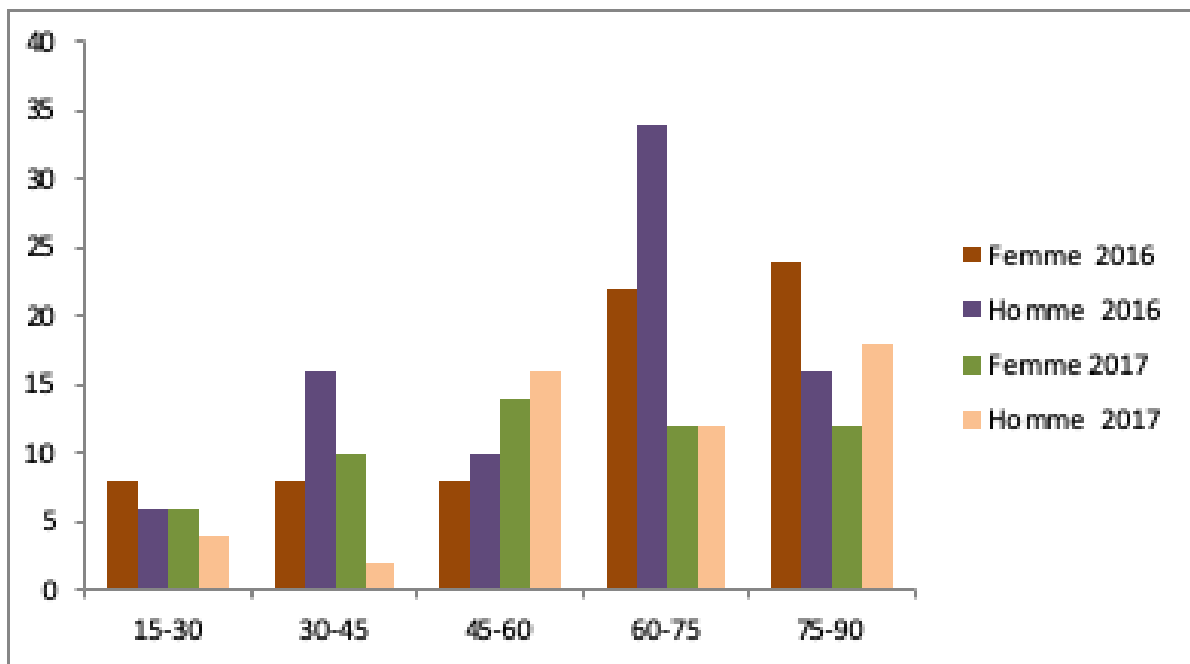


Figure12: Répartition des hospitalisés pour causes cardiovasculaires et respiratoires de l'hôpital de Zmirli selon l'âge.

Les effectifs les plus bas sont enregistrés chez les individus qui constituent les deux catégories de 15 à 30 ans et de 30 à 45 ans. Pour leur fragilité immunitaire, Les personnes âgées sont plus sensibles à la pollution atmosphérique, car leur organisme est moins bien protégé.

III.2.4. Répartition des hospitalisés de l'hôpital de Zmirli selon le sexe

Selon la figure 14, le nombre standardisé de femmes hospitalisées pour causes cardiovasculaires et respiratoires au service de médecine interne de l'hôpital de Zmirli, est plus élevé que celui des hommes 2016. Ce résultat s'explique par la faiblesse du système immunitaire des femmes. Par contre en 2017 le nombre standardisé des hommes est un peu plus élevé que celui des femmes. Ce résultat s'explique par le manque des données de diagnostics dans les registres du service médecine interne pour femmes.

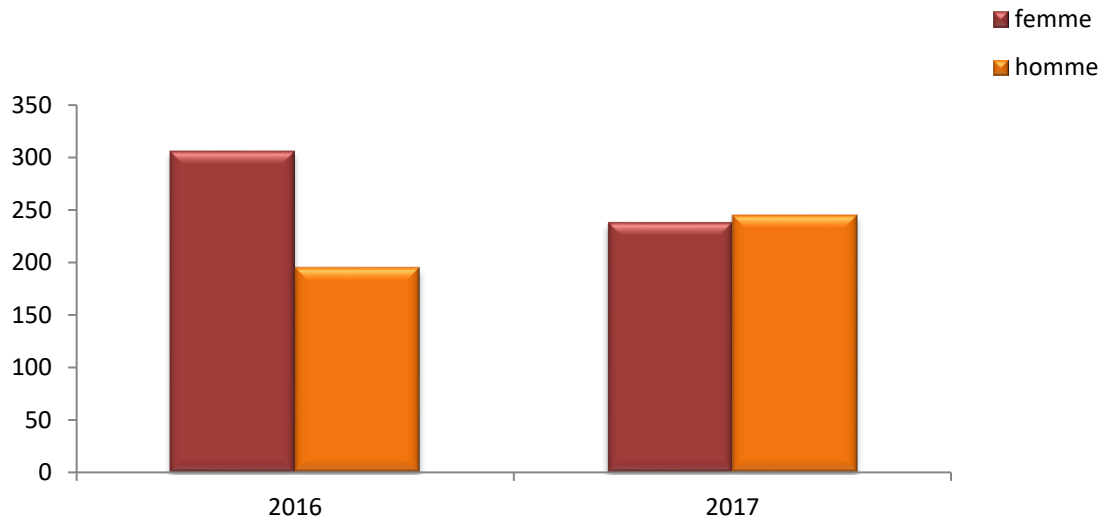


Figure13 : Répartition des hospitalisés pour causes cardiovasculaires et respiratoires de l’hôpital de Zmirliselon le sexe.

En examinant la répartition des pathologies entre les deux sexes et en combinant les résultats de la figure 11 avec ceux de la figure 14, on constate que les hommes sont plus touchés par les BPCO et les AVC que les femmes, car ils sont plus exposés à la pollution qu’elles. D’abord car ils sont pour la plupart, des fumeurs. Alors leurs systèmes respiratoires deviennent faibles car fumer augmente le risque d'AVC et de BPCO.

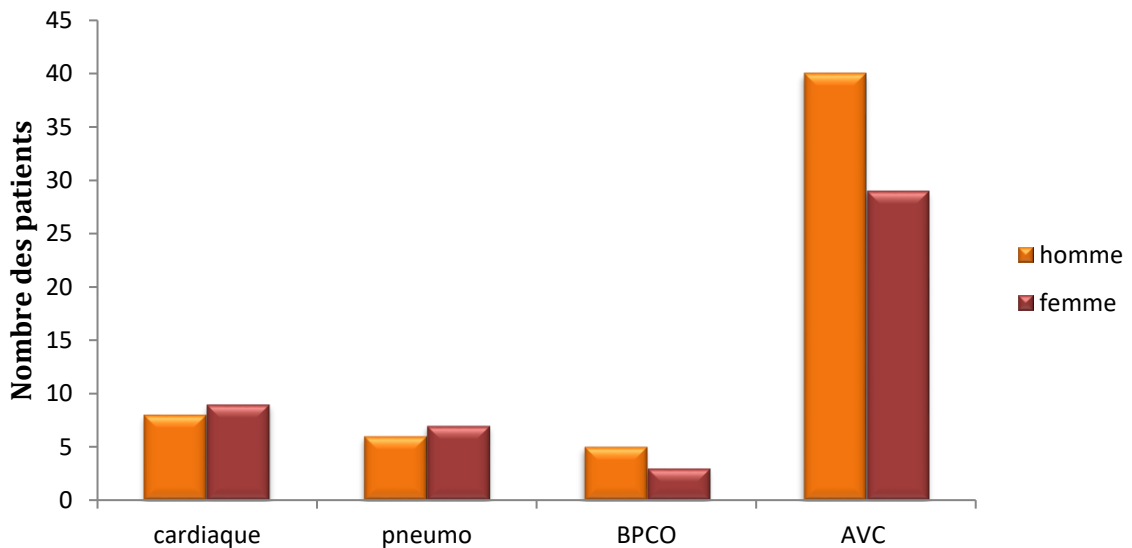


Figure 14 : Comparaison de nombres des maladies cardiorespiratoires entre les femmes et les hommes de 2016-2017.

En plus, les hommes se trouvent, pour longtemps dans la journée, dans les endroits où la pollution est élevée, comme les routes, contrairement aux femmes qui sont dans des endroits moins pollués.

III.3. Etude d'impact sanitaire

L'estimation de l'impact sanitaire à court terme dans notre étude est basée sur les indicateurs de pollution qui sont les concentrations des PM₁₀ et PM_{2.5} et O₃ et les deux seuls indicateurs de santé qui sont la morbidité totale et la morbidité par cause cardiovasculaire et respiratoire dans deux années de 2016 et de 2017.

L'Étude d'impact sanitaire a porté sur 49 000 habitants adultes, dont 433 hospitalisés en 2016 et 551 hospitalisés en 2017. Les scénarios sont basés sur le nombre de cas de référence observé dans 100 000 habitants appartenant à l'unité urbaine d'El Harrach, pour la pollution de l'air pour l'année 2017.

Les gains sanitaires de deux années et les deux cas de morbidité selon les différents scénarios sont présentés dans le tableau 13.

III.3.1. Gain sanitaire de morbidité totale

Selon notre EIS sur la région d'El Harrach et selon les différents scénarios qu'on a envisagés pour les hospitalisations toutes causes confondues, nous avons obtenus les résultats suivants :

- On évite peu d'hospitalisations en réduisant les concentrations de PM₁₀, PM_{2.5} et l'Ozone de (5µg/m³). Ainsi dans ce cas, on ne peut éviter que: 6 hospitalisations de l'année 2016 et 9 en 2017 pour chaque réduction au niveau de chaque polluants (PM₁₀, PM_{2.5} et O³).
- Pour le scénario d'Amsterdam avec les concentrations des PM₁₀ et PM_{2.5} (0µg/m³) et de (46µg/m³) pour l'Ozone, on pourrait éviter successivement 117, 57 et 371 hospitalisations.
- L'abaissement des concentrations des PM₁₀ et PM_{2.5} et l'Ozone de l'année 2016, vers celles de l'OMS (20µg/m³, 10µg/m³, 100µg/m³) permettrait d'éviter successivement 65, 31, et 244 hospitalisations.
- Pour le scénario de la norme européennes de la réduction des niveaux de fond des PM_{2.5} et qui consiste à ramener la moyenne de PM_{2.5} calculée et qui est de (33.05µg/m³) vers la valeur (8.05 µg/m³), à raison d'une diminution de sa concentration de (25 µg/m³), le nombre des hospitalisations évitable par année est de 11 pour toutes les pathologies.

Tableau 13 : Les gains sanitaires de deux années et les deux cas de morbidité selon les différents scénarios.

Scénario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2016						2017					
	Les cardiorespiratoire			Hospitalisé			Les cardiorespiratoire			Hospitalisé		
	PM10	PM2.5	O3	PM10	PM2.5	O3	PM10	PM2.5	O3	PM10	PM2.5	O3
S1	1	1	1	6	6	6	1	1	1	9	9	9
S2	16	8	53	92	45	291	11	5	35	117	57	371
S3	11	5	40	65	31	244	8	4	27	83	40	286
S4	11	2	40	65	11	244	8	13	27	83	14	286
S5	/	5	54	/	31	298	/	4	37	/	40	380
S6	11	4	/	65	24	/	8	3	/	83	31	/
S7	/	/	17	/	/	95	/	/	12	/	/	121

- Pour les PM₁₀ et l'Ozone, dans le scénario des valeurs guides européennes, on a trouvé les mêmes gains sanitaires avec le scénario précédant de l'OMS car les valeurs guides sont mêmes, celles de l'OMS, celle de l'Europe et celle des USA.
- La réduction de la concentration d'Ozone vers la norme de CCME (de 40 µg/m³) permettrait d'éviter jusqu'à 298 hospitalisations. Pour les PM₁₀ le même gain sanitaire avec le scénario selon VGOMS.
- Ramener les valeurs de PM_{2.5} de notre région d'étude et qui sont de 33.05 µg/m³ vers la valeur guide des US-EPA et qui est de 15 µg/m³ et qui permet de réduire la pollution de 18.05 µg/m³, permet d'éviter 24 cas des hospitalisés toutes causes confondues.
- L'abaissement du niveau de l'Ozone vers la norme algérienne de (200 µg/m³) permettrait d'éviter 95 hospitalisations, toutes causes confondues.

III.3.2. Gain sanitaire en terme de maladies cardiovasculaires et respiratoires

En ce qui concerne l'indicateur de santé (hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires), notre EIS sur la région d'El Harrach et qui est basée sur les différents scénarios étudiés, nous a donnée les résultats suivants :

- La réduction des concentrations des PM₁₀ et PM_{2.5} et l'Ozone de (5 µg/m³) permettrait d'éviter une seule hospitalisation cardiorespiratoire en 2016 et une seule en 2017 pour chaque diminution de chaque polluant.
- Avec le scénario d'Amsterdam et pour les diminutions dans les concentrations des PM₁₀ et PM_{2.5} et l'Ozone, on pourrait éviter successivement, au trois polluants, 16, 8 et 53 hospitalisations cardiorespiratoires.
- Avec le scénario de la norme OMS pour les concentrations des PM₁₀ et PM_{2.5} et l'Ozone, on aurait gagné successivement, aux polluantes, 11, 5 et 40 hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires.
- L'abaissement de la concentration des PM_{2.5} vers celles de la norme européenne ne permettrait d'éviter que deux (2) cas seulement d'hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires. On aurait les mêmes gains sanitaires que la valeur guide de l'OMS pour les PM₁₀ et l'Ozone.
- On éviterait 54 hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires quand on utilise la réduction de la concentration d'Ozone vers la norme de CCME.
- L'abaissement de la concentration de PM_{2.5} vers celles de l'US-EPA permettrait d'éviter 4 cas d'hospitalisations cardiovasculaires et respiratoires.

- La diminution du niveau de l'Ozone vers la norme algérienne permettrait d'éviter 17 hospitalisations de même genre que les précédents.

Les résultats des scénarios de 2016 sont proches de ceux de 2017 (à titre d'exemple, le gain sanitaire en terme des hospitalisations totales, en 2016 est de 6/100000 habitants contre 9/100000 habitants en 2017). Il y en a même des cas où les résultats sont vraiment identiques le cas du gain sanitaire en terme de maladies cardiovasculaires et respiratoires qui est d'un (1) seul cas pour les deux (2) années de 2016 et de 2017 et pour tous les polluants (voir tableau 13).

III.4.Comparaison des résultats avec ceux d'autres études

Nous avons constaté que les niveaux de pollution dans la région urbaine d'El Harrach, sont largement supérieurs aux valeurs guides de l'OMS ($78.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une VGOMS à $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour PM_{10}), et ($33.05\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une VGOMS à $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour $\text{PM}_{2.5}$) et ($270\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une VGOMS à $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'Ozone).

Ces résultats concordent avec ceux d'autres études faites dans d'autres régions de l'Algérie à savoir ceux de la région de Béjaia (Benaissa, 2016) et ceux de la région de Boumerdes (Abbas et al.,2019)et en France, à savoir ceux sur la région de Mulhouse (Palanchon,2012)et ceux sur la région parisienne(Host,2006).

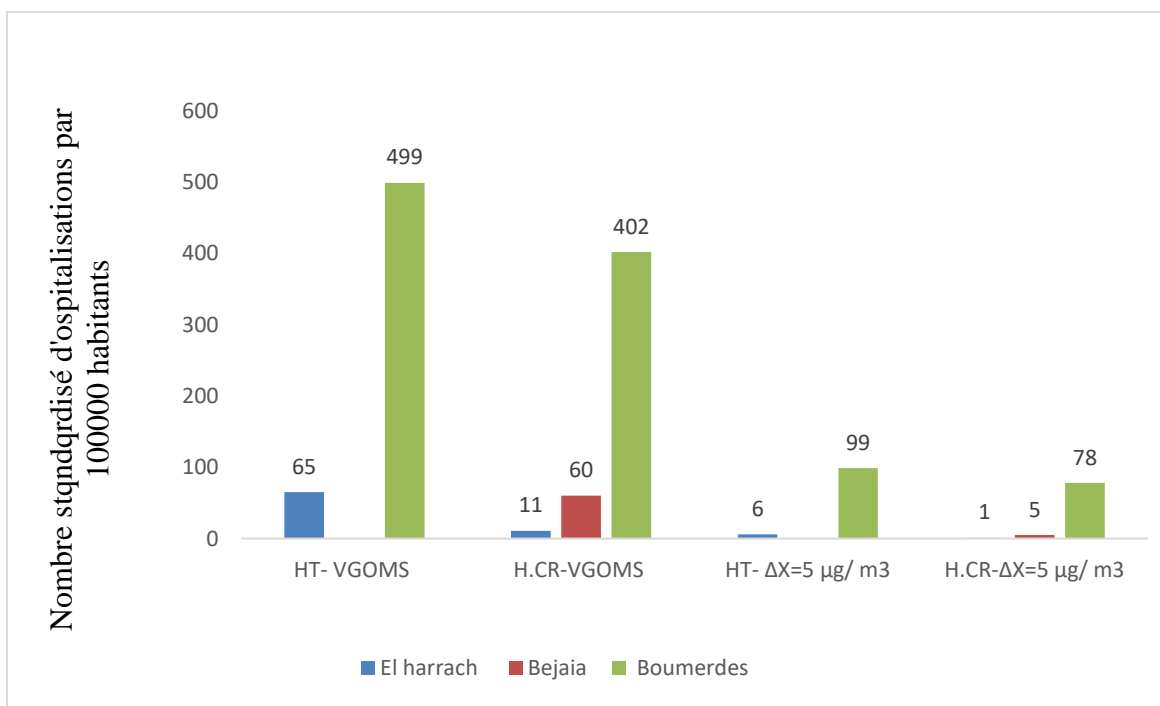
On s'est servi des études citée dans le paragraphe précédent pour discuter les résultats de notre EIS. En effet, nous n'avons que la possibilité de comparer deux scénarios (celui où $\Delta x=5\mu\text{g}/\text{m}^3$ et celui de la VGOMS et nous avons mis, en résumé, dans la figure 15 la comparaison des résultats des scénarios concernant les PM_{10} entre les trois régions (El Harrach, Bejaia, et Est de Boumerdes).

Les autres scénarios sont propres à notre étude et représentent une première initiative dans ce domaine de l'EIS surtout en Algérie.

Pour les deux scénarios de $\Delta x=5\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de la VGOMS, l'évaluation d'impact sanitaire réalisée dans notre région d'étude d'El Harrach montre que le gain sanitaire à court terme est très important en réduisant les concentrations moyennes annuelles des PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$ et l'Ozone en comparaison avec les régions françaises mais pas autant qu'à à Béjaia ou encore plus à Boumerdes.

Ainsi, si les niveaux annuels de particules respectaient les valeurs guides recommandées par l'OMS ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour PM_{10} , 65 hospitalisations (toutes causes confondues) par 100000 habitants, par an, pourraient être évités sur la période d'étude contre 499/100000 habitants à l'Est de Boumerdes. Comme on pourrait diminuer les hospitalisations cardiorespiratoires d'environ 11 par 100000 habitants contre 60 par 100000 habitants à Bejaia et 402 par 100000 habitants dans la région Est de Boumerdes.

Selon le premier scénario une réduction de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la valeur annuelle des niveaux de PM_{10} permettrait un gain sanitaire (concernant les hospitalisations totales) de l'ordre de 6/100000 habitants dans la région El Harrach contre 99/100000 habitants dans la région Est de Boumerdes. En parallèle, nous avons estimé qu'une réduction de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux mesurés, de PM_{10} , pourraient diminuer d'environ 1 par 100000 hospitalisations cardiorespiratoires contre 5 par 100000 habitants à Bejaia et 78/100000 habitants dans la région de Boumerdes.



HT : Hospitalisations totales
H/CR : Hospitalisations cardiorespiratoires
VGOMS : Valeurs guide de l'organisation mondiale de santé

Figure15 : Comparaison des résultats, des EIS réalisées dans les trois régions d'El Harrach, Béjaia et Boumerdes en utilisant PM_{10} comme indicateur de pollution.

Le respect de la valeur guide OMS pour les $PM_{2,5}$, soit une réduction de niveau moyen annuel de $PM_{2,5}$ de ($33.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$) à ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dans notre région d'étude (d'El Harrach) permet d'éviter 31 hospitalisations (toutes causes confondues), et 5 hospitalisations cardiorespiratoires par 100000 habitants contre 9.6 par 100000 habitants à l'agglomération de Mulhouse.

Pour une diminution des moyennes annuelles en $PM_{2,5}$ de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le gain sanitaire (en terme d'hospitalisations totale) est estimé à près de 6 par 100000 habitants par an, et un seul cas d'hospitalisation cardiorespiratoire par 100000 habitants contre 3.6 /100000 à l'agglomération de Mulhouse.

L'abaissement de la concentration de l'Ozone à la VGOMS ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) permettrait d'éviter 244 hospitalisations totales par 100000 habitants à El Harrach contre 98 par 100000 habitants dans l'agglomération parisienne. Pour l'Ozone et pour notre région d'El Harrach, le gain sanitaire en terme d'hospitalisations cardiorespiratoires est de l'ordre de (40/100000 habitants) selon le scénario de la VGOMS et de l'ordre de 1/100000 habitants selon le scénario de $\Delta x = 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Par contre les deux scénarios utilisés pour l'Ozone aboutissent à moins de (5/100000 habitants) concernant les hospitalisations cardiorespiratoires dans l'agglomération de Mulhouse.

Du point de vue santé publique, nos estimations indiquent clairement qu'il ne suffit pas de réduire les niveaux de la pollution atmosphérique de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mais ils doivent être ramenés au moins vers les VGOMS. Ainsi, il apparaît très intéressant d'agir sur la pollution particulaire de fond en commençant par installer une station de mesure permanente. Une EIS à long terme fournira une meilleure estimation concernant le gain sanitaire pour la réduction de la pollution de l'air à El Harrach. Ici, nous avons pris les indicateurs de pollution qui sont PM_{10} $PM_{2,5}$ et l'Ozone alors que plusieurs autres polluants peuvent être utilisés dans les EIS-PA pour estimer l'impact sanitaire.

III.5.Conclusion

Selon les résultats obtenus de cette étude l'enjeu de santé publique est donc de réduire le risque de la population, résultant d'une exposition chronique même à des niveaux modérés. Sachant qu'il n'existe pas de seuil en deçà duquel la pollution n'a pas d'effet sur la santé, toute baisse de la pollution se traduirait par une diminution des événements sanitaires, et nous avons constaté que les valeurs des PM_{10} et l'Ozone très élevés et dépassaient les valeurs définies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Cela a conduit à l'augmentation des maladies causées par la pollution atmosphérique, en particulier chez adultes, et surtout entraînent une forte proportion de maladies cardiovasculaires et respiratoires. Un gain sanitaire conséquent ne pourra être obtenu qu'à condition de parvenir à une amélioration durable de la qualité de l'air tout au long de l'année.

Conclusion générale

Conclusion générale

La pollution atmosphérique est l'une des atteintes à l'environnement des mieux perçues par la population humaine. Ses conséquences sanitaires et environnementales sont néanmoins encore considérables et beaucoup d'efforts sont encore à faire en matière de réduction et de prévention, notamment dans les pays en voie de développement.

Plusieurs études épidémiologiques documentent les impacts sanitaires à court terme de cette pollution, et s'accordent à retrouver des associations significatives entre de fortes concentrations d'ozone, et une augmentation de la mortalité et des hospitalisations pour causes respiratoires. Les particules fines (PM₁₀) (PM_{2,5}) sont également associées à une augmentation de la mortalité toutes causes, et une augmentation des hospitalisations pour causes respiratoires et cardiovasculaires.

Dans la synthèse que nous avons faite sur les études précédentes de la pollution atmosphérique, réalisées sur Alger, nous avons observé que les concentrations de particules et de l'Ozone dépassaient les valeurs guides de l'OMS, les valeurs limites de l'UE et même les valeurs limites algériennes.

Notre EIS, que nous avons présentée dans ce manuscrit, fournit une estimation des avantages pour la santé de l'amélioration de la qualité de l'air pour les résidents d'El Harrach. C'est un outil d'aide à la décision qui permet aux autorités de planifier et de mettre en œuvre des mesures pour mieux protéger cette population. Il est nécessaire de mettre en œuvre une politique de protection de la santé individuelle et publique des citoyens visant à réduire la pollution. Évaluer le degré réel de pollution urbaine et surveiller en permanence la qualité de l'air à El Harrach.

Cette étude montre qu'un nombre non négligeable d'événements sanitaires, survient en raison de niveaux de pollution atmosphérique encore trop élevés dans la région El Harrach. La pollution atmosphérique peut elle-même être responsable de la survenue de pathologies telles que l'asthme et la BPCO.

En perspective cette étude épidémiologiques peut être complétées par :

- La réalisation, dans la même région, des scénarios à base de l'indicateur de santé (morbidité).
- L'augmentation de la période concernée par les enquêtes et la prise en compte de la situation sanitaire à long terme.
- La profession des patients et la prise en considération de la consommation du tabac.

Conclusion générale

- Un meilleur dénombrement des effets sanitaires (mortalité, admissions hospitalières) et la prise en compte des admissions aux urgences.
- Le suivi d'exposition d'individus et non de toute la population supposée.
- Faire d'autres analyses sur la pollution et les impacts sur la santé non seulement au sein de l'unité géographique minimale de la commune d'El-Harrach mais aussi au sein d'autres communes de la même région et d'autre grandes ville comme, Blida, Annaba....
- En fin l'installation de réseau de mesures de polluants pour un pays comme l'Algérie permet de mener des actions pour réduire la pollution atmosphérique.

Résumé

Le trafic routier y est responsable de la plus grande part des rejets polluants dans l'atmosphère, bien plus que les autres sources d'émissions, contribuant ainsi à une dégradation de la qualité de l'air, qui est confirmée par les mesures des concentrations des polluants dans la région Alger .donc Pour évaluer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur la population d'El Harrach, nous avons tout d'abord effectué une enquête épidémiologique descriptive auprès de l'établissement sanitaire de la région urbaine d'El-Harrach . Ensuite nous avons mené une Evaluation d'Impact Sanitaire de la Pollution Atmosphérique (EIS-PA) au niveau de la ville d' El-Harrach (49 000 habitants) pour sept (7) scénarios de réduction dans les niveaux de PM10, PM2.5 et l'Ozone .A partir des registres hospitalisations, nous avons recueilli des données sur les hospitalisations totale et les hospitalisations cardio-respiratoires engendrées par ce type de pollution .Cette étude a révélé que l'ensemble de la population est touchée, mais la sensibilité à la pollution peut montrer les variations selon l'âge, le sexe. Cette approche nous a permis de conclure que la population de EL –Harrach ne pouvait pas échapper à la pollution urbaine.

Mots clés: Pollution Atmosphérique, impact sanitaire, EIS, PM₁₀, PM_{2.5}, l'ozone, El-Harrach, Zemirli.

Abstract

Road traffic is responsible for the majority of pollutant discharges into the atmosphere, much more than other sources of emissions, thus contributing to a deterioration of air quality, which is confirmed by the measurements of concentrations. pollutants in the Algiers region. So to assess the health impact of air pollution on the population of El Harrach, we first carried out a descriptive epidemiological survey with the health establishment in the urban region of El-Harrach. Then we carried out a Health Impact Assessment of Atmospheric Pollution (HIA-PA) at the level of the city of El-Harrach (49,000 inhabitants) for seven (7) scenarios of reduction in the levels of PM10, PM2. 5 and Ozone. From the hospitalization registers, we collected data on total hospitalizations and cardio-respiratory hospitalizations caused by this type of pollution. This study revealed that the entire population is affected, but the sensitivity to pollution can show variations by age, sex. This approach allowed us to conclude that the population of EL –Harrach could not escape the urban pollution.

Key words : Atmospheric pollution, health impact, EIS, PM10, PM25, Ozone, El-harrach, Zemirli.

