

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا

Ecole National Supérieur de Technologie

Département : Génie Logistique Et Transport

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'Etat

Filière : INGENIERIE DES TRANSPORTS

Spécialité : GENIE DES TRANSPORTS

- Thème -

Estimation des émissions de polluants atmosphériques des déplacements par
Véhicules particuliers : Cas d'une zone d'Alger centre

Réalisé par

SABTI Sofiane Abdelhek

Les membres de Jury :

Mme Nine Halima / MCB	Présidente
Mme Tabti Amina / MCB	Promotrice
Mr Talbi Tayeb / MAB	Examinateur
Mme Moulai Ratiba / MAB	Examinatrice

Alger, le 26/06/2023

Année universitaire 2022/2023

Dédicaces

À mes parents **Mohammed** et **Fatima Zohra**, mes premiers éducateurs, qui m'ont inculqué les valeurs de persévérance et de détermination. Votre amour inconditionnel et votre soutien constant ont été la force motrice derrière chacune de mes réalisations.

À mes sœurs **Ibtissam**, **Ikram** et **Ilham** qui ont toujours été présentes pour moi. Votre amour, votre soutien et votre présence ont fait de moi la personne que je suis aujourd'hui. Je suis profondément reconnaissant de vous avoir dans ma vie et je vous remercie d'avoir été mes piliers tout au long de cette aventure.

À toute ma famille, grands-parents, tantes et oncles je vous exprime ma gratitude pour tous vos encouragements.

À mes amis, je vous suis reconnaissant pour tous vos encouragements, votre aide ainsi que votre amitié qui a été un soutien précieux.

À mes professeurs et encadrants pédagogiques, dont la passion pour l'enseignement et le partage du savoir ont façonné ma vision et élargi mes horizons professionnels. Vos conseils éclairés et votre engagement indéfectible ont été des pierres angulaires de ma réussite.

Que ce mémoire soit un témoignage de ma gratitude envers tous ceux qui ont contribué à ma réussite académique. C'est avec humilité que je dédie ce travail à ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenu.

SABTI Sofiane Abdelhek

Remerciements

Je remercie tout d'abord, le Bon Dieu, le tout puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

C'est avec un grand plaisir que, j'adresse mes sincères remerciements à l'égard de ma promotrice, Madame TABTI Amina, Maitre de conférences à l'ENST, pour avoir accepté de diriger ce travail. Sa disponibilité, Son soutien, Sa clairvoyance et ses compétences m'ont été une aide inestimable.

Mes remerciements s'adressent également à mon promoteur de stage Monsieur AMIMER Chef de département Topographie et Géotechnique au sein du bureau d'études des transports-BETUR, de m'avoir accueillie dans son équipe. Sa gentillesse, sa riche expérience et ses précieuses directives tout au long de la réalisation de ce travail m'ont beaucoup impressionné.

Je tiens à remercier sincèrement les membres de jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.

A tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur contribution à la réalisation de ce travail, je vous prie de trouver l'expression de ma profonde reconnaissance.

SABTI Sofiane Abdelhek

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale : 1

Chapitre 1 : Pollution atmosphérique et transport routier.

Introduction : 4

1 Pollution de l'air atmosphérique : 4

1.1 Structure de l'atmosphère : 5

1.2 Composition de l'atmosphère terrestre : 6

1.3 Echelles de la pollution atmosphérique : 8

1.4 Polluants atmosphériques : 8

1.5 Sources de pollution atmosphérique : 9

1.6 Conséquences de la pollution atmosphérique : 10

1.6.1 Sur la santé : 11

1.6.2 Sur l'environnement : 12

2 Transport routier comme source de pollution : 14

2.1 Polluants émis par le transport : 15

2.2 Facteurs influençant les émissions véhiculaires : 16

2.3 Sources d'énergie des transports routiers : 18

2.4 Actions contre la pollution atmosphérique liée aux transports : 20

3 Transport et pollution atmosphérique en Algérie : 20

Conclusion : 24

Chapitre 2 : Méthodologie d'estimation des polluants.

Introduction : 26

1 Généralités sur les mesures des polluants atmosphériques : 26

1.1 Répartitions des véhicules : 26

1.2 Inventaire d'émission : 27

1.3 Cadastre d'émission : 28

1.4 Nomenclature : 28

1.5	Facteur d'émission :	29
2	Modélisation de la pollution atmosphérique :	29
2.1	Base de la modélisation des émissions :	29
2.2	Type des modèles d'estimation de la pollution atmosphérique :	31
2.3	Modèle de quantification des émissions atmosphérique :	32
3	Méthodologie d'élaboration des estimations :	33
4	Elaboration des facteurs d'émission :	37
	Conclusion :	38

Chapitre 3 : L'aire d'étude et collecte de données.

	Introduction :	41
1	Présentation de l'aire d'étude :	41
1.1	Contexte général de l'air d'étude :	42
1.2	Délimitation de l'aire d'étude :	44
2	Enquête et analyse :	46
2.1	Enquête de stationnement :	46
2.1.1	Déroulement de l'enquête :	47
2.1.2	Offre de stationnement :	48
2.1.3	Demande de stationnement :	50
2.2	Enquête par interview :	53
2.2.1	Echantillonnage :	53
2.2.2	Déroulement du sondage :	54
2.2.3	Généralisation des résultats :	55
	Conclusion :	55

Chapitre 4 : Estimation de la pollution atmosphérique sur aire d'étude.

	Introduction :	58
1	Etat des lieux :	58
1.1	Les caractéristiques des conducteurs :	59
1.2	Les caractéristiques des véhicules :	60
1.3	Les caractéristiques des déplacements :	63
2	Evaluation de la pollution atmosphérique :	64
2.1	Méthodologie d'estimation des émissions :	65
2.2	Quantification des émissions atmosphériques :	66

2.2.1	Facteurs d'émission :	67
2.2.2	Emission des polluants réglementés :	69
2.2.3	Emission de dioxyde de carbone :	70
	Conclusion :	71
	Conclusion générale :	74
	Annexes	74
	Annexe A : questionnaire de l'enquête par interview aux conducteurs.	77
	Annexe B : les facteurs d'émission.	78
	Bibliographie	80

Liste des figures

Figure 1 : Structure globale de l'atmosphère.....	6
Figure 2 : Échelles géographiques de la qualité de l'air.	8
Figure 3 : Échelles spatiales et temporelles des différents composés.	13
Figure 4 : Source énergétique du transport routier.	19
Figure 5 : Méthodologie de réalisation d'un inventaire des émissions.....	30
Figure 6 : Classification des modèles d'émissions.....	32
Figure 7 : Photo satellite de la métropole d'Alger.	43
Figure 8 : Délimitation géographique de l'air d'étude.	45
Figure 9 : Découpage de l'air d'étude.	46
Figure 10 : Répartition de l'offre de stationnement par zone selon la réglementation.	49
Figure 11 : Circuits enquêtés.....	51
Figure 12 : Répartition de la demande de stationnement.	52
Figure 13 : Répartition des conducteurs selon le sexe.	59
Figure 14 : Répartition des conducteurs selon la catégorie socioprofessionnelle.	60
Figure 15 : Répartition des véhicules par type.	60
Figure 16 : Répartition des véhicules selon type de carburant dans l'aire d'étude.	61
Figure 17 : Répartition des véhicules par cylindrée.	62
Figure 18 : Répartition des véhicules par norme euro et carburants.	62
Figure 19 : Origines des déplacements.....	63
Figure 20 : Méthodologie de calcul des émissions.....	66
Figure 21 : Evolution du facteur d'émission du NOx par rapport à la vitesse.	68

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux composants de l'atmosphère.	7
Tableau 2 : Consommation énergétique nationale (MTep).	22
Tableau 3 : Offre de stationnement sur voirie.	49
Tableau 4 : Tableau récapitulatif de l'offre de stationnement.	50
Tableau 5 : Demande de stationnement par circuit.	51
Tableau 6 : Demande de stationnement sur voirie.	52
Tableau 7 : Demande de stationnement par zone.	53
Tableau 8 : Echantillon du sondage.	53
Tableau 9 : Répartition de l'échantillon pour les zones 1, 2 et 3.	54
Tableau 10 : Suivi avancement sondage.	54
Tableau 11 : Les Coefficients de redressement par zone.	55
Tableau 12 : Répartition des conducteurs par catégorie d'Age.	59
Tableau 13 : Les motifs des déplacements.	64
Tableau 14 : Facteurs d'émission moyen par type de carburants.	67
Tableau 15 : Facteur d'émission par norme Euro.	68
Tableau 16 : Émissions quotidiennes de polluants réglementés par zone d'étude.	69
Tableau 17 : Émissions quotidiennes de CO ₂ par zone d'étude.	70
Tableau 18 : Émissions moyennes par personne dans la zone d'étude.	70
Tableau 19 : Émissions quotidiennes de polluants réalisés sur Alger centre.	71

Liste des abréviations

2R: les deux-roux

Ar: Argon

BETUR: Bureau d'Etudes des Transports Urbains

C20H12: Le benzo(a)pyrène

CFCs: Chlorofluorocarbons

CH4: Méthane

CITEPA: Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

CO: le monoxyde de carbone

CO2: Dioxyde de Carbone

COV: composés organiques volatils

COPERT: Computer Program to Calculate Emissions from Road Transport

EEA: l'Agence européenne pour l'environnement

EGCTU: Entreprise de Gestion de la Circulation et du Transport Urbain

EMEP: programme européen de suivi et d'évaluation

EMHV: Esters méthyliques d'huiles végétales.

EPA: Agence de Protection de l'Environnement

GNV: gaz naturel pour véhicules

GPL: le gaz de pétrole liquéfié

H₂SO₄: acide sulfurique

H₂: Hydrogène

H₂O: Vapeur d'eau

HAP: Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

HBEFA: Handbook of Emission Factors

He: Hélium

HNO₃: Acide nitrique

hPa: hectopascal, unité de pression utilisée en météorologie.

IFSTTAR: Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

IEA: Agence internationale de l'énergie

INERIS: L'Institut national de l'environnement industriel et des risques

Kr: Krypton

Ktep: Kilotonne tonnes d'équivalent pétrole

Mtep: Million de tonnes équivalent pétrole

MOVES: simulateur d'émissions des véhicules motorisés

N2: Azote

N2O: Oxyde nitreux

NAEI: National Atmospheric Emissions Inventory

Naftal: la Société nationale de commercialisation et de distribution de produits pétroliers

Ne: Néon

NOx: les oxydes d'azote

O2: Oxygène

O3: l'ozone troposphérique

OMS: Organisation mondiale de la santé

Pb: le plomb

PL: les poids lourds

PM: les particules fines

SECTEN: SECTeurs économiques et ENergie

SIG: Système d'Information Géographique

SNAP: Selected Nomenclature for Air Pollution

SO2: dioxyde de soufre

SOx: les oxydes de soufre

UV: ultraviolets

VP: les voitures particulières

VUL: les véhicules utilitaires légers

Introduction Générale

Introduction générale :

La qualité de l'air atmosphérique est un enjeu majeur de notre époque, étroitement lié à la préservation de notre santé et de l'environnement. Les polluants atmosphériques, émis par diverses sources, ont des conséquences néfastes sur notre bien-être et sur l'équilibre écologique. Un exemple alarmant est le nombre de décès prématurés provoqués par la pollution de l'air ambiant (extérieur) dans le monde, qui s'élève à environ 4,2 millions. Parmi ces sources, le transport routier est particulièrement préoccupant en termes d'émissions polluantes.

Le transport routier contribue de manière significative à la pollution de l'air, notamment à travers les émissions provenant des véhicules particuliers. Ces véhicules émettent un cocktail de polluants atmosphériques, principalement issus de la combustion des carburants fossiles utilisés pour les faire fonctionner. Il est donc essentiel de comprendre les émissions de polluants atmosphériques résultant des déplacements en véhicule particulier, plus précisément dans les zones urbaines à forte densité de circulation. La quantification de ces émissions joue un rôle crucial dans l'élaboration de stratégies de gestion et de politiques efficaces visant à améliorer la qualité de l'air et à réduire les impacts néfastes sur la santé publique.

La réalisation des estimations des substances nocives émises par le transport repose principalement sur des modèles de calcul développés majoritairement par les pays avancés. Ces calculs dépendent de multiples paramètres liés aux véhicules et aux déplacements.

Le présent mémoire se concentre sur une évaluation des émissions de polluants atmosphériques dues aux déplacements en véhicule particulier vers une zone spécifique de la commune d'Alger Centre, en Algérie. Le choix d'Alger Centre a été motivé par le fait qu'il s'agit d'une région urbaine densément peuplée, riche en générateurs de trafic et fortement dépendante de la circulation automobile, attirant ainsi un nombre important de déplacements effectués principalement en voiture. La région est confrontée à des défis environnementaux majeurs, similaires à de nombreux pays à travers le monde. Il convient de noter que cette étude ne couvre qu'une partie de la commune d'Alger Centre, précisément la façade Nord s'étendant de ses frontières avec la commune de Sidi M'Hamed jusqu'à celles avec la commune de la Casbah. Cette approche a été adoptée afin de réaliser l'étude de manière réaliste, en tenant compte des ressources disponibles et des contraintes de temps.

La détection, l'identification et la quantification des polluants atmosphériques émis par le transport restent encore méconnues et très difficiles à évaluer. En Algérie, l'absence de données pertinentes et efficaces, ainsi que l'inexistence d'un modèle d'estimation propre au pays, constituent l'une des principales causes de la rareté des estimations des différents polluants.

Il devient donc essentiel de trouver une méthodologie appropriée pour réaliser des estimations d'émissions liées aux transports en Algérie. Ces estimations revêtent une importance majeure dans la présentation de l'état environnemental du secteur des transports, et elles sont d'une utilité cruciale dans l'élaboration de politiques publiques visant un développement durable.

Le document actuel est divisé en deux parties distinctes. La première partie aborde les concepts théoriques généraux liés à la pollution atmosphérique et aux transports, ainsi que les méthodologies d'estimation existantes. Une revue de la littérature des recherches antérieures a été effectuée dans ce contexte.

La deuxième partie se concentre sur les détails de la méthodologie de collecte des données, qui repose sur des enquêtes et des sondages sur le terrain. Ces enquêtes comprennent une enquête de stationnement visant à recenser le nombre de déplacements effectués en voiture, ainsi qu'une enquête auprès des conducteurs pour collecter des données qualitatives et quantitatives pertinentes. De plus, une approche d'estimation des émissions de polluants liées aux transports a été développée en s'inspirant des modèles européens NAEI et COPERT. Ensuite, une application concrète de cette méthodologie a été réalisée dans la zone d'étude spécifique d'Alger Centre, afin d'estimer les émissions résultant des déplacements en voiture vers cette zone. Pour cette étude, nous avons choisi de nous intéresser aux niveaux d'émissions de CO, HC, NOx, PM, qui sont des polluants réglementés selon le décret exécutif n° 03-410, ainsi qu'au CO₂ en raison de son importance en tant qu'un des principaux gaz à effet de serre et de ses émissions significatives dans l'air.

Les résultats de cette étude visent à apporter une contribution significative en termes de méthodologie et fourniront des informations précieuses sur la contribution des déplacements en véhicule particulier vers la zone d'étude aux émissions de polluants atmosphériques. Ces résultats pourront être utilisés par les autorités locales et les décideurs pour élaborer des politiques de gestion de la qualité de l'air plus efficaces, promouvoir des modes de transport durables et protéger la santé des résidents de la région.

Chapitre 1 :

Pollution atmosphérique et transport routier.

Introduction :

De nos jours, la pollution de l'air est devenue un enjeu majeur qui a d'importantes conséquences sur la santé et l'environnement. Le secteur des transports est l'une des activités qui préoccupe de plus en plus la communauté mondiale pour la pollution atmosphérique qu'ils émettent. Très difficile à évaluer, les impacts et les effets de cette pollution sont souvent soumis à des révisions régulières de la réglementation et un suivi des normes à appliquer, et ce afin de limiter les émissions de polluants et de réduire les risques associés.

Le premier chapitre a pour objectif d'expliquer les impacts de la pollution atmosphérique sur le plan planétaire, régional et local. Nous commencerons par présenter de manière succincte et générale la pollution atmosphérique, objet de mémoire. Nous expliquerons la composition de l'atmosphère et identifierons les polluants les plus courants liés à cette problématique. Par la suite, nous aborderons l'interaction entre le transport et la pollution en identifiant les principales émissions générées, particulièrement celles liées au mode routier. Au final, nous détaillerons les facteurs qui influencent les émissions produites par les automobiles, ainsi que, les normes et réglementations susceptibles de réguler ces émissions.

1 Pollution de l'air atmosphérique :

La pollution de l'air est définie par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)¹ comme la présence de substances chimiques, physiques ou biologiques qui altèrent les propriétés naturelles de l'atmosphère, que ce soit dans l'environnement intérieur ou extérieur. Elle est caractérisée, selon Admassu et Wubeshet (2006), par la présence de certaines substances en concentrations telles qu'elles peuvent causer des effets indésirables sur l'environnement et la santé humaine. Bien que la plupart de ces substances soient naturellement présentes dans l'atmosphère à des concentrations faibles, leur présence accrue peut être nocive². En effet, la pollution de l'air, qui est un mélange de substances telles que les produits chimiques réactifs et les matières biologiques comme les pollens, peut entraîner des problèmes de santé lorsqu'elle

¹ OMS. (s.d.). Pollution atmosphérique. Organisation mondiale de la santé. Consulté le 10 mai 2023. A partir de https://www.who.int/fr/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

² Admassu, W., & Wubeshet, S. (2006). Air Pollution. Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management. University of Gondar. Ethiopia.

est inhalée³. Cette pollution est produite par diverses sources, qu'elles soient d'origine humaine, comme la combustion de combustibles fossiles, ou naturelle, comme les éruptions volcaniques ou les incendies de forêt⁴. Elle se manifeste principalement dans la couche limite de la troposphère, mais peut également se produire dans la stratosphère pour les polluants à durée de vie plus longue. Les niveaux de polluants dans l'air dépendent de divers facteurs, tels que leur nature et les conditions météorologiques, ainsi que de l'intensité de la source de pollution⁵.

Afin de mieux expliquer ce phénomène, il est important de connaître avant tout, la structure générale de l'atmosphère. Cette structure est importante pour comprendre la circulation atmosphérique, les phénomènes météorologiques et la composition de l'air⁶.

1.1 Structure de l'atmosphère :

L'atmosphère terrestre est une enveloppe gazeuse protectrice indispensable pour la survie sur Terre. Elle est composée de quatre couches principales qui diffèrent en altitude, densité et température: la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère.

La troposphère est la couche la plus proche de la surface terrestre. S'étendant jusqu'à une altitude d'environ 10 à 15 km, elle est caractérisée par une décroissance de la température avec l'altitude et est le lieu où se produisent la plupart des phénomènes météorologiques. Quant à la stratosphère, elle se situe au-dessus de la troposphère, s'étendant de 10 km à 50 km d'altitude. Sa température augmente avec l'altitude en raison de l'absorption du rayonnement solaire par l'ozone stratosphérique, offrant ainsi une protection contre les rayonnements UV nocifs. Par contre, La mésosphère se trouve entre 50 et 85 km d'altitude, caractérisée par une température en décroissance rapide et une faible densité atmosphérique. Elle joue un rôle dans la protection contre les météores et les débris spatiaux. La thermosphère qui se situe, au-delà de 85 km d'altitude, présente un fort gradient de température en raison du rayonnement solaire intense, mais la notion de température conventionnelle devient moins pertinente en raison de la raréfaction des molécules de gaz. Les particules commencent à interagir avec le vent solaire

³ Balmes, J. R. (2011). Environmental and Occupational Health Assembly: Air Pollution and Health. American Thoracic Society Patient Health Series.

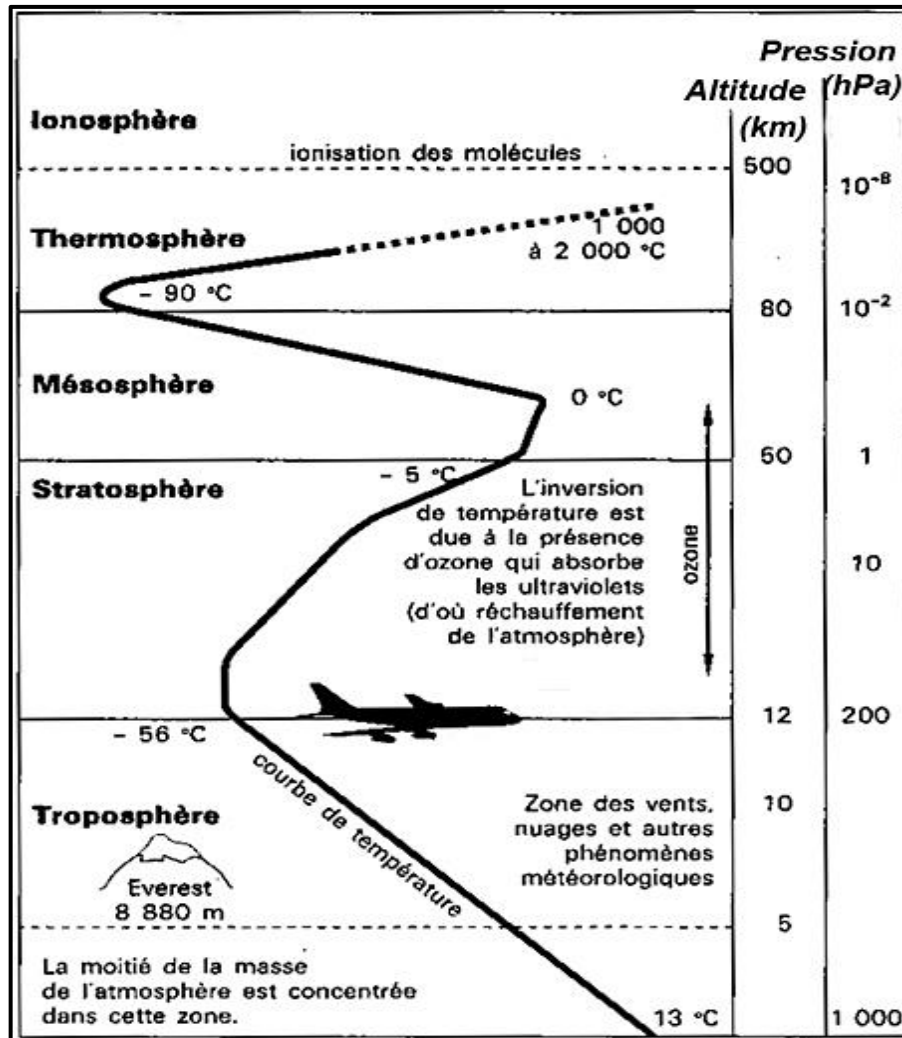
⁴ Mayer, H., (1999). Air pollution in cities, Atmospheric environment, 33, 4029-4037

⁵ Sportisse, B. (2008). Pollution atmosphérique: Des processus à la modélisation. SpringerVerlag France. Paris, 2008. 345 p. (Ingénierie et développement durable).

⁶ Spiga, A. (2013-2014). Introduction aux sciences de l'atmosphère. Cours niveau licence. Laboratoire de Météorologie Dynamique (Institut Pierre-Simon Laplace), Université Pierre et Marie Curie.

à ces altitudes élevées. Ci-après un schéma décrivant la structure de l'air atmosphérique (Figure 1):

Figure 1 : Structure globale de l'atmosphère.



Source : (DIDIER Pol - fondation la main à la pâte)

1.2 Composition de l'atmosphère terrestre :

La qualité de l'air est caractérisée par la composition chimique des couches basses de l'atmosphère en interaction avec la biosphère et les populations.

Bien que le terme "air pur" soit souvent utilisé pour décrire un air naturel sans polluants, composé uniquement de dioxygène et de diazote, il est important de noter que l'air pur n'a jamais existé naturellement en raison des nombreux processus physiques, biologiques et chimiques qui ont façonné la composition réelle de l'atmosphère depuis la formation de la

Terre. L'atmosphère actuelle est considérablement différente de l'atmosphère naturelle qui existait avant la Révolution industrielle (vers 1760), en termes de composition chimique⁷.

Au XVIIIème siècle, Antoine-Laurent de Lavoisier a fourni la première composition de l'air en décrivant l'air de l'atmosphère comme un mélange de gaz, avec environ un quart d'oxygène et trois quarts d'azote⁸.

Aujourd'hui, La composition de l'atmosphère terrestre est principalement composée d'azote et d'oxygène, représentant près de 99% de la masse et du volume total. Cependant, d'autres gaz tels que le dioxyde de carbone, l'ozone et la vapeur d'eau sont également présents en quantités variables et jouent un rôle important dans les processus atmosphériques en raison de leurs propriétés radiatives et thermodynamiques. En plus de ces gaz naturels et de la vapeur d'eau, des polluants atmosphériques tels que la poussière, la fumée et les gaz toxiques peuvent être présents à des niveaux variables dans les couches inférieures de l'atmosphère, ce qui a un impact significatif sur la qualité de l'air et la santé humaine⁹.

Tableau 1 : Principaux composants de l'atmosphère.

Constituants	Rapport de mélange
Azote (N2)	78%
Oxygène (O2)	21%
Argon (Ar)	0.93%
Vapeur d'eau (H2O)	0-5%
Dioxyde de Carbone (CO2)	380 ppmv
Néon (Ne)	18 ppmv
Hélium (He)	5 ppmv
Méthane (CH4)	1.75 ppmv
Krypton (Kr)	1 ppmv
Hydrogène (H2)	0.5 ppmv
Oxyde nitreux (N2O)	0.3 ppmv
Ozone (O3)	0-0.1 ppmv

Source : (Spiga, 2013-2014)

⁷ T.S. Ashton, *The Industrial Revolution, 1760-1830*, London: Oxford University Press, 1948.

⁸ François, S. (2004). *Méthodologie d'établissement de cadastres d'émissions à l'échelle régionale: Application au cadastre Escompte et à son extension à la région PACA*, Thèse de l'université Louis Pasteur-Strasbourg 1-France.

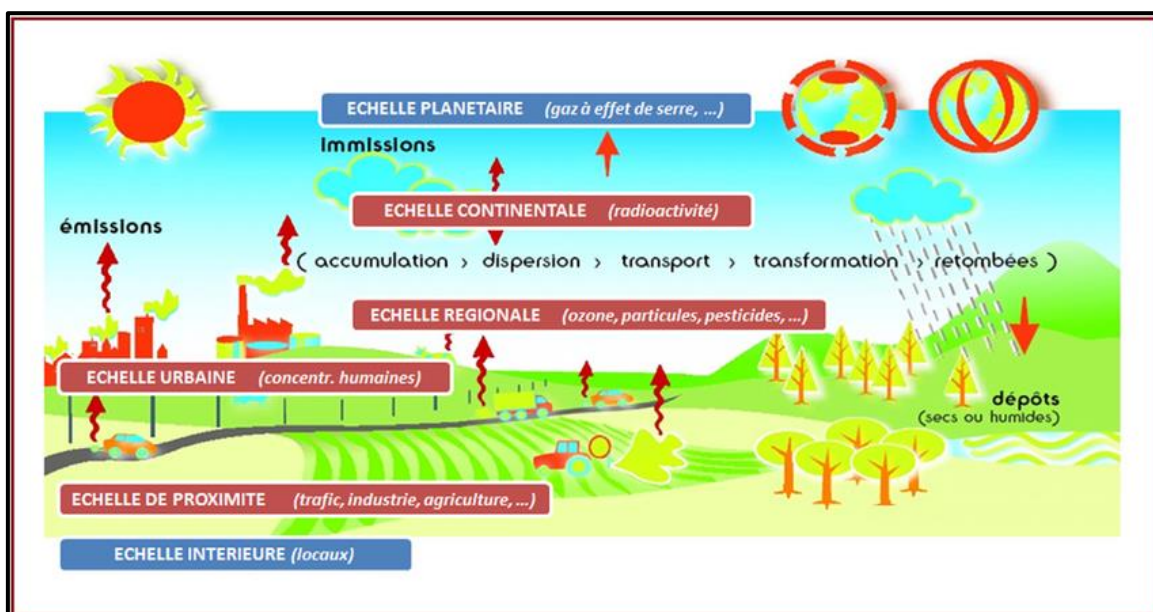
⁹ Saha, K. (2008). *The Earth's atmosphere: Its physics and dynamics* (pp. 367-1). Berlin: Springer.

1.3 Echelles de la pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique est un problème qui se manifeste à différentes échelles, depuis les échelles très locales jusqu'à l'échelle globale. Pour mieux cerner ces différents niveaux de pollution, on peut les regrouper en cinq échelles distinctes : locale, urbaine, régionale, continentale et globale.

L'échelle locale s'étale jusqu'à environ 5 km. L'échelle urbaine s'étend jusqu'à environ 50 km. L'échelle régionale s'étend entre 50 et 500 km. Les échelles continentales sont comprises entre 500 à plusieurs milliers de km. Bien entendu, l'échelle mondiale concerne l'ensemble de la planète¹⁰.

Figure 2 : Échelles géographiques de la qualité de l'air.



Source : (Charpin et al, 2016)

1.4 Polluants atmosphériques :

Un polluant atmosphérique est une substance présente dans l'air et qui ne fait pas partie de sa composition normale, qu'elle soit d'origine humaine ou naturelle et sous forme solide, liquide ou gazeuse, et qui peut être présente en quantité anormale. Il peut se référer à toute substance

¹⁰ Boubel, R. W., Vallero, D., Fox, D. L., Turner, B., & Stern, A. C. (2013). *Fundamentals of air pollution*. Elsevier.

étrangère présente dans l'air, dont la variation de la concentration est susceptible de causer un effet nocif ou de créer une nuisance¹¹.

En se basant sur des critères tels que la toxicité, la spécificité des sources et le niveau de pollution généré, plusieurs polluants atmosphériques sont régulièrement mesurés. Selon l'OMS, les six principaux polluants atmosphériques sont les particules fines (PM), l'ozone troposphérique (O₃), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x) et le plomb (Pb)¹².

Les polluants atmosphériques peuvent être classés en deux catégories :

- Polluants primaires qui sont des substances émises directement dans l'atmosphère à partir de sources spécifiques, tels que les composés carbonés, les composés d'azote, les composés de soufre, les composés halogénés et les particules en suspension.
- Polluants secondaires formés par des réactions chimiques dans l'air à partir de précurseurs primaires ou naturels sous l'effet de la lumière solaire et d'autres facteurs environnementaux, tels que le NO₂, l'ozone, les gouttelettes d'acide sulfurique, les gouttelettes d'acide nitrique, les aérosols de sulfates et de nitrates, ainsi que les aérosols organiques.

Lors de la saison hivernale, les polluants primaires sont les principaux responsables de la pollution de l'air. En revanche, pendant l'été, la pollution est plus intense et se compose d'un mélange de différents polluants par rapport à l'hiver. Ces polluants peuvent causer des dommages à des concentrations élevées et suffisamment élevées.

1.5 Sources de pollution atmosphérique :

La pollution de l'air peut être causée à la fois par des actions humaines et naturelles. Les événements naturels tels que les feux de forêt, les éruptions volcaniques, l'érosion éolienne, la dispersion du pollen, l'évaporation de composés organiques et la radioactivité naturelle

¹¹ Flanquart, M., Anicia, L. (2000). Evaluation du risque sanitaire dû à la pollution lié au trafic routier en milieu urbain, projet cindynique.

¹² Organisation mondiale de la santé. Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé. Aide-mémoire no 313; 2014. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [Accédé le 15 février 2023].

contribuent à polluer l'air. Les sources de pollution de l'air font référence aux divers endroits, activités ou facteurs qui sont responsables de la libération de polluants dans l'atmosphère¹³.

On peut distinguer deux catégories de sources pour les polluants atmosphériques¹⁴ :

- **Les sources anthropiques** : proviennent des activités humaines et leur intensité est souvent liée à la densité de population. Elles comprennent les sources stationnaires telles que les cheminées des centrales électriques, des usines et des incinérateurs de déchets, ainsi que les sources mobiles comme les véhicules, les navires et les avions. Les pratiques de brûlage contrôlé en agriculture et en gestion forestière, les produits chimiques, la poussière, les vapeurs de solvants, les déchets déposés dans les décharges et l'activité militaire (armes nucléaires, gaz toxiques, guerre biologique, etc.) sont également des sources anthropiques de pollution atmosphérique. Dans les pays en développement et pauvres, la combustion de la biomasse traditionnelle, telle que le bois, les déchets de cultures et le fumier, est la principale source de polluants atmosphériques.
- **Les sources biogéniques** : sont associées aux émissions d'origine naturelle liées à la biosphère. Elles incluent la poussière provenant de grandes étendues de terre dépourvues de végétation, le méthane émis par la digestion des aliments par les animaux, tels que le bétail, le gaz radon issu de la désintégration radioactive dans la croûte terrestre (qui est considéré comme un danger pour la santé), la fumée et le monoxyde de carbone provenant des feux de forêt, les émissions de composés organiques volatils (COV) des végétaux qui réagissent avec les polluants anthropiques pour produire un brouillard de polluants secondaires, et l'activité volcanique produisant des particules de soufre, de chlore et de cendres.

1.6 Conséquences de la pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique a des effets néfastes sur notre environnement et notre santé. Ses conséquences se font ressentir à différentes échelles, allant des effets locaux aux répercussions mondiales sur le climat.

¹³ Choudhary, M. P., & Garg, V. (2013, August). Causes, consequences and control of air pollution. In *All India Seminar on Methodologies for Air Pollution Control, held at MNIT*.

¹⁴ Arquèès, P. (1998). La pollution de l'air : causes, conséquences, solutions-Edisud, Aix-en-Provence.

1.6.1 Sur la santé :

Ces dernières décennies, plusieurs études ont mis en évidence une corrélation étroite entre la détérioration de l'environnement et de la santé humaine, ainsi que la présence de polluants atmosphériques.

La pollution de l'air extérieur est un grave problème de santé environnementale qui affecte tous les pays, qu'ils soient à revenu élevé, intermédiaire ou faible. En 2019, la pollution de l'air ambiant dans les villes et les zones rurales était responsable de 4,2 millions de décès prématurés dans le monde, principalement dus à l'exposition aux particules fines qui entraînent des maladies cardiovasculaires, respiratoires et des cancers. Les pays à revenu faible ou intermédiaire sont les plus touchés, représentant 89% de ces décès prématurés.¹⁵

Les particules fines et les émissions de gaz sont les principaux polluants atmosphériques préoccupants pour la santé publique. Les particules fines sont particulièrement préoccupantes car elles peuvent se déposer dans les voies respiratoires les plus fines et pénétrer dans la circulation sanguine, causant des dommages à la fonction pulmonaire et cardiovasculaire. Les particules fines de carbone élémentaire, de matières organiques, de métaux de transition, de sulfates et nitrates inorganiques, d'ammoniac, de chlorure de sodium et de poussières minérales sont les plus préoccupantes¹⁶.

Les impacts sanitaires sont examinés en fonction d'une exposition de courte durée, pouvant s'étendre sur des heures, des jours ou des semaines, ainsi qu'à long terme, pouvant aller jusqu'à plusieurs mois ou années.

L'exposition à court terme à la pollution de l'air peut aggraver les maladies respiratoires et cardiovasculaires préexistantes, augmenter les hospitalisations et les visites à l'urgence. D'autre part, une exposition à long terme à la pollution de l'air est associée à une mortalité accrue, une incidence plus élevée de cancer du poumon et de pneumonies ainsi qu'au développement de l'athérosclérose. D'après les évaluations de l'OMS, en 2019, les maladies cardiovasculaires comme les cardiopathies ischémiques et les accidents vasculaires cérébraux étaient responsables de 37% des décès prématurés liés à la pollution de l'air extérieur. Les

¹⁵ Pollution de l'air ambiant (extérieur). (19 décembre 2022). WHO. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (consulter le 13 mai 2023).

¹⁶ Secrétariat de l'Organisation mondiale de la santé. (2015). Santé et environnement : agir face aux conséquences sanitaires de la pollution de l'air. Soixante-huitième Assemblée mondiale de la santé.

bronchopneumopathies chroniques obstructives ont été à l'origine de 18% de ces décès, les infections aiguës des voies respiratoires inférieures de 23%, tandis que les cancers des voies respiratoires ont contribué à 11%.

Les individus peuvent réagir différemment aux divers polluants atmosphériques en raison de certains polymorphismes génétiques qui augmentent leur susceptibilité¹⁷. Bien qu'il n'y ait pas de seuil précis pour déterminer quand la pollution de l'air commence à causer des effets sur la santé à l'échelle de la population, il est maintenant clair que même les niveaux relativement faibles de pollution peuvent avoir des répercussions sur la santé¹⁸.

1.6.2 Sur l'environnement :

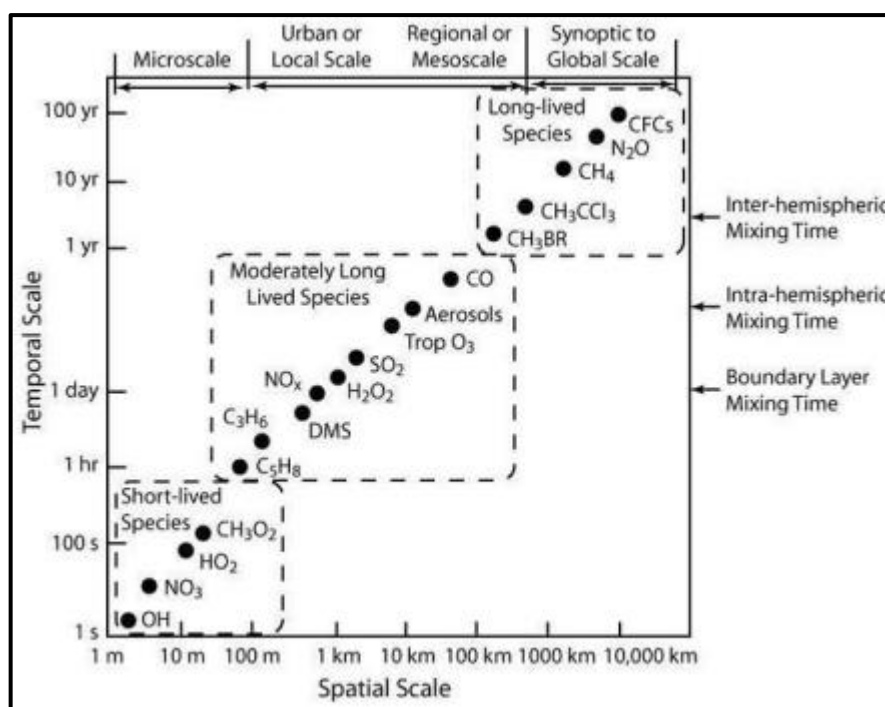
Qu'elle soit d'origine naturelle ou humaine, les émissions atmosphériques, qu'elles soient d'origine naturelle ou humaine, peuvent être transportées dans l'atmosphère sur de longues distances, que ce soit horizontalement ou verticalement jusqu'à des altitudes élevées. Ces émissions peuvent interagir entre elles ainsi qu'avec les phases liquides et solides présentes dans les nuages et les précipitations¹⁹. Il convient de noter que leur durée de vie dans l'atmosphère dépend de leur réactivité chimique ainsi que des conditions de leur séjour, qui déterminent leur transport sur des distances courtes, moyennes ou longues.

¹⁷ Gilliland, F. D. (2009). Outdoor air pollution, genetic susceptibility, and asthma management: opportunities for intervention to reduce the burden of asthma. *Pediatrics*, 123(Supplement_3), S168-S173.

¹⁸ Abelson, A., & Stieb, D. M. (2011). Effets de la pollution de l'air sur la santé: Une approche pour conseiller les patients à l'aide de la cote air santé. *Canadian Family Physician*, 57(8), e280–e287.

¹⁹ Werner, S. (2009). Optimisation des cadastres d'émissions: estimation des incertitudes, détermination des facteurs d'émissions du "black carbon" issus du trafic routier et estimation de l'influence de l'incertitude des cadastres d'émissions sur la modélisation: application aux cadastres Escompte et Nord-Pas-de-Calais (Doctoral dissertation, Strasbourg).

Figure 3 : Échelles spatiales et temporelles des différents composés.



Source : (NASA)

Dans ces conditions, la pollution de l'air peut entraîner divers effets environnementaux dans les suivants²⁰:

- **L'acidification des précipitations « pluies acides »** : est causée par la présence d'acides sulfurique et nitrique en quantités excessives. Les précipitations acides endommagent les arbres, acidifient les sols et les plans d'eau, et accélèrent la dégradation des bâtiments et sculptures.
- **L'eutrophisation** : est une concentration élevée de nutriments, principalement l'azote, dans les corps d'eau, ce qui favorise la croissance excessive d'algues. Cela peut entraîner une perte de biodiversité et des mortalités de poissons.
- **La brume** : est créée lorsque la lumière du soleil rencontre de petites particules de pollution dans l'air, ce qui réduit la clarté et la visibilité. Certains polluants responsables de la brume sont directement émis par des sources telles que les centrales électriques, les installations industrielles et les véhicules, tandis que d'autres se forment lorsque les gaz émis dans l'air se transforment en particules pendant le transport.

²⁰ Department of Environmental Protection. (n.d.). Health & Environmental Effects of Air Pollution. Commonwealth of Massachusetts Executive Office of Energy and Environmental Affairs. One Winter Street, Boston - MA.

- **La déplétion de la couche d'ozone** : se produit lorsque des substances fabriquées par l'homme, telles que les chlorofluorocarbones, détruisent la couche d'ozone dans la stratosphère. Cela peut entraîner une augmentation des rayonnements ultraviolets nocifs atteignant la Terre, avec des conséquences telles que des cas accrus de cancer de la peau et des dommages aux cultures.
- **Le changement climatique global** : est causé par l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, tels que le dioxyde de carbone et le méthane, résultant de l'activité humaine. Cette perturbation de l'équilibre naturel de l'effet de serre entraîne une augmentation de la température moyenne de la Terre, phénomène connu sous le nom de réchauffement climatique. Cette situation a des conséquences potentiellement graves pour la santé humaine, l'agriculture, les ressources en eau, les écosystèmes et les zones côtières.

Ces problèmes environnementaux sont tous étroitement liés à la pollution atmosphérique et peuvent avoir des impacts significatifs sur la santé humaine, la biodiversité et l'environnement dans son ensemble.

2 Transport routier comme source de pollution :

La croissance économique engendre une série de problèmes environnementaux qui deviennent perceptibles à l'échelle locale avant de provoquer des effets régionaux ou mondiaux évidents²¹. L'augmentation de la mobilité et la croissance du transport routier en sont un exemple. Le transport routier constitue une source majeure d'émissions de polluants atmosphériques, notamment dans les zones urbaines. De plus, sa contribution aux émissions totales a augmenté plus rapidement que celle d'autres sources au cours des dernières décennies²². Par exemple, il contribue à plus de 25 % des émissions totales de CO, CO₂, NO_x et de particules fines dans la plupart des pays européens. Selon l'Agence internationale de l'énergie, cette tendance pourrait se poursuivre à moyen terme²³.

²¹ Berkhout, F., Angel, D., & Wieczorek, A. J. (2009). Asian development pathways and sustainable socio-technical regimes. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(2), 218-228.

²² Turton, H. (2006). Sustainable global automobile transport in the 21st century: an integrated scenario analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(6), 607-629.

²³ Lumbreras, J., Borge, R., Guijarro, A., Lopez, J. M., & Rodríguez, M. E. (2014). A methodology to compute emission projections from road transport (EmiTRANS). *Technological Forecasting and Social Change*, 81, 165-176.

Il existe une relation étroite entre la consommation d'énergie et les émissions polluantes, notamment dans le secteur des transports. L'augmentation du taux de motorisation à l'échelle mondiale a un impact considérable sur les émissions de gaz à effet de serre, telles que les émissions de dioxyde de carbone (CO₂).

2.1 Polluants émis par le transport :

Le secteur des transports constitue l'une des principales sources de pollution atmosphérique, générant des émissions de polluants à la fois directement lors de l'utilisation des véhicules et indirectement par des réactions chimiques dans l'atmosphère. Les émissions directes proviennent des gaz d'échappement résultant de la combustion des hydrocarbures pour produire de l'énergie, ainsi que des gaz d'évaporation du carburant, de l'utilisation de la climatisation, de l'usure des freins et des pneumatiques²⁴. Les véhicules émettent une grande variété de substances qui, à proximité des routes, créent un mélange complexe de polluants dans l'air²⁵.

Voici une liste des principaux polluants émis par les véhicules²⁶ :

- **Le dioxyde de carbone (CO₂)** : est généré par la réaction d'oxydation du carbone présent dans les carburants.
- **Le monoxyde de carbone (CO)** : est émis lors d'une combustion incomplète du carburant.
- **Les oxydes d'azote (NO_x)** : sont générés à des températures élevées par l'oxydation de l'azote présent dans l'air, principalement sous forme de NO et de NO₂.
- **Les particules** : sont produites d'une part par une combustion incomplète du carburant-lubrifiant, en particulier par les véhicules diesel, et d'autre part par des phénomènes d'usure et de frottement.
- **Les composés organiques volatils (COV)** : sont des polluants qui englobent une variété d'hydrocarbures et de composés oxygénés, tels que le benzène et le toluène, émis lors de l'évaporation du carburant et de son utilisation.

²⁴ AOURAGH, L. (2015). *Etude de la Qualité de l'Air Urbain au Niveau de la Ville de Batna: Cas du Transport Routier* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).

²⁵ Deletraz, G. (2002). *Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriadou (Pyrénées)* (Doctoral dissertation, Université de Pau et des Pays de l'Adour).

²⁶ Chiron, M., Quenel, P., & Zmirou, D. (1997). La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. *Pollution Atmosphérique: climat, santé, société*, pp-41.

- **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) :** comprennent des substances chimiques lourdes, comme le benzo(a)pyrène, qui peuvent se trouver à la surface des particules, tandis que les HAP plus volatils sont généralement présents dans la phase gazeuse.
- **Le dioxyde de soufre (SO₂) :** est généré par la combustion du soufre présent dans le gazole.
- **Les métaux :** notamment le plomb, sont initialement présents dans les huiles et les carburants.

La circulation routière contribue de manière significative à la présence de particules dans l'atmosphère. Les émissions provenant des véhicules routiers sont principalement influencées par le choix du moteur ou du carburant utilisé, ainsi que par le degré de congestion du trafic.

2.2 Facteurs influençant les émissions véhiculaires :

Les émissions de polluants des véhicules sont influencées par de nombreux paramètres, y compris le type de véhicule, le comportement du conducteur, les conditions de circulation, les caractéristiques de la route et les conditions climatiques. Ces paramètres interagissent de manière complexe et peuvent avoir un impact sur les émissions de polluants atmosphériques. Des études ont montré que les caractéristiques spécifiques du véhicule, telles que la technologie du moteur, ainsi que des facteurs externes tels que le trajet, le mode de conduite, les conditions météorologiques, le relief et l'altitude, jouent un rôle important dans les émissions. La compréhension de ces interactions est essentielle pour évaluer et réduire les émissions de polluants des véhicules.

On peut répartir les facteurs influant les émissions véhicules en 4 catégories dans ce qui suit²⁷ :

➤ **Caractéristiques du véhicule :**

Ce sont les caractères techniques du véhicule, on cite entre eux :

- **Catégorie de véhicules :** Les émissions varient selon le type de véhicule, qu'il s'agisse de véhicules légers, semi-lourds, lourds ou de machineries.²⁸

²⁷ Trépanier, M. P., & Coelho, L. C. (2017). *Facteurs et méthodes de calcul d'émissions de gaz à effet de serre*. CIRRELT, Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport= Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation.

- **Poids du véhicule :** Une réduction du poids des véhicules lors de leur fabrication peut entraîner une diminution de la consommation de carburant et des émissions²⁹.
 - **Type de carburant :** Les émissions d'échappement varient en fonction des caractéristiques spécifiques du carburant commercialisé.
 - **Age du véhicule :** Les véhicules plus anciens ont tendance à être plus polluants en raison de la dégradation de leur système de contrôle des émissions.
 - **Cylindrée du moteur :** Une petite cylindrée est associée à des émissions réduites, mais peut également se traduire par une puissance moindre du véhicule.
 - **Type de transmission :** Le type de transmission d'un véhicule peut affecter la consommation de carburant et, par conséquent, les émissions³⁰.
 - **Configuration des pneus :** L'utilisation de pneus à faible résistance au roulement et le maintien d'une pression adéquate des pneus contribuent à réduire la consommation de carburant et les émissions³¹.
 - **Aérodynamique :** Une bonne conception aérodynamique des véhicules permet de réaliser des économies de carburant et de réduire les émissions.
 - **Fréquence de l'entretien :** Un entretien régulier et efficace des véhicules est bénéfique pour réduire les émissions.
- **Caractéristiques du trajet et du trafic :**

Les caractéristiques du trajet influencent également les émissions des véhicules. Le poids du chargement transporté est crucial, car il est directement lié à la consommation de carburant et aux émissions. De même, la distance à parcourir influence les émissions, avec une diminution attendue lorsque la distance est réduite. Le type de chaussée, la composition de la route et son état, ainsi que le relief, ont également un impact sur les émissions. Par exemple, une chaussée plus rigide réduit la résistance et les émissions, tandis que les routes rugueuses et les pentes entraînent une augmentation de la consommation de carburant et des émissions³². Le

²⁸ Castonguay, S., & al. (s.d.). Catégories de véhicules et machineries - Ma municipalité efficace. Consulté le 15 mai 2023, à partir de : <https://www.mamunicipaliteefficace.ca/66-efficacite-energetique-ges-annexe-a-categories-de-vehicules-et-machineries.html>

²⁹ Cheah, L., Evans, C., Bandivadekar, A., & Heywood, J. (2009). *Factor of two: Halving the fuel consumption of new US automobiles by 2035* (pp. 49-71). Springer Netherlands.

³⁰ BARON, É., & PESCAROU, P. (2012). Transmissions dans l'automobile-Influence sur les performances du véhicule.

³¹ Boucher, S. (2016, 18 juillet). 25 conseils pour réduire sa consommation d'essence. Consoglobe. Consulté le 20 mai 2023, à partir de : <https://www.consoglobe.com/25-conseils-reduire-consommation-essence-cg/5>

³² Joumard, R., Patuere, L., Vidon, R., & COMBET, E. (1990). Emissions unitaires de polluants des véhicules légers. *Rapport INRETS*, (116).

comportement du conducteur, tel que les accélérations brusques et les freinages fréquents, peut augmenter la consommation de carburant jusqu'à 25 %, tandis que l'utilisation d'appareils auxiliaires électroniques contribue légèrement à l'augmentation des émissions. Il est important de noter que le style de conduite peut annuler les efforts de réduction de la consommation de carburant mis en place par le constructeur³³.

Deux facteurs peuvent influencer les niveaux d'émission : la vitesse³⁴ et les conditions de circulation. En effet, les phases d'accélération et de décélération, ainsi que la durée des arrêts (moteur au ralenti), ont une influence importante sur les émissions. On distingue généralement quatre types de congestion routière, classés par ordre décroissant de congestion : la congestion "stop & go", la congestion saturée, la congestion chargée et la congestion fluide.

➤ **Caractéristiques environnementales :**

Les conditions climatiques ont un impact sur les émissions polluantes. Les facteurs qui influencent les émissions de gaz à effet de serre dans cette catégorie sont difficiles à prévoir et, surtout, échappent à notre contrôle. Bien que nous ne puissions pas modifier ces facteurs, nous pouvons nous adapter et ajuster nos comportements en conséquence. Les principaux facteurs sont: la température ambiante, la vitesse du vent, l'altitude, les précipitations, l'humidité, l'utilisation de la climatisation, la température du moteur et le démarrage à froid du moteur.

2.3 Sources d'énergie des transports routiers :

Le secteur du transport est extrêmement gourmand en énergie, principalement alimenté par la combustion de sources d'énergie fossiles. Cependant, cette situation soulève une préoccupation majeure étant donné que nous sommes conscients de la finitude de ces formes d'énergie et de la nécessité de trouver des alternatives durables.

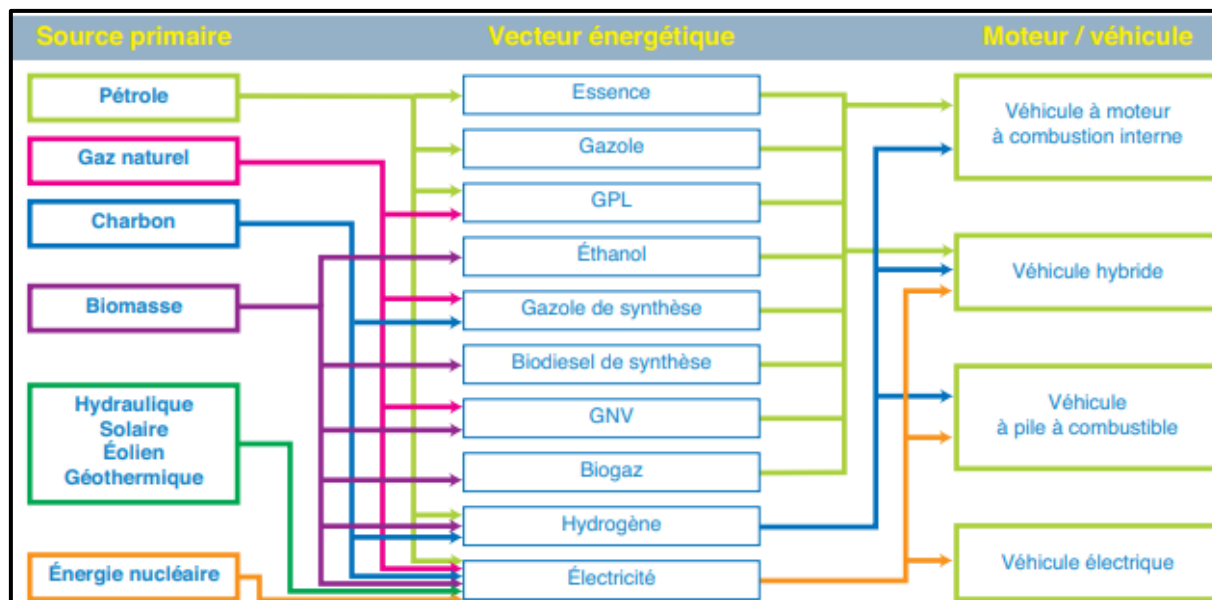
Avec les avancées technologiques actuelles, il existe une variété de sources d'énergie utilisables dans le transport routier, qu'elles soient d'origine fossile ou renouvelable, et qui ont

³³ Bowyer, D. P., Akçelik, R., & Biggs, D. C. (1984, September). Guide to fuel consumption analyses for urban traffic management. Sydney, Australia: Australian Road Research Board.

³⁴ Cadle, S. H., Gorse, Jr, R. A., Bailey, B. K., & Lawson, D. R. (2003). Real-world vehicle emissions: A summary of the twelfth Coordinating Research Council on-road vehicle emissions workshop. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(2), 152-167.

des impacts environnementaux plus ou moins importants. Ces différentes sources d'énergie sont représentées dans la figure ci-dessous.

Figure 4 : Source énergétique du transport routier.



Source : Institut français du pétrole

En se basant sur la figure précédente, on peut présenter les différents types de carburants utilisés dans l'automobile de la manière suivante³⁵ :

- **Carburants conventionnel** : L'essence et le gazole, deux carburants traditionnels dérivés du pétrole, sont actuellement les principaux carburants utilisés pour répondre aux besoins énergétiques liés à la mobilité des personnes et des biens. En 2005, ils représentaient respectivement 98 % et 96 % de l'énergie utilisée dans le transport routier à l'échelle mondiale et en Europe³⁶. Le principal inconvénient de ces deux carburants réside dans leur impact environnemental considérable.
- **Carburants alternatifs d'aujourd'hui** : Dans le cadre de la recherche de sources d'énergie plus propres pour les véhicules circulant sur nos routes, de multiples alternatives ont été développées par rapport aux carburants traditionnels. Parmi ces alternatives, on retrouve le gaz de pétrole liquéfié (GPL), le gaz naturel pour véhicules (GNV), les biocarburants tels que l'éthanol et les esters méthyliques d'huile végétale

³⁵ PANORAMA. (2009). Les énergies pour le transport : avantages et inconvénients. Institut français du pétrole. Récupéré le 20 mai 2023, de <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/42/016/42016175.pdf>

³⁶ Appert, O. (2009). Énergie et mobilité durable. *Réalités industrielles*, (3), 8-12.

(EMHV) ou biodiesel, ainsi que l'électricité. Bien que ces alternatives présentent un impact environnemental moins néfaste que les carburants traditionnels, elles ne parviennent pas pleinement à atteindre l'objectif d'une énergie propre. Prenons l'exemple de l'électricité, qui est fréquemment produite à partir de sources polluantes et nécessite une consommation significative de ressources naturelles, notamment dans la fabrication des batteries.

- **Les carburants alternatifs de demain :** Les dernières avancées dans les alternatives aux carburants polluants comprennent les carburants de synthèse, les biocarburants de deuxième génération et l'hydrogène. Ils sont considérés comme l'espoir pour parvenir à un transport plus propre. En effet, de nombreux pays et entreprises ont engagé d'importants investissements pour préparer une plateforme permettant une utilisation étendue de ces ressources à l'échelle mondiale.

2.4 Actions contre la pollution atmosphérique liée aux transports :

Le monde est confronté aux conséquences rapides du changement climatique, largement causées par les transports routiers. Ces effets ont incité les pays du monde entier à prendre des mesures visant à limiter ou réduire la pollution liée aux transports. L'Europe, en tant que leader mondial dans cette cause environnementale, a mis en place de nombreuses réglementations importantes. Elle a fixé des seuils limites de pollution dans les zones urbaines et des normes d'émissions spécifiques pour les véhicules, afin d'améliorer leur performance environnementale. Des mesures complémentaires, telles que la limitation de la vitesse à 30 km/h en ville et la restriction d'accès à certaines zones urbaines en fonction de l'âge et du type d'énergie des véhicules, ont également été mises en place. Parallèlement, l'Europe développe continuellement des normes spécifiques pour établir des standards de performance environnementale des véhicules, appelées normes EURO, ainsi que des normes de qualité des carburants, afin de répondre aux objectifs environnementaux énoncés dans les directives européennes. Ces normes sont en constante évolution pour rester adaptées aux avancées technologiques et aux exigences environnementales.

3 Transport et pollution atmosphérique en Algérie :

L'Algérie, tout comme de nombreux autres pays à travers le monde, est confrontée aux effets de la pollution atmosphérique. Selon une étude suisse, l'Algérie figure parmi les 100 pays les

plus polluées du monde en termes de qualité de l'air³⁷. C'est en 2003 que la pollution atmosphérique a été stipulée en Algérie par la loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, Elle a été définie comme l'introduction directe ou indirecte dans l'atmosphère de substances pouvant porter atteinte à la santé humaine, influencer sur les changements climatiques, appauvrir la couche d'ozone, altérer les écosystèmes, compromettre la sécurité publique ou nuire à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, entre autres³⁸.

Le secteur des transports est largement reconnu comme l'un des principaux émetteurs de pollution, ayant un impact significatif sur l'environnement. De nos jours, Les émissions provenant des véhicules atteignent un niveau préoccupant, dépassant les 14 millions de tonnes d'équivalent CO₂, ce qui représente environ 46% du total des émissions de gaz à effet de serre³⁹.

La pollution de l'air en milieu urbain est principalement causée par l'intensité du trafic automobile, qui est aggravée par la présence de véhicules vieillissants et par l'inadaptation des plans de circulation⁴⁰.

Des preuves solides démontrent une corrélation directe entre les émissions polluantes et l'utilisation des véhicules automobiles. Une étude réalisée en 1991 dans la banlieue Est algéroise a révélé la présence de pics de pollution quotidiens, en corrélation avec les heures de pointe du trafic routier. Ces pics étaient particulièrement fréquents aux heures de 7h à 9h du matin et de 18h à 20h le soir. Les concentrations de pollution les plus élevées étaient observées à proximité des routes à fort trafic, ce qui souligne le lien étroit entre les émissions polluantes et l'utilisation intensive des véhicules automobiles⁴¹.

Le secteur des transports en Algérie joue un rôle significatif dans la consommation d'énergie globale. En 2013, il a représenté 41% de la consommation énergétique totale, équivalant à 12

³⁷ IQAir. (s.d.). Pays et régions les plus pollués du monde (données historiques 2018-2022). Consulté le 18 mai 2023, à partir de <https://www.iqair.com/fr/world-most-polluted-countries>

³⁸ JORADP. (2003). Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

³⁹ Ouazene, M. (2015). Consommation énergétique du secteur des transports "Bilan et perspectives". Séminaire sur l'efficacité énergétique dans le transport, APRUE.

⁴⁰ Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. (2000). Rapport National sur l'État et l'Avenir de l'Environnement.

⁴¹ Boughedaoui, M. (2007). *Etude des émissions polluantes issues du trafic routier en Algérie* (Doctoral dissertation).

740 Ktep. De plus, ce secteur est responsable de plus de 80% de la consommation des produits pétroliers dans le pays. Les véhicules automobiles constituent le principal mode de transport, représentant 65% de la part des transports en termes de consommation énergétique, soit environ 24% de la consommation énergétique nationale totale.

En 2018, les transports représentaient 32% de la consommation énergétique globale, soit environ 15,3 Mtep. Ces chiffres témoignent de l'augmentation continue de la consommation énergétique dans ce secteur⁴².

Tableau 2 : Consommation énergétique nationale (Mtep).

Secteur	Consommation énergétique
Industries et BTP	10.5
Transport	15.3
Ménages & autres	22.4

Source : (CEREFÉ, 2020)

En Algérie, il existe trois types de carburants commercialisés sur le marché pour le grand public : l'essence, le gazole et le GPL. Le parc automobile algérien est composé de 34,56 % de véhicules diesel et de 65,44 % de véhicules essence⁴³. Quant au GPL la Société nationale de commercialisation et de distribution de produits pétroliers (Naftal) a fait état de 600000 véhicules équipés de kits GPL en 2022⁴⁴. Selon Mohamed Arkab, ministre de l'Énergie et des Mines, le pays envisage de promouvoir les véhicules électriques dans le cadre d'une politique de transition vers un transport durable. À cette fin, l'installation de 1000 bornes de recharge pour véhicules électriques est prévue⁴⁵.

Contrairement aux pays européens, L'Algérie est en retard en ce qui concerne les mesures prises pour lutter contre la pollution atmosphérique. Selon M. Boughedaoui, les véhicules algériens ont au moins un niveau inférieur aux normes Euro, et le carburant algérien répond seulement à la norme Euro 3, alors que la norme Euro 6 est actuellement en vigueur en

⁴² CEREFÉ (2020) : Transition Energétique en Algérie : Leçons, Etat des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Energies Renouvelables, (Edition 2020) : Commissariat aux Energies Renouvelables et à l'Efficacité Energétique, Premier Ministre, Alger.

⁴³ Office national des statistiques. (2020). PARC NATIONAL AUTOMOBILE AU 31/12/2019. Alger.

⁴⁴ Conversion de plus de 600.000 véhicules au GPL carburant. (18 juillet 2022). Algérie presse service. <https://www.aps.dz/economie/142978-conversion-de-plus-de-600-000-vehicules-au-gpl-carburant>

⁴⁵ Ennahar Online. (2023, 21 février). Installation de 1000 bornes de recharge pour voiture électrique d'ici 2025. Ennahar Online. Consulté le 15 mai 2023, à partir de <https://www.ennaharonline.com/fr/installation-1000-bornes-de-recharge-pour-voiture-electrique-dici-2025/>

Europe. Malgré ce retard, l'Algérie attache une grande importance à la question environnementale, comme en témoigne l'article n°64 de la constitution garantissant à chaque citoyen le droit à un environnement sain dans le cadre du développement durable. Le gouvernement algérien est activement engagé dans la lutte contre la pollution atmosphérique, conscient des effets dévastateurs de celle-ci sur l'environnement. Pour réduire les risques environnementaux liés à la pollution de l'air, l'Algérie a adopté plusieurs mesures réglementaires. La loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable constitue un cadre juridique essentiel. Elle a été complétée par des décrets exécutifs couvrant des aspects spécifiques de la problématique environnementale, tels que le décret exécutif n°03-410 du 05 novembre 2003 fixant les limites d'émissions des fumées, des gaz toxiques et du bruit des véhicules automobiles, le décret exécutif n°06-02 du 07 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique, ainsi que le décret exécutif n°06-138 du 15 avril 2006 réglementant les émissions dans l'atmosphère de gaz, de fumées, de vapeurs et de particules liquides ou solides, ainsi que les conditions de leur contrôle. Ainsi, l'Algérie essaie d'assurer la conformité du parc automobile aux normes en vigueur et les seuils limite d'émission, cette activité est régie par le décret exécutif n° 03-223 du 10 juin 2003. De plus, l'Algérie a pris d'autres mesures, telles que la généralisation de l'utilisation de l'essence sans plomb ⁴⁶ et des restrictions concernant le diesel. Dans le cadre de la loi de finances de 2023, une décision a été prise pour interdire la production ou l'importation de véhicules diesel.

Toutes les actions citées démontrent l'engagement de l'Algérie à améliorer la qualité de l'air et à promouvoir un environnement sain pour ses citoyens. Dans ce cadre, d'importants investissements ont été octroyés au secteur des transports, notamment dans les projets de transport en commun, tels que le métro d'Alger, les tramways, les téléphériques et l'électrification des lignes de chemin de fer. La mise en place de ces modes propres vise à réduire l'usage intensif des véhicules particuliers, décongestionner les routes et améliorer la qualité de vie ainsi que la qualité de l'air.

⁴⁶ APS. (2021, 21 juin). Généralisation de l'utilisation du carburant sans plomb à partir de juillet. Algerie Presse Service. Consulté le 15 mai 2023, à partir de <https://www.aps.dz/economie/123937-generalisation-de-l-utilisation-du-carburant-sans-plomb-a-partir-de-juillet-prochain>

Conclusion :

En conclusion, le secteur des transports exerce une influence significative sur la pollution atmosphérique en raison des émissions de divers polluants provenant des véhicules routiers. Les décisions concernant la technologie des véhicules et les politiques de transport sont cruciales pour réduire cette pollution. La promotion de modes de transport plus propres, l'établissement de normes d'émissions plus strictes, l'encouragement à l'adoption de véhicules moins polluants et le développement d'infrastructures durables sont des mesures essentielles pour atténuer l'impact environnemental du secteur des transports.

Le premier chapitre a examiné en détail les différents types de polluants émis par les véhicules routiers et leur contribution à la détérioration de la qualité de l'air. Comprendre ces émissions et leurs impacts à différentes échelles est essentiel pour gérer la pollution atmosphérique de manière efficace.

Les estimations d'émissions des véhicules jouent un rôle crucial dans la compréhension et la maîtrise de ces impacts. Elles permettent d'évaluer les niveaux de pollution, de mettre en place des politiques et des mesures appropriées, ainsi que de suivre les progrès réalisés dans la réduction de la pollution atmosphérique. Dans le prochain chapitre, nous aborderons les principes généraux qui sous-tendent l'établissement de ces estimations d'émissions des véhicules, fournissant ainsi une base solide pour une gestion efficace de la pollution atmosphérique

Chapitre 2 :

Méthodologie d'estimation des polluants.

Introduction :

Le transport motorisé est un contributeur majeur de la pollution atmosphérique dans les grandes villes. L'estimation et la prévision des émissions de substances nocives provenant du transport motorisé sont des tâches importantes dans le cadre de l'élaboration d'une politique de transport urbain durable dans les grandes villes.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les généralités sur les estimations des émissions polluantes. Il se concentre sur les moyens permettant d'évaluer et de quantifier les émissions polluantes provenant du trafic routier, ce qui est une étape essentielle pour comprendre et maîtriser la pollution de l'air. De plus, il présente la méthodologie utilisée pour réaliser ces estimations d'émissions polluantes du transport. D'une part, il aborde la méthodologie de calcul utilisée dans ces estimations. D'autre part, il examine les facteurs d'émission unitaires attribués à l'activité du transport, en tenant compte des différents facteurs qui influencent ces facteurs d'émission.

1 Généralités sur les mesures des polluants atmosphériques :

Une émission correspond au rejet de substances chimiques dans l'atmosphère par une source, qu'elle soit naturelle ou anthropique. De nos jours, des estimations des émissions sont réalisées pour l'ensemble des secteurs, incluant l'agriculture, les activités domestiques, l'industrie et le transport. Afin de développer une compréhension approfondie des niveaux d'émissions spécifiques au transport, il est essentiel de commencer par présenter les concepts fondamentaux liés à l'identification et à la quantification de la contribution du transport à la pollution atmosphérique. Cette approche permettra d'acquérir une connaissance approfondie des estimations d'émissions, en prenant en compte les différents secteurs et leur impact sur l'environnement.

1.1 Répartitions des véhicules :

Les véhicules routiers sont responsables d'une part importante des émissions atmosphériques provenant du transport. Tous les modèles de calcul existants les prennent en compte comme une cause d'étude. Ils sont classifiés selon une multitude de paramètres, tels que :

- **Catégorie** : les véhicules sont classés en quatre catégories : les voitures particulières (VP), les véhicules utilitaires légers (VUL), les poids lourds (PL) et les deux-roux (2R)⁴⁷.
- **Type de carburants** : Le type de carburant utilisé est un élément essentiel dans la classification des véhicules. On distingue notamment l'essence, le gazole, le GPL, le GNV, etc.
- **Norme euro** : les véhicules sont classés selon les normes Euro en fonction de leur année d'enregistrement. Il existe différentes normes en fonction du type de carburant et de la catégorie des véhicules.

Il existe d'autres paramètres pris en considération dans certains modèles, tels que la cylindrée et le poids.

1.2 Inventaire d'émission :

Un inventaire d'émissions est une base de données qui recense de manière qualitative et quantitative les rejets de substances polluantes spécifiques dans l'atmosphère. Sa réalisation consiste à calculer la quantité de polluants émis par une activité donnée, telle que le transport routier, dans une zone géographique déterminée et sur une période spécifique. De plus, il existe généralement trois niveaux d'inventaire géographique : national, urbain et local. Chaque niveau d'inventaire a des objectifs variés en fonction de sa portée.

Il existe deux types d'inventaires d'émissions⁴⁸ :

- L'inventaire absolu mesure les émissions de polluants en termes de masse et est utilisé pour évaluer les engagements d'un pays au niveau international, élaborer des modèles de qualité de l'air et estimer les dépassements des normes environnementales.
- L'inventaire relatif permet de comparer deux situations, comme l'évolution temporelle des émissions ou l'impact de différents scénarios sur la qualité de l'air, en prenant en compte des mesures de gestion du trafic, de réaménagement des voies de circulation ou de nouvelles infrastructures.

⁴⁷ Eggleston, H. S., Gaudioso, D., Gorissen, N., Joumard, R., Rijkeboer, R. C., Samaras, Z., & Zierock, K. H. (1993). *CORINAIR working group on emission factors for calculating 1990 emissions from road traffic* (p. 142). Office for Official Publications of the European Communities.

⁴⁸ Larose, S. (1999). *Outils d'inventaires d'émissions liées au transport routier* (Doctoral dissertation, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU)).

L'inventaire d'émissions est un outil d'aide à la décision permettant de cibler les secteurs émetteurs afin de réduire les rejets polluants. Il joue également un rôle essentiel dans l'évaluation de l'impact sur la santé en croisant les données spatiales avec des informations sur la population et l'occupation des sols, ce qui permet de mieux appréhender l'exposition des individus aux émissions. Par ailleurs, l'inventaire d'émissions est utilisé comme un outil de modélisation, fournissant des données précieuses pour alimenter des modèles de haute résolution. Ces modèles sont largement utilisés dans les études d'impact, les évaluations des risques sanitaires et l'évaluation des conséquences des changements d'infrastructures ou d'aménagements du territoire.

1.3 Cadastre d'émission :

Dans son rapport de recherche de 1999, Sylvain Larose définit le cadastre d'émissions comme une représentation cartographique qui permet de visualiser de manière géographique un inventaire absolu des émissions dans une zone spécifique. Cette cartographie facilite l'évaluation visuelle et spatiale des émissions. Le passage d'un inventaire des émissions à un cadastre se réalise en utilisant un Système d'Information Géographique (SIG).

1.4 Nomenclature :

Pour réaliser des calculs d'émissions, il est essentiel de suivre une nomenclature permettant de classer et d'organiser toutes les sources de pollution prises en compte. Cette nomenclature facilite la gestion et la structuration des différentes sources de polluants.

La classification des activités émettrices utilisées pour réaliser les inventaires d'émissions repose sur la nomenclature SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) développée par l'Union européenne dans le cadre du programme CORINAIRE⁴⁹. Cette nomenclature se compose de onze niveaux principaux qui sont subdivisés en sous-niveaux. Ces niveaux couvrent différents domaines tels que la combustion dans les industries de l'énergie, la combustion hors industrie, la combustion dans l'industrie manufacturière, les procédés de fabrication, l'extraction et la distribution de combustibles fossiles, l'utilisation de solvants et de produits chimiques, les transports routiers, les autres sources mobiles et machines, les traitements et l'élimination des déchets, l'agriculture, la sylviculture et l'aquaculture, ainsi que

⁴⁹ CITEPA. (2019). Rapport Secten - édition 2019. CITEPA. France.

d'autres sources. Cette nomenclature permet de classer et d'organiser les différentes sources d'émissions en fonction de leur nature et de leur activité.

L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) souligne que dans certaines circonstances, il peut être nécessaire d'obtenir une distinction plus détaillée que celle proposée par les niveaux de la nomenclature SNAP. C'est dans ce contexte que le format "SECTEN" (SECTeurs économiques et ENergie) intervient. Il a été spécifiquement développé pour mettre en évidence les contributions des différents secteurs d'activités économiques de manière plus précise. Ce format permet une analyse plus approfondie des émissions et favorise une meilleure compréhension de l'impact des différentes activités économiques sur la pollution atmosphérique.

1.5 Facteur d'émission :

Le facteur d'émission, également appelé émission unitaire, représente la quantité de polluant émise par une unité de transport. Il constitue un paramètre qui relie la quantité de polluant rejetée dans l'atmosphère à un indice d'activité associé au processus à l'origine de l'émission, se présente en unité de masse de polluant ou de CO₂ équivalent par flux de référence. Dans le contexte du transport, ces facteurs d'émission expriment généralement les flux de polluants émis par rapport à la consommation d'énergie, aux kilomètres parcourus ou aux mouvements effectués.

2 Modélisation de la pollution atmosphérique :

2.1 Base de la modélisation des émissions :

L'évaluation des émissions atmosphériques liées au transport routier est une étape essentielle qui nécessite l'utilisation de modèles spécifiques adaptés au contexte de l'étude pour assurer une précision spatiale et temporelle. Cette évaluation peut être réalisée selon deux approches principales⁵⁰ :

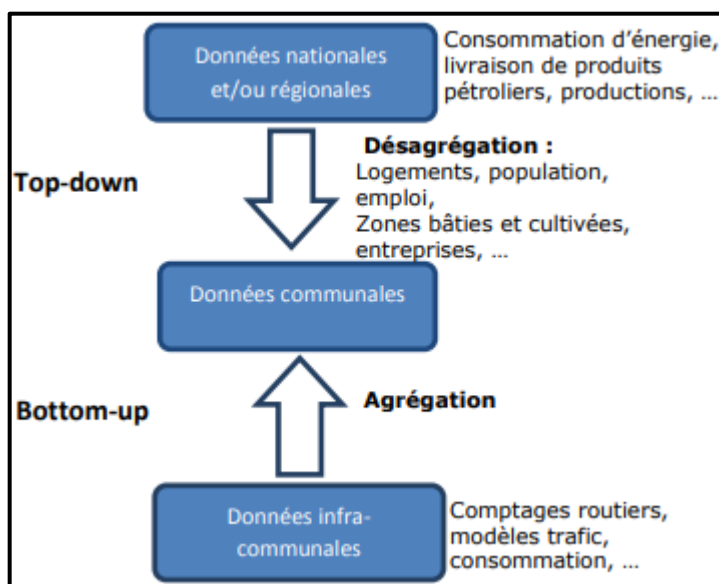
- L'approche "bottom-up" consiste à collecter des données détaillées à partir du niveau le plus fin, puis à les agréger progressivement vers des niveaux plus globaux. Cette

⁵⁰ Kauffmann, A., Rouil, L., Real, E., Chang, J. P., Serveau, L., Gueguen, C., ... & Riviere, E. (2012). National Pole of Coordination of Territorial Inventories. Methodological guide for the elaboration of territorial inventories of atmospheric emissions (air pollutants and greenhouse gases). Method of elaboration of territorial inventories of atmospheric emissions.

approche privilégie les données spécifiques et fines, ce qui permet d'obtenir une représentation réaliste des émissions pour une zone géographique donnée et sur une période spécifique.

- L'approche "top-down" repose sur l'utilisation de données statistiques générales, telles que des données nationales ou régionales, auxquelles sont appliquées des clés de répartition pour générer des données plus précises à des niveaux plus locaux, tels que des données communales. Cette approche permet de faire des estimations à partir de données agrégées et d'obtenir une vision globale des émissions à une échelle plus large.

Figure 5 : Méthodologie de réalisation d'un inventaire des émissions.



Source : (Kauffmann et al, 2012)

Selon le travail d'Eggleston intitulé "Groupe de travail CORINAIR sur les facteurs d'émission pour le calcul des émissions du trafic routier en 1990", les estimations des polluants sont regroupées en deux catégories distinctes, à savoir⁵¹ :

- **Les émissions d'échappement à chaud :** Elles sont générées par un véhicule lorsque son moteur et son système de post-traitement des gaz d'échappement sont à leur température de fonctionnement normale. La température du liquide de refroidissement du moteur se situe généralement entre environ 70°C et 90°C, tandis que la température du système d'échappement atteint plusieurs centaines de degrés Celsius.

⁵¹ Boulter, P. G., Barlow, T. J., Latham, S., & McCrae, I. S. (2009). *Emission factors 2009: Report 1-a review of methods for determining hotexhaust emission factors for road vehicles.*

- **Les émissions au démarrage à froid** : Elles correspondent aux émissions produites pendant la phase de réchauffage du véhicule. Les taux d'émission et de consommation de carburant sont plus élevés pendant cette phase que pendant le fonctionnement thermiquement stable, en particulier pour les véhicules à essence. Dans certaines zones urbaines, une proportion significative des émissions totales du transport routier est attribuable aux véhicules en phase de démarrage à froid.

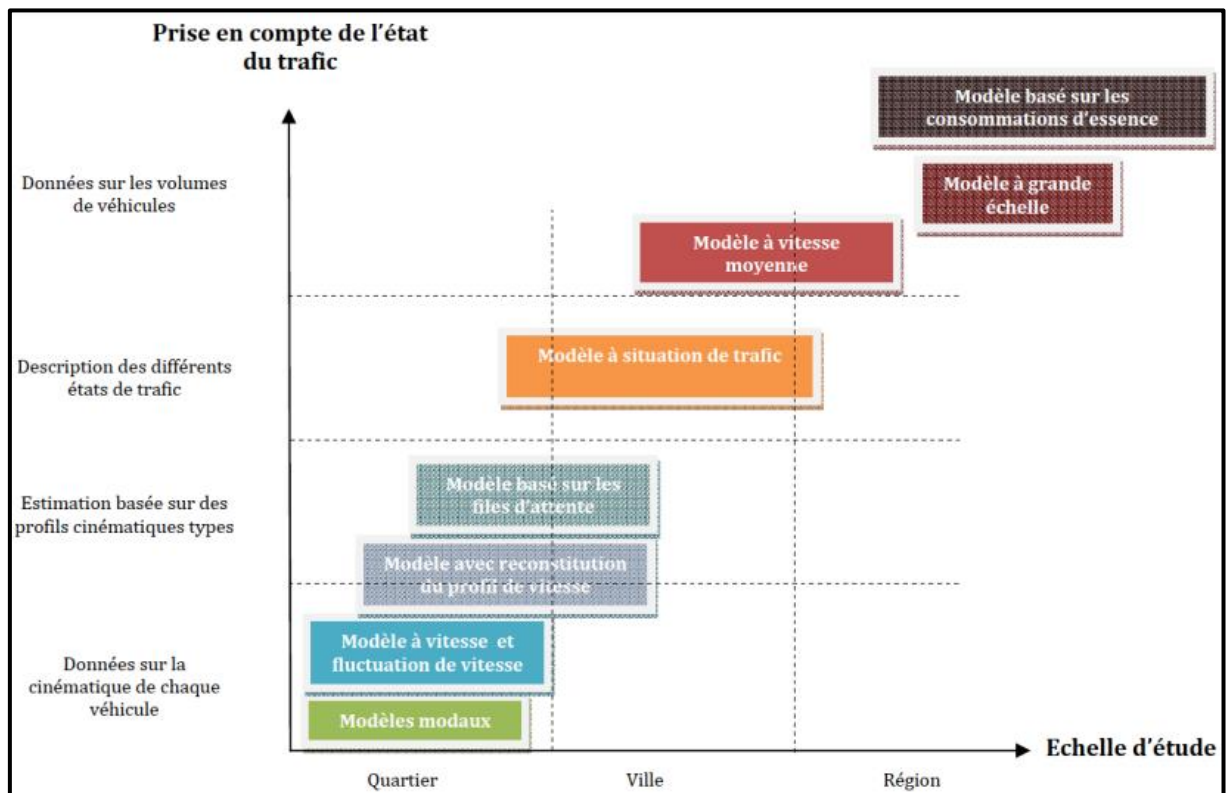
2.2 Type des modèles d'estimation de la pollution atmosphérique :

Selon la thèse de doctorat d'Aouragh, la méthode de calcul des émissions varie en fonction du problème à résoudre et est classée en trois types en fonction de leur niveau de précision ou d'agrégation. Ces types de méthodes ont été développés pour répondre aux besoins spécifiques de chaque situation. Le modèle de base pour le calcul des émissions liées aux transports repose sur une description détaillée du parc de véhicules et utilise uniquement la vitesse moyenne du trafic pour tenir compte des conditions de circulation. Cependant, ce modèle est trop complexe pour des calculs rapides et ne fournit pas une précision suffisante pour certaines applications à une échelle micro. Pour remédier à cela, des modèles agrégés ont été développés en intégrant certains paramètres, permettant par exemple de regrouper les classes de véhicules en catégories plus larges ou d'inclure tous les paramètres d'utilisation pour obtenir un facteur d'émission par kilomètre uniforme, indépendamment du véhicule. Parallèlement, les modèles désagrégés vont au-delà de la vitesse moyenne en prenant en compte des variables cinématiques telles que la vitesse instantanée et l'accélération. Ils sont essentiels pour évaluer l'impact de nouvelles stratégies de gestion du trafic et pour calculer la répartition des émissions le long des voies. Ces modèles désagrégés sont nécessaires lorsque la vitesse moyenne seule ne suffit pas à représenter avec précision la réalité.

L'IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux) examine les divers types de modèles d'estimation dans son document intitulé "Analyse comparée des différentes méthodes pour l'évaluation environnementale d'aménagements et de stratégies de régulation routière". Ces modèles sont classés en fonction de l'échelle d'étude et de la prise en compte de l'état de trafic⁵². La classification correspondante est illustrée dans la figure ci-dessous:

⁵² Lejri, D. (2015). Analyse comparée des différentes méthodes pour l'évaluation environnementale d'aménagements et de stratégies de régulation routière. IFSTTAR. France.

Figure 6 : Classification des modèles d'émissions.



Source : (IFSTTAR, 2015)

2.3 Modèle de quantification des émissions atmosphérique :

Au fil des années, de nombreux programmes de recherche à travers le monde ont contribué à la création de plusieurs outils de quantification des émissions de polluants routiers. Ces outils reposent sur des modèles empiriques développés à partir de mesures réalisées sur des bancs d'essai pour les véhicules légers, des bancs moteurs pour les poids lourds, ainsi que des mesures embarquées. Les cycles de conduite utilisés dans ces modèles ont été établis à partir de parcours réels effectués par des véhicules. Ces travaux de recherche ont permis de définir les éléments méthodologiques nécessaires au calcul des émissions et de recenser les données indispensables à leur mise en œuvre.

D'après LEJRI et BOUTLER⁵³, Parmi ces outils, on trouve :

- **COPERT** : est un programme gratuit développé par la société Emissia. Il est utilisé pour calculer les émissions de polluants atmosphériques générées par le transport routier. Ce modèle s'appuie sur le guide européen d'estimation de la pollution

⁵³ Boulter, P. G., & Latham, S. (2009). *Emission factors 2009: Report 4-a review of methodologies for modelling cold-start emissions*.

atmosphérique et utilise des vitesses moyennes, ce qui le rend particulièrement adapté pour évaluer les émissions à des échelles spatio-temporelles importantes.

- **HBEFA « Handbook of Emission Factors »** : est un modèle d'émissions spécifique au transport routier utilisé à la fois pour les inventaires nationaux et les applications locales en Allemagne, en Autriche et en Suisse. Ce modèle adopte une approche basée sur les situations de trafic et utilise des facteurs d'émission discrets (exprimés en g/km) comme référence pour différentes catégories de véhicules. Chaque facteur d'émission est associé à une situation de circulation spécifique, définie par les caractéristiques de la section de route concernée.

Différents pays à travers le monde, à l'instar des États-Unis, ont développé leurs propres modèles d'estimation des émissions polluantes. Dans le cadre de leurs engagements en matière de réduction des émissions atmosphériques, les États-Unis ont créé le simulateur d'émissions des véhicules motorisés (**MOVES**), un système de modélisation avancé développé par l'Agence de Protection de l'Environnement (**EPA**). MOVES permet d'estimer les émissions provenant des sources mobiles à différentes échelles, allant du niveau national aux niveaux régionaux et de projet. Ce modèle prend en compte les polluants atmosphériques, les gaz à effet de serre et les polluants de l'air toxiques⁵⁴. Il s'agit d'un outil de pointe utilisé pour évaluer et gérer l'impact environnemental des transports routiers.

3 Méthodologie d'élaboration des estimations :

Dans le contexte actuel, il existe un large éventail de modèles d'estimation des polluants atmosphériques. Malgré les différentes approches de quantification, les sources spécifiques prises en compte et les paramètres utilisés, la logique de calcul reste généralement la même. Selon le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (**CITEPA**), le principe de calcul est en réalité assez simple, car il consiste essentiellement à multiplier le flux d'émissions par l'activité de la source d'émission considérée. Ainsi, les

⁵⁴ Environmental Protection Agency (EPA). (s.d.). MOVES and Other Mobile Source Emissions Models. Consulté le 31 May 2023. À partir de <https://www.epa.gov/moves>

émissions d'une activité donnée peuvent être exprimées par la formule générale et schématique suivante⁵⁵ :

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} \times F_{s,a} \quad (1)$$

Avec :

- E : émission relative à la substance "s" et à l'activité "a" pendant le temps "t".
- A : quantité d'activité relative à l'activité "a" pendant le temps "t".
- F : facteur d'émission relatif à la substance "s" et à l'activité "a".

Selon Sylvain Larose, la formule fondamentale utilisée dans le domaine du transport pour effectuer des estimations consiste à multiplier un facteur d'émissions par la quantité de trafic.

Le guide d'inventaire des émissions de polluants atmosphériques de 2019, publié par l'Agence européenne pour l'environnement (EEA) dans le cadre du programme européen de suivi et d'évaluation (EMEP), présente la méthodologie utilisée pour estimer les émissions atmosphériques liées au transport. Il convient de noter que cette méthodologie sert de base de fonctionnement au modèle européen COPERT.

Selon le guide, il existe trois approches de quantification des émissions d'échappement, qui varient en fonction du type et de la qualité des données disponibles⁵⁶ :

- **Méthode de niveau 1** : est une approche basée sur la consommation énergétique des véhicules, généralement utilisée lorsque d'autres données ne sont pas disponibles, à l'exception des statistiques sur les carburants. Elle peut être exprimée par la formule suivante :

$$E_i = \sum_j (\sum_m (FC_{j,m} \times EF_{i,j,m})) \quad (2)$$

Avec :

- E_i : Émissions du polluant i [g].

⁵⁵ Robert, C., Barrault, S., Druart, A., Allemand, N., Andre, J. M., Bongrand, G., ... & Sadaqat, B. (2022). Greenhouse gases and atmospheric pollutants. 1990-2021 France emissions report. National inventory report/Secten format-June 2022 edition.

⁵⁶ Ntziachristos, L., Samaras, Z.(2020). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.

- $FC_{j,m}$: Consommation de carburant de la catégorie de véhicule j utilisant le carburant m [kg].
 - $EF_{i,j,m}$: Facteur d'émission spécifique au carburant, du polluant i pour la catégorie de véhicule j et le carburant m [g/kg].
- **Méthode de niveau 2** : repose sur la distance parcourue et prend en compte la répartition du parc automobile selon les catégories, les types de carburant et les normes d'émission Euro. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$E_{i,j} = \sum_k (\langle M_{j,k} \rangle \times EF_{i,j,k}) \quad (3)$$

Ou :

$$E_{i,j} = \sum_k (N_{j,k} \times M_{j,k} \times EF_{i,j,k}) \quad (4)$$

Avec :

- $\langle M_{j,k} \rangle$: Distance annuelle totale parcourue par l'ensemble des véhicules de la catégorie j et de la technologie k [veh-km].
 - $EF_{i,j,k}$: Facteur d'émission spécifique de la technologie pour le polluant i, pour la catégorie de véhicule j et la technologie k [g/veh-km].
 - $M_{j,k}$: Distance annuelle moyenne parcourue par véhicule de la catégorie j et de la technologie k [km/veh].
 - $N_{j,k}$: Nombre de véhicules dans le parc automobile de la nation de la catégorie j et de la technologie k.
- **Méthode de niveau 3** : Dans cette approche, les émissions totales des gaz d'échappement du transport routier sont calculées en additionnant les émissions à chaud et les émissions pendant le fonctionnement transitoire du moteur thermique (appelées émissions de démarrage à froid). La distinction entre les émissions pendant la phase "chaude" stabilisée et la phase transitoire de "réchauffement" est nécessaire en raison de la différence substantielle dans les performances d'émission des véhicules pendant ces deux conditions. En résumé, les émissions totales peuvent être calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD} \quad (5)$$

Avec :

- E_{TOTAL} : Émissions totales (g) de tout polluant
- E_{HOT} : Émissions (g) pendant le fonctionnement du moteur stabilisé (à chaud).
- E_{COLD} : Émissions (g) pendant le fonctionnement transitoire du moteur thermique (démarrage à froid).

Effectivement, ce niveau fournit une méthode permettant de calculer E_{HOT} et E_{COLD} pour pouvoir utiliser l'équation (5). Cela est donné par les deux équations suivantes :

$$E_{HOT;i,k,r} = N_k \times M_{k,r} \times e_{HOT;i,kir} \quad (6)$$

Avec :

- $E_{HOT;i,k,r}$: Émissions de gaz d'échappement à chaud du polluant i [g], produites par les véhicules de technologie k circulant sur les routes de type r.
- N_k : Nombre de véhicules [veh] de technologie k.
- $M_{k,r}$: Distance parcourue par véhicule [km/veh] sur les routes de type r par les véhicules de technologie k.
- $e_{HOT;i,kir}$: Facteur d'émission en [g/km] pour le polluant i, pertinent pour la technologie des véhicules k, utilisée sur les routes de type r.

Et :

$$E_{COLD;i,j} = \beta_{i,k} \times N_k \times M_k \times e_{HOT;i,k} \times (e^{COLD}/e^{HOT} |_{i,k} - 1) \quad (7)$$

Avec :

- $E_{COLD;i,k}$: Émissions de démarrage à froid du polluant i, produites par la technologie de véhicule k.
- $\beta_{i,k}$: Fraction de kilométrage parcourue avec un moteur froid pour le polluant i et la technologie de véhicule k.
- N_k : Nombre de véhicules [veh] de technologie k.

- M_k : Kilométrage total par véhicule [km/veh] dans la technologie de véhicule k .
- $e_{HOT;i,k}$: Facteur d'émission à chaud pour le polluant i et les véhicules de technologie k .
- $(e^{COLD}/e^{HOT} |_{i,k} - 1)$: Quotient d'émission à froid/chaud pour le polluant i et les véhicules de technologie k .

Il est important de noter que les émissions des véhicules dépendent grandement des conditions de fonctionnement du moteur. Les différentes situations de conduite imposent des conditions de fonctionnement du moteur spécifiques, ce qui se traduit par des performances d'émission distinctes. On distingue notamment la conduite en milieu urbain, rural et sur autoroute. Par conséquent, en ce qui concerne les conditions de conduite, les émissions totales peuvent être calculées à l'aide de l'équation suivante :

$$E_{total} = E_{urbain} + E_{rural} + E_{autoroute} \quad (8)$$

Avec E_{urbain} , E_{rural} et $E_{autoroute}$ représentent les émissions totales (g) de tout polluant pour les situations de conduite urbaine, rurale et sur autoroute respectives.

4 Elaboration des facteurs d'émission :

Les facteurs d'émission jouent un rôle essentiel dans la précision des modèles d'estimation des émissions atmosphériques. Ils sont établis grâce à des recherches scientifiques qui mesurent les émissions unitaires des véhicules en fonction de différents paramètres, que ce soit sur des bancs d'essai ou lors de mesures embarquées. Ces facteurs d'émission sont présentés de différentes manières, certains étant basés sur la consommation d'une unité de carburant, tandis que d'autres expriment les émissions par kilomètre parcouru.

L'EEA fournit des facteurs d'émission par secteur, y compris le transport, dans le modèle européen COPERT. Cependant, il est important de noter que ces études sont principalement basées sur des pays européens, ce qui nécessite une correction des facteurs pour les adapter à d'autres pays en dehors de l'Europe. Cette correction prend en compte des paramètres tels que la qualité des carburants, l'âge du parc automobile et la distance moyenne parcourue à froid.

D'autre part, le département des transports du Royaume-Uni propose le modèle NAEI, qui adopte une approche différente pour le calcul des facteurs d'émission. Dans ce modèle, les facteurs d'émission sont présentés en fonction de la catégorie du véhicule, de la cylindrée et du type de carburant. Ils sont déterminés à l'aide d'une formule mathématique qui utilise des coefficients obtenus par régression des données collectées sur différents véhicules dans différents scénarios d'utilisation⁵⁷. La formule peut être exprimée comme suit :

$$Y = k \times (a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6)/x \quad (9)$$

Avec :

- Y : facteur d'émission [g/km].
- X : vitesse [km/h].
- K, a, b, c, d, e, f, g : coefficients.

La variété des méthodes de calcul et de présentation des facteurs d'émission souligne l'importance de développer un modèle qui se rapproche le plus possible de la réalité des émissions atmosphériques. Cela permet de fournir une base solide pour les décisions publiques en matière environnementale dans le domaine du transport.

Conclusion :

En conclusion, l'évaluation des émissions polluantes dans le cadre du transport urbain durable est essentielle pour la planification et le développement de systèmes de transport respectueux de l'environnement. Ces estimations fournissent des données cruciales pour évaluer les impacts environnementaux et sanitaires, gérer le trafic urbain et formuler des politiques de transport futures.

Cependant, la réalisation de telles études est complexe et implique la prise en compte de nombreux paramètres, souvent avec une précision limitée. Dans le chapitre suivant, nous avons exposé notre approche de collecte de données afin de soutenir les estimations de la pollution atmosphérique, en mettant en évidence les défis rencontrés et les méthodes utilisées pour les surmonter.

⁵⁷ Boulter, P. G., Barlow, T. J., & McCrae, I. S. (2009). Emission factors 2009: Report 3-exhaust emission factors for road vehicles in the United Kingdom. *TRL published project report*.

Cette démarche vise à garantir la fiabilité et l'exactitude des données utilisées dans les études d'impact environnemental, la gestion du trafic et l'élaboration de politiques de transport durable. En surmontant les difficultés liées à la collecte de données, nous pouvons améliorer la qualité des estimations des émissions polluantes et contribuer ainsi à la mise en place de solutions efficaces pour réduire l'impact du transport urbain sur l'environnement et la santé publique.

Chapitre 3 :

L'aire d'étude et collecte de données.

Introduction :

La détection, l'identification et la quantification des polluants atmosphériques émis par le transport en Algérie restent encore méconnues et très difficiles à évaluer. Aussi, l'idée à travers ce mémoire est de tenter de combler cette lacune de connaissances en développant une méthodologie précise et efficace pour mesurer et évaluer ces émissions polluantes.

Notre choix a porté sur le cas d'Alger Centre. Cette commune attire quotidiennement un grand nombre de résidents, de travailleurs et de visiteurs, en raison de sa position centrale et de son rôle économique majeur dans la région.

Alger Centre est une commune algéroise qui attire quotidiennement des milliers de déplacements en provenance de l'ensemble du territoire national, dont un grand nombre s'est effectué en voiture particulière. Cette croissance de la mobilité engendre d'importantes répercussions environnementales qui nécessitent d'être quantifiées.

Ce chapitre se concentre sur une étude de cas pratique. Après avoir présenté le terrain d'étude, nous décrirons la méthode choisie pour collecter les données nécessaires afin de quantifier les émissions de polluants. Étant donné le manque de données disponibles et à jour (telles que les enquêtes auprès des ménages et les enquêtes de déplacements), nous avons réalisé nos propres enquêtes sur le terrain pour identifier le nombre et le type de véhicules entrant dans la zone d'étude, dans le but de quantifier la pollution émise par les véhicules automobiles. Bien qu'une enquête Origine/Destination aurait été la méthode la plus appropriée dans ce cas, sa complexité nous a poussés à trouver une autre approche. Après de nombreuses réflexions, nous avons opté pour la méthode d'interview des conducteurs de véhicules sur les aires de stationnement. Les détails de la méthodologie utilisée sont présentés dans la section suivante.

1 Présentation de l'aire d'étude :

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi une partie de la commune d'Alger Centre comme cas d'étude. Cependant, il est important de présenter d'abord le contexte géographique, démographique et économique à une échelle plus large dans lequel notre zone d'étude s'inscrit. Cela nous permettra ensuite de mieux contextualiser notre zone d'étude.

1.1 Contexte général de l'air d'étude :

Dans le cadre de ce mémoire, notre choix a porté sur le traitement et l'analyse des émissions polluantes au niveau de la commune d'Alger centre. Créée en vertu du décret du 19 février 1977 et faisant partie de la wilaya d'Alger, cette commune du même nom, est administrativement rattachée à la daïra de Sidi M'Hamed qui constitue le cœur de la ville d'Alger. Elle est délimitée à l'Est par la commune de Sidi M'Hamed, à l'Ouest par la Casbah, au Nord par la mer Méditerranée, et au Sud par les communes d'El Biar et Oued Koriche.

Décrite comme un lieu enchanteur en 1950, par l'architecte Le Corbusier, Alger s'ouvre sur une baie vaste et renommée, entre la plaine agricole de la Mitidja au sud et la mer Méditerranée au nord.

Alger est la capitale politique, administrative et économique de l'Algérie. Son histoire est extrêmement riche et remonte à sa fondation par les Phéniciens au IV^e siècle avant J-C. Au cours des siècles, elle a été un véritable carrefour où se sont entremêlées différentes civilisations. Cette superposition d'influences culturelles a conféré à la ville une richesse et une diversité exceptionnelles, particulièrement au niveau de son patrimoine architectural. Finalement, en 1962, Alger a été choisie comme capitale de l'Algérie indépendante, ce qui a renforcé son importance politique et historique.

La ville d'Alger est construite sur une série de terrasses s'élevant jusqu'au massif de Bouzaréah, qui culmine à 407 mètres dans la région du Sahel Algérois. L'agglomération du Grand Alger s'étend du littoral de Bou Ismail jusqu'à Boumerdes en passant par Alger, englobant même certaines zones au-delà de Tipaza, contrairement aux idées reçues. Ces extensions urbaines sont étroitement liées aux dynamiques urbaines et rurales en cours.

Figure 7 : Photo satellite de la métropole d'Alger.



Source : (CNES, 2019)

Le relief escarpé caractéristique du littoral méditerranéen a joué un rôle majeur dans l'organisation de la ville d'Alger.

La croissance démographique, due à l'exode rural après la période coloniale et aux problèmes de sécurité des années 1990, ainsi que la demande croissante de logements, ont entraîné une expansion urbaine le long des plaines côtières. Cette expansion a contribué à la fragmentation de la région de la Mitidja. Dans le contexte de la modernisation, Alger s'efforce de rester compétitive tout en respectant les principes de durabilité. Ainsi, la ville a entrepris une véritable reconquête de son littoral en développant des activités portuaires ainsi que des activités tertiaires, industrielles, culturelles et religieuses.

Alger abrite une population estimée à plus de 4,1 millions d'habitants, ce qui constitue une part importante de la population nationale dépassant les 44 millions d'habitants. De cette population, 63 000 habitants résident dans la commune d'Alger centre, sur une superficie de 3,7 km². A noter que la wilaya d'Alger qui s'étend sur un peu plus de 800 km², affiche une densité moyenne de population de 5 073 habitants/km², répartis sur 57 communes. Sa population active de base, estimée à plus d'1,4 million de personnes, représente environ 65,04% de la population en âge de travailler. La population d'Alger est relativement jeune, avec un âge moyen d'environ 28 ans, tandis que le taux de chômage s'établit à 5,2%.

En tant que capitale et plus grande wilaya d'Algérie en termes de population, Alger, attire un nombre important d'entreprises nationales et internationales, ainsi que de nombreuses administrations et acteurs économiques publics.

En ce qui concerne le transport, Alger bénéficie très tôt, d'un réseau routier dense et bien maillé, qui constitue le principal moyen de communication à l'intérieur de la wilaya ainsi qu'avec les wilayas voisines. Ce réseau routier s'étend sur une longueur totale de 2 364 kilomètres, comprenant 563 kilomètres de routes nationales, 254 kilomètres de chemins de wilaya et 1 547 kilomètres de chemins communaux.

En ce qui concerne les transports en commun, Alger dispose d'un système ferroviaire, de lignes de bus, d'un tramway, d'un métro, d'un téléphérique et de services de taxi. Ces différents modes de transport ont été utilisés par plus de 180 millions de voyageurs en 2021.

En raison de toutes les attractions administratives, culturelles ou économiques mentionnées précédemment, Alger suscite quotidiennement un grand nombre de déplacements de différentes natures, dont une bonne partie s'effectue en voiture particulière. Cette situation entraîne une congestion routière persistante tout au long de la journée.

1.2 Délimitation de l'aire d'étude :

Afin de garantir la qualité de notre étude et de respecter les délais impartis, il était essentiel de délimiter une zone d'étude plus restreinte. Cette décision a été prise en raison de la taille de la commune d'Alger et du nombre élevé de déplacements quotidiens en voiture vers cette zone. Ainsi, une réflexion approfondie a été menée pour pouvoir réaliser l'étude de manière réaliste, en tenant compte des ressources disponibles.

Dans ce contexte, nous avons opté pour la façade Nord de la commune d'Alger-Centre, s'étendant de ses frontières avec Sidi M'Hamed jusqu'à celles avec la Casbah. Ce choix a été motivé par l'accessibilité routière de la zone grâce à la présence de la rocade nord et des différentes routes reliant Alger-Centre aux communes environnantes. De plus, la proximité des transports en commun, tels que la gare des bus de Champs de Manœuvre, d'Aubin et de la Grande Poste, les stations de métro, ainsi que les deux gares de train et une présence significative de taxis, a également été prise en compte.

La zone sélectionnée comprend un certain nombre de générateurs de trafic importants, tels que le siège de la wilaya, les sièges du parlement, le tribunal de Sidi M'Hamed et le Square Port-Saïd, connu pour son activité de change de devises, ainsi que d'autres générateurs situés à proximité de notre zone d'étude. La délimitation de cette zone est présentée dans la carte figurant dans l'illustration suivante :

Figure 8 : Délimitation géographique de l'air d'étude.



Source : (SABTI, 2023)

Afin de mieux traiter notre thème, un découpage de l'aire d'étude a été effectué. Ce découpage consiste à diviser l'espace étudié en parties présentant des caractéristiques similaires, notamment celles relatives à l'accessibilité routière de la zone. Ce découpage permettra une analyse plus approfondie et spécifique de chaque région, en tenant compte des variations potentielles dans les émissions de polluants atmosphériques liées aux différents niveaux d'accessibilité routière.

Ainsi, notre zone a été découpée en quatre parties distinctes (Figure 12) : les zones 1, 2 et 3 sont situées le long des principales voies de circulation, tandis que la zone 4, connue sous le nom de Parking Sofia, se trouve en dehors des routes principales. La carte ci-dessous illustre clairement la répartition de ces zones dans notre étude.

Figure 9 : Découpage de l'air d'étude.



Source : (SABTI, 2023)

2 Enquête et analyse :

Pour réaliser des estimations des émissions polluantes, il est indispensable d'obtenir des données précises et fiables afin d'alimenter le modèle de calcul des émissions et d'interpréter les résultats. Cependant, certaines informations essentielles, telles que le nombre de véhicules se déplaçant vers notre zone d'étude, le type de véhicules, les cylindrées, l'âge du véhicule et les types de carburant utilisés, ainsi que des détails sur les déplacements eux-mêmes tels que leur origine, leur distance, leur vitesse et leur motif, sont pratiquement inexistantes.

L'absence des données disponibles pour mener à bien notre étude, et celles qui existent mais qui sont souvent dépassées et obsolètes, nous ont conduits à décider de collecter nous-mêmes les données directement sur le terrain en réalisant une série d'enquêtes et de sondages. Cette approche nous permettra d'obtenir des données actualisées et spécifiques à notre zone d'étude, garantissant ainsi la qualité et la pertinence de nos estimations des émissions polluantes.

2.1 Enquête de stationnement :

La première étape de notre étude consistait à déterminer le nombre de véhicules se déplaçant vers notre zone d'étude. Cette donnée peut être obtenue en analysant le nombre de véhicules stationnés dans notre zone. Pour cela, il était essentiel de réaliser une enquête de stationnement.

Cette enquête a été réalisée en deux étapes :

- Un dénombrement de l'offre de stationnement.

- Un recensement de la demande de stationnement.

Ces deux étapes permettent d'obtenir une vision d'ensemble de la situation en recueillant des données sur l'offre et la demande, ce qui constitue une base solide pour les analyses ultérieures. L'enquête a été réalisée sur les différents emplacements de stationnement présents dans notre zone d'étude, qu'ils soient situés sur ou hors voirie. Ces emplacements ont été choisis car ils représentent des destinations ponctuelles pour les véhicules étudiés.

2.1.1 Déroulement de l'enquête :

L'enquête s'est déroulée sur une période de deux jours, avec deux étapes distinctes.

- **Le mercredi 1er mars 2023** : Nous avons consacré une journée entière au dénombrement de l'offre de stationnement. Nous avons parcouru toutes les rues de la zone étudiée afin de relever le nombre de places de stationnement disponibles et d'identifier la réglementation en vigueur en observant les différentes plaques de signalisation présentes le long de toutes les rues de notre aire d'étude.
- **Le lundi 6 mars 2023** : Nous avons procédé au recensement de la demande de stationnement. Pour cela, nous avons effectué des comptages sur trois circuits au niveau des zones étudiées spécifiés dans le reste du document. Chaque circuit a fait l'objet de sept tournées, avec une tournée toutes les deux heures, entre 6h du matin et 18h. Dans le but de garantir la précision de notre étude, nous avons utilisé une méthode légèrement différente de l'approche traditionnelle. Nous avons enregistré sur vidéo chaque tournée effectuée sur chaque circuit afin de collecter des données qui seront analysées ultérieurement.

Cette approche nous a permis de recueillir des informations détaillées sur l'offre de stationnement et la demande correspondante. En combinant des relevés sur le terrain et des enregistrements vidéo, nous avons mis en place une méthodologie rigoureuse qui nous fournira une base solide pour l'analyse ultérieure des résultats de l'enquête.

Notre aire d'étude propose deux types distincts de stationnement : le stationnement sur voirie et le stationnement hors voirie. Les zones 1, 2 et 3 offrent des possibilités de stationnement sur voirie, tandis que la zone 4 est dédiée au stationnement hors voirie.

2.1.2 Offre de stationnement :

➤ Offre hors voirie :

Dans notre aire d'étude, il existe un seul parking hors voirie appelé "Parking Sofia" situé en zone 4. Pour évaluer la capacité de stationnement de ce parking, nous nous sommes référés à la fiche technique fournie par l'Entreprise de Gestion de la Circulation et du Transport Urbain (EGCTU), qui est responsable de la gestion de tous les parkings hors voirie réglementaires du centre d'Alger.

Nous avons constaté que le parking Sofia offre un total de 250 places de stationnement. Ces places sont réparties en deux catégories : des places réservées et des places non réservées. De plus, le parking propose deux options de tarification : une tarification à l'heure et des abonnements mensuels.

➤ Offre sur voirie :

Dans notre aire d'étude, les zones 1, 2 et 3 se composent d'un réseau routier dense, principalement à sens unique. Ces routes sont soumises à différentes réglementations en matière de stationnement, incluant des interdictions, des autorisations et des réservations de places. Voici la liste des rues pour chaque zone :

- **Zone 1 :** rue Abane Ramdane, rue de la Liberté, rue KESSENTINI, rue Azouz BACHIR, rue Hocine TIAH, rue Strasbourg, rue Cherif HAMANI, rue Sid Ali Bouziri, rue Nafa HAFFAF.
- **Zone 2 :** rue Capitaine HASSANI, rue BELARBI, rue TINDOUF, rue El Bib, rue d'Argentine.
- **Zone 3 :** rue M. Addoune, rue Mustapha Ferroukhi, rue Arezki HAMANI, rue Mustapha BOUCHIRED, rue des Frères BELAGOUNE, rue Frères Merouane ABBAS, rue Abderahman Mira.

Après avoir effectué le décompte des places de stationnement, nous avons recensé un total de 759 places disponibles. Voici un tableau présentant cette offre de stationnement :

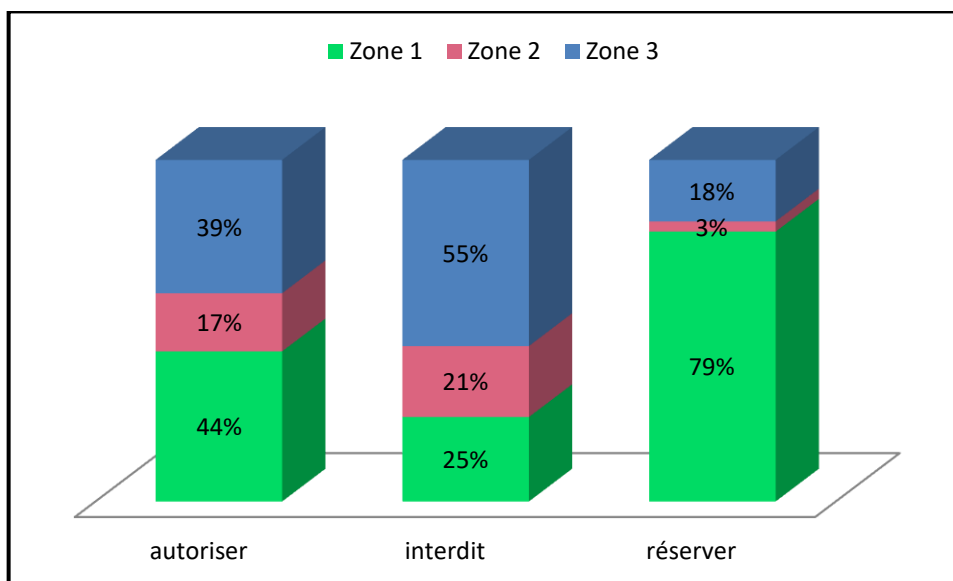
Tableau 3 : Offre de stationnement sur voirie.

Zones \ Offre	Offre de stationnement par réglementation			Offre Totale
	autorisé	interdit	réservé	
Zone 1	258	18	75	351
Zone 2	100	15	3	118
Zone 3	233	40	17	290
Total	591	73	95	759

Source : (SABTI, 2023)

Selon les données du tableau 3, nous constatons que 46 % de l'offre de stationnement se trouve en zone 1, 38 % en zone 3 et 16 % en zone 2. La majorité des places disponibles sont destinées au stationnement autorisé, représentant 78 % de l'offre. Les places réservées représentent 13 % de l'offre, tandis que les places interdites au stationnement sont moins nombreuses, avec une proportion de 10 %.

Figure 10 : Répartition de l'offre de stationnement par zone selon la réglementation.



Source : (SABTI, 2023)

➤ **Offre globale :**

Après avoir effectué le décompte des places de stationnement disponibles dans l'ensemble de notre zone d'étude, nous avons constaté un total de 1009 places. Ces places sont réparties dans les différentes zones de la manière suivante :

Tableau 4 : Tableau récapitulatif de l'offre de stationnement.

zone	Offre de stationnement
Zone 1	351
Zone 2	118
Zone 3	290
Zone 4	250
Total	1009

Source : (SABTI, 2023)

2.1.3 Demande de stationnement :

La demande de stationnement quotidienne dans notre zone d'étude représente le nombre de véhicules qui utilisent cet endroit comme lieu de stationnement. Pour recenser cette demande, nous faisons une distinction entre le stationnement hors voirie et le stationnement sur voirie.

➤ Demande hors voirie :

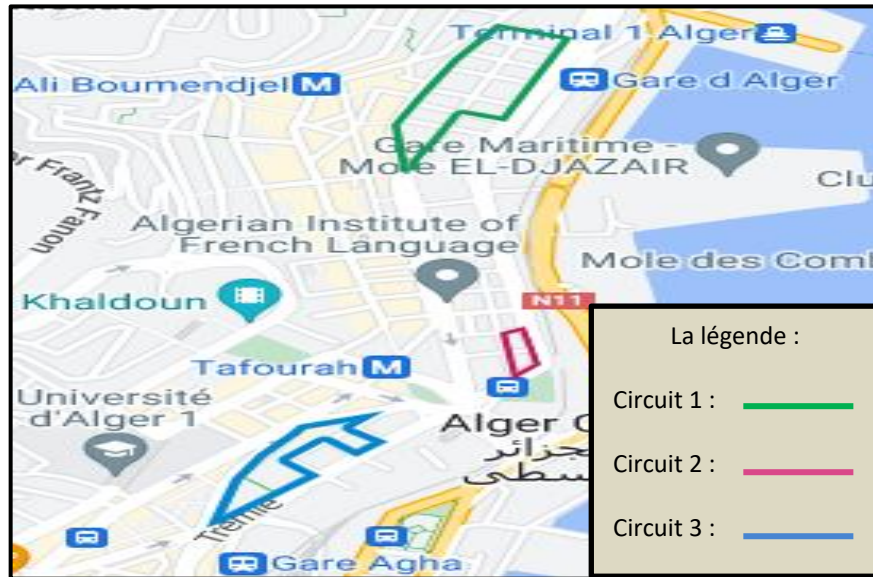
En se basant sur les rapports mensuels de l'EGCTU concernant le parking Sofia, nous avons constaté une demande moyenne de stationnement quotidienne de 692 véhicules. Cette demande est répartie entre 489 véhicules utilisant la tarification horaire et 203 véhicules bénéficiant d'un abonnement.

➤ Demande sur voirie :

Afin de recenser la demande quotidienne de stationnement dans les rues de notre zone d'étude, nous avons sélectionné un échantillon de rues dans chaque zone (zone 1, 2 et 3). Ces échantillons forment trois circuits distincts, un pour chaque zone. Ces circuits ont été conçus de manière à assurer une homogénéité en termes d'offre de stationnement dans chaque zone, ainsi qu'à respecter la répartition des réglementations de stationnement au sein des circuits.

- **Circuit 1 (Zone 1) :** rue Abane Ramdane, rue KESSENTINI, rue Sid Ali Bouzizi, rue de la Liberté.
- **Circuit 2 (Zone 2) :** rue Capitaine HASSANI.
- **Circuit 3 (Zone 3) :** rue Mustapha Ferroukhi, rue des Frères BELAGOUNE, rue Arezki HAMANI.

Figure 11 : Circuits enquêtés.



Source : (SABTI, 2023)

Après avoir analysé les vidéos prises le 6 mars 2023, nous avons extrait des tableaux recensant tous les véhicules stationnés sur notre circuit à chaque tour. En utilisant ces données, nous avons pu observer la demande quotidienne de stationnement pour chaque circuit. En extrapolant ces résultats à l'ensemble des zones, nous sommes en mesure d'estimer la demande totale de stationnement pour la journée. Cette estimation nous permet d'avoir une vision globale de la demande de stationnement dans notre zone d'étude.

Tableau 5 : Demande de stationnement par circuit.

Circuit	Offre de stationnement	Demande de stationnement	Taux de rotation moyen
circuit 1	149	230	1.54
circuit 2	40	38	0.95
circuit 3	101	101	1.92

Source : (SABTI, 2023)

Il a été convenu de généraliser les résultats obtenus afin d'estimer la demande totale de stationnement sur voirie dans notre aire d'étude. Cette demande globale est calculée en multipliant la capacité de stationnement de chaque zone par le taux de rotation observé dans le tableau précédent.

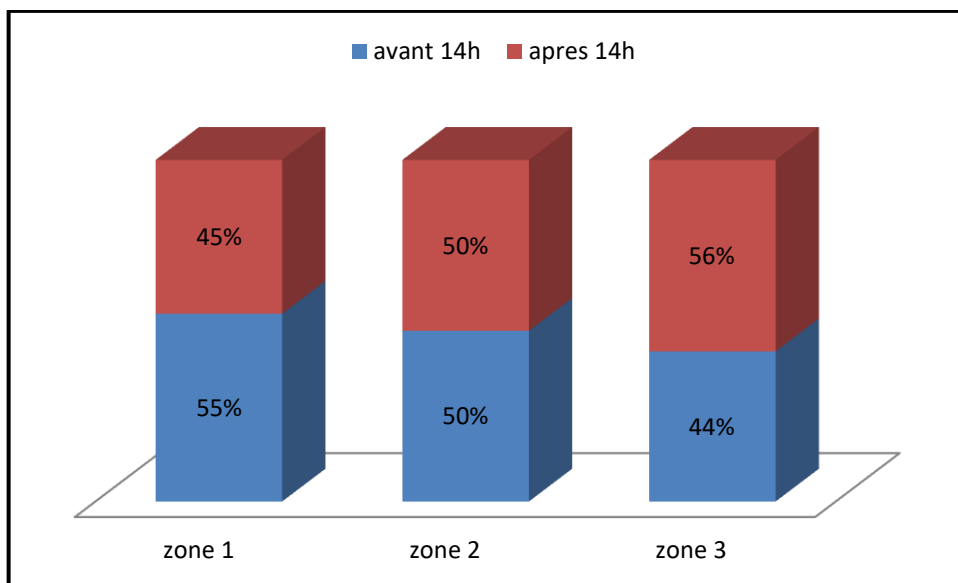
Tableau 6 : Demande de stationnement sur voirie.

Zone	Offre de stationnement	Taux de rotation moyen	Demande de stationnement
Zone 1	351	1.54	542
Zone 2	118	0.95	112
Zone 3	290	1.92	557

Source : (SABTI, 2023)

Les résultats de l'enquête ont révélé la nécessité de trouver une plage horaire où la demande de stationnement est équilibrée à la fois avant et après cette heure spécifique. Par conséquent, nous pouvons faire une distinction claire entre la demande de stationnement avant 14h et après 14h.

Figure 12 : Répartition de la demande de stationnement.



Source : (SABTI, 2023)

➤ **Demande globale :**

Après avoir effectué le recensement de la demande de stationnement dans l'ensemble de notre zone d'étude, nous avons constaté une demande quotidienne totale de 1903 véhicules. Cette demande est répartie entre les différentes zones de la manière suivante :

Tableau 7 : Demande de stationnement par zone.

Zone	Demande de stationnement
Zone 1	542
Zone 2	112
Zone 3	557
Zone 4	692
Total	1903

Source : (SABTI, 2023)

2.2 Enquête par interview :

Après avoir pris connaissance du nombre de véhicules se déplaçant vers notre zone d'étude, nous avons entrepris une enquête sur le terrain en interrogeant directement les conducteurs. L'objectif de cette enquête était de recueillir des données supplémentaires relatives aux véhicules, aux conducteurs, aux passagers et aux déplacements. Cette initiative visait à collecter des informations complémentaires qui pourraient être pertinentes pour la réalisation de notre étude.

2.2.1 Echantillonnage :

Notre sondage vise à cibler les véhicules stationnés dans notre air d'étude, qui compte au total 1903 véhicules. Étant donné la taille considérable de cette population, nous avons choisi de procéder à un échantillonnage. En suivant la règle couramment utilisée par la plupart des bureaux d'études dans le domaine des transports, y compris le BETUR, nous avons déterminé que la taille de notre échantillon serait de 286 véhicules.

Tableau 8 : Echantillon du sondage.

Zone	Taille de population	Taille de l'échantillon
Zone 1	542	81
Zone 2	112	17
Zone 3	557	84
Zone 4	692	104
Total	1903	286

Source : (SABTI, 2023)

Afin de garantir la représentativité de notre échantillon par rapport à l'ensemble de la population, nous l'avons divisé en deux groupes en fonction de la demande de stationnement avant et après 14h, pour la zone 1, 2 et 3. Cette répartition est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Répartition de l'échantillon pour les zones 1, 2 et 3.

Zones	Avant 14h	Après 14h
Zone 1	44	37
Zone 2	9	9
Zone 3	37	47

Source : (SABTI, 2023)

2.2.2 Déroulement du sondage :

Après avoir finalisé le questionnaire, nous avons procédé à la réalisation du sondage en interrogeant les conducteurs des véhicules stationnés dans notre zone d'étude. Les enquêtes ont été menées les lundis et mercredis 13, 15 et 20 mars 2023, en veillant à éviter les jours fériés, les week-ends et les périodes de vacances scolaires, afin de garantir que les déplacements des véhicules correspondent à leurs habitudes habituelles. Les enquêtes se sont déroulées sur ces trois jours.

Plusieurs enquêteurs ont participé à la réalisation de ce sondage. Chacun d'entre eux a sélectionné aléatoirement un conducteur à interroger. Un ensemble de questions a été posé et les réponses ont été enregistrées manuellement sur un formulaire de sondage, en suivant les instructions fournies. Le suivi de l'avancement du sondage est présenté comme suit :

Tableau 10 : Suivi avancement sondage.

Jours Zone	Lundi 13 mars 2023		Mercredi 15 mars 2023		Lundi 20 mars 2023	
	Avant 14h	Après 14h	Avant 14h	Après 14h	Avant 14h	Après 14h
Zone 1	18	25	14	0	12	12
Zone 2	0	0	0	0	9	9
Zone 3	12	19	25	28	0	0
Zone 4	80		0		24	

Source : (SABTI, 2023)

2.2.3 Généralisation des résultats :

Grâce à ce sondage, nous avons pu constituer une base de données riche en informations, comprenant une variété de données à la fois qualitatives et quantitatives. Ces données comprennent :

- **Données quantitative :** âge du conducteur, nombre de passagers, âge du véhicule, cylindrée, distance parcourue, durée du trajet et vitesse du véhicule.
- **Données qualitative :** catégorie socio-professionnelle du conducteur, marque et modèle du véhicule, type de véhicule, origine du déplacement, itinéraire, motifs de déplacement, fréquence de déplacement, raisons du choix d'un carburant et justifications du choix d'un véhicule particulier plutôt que les transports en commun.

Afin d'obtenir une vision globale de la situation étudiée, il est nécessaire de généraliser les résultats du sondage. Cette généralisation s'est effectuée à l'aide d'une technique appelée redressement. Le redressement consiste à appliquer un coefficient aux résultats obtenus à partir de l'échantillon. Cette étape permet d'ajuster les données de l'échantillon de manière à ce qu'elles représentent de manière plus précise l'ensemble de la population étudiée. En effectuant ce redressement, nous serons en mesure d'obtenir des résultats plus fiables et représentatifs de la situation globale.

Tableau 11 : Les Coefficients de redressement par zone.

Zones	Coefficient de redressement
Zone 1	6,691358
Zone 2	6,222222
Zone 3	6,630952
Zone 4	6,653846

Source : (SABTI, 2023)

Conclusion :

En conclusion de ce chapitre, nous avons mené une analyse approfondie de la demande de déplacement dans notre zone d'étude, en mettant particulièrement l'accent sur l'état du stationnement. Nous avons identifié une demande quotidienne totale de 1903 véhicules, ce qui témoigne de l'utilisation significative des espaces de stationnement dans la région. Cette

demande est répartie de manière spécifique dans les différentes zones, soulignant ainsi les variations potentielles dans les besoins et les préférences des conducteurs en matière de stationnement.

Afin de mieux appréhender cette demande et d'obtenir des données plus détaillées, nous avons réalisé un sondage sur le terrain. Nos enquêteurs ont interrogé les conducteurs des véhicules stationnés, nous permettant ainsi de recueillir des informations précieuses sur les caractéristiques des véhicules, les habitudes de déplacement et les préférences des conducteurs. Cette approche nous aidera à obtenir une vision plus complète de la dynamique de la demande de déplacement dans notre zone d'étude.

L'échantillon sélectionné pour le sondage comptait 285 véhicules, ce qui correspond à une recommandation couramment utilisée dans les études de transport, représentant environ 15% de la population totale. Cette taille d'échantillon nous permettra d'obtenir des résultats fiables et représentatifs de la population de conducteurs dans notre zone d'étude.

Les informations recueillies grâce à notre analyse de la demande de stationnement et à notre sondage sur le terrain constituent une base solide pour les prochaines étapes de notre recherche. Elles nous permettront de mieux comprendre les facteurs influençant la demande de déplacement en voiture particulière, de formuler des recommandations et de concevoir des politiques efficaces pour gérer et optimiser les externalités du transport routier. Les résultats de cette étude serviront de point de départ pour le chapitre suivant, où nous évaluerons l'impact de la demande de déplacement en voiture sur la pollution atmosphérique et proposerons des mesures appropriées pour atténuer ces effets négatifs.

Chapitre 4 :

Estimation de la pollution atmosphérique sur aire d'étude.

Introduction :

Le quatrième chapitre de notre étude se concentre sur l'estimation de la pollution atmosphérique générée par les déplacements en véhicule routier, l'une des principales sources d'émissions. Cette évaluation revêt une importance capitale pour établir une base solide sur laquelle s'appuieront les solutions visant à résoudre cette problématique mondiale.

Dans notre région d'étude, qui compte un nombre important de générateurs de trafic, les déplacements en véhicule routier sont fréquents et nombreux, atteignant environ 1903 déplacements/jour. Il est donc impératif de quantifier les émissions polluantes résultant de ces déplacements.

Afin d'analyser la situation des déplacements vers la zone d'étude, une base de données construite sur la base du sondage préalablement présenté, a été effectuée pour quantifier les polluants rejetés par le déplacement des véhicules.

N'ayant pas de modèle spécifique pour l'estimation de polluants en Algérie, nous avons opté pour une combinaison entre deux modèles de calcul : la méthodologie de calcul présente dans le modèle européen COPERT et le modèle anglais NAEI, en ce qui concerne les facteurs d'émission. De plus, il convient de noter que notre étude n'a considéré que les émissions à chaud en raison du manque de données disponibles pour les calculs à froid.

En fin du document, nous présenterons un ensemble de recommandations visant à atténuer le niveau de ces émissions. Ces recommandations seront basées sur les résultats obtenus ainsi que sur les mesures déjà mises en place dans d'autres contextes similaires.

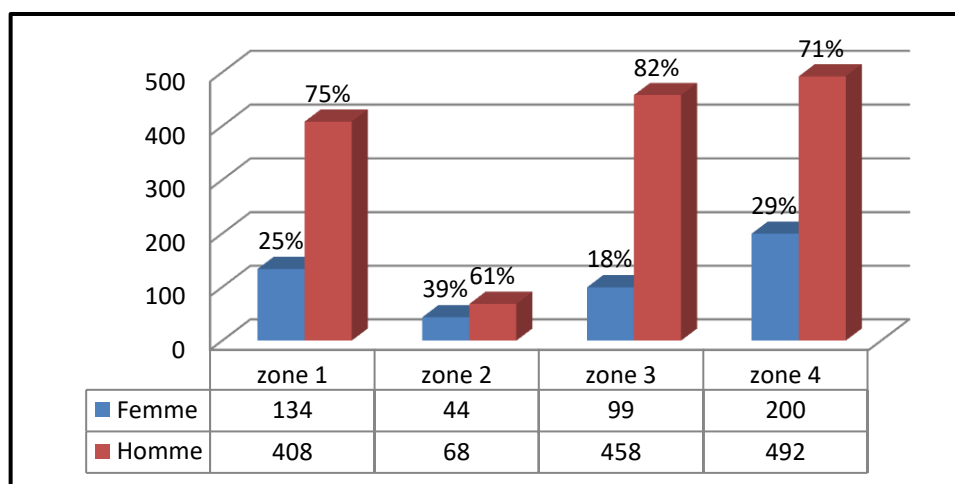
1 Etat des lieux :

Afin d'analyser de manière approfondie notre cas d'étude, il est essentiel de réaliser un état des lieux exhaustif des 1903 véhicules attirés par notre zone d'étude. Dans cette optique, nous présenterons une synthèse comprenant des données, des statistiques et des informations pertinentes pour l'estimation et l'analyse. Les données utilisées sont tirées d'un sondage préalablement effectué formant la base des données utilisées ci-après.

1.1 Les caractéristiques des conducteurs :

Les personnes interrogées dans le cadre de notre étude sont celles qui effectuent leurs déplacements vers notre zone d'étude en utilisant leur propre véhicule. Nous avons constaté que parmi les 1903 conducteurs étudiés, 25% étaient des femmes, tandis que 75% étaient des hommes.

Figure 13 : Répartition des conducteurs selon le sexe.



Source : (SABTI, 2023)

Il a été constaté que l'âge moyen des conducteurs était de 41 ans, avec une prédominance des conducteurs âgés de 26 à 60 ans, représentant environ 81% de l'échantillon.

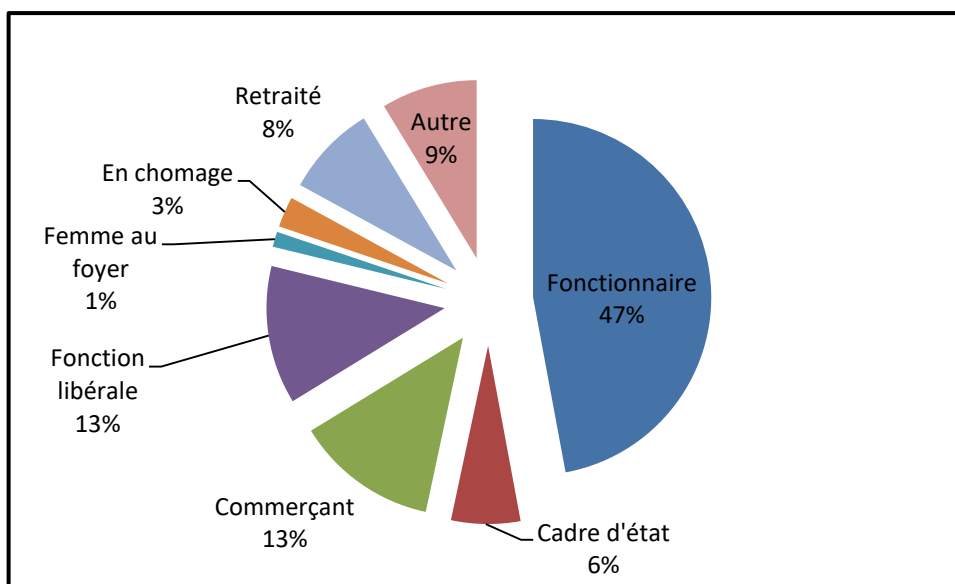
Tableau 12 : Répartition des conducteurs par catégorie d'Age.

Catégorie d'Age	Sexe		Total
	F	H	
18 à 25 ans	106	153	259
26 à 35 ans	132	312	444
36 à 45 ans	139	384	524
46 à 60 ans	80	491	571
plus de 60 ans	20	86	106

Source : (SABTI, 2023)

De plus, il est intéressant de noter que parmi ces conducteurs, 79% font partie de la population active.

Figure 14 : Répartition des conducteurs selon la catégorie socioprofessionnelle.

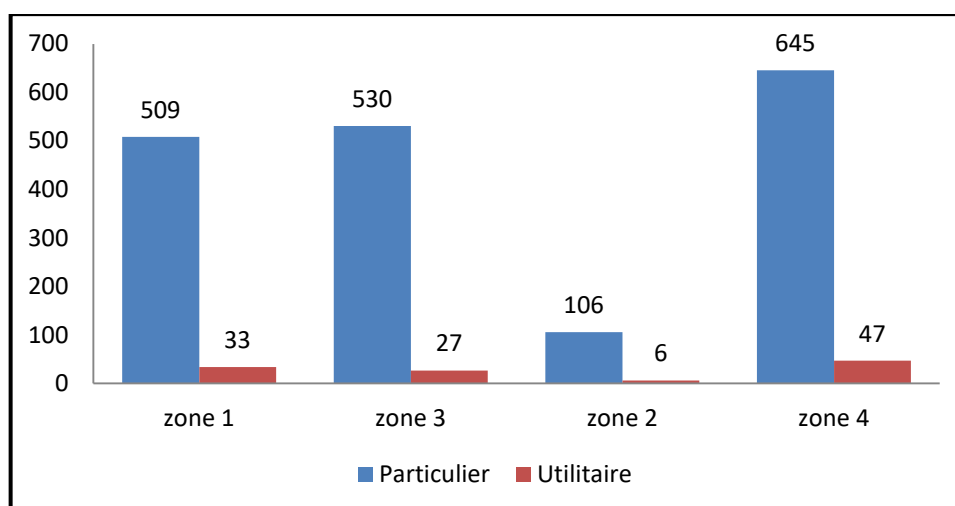


Source : (SABTI, 2023)

1.2 Les caractéristiques des véhicules :

Parmi les 1903 véhicules recensés dans notre étude, nous constatons les différences qui existent entre eux. Ces différences sont évaluées en fonction de divers paramètres techniques propres à chaque véhicule. Nous avons relevé la présence de 1790 voitures particulières et de 113 véhicules utilitaires, répartis de la manière suivante :

Figure 15 : Répartition des véhicules par type.



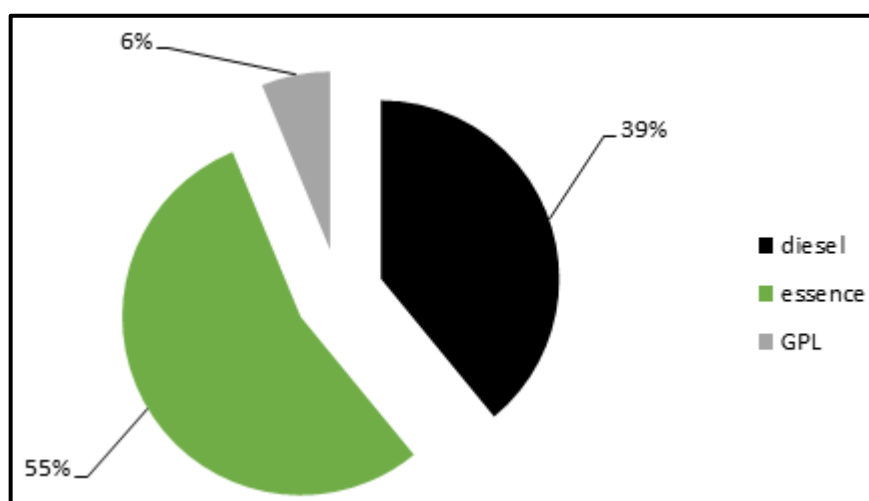
Source : (SABTI, 2023)

Il est à noter que l'âge moyen de ces véhicules est de 10 ans. Il est important de souligner que les véhicules âgés de plus de 10 ans représentent environ 38% de l'ensemble des véhicules.

D'autre part, les véhicules âgés de moins de 5 ans ne représentent que 10% du total des véhicules, ce qui peut s'expliquer par l'arrêt des importations de véhicules neufs pendant cette période.

En Algérie, les véhicules roulent généralement avec trois types de carburant : l'essence sans plomb, le gazole et le GPL. Dans l'échantillon étudié, les carburants utilisés par véhicules recensés sont répartis de la manière suivante.

Figure 16 : Répartition des véhicules selon type de carburant dans l'aire d'étude.

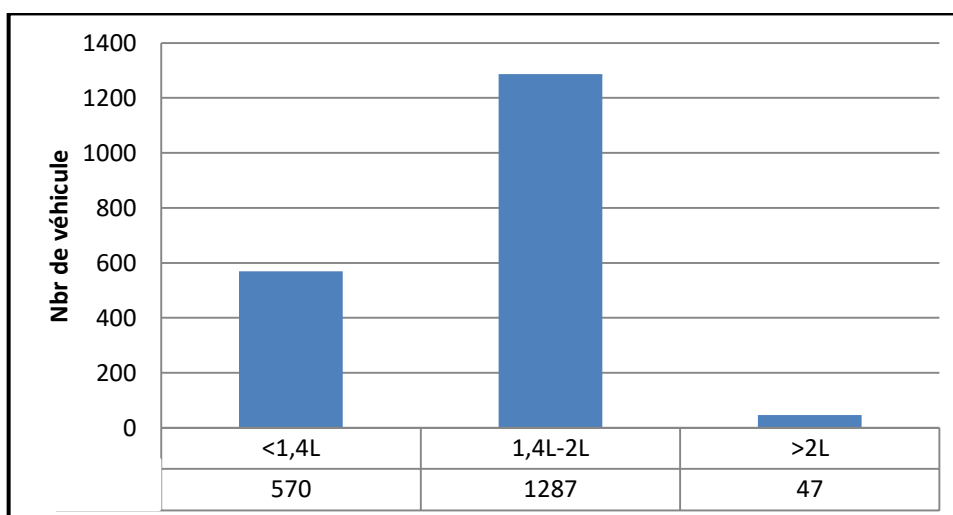


Source : (SABTI, 2023)

Il est remarqué que l'utilisation de l'essence et du gazole est prédominante, tandis que l'utilisation du GPL reste marginale par rapport aux carburants traditionnels. De plus, 48% des conducteurs ont précisé que leur choix de carburant était principalement basé sur le prix, tandis que 23% l'ont basé sur la performance. Par ailleurs, 34% des conducteurs ont mentionné d'autres raisons telles que des préférences personnelles et les coûts d'exploitation pour justifier leur choix de carburant.

Étant donné que la cylindrée du véhicule influence la consommation de carburant et les émissions atmosphériques, nous avons observé une prédominance des véhicules avec une cylindrée de 1.4L et 2L, représentant environ 68% de l'échantillon. Les véhicules avec une cylindrée strictement inférieure à 1.4L représentent 30% de l'échantillon, tandis que les véhicules avec une cylindrée strictement supérieure à 2L ont une présence négligeable d'environ 2%.

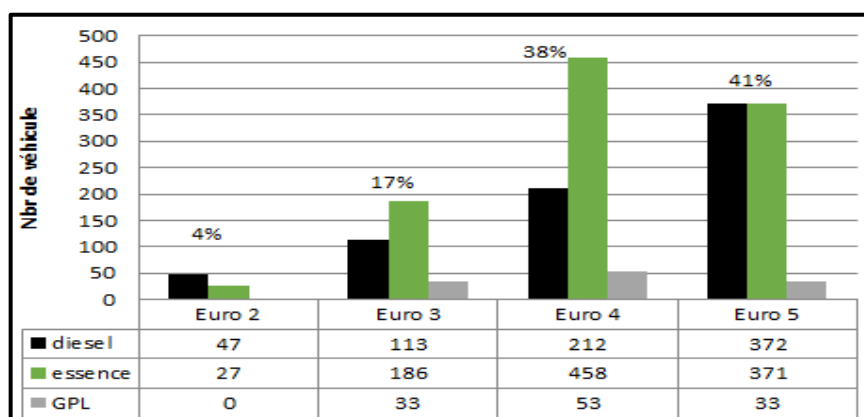
Figure 17 : Répartition des véhicules par cylindrée.



Source : (SABTI, 2023)

Il est bien connu qu'un autre facteur déterminant en termes d'émissions des véhicules est la norme Euro à laquelle ils sont conformes. En Algérie, il existe un déficit dans la répartition du parc automobile selon ces normes. Selon l'étude réalisée par Naoual Berrouane sur les émissions spécifiques des véhicules⁵⁸, nous constatons un retard significatif dans l'adoption des normes. Les véhicules fabriqués après 2000 sont conformes à une norme, mais celle-ci reste inférieure à la norme européenne équivalente pour des véhicules du même âge. En revanche, les véhicules datant d'avant 2000 ne présentent aucun retard par rapport aux normes européennes. Parmi les 1903 véhicules étudiés, nous avons constaté que 96% d'entre eux sont conformes à une norme supérieure ou égale à Euro 3, et aucun véhicule ne répond à une norme inférieure à Euro 2.

Figure 18 : Répartition des véhicules par norme euro et carburants.



Source : (SABTI, 2023)

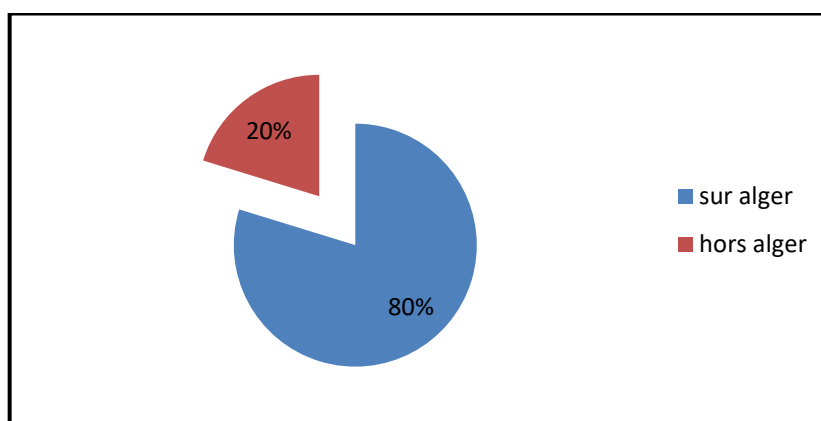
⁵⁸ Berrouane, N. (2010). Contribution à la détermination des facteurs d'émissions unitaires de polluants de véhicules utilitaires légers (Mémoire de magister). Université Saad Dahleb - Blida, Algérie.

1.3 Les caractéristiques des déplacements :

Les 1903 véhicules correspondent aux 1903 déplacements effectués vers notre zone d'étude en voiture, le choix du moyen de transport est motivé par plusieurs facteurs, dont les 83% sont constitués du temps des trajets, suivi de 38% qui ont privilégié le confort, Environ 1.7% des conducteurs ont mentionné les coûts comme motif, tandis que 21% ont cités d'autres raisons telles que la sécurité et la disponibilité. Il est important de souligner que les émissions atmosphériques varient au cours de la journée en fonction de l'origine, de l'itinéraire, ainsi que des conditions de circulation, parmi d'autres.

Il a été constaté que ces déplacements proviennent de diverses origines, La majorité des véhicules, soit 1528 au total, issus d'une commune située à Alger. Cependant, le reste des déplacements sont en provenance d'autres wilayas du pays, dont la moitié est liée aux wilayas limitrophes d'Alger, qui font partie de la métropole algéroise.

Figure 19 : Origines des déplacements.



Source : (SABTI, 2023)

Il a été observé que 57% des déplacements vers notre zone d'étude se font à partir de la rocade nord d'Alger, indépendamment de leur origine. Cela suggère la disponibilité de nombreux itinéraires pour accéder à la zone d'étude. En abordant cette notion, nous constatons une distance moyenne globale de 36 km pour l'ensemble des trajets, tandis que pour les déplacements en provenance d'Alger, la distance moyenne est légèrement inférieure, atteignant 14 km.

Dans notre étude, nous avons constaté que la ville d'Alger est confrontée à une congestion routière importante, ce qui se traduit par une vitesse moyenne de déplacement de 26 km/h pour l'ensemble des trajets. Cependant, il est intéressant de noter que cette vitesse augmente

considérablement pour les véhicules provenant de l'extérieur de la métropole, atteignant parfois une vitesse maximale moyenne de plus de 100 km/h.

Il a été observé que 48% des déplacements sont effectués quotidiennement, tandis que 52% sont des déplacements occasionnels ou rares, avec une proportion de 45% pour les déplacements occasionnels et 7% pour les déplacements rares. Ces résultats suggèrent que 48% des déplacements sont motivés par des obligations spécifiques, ce qui signifie qu'ils sont considérés comme des déplacements obligatoires.

Tableau 13 : Les motifs des déplacements.

		Motif à destination						
		Domicile	Travail	Etude	Courses et Achats	Loisir	Autre	Total
Motif à l'origine	Domicile	7	497	53	73	146	238	1014
	Travail	179	93	33	20	40	219	584
	Etude	26	7		13	7	13	66
	Courses et Achats	7	13					20
	Loisir						13	13
	Autre	46	86		7	40	27	206
	Total	265	696	86	113	233	510	1903

Source : (SABTI, 2023)

Il est important de savoir que les 1903 déplacements de véhicules vers notre zone d'études assurent la mobilité de 3209 personnes. Cela assure un taux d'occupation des véhicules de 1.69 personne, cette situation est justifiée par une majorité de déplacements effectués en auto solo, à un niveau de 57% de la totalité des déplacements.

2 Evaluation de la pollution atmosphérique :

L'évaluation des niveaux de pollution atmosphérique est une étape cruciale dans l'estimation des émissions de polluants générées par les véhicules circulant vers une zone d'étude donnée. Cette évaluation repose sur une méthodologie précise qui peut varier en fonction de la disponibilité des données requises afin d'obtenir des résultats pertinents.

2.1 Méthodologie d'estimation des émissions :

La quantification des émissions du transport requiert l'application d'une méthodologie de calcul précise. Toutefois, afin de pallier à l'absence de modèles de calcul capables d'estimer les émissions de pollution spécifiques au transport routier dans notre pays, nous avons opté pour une combinaison entre deux sections de deux modèles européens distincts : la méthodologie de développement des facteurs d'émission du modèle anglais NAEI, ainsi que la méthode de calcul des émissions présentée par le modèle COPERT.

Dans un premier temps, nous avons calculé les facteurs d'émission spécifiques pour chaque véhicule parmi les 287 véhicules constituant notre échantillon. Ces calculs ont été effectués en utilisant l'équation (9) : $Y = k \times (a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6)/x$, telle qu'elle est présentée dans le chapitre 2, en se basant sur la base de données des coefficients de cette formule du modèle NAEI.

Nous avons opté pour cette méthode de calcul des facteurs d'émission car elle repose sur les données spécifiques disponibles pour notre étude, telles que le type de véhicule, le type de carburant, la cylindrée, la norme Euro du véhicule et la vitesse moyenne de la voiture. De plus, ce modèle date de 2009, ce qui est particulièrement adapté à la situation de l'Algérie, où il existe un retard par rapport aux normes européennes en matière de véhicules et de carburants. Nous avons pris conscience de l'importance de calculer des facteurs d'émission spécifiques à chaque véhicule en utilisant les données propres à notre étude, plutôt que de se fier à des facteurs d'émission par défaut. Cela a permis d'améliorer la précision de nos calculs.

Dans une deuxième étape, nous effectuons le calcul des émissions générées par l'ensemble des déplacements des véhicules légers vers notre zone d'étude, comme expliqué précédemment. Ces calculs sont réalisés en utilisant l'approche de calcul du deuxième niveau du modèle COPERT, tel que décrit dans le chapitre 2.

Tout d'abord, nous calculons les émissions de chaque déplacement individuel de notre échantillon en utilisant une formule dérivée de l'équation (3) qui nous permet de calculer les émissions pour chaque véhicule parmi les 287. Cette formule est la suivante:

$$E_{i,j} = D_i \times e_{i,j} \quad (10)$$

Avec :

$E_{i,j}$: Émission du véhicule i pour le polluant j.

D_i : Distance parcourue par le véhicule i [km].

$e_{i,j}$: Facteur d'émission du véhicule i pour le polluant j.

Une fois que nous avons quantifié les émissions rejetées par chaque véhicule de l'échantillon, nous passons à l'étape de généralisation, qui consiste à calculer les émissions totales de l'ensemble des véhicules se déplaçant vers notre zone d'étude. Ce calcul se fait en prenant la somme des émissions engendrées par chaque véhicule $E_{i,j}$ multipliées par le coefficient de redressement CR_k correspondant, tel que déterminé dans le tableau 11. Cette équation est présentée comme suit:

$$E_{total_j} = \sum_{i,k} E_{i,j} \times CR_k \quad (11)$$

Avec :

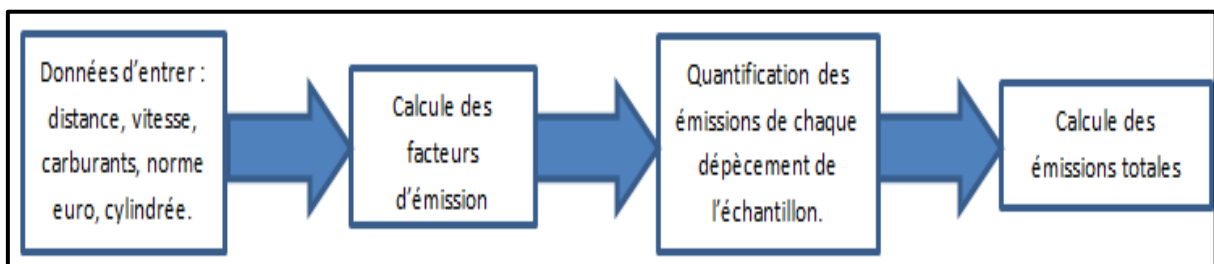
E_{total_j} : Émission totale du polluant j.

$E_{i,j}$: Émission du véhicule i pour le polluant j.

CR_k : Coefficient de redressement de la zone k.

On peut résumer cette méthodologie par le diagramme suivant :

Figure 20 : Méthodologie de calcul des émissions.



Source : (SABTI, 2023)

2.2 Quantification des émissions atmosphériques :

Dans le cadre de notre estimation des émissions atmosphériques, nous nous sommes principalement intéressés aux niveaux d'émission de CO, HC, NOx, PM, qui sont des polluants réglementés conformément au décret exécutif n° 03-410, ainsi qu'au CO2 en raison de son importance en tant que l'un des principaux gaz à effet de serre et ses émissions

significatives dans l'air. Pour quantifier ces émissions, nous avons suivi la méthodologie présentée précédemment dans ce chapitre.

Afin de présenter nos résultats, nous avons d'abord examiné les facteurs d'émission, qui servent de base au calcul des émissions polluantes dans l'air. Ensuite, nous nous sommes concentrés sur nos estimations des émissions globales par type de polluants. Il est à noter que ces estimations ont été effectuées en supposant un fonctionnement normal des véhicules, faute de données permettant de préciser les émissions à froid.

2.2.1 Facteurs d'émission :

Lors du calcul des facteurs d'émission pour l'ensemble des véhicules de notre échantillon, nous avons observé que nos facteurs étaient du même ordre de grandeur que ceux présentés dans le modèle COPERT, avec de légères variations à la hausse ou à la baisse.

Les facteurs d'émission varient en fonction de différents paramètres. Nous avons observé une différence significative dans les facteurs d'émission entre les véhicules essence, diesel et GPL. Cette distinction est clairement mise en évidence dans le tableau 14, où l'on constate que les véhicules diesel émettent davantage de PM et de NOx, tandis que les véhicules essence présentent des émissions plus élevées de CO. Par ailleurs, les véhicules GPL émettent plus de CO2 et de HC par rapport aux autres types de véhicules.

Tableau 14 : Facteurs d'émission moyen par type de carburants.

	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	PM (g/km)	CO2 (g/km)
Diesel	0,19375	0,0412	0,4914	0,0205	191,974
Essence	0,74565	0,0514	0,0601	0,0022	219,109
GPL	0,06862	0,1989	0,4027	0,0022	301,025

Source : (SABTI, 2023)

Il a été observé que les émissions unitaires des véhicules varient en fonction de leur norme d'émission Euro. Cette variation est due à l'évolution des technologies de dépollution d'une génération de véhicules à une autre.

Tableau 15 : Facteur d'émission par norme Euro.

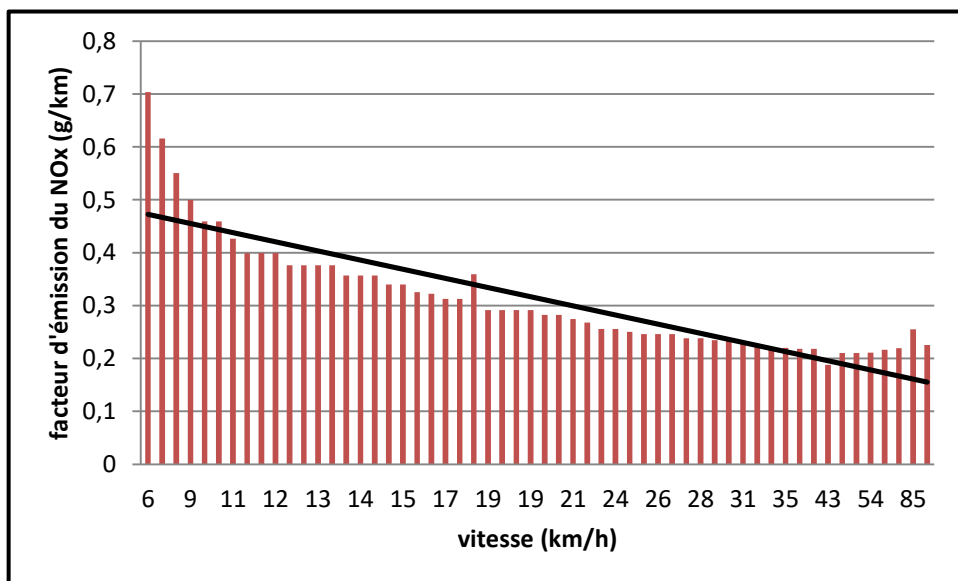
	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	PM (g/km)	CO2 (g/km)
Euro 2	1,1595	0,1395	0,8897	0,0321	248,083
Euro 3	0,5281	0,0774	0,3837	0,0200	246,237
Euro 4	0,4536	0,0450	0,1978	0,0108	205,052
Euro 5	0,4390	0,0509	0,1810	0,0014	204,459

Source : (SABTI, 2023)

Le tableau 15 présente la corrélation entre les différentes normes Euro et les niveaux d'émission de CO, HC, NOx, PM et CO2. On peut clairement observer une tendance à la baisse des émissions pour les normes Euro plus récentes, avec des valeurs plus faibles pour chaque polluant. Cette évolution témoigne des avancées technologiques réalisées dans la réduction des émissions des véhicules au fil du temps.

En complément des informations précédentes, nous avons constaté que la vitesse avait un impact sur les niveaux d'émission par kilomètre parcouru. Il a été observé que l'augmentation de la vitesse était associée à une réduction des émissions unitaires, ce qui est valide pour tous les polluants étudiés dans ce document. Nous pouvons prendre l'exemple des facteurs d'émission des véhicules diesel conformes à la norme Euro 5 pour le polluant NOx, qui confirment clairement cette constatation.

Figure 21 : Evolution du facteur d'émission du NOx par rapport à la vitesse.



Source : (SABTI, 2023)

2.2.2 Emission des polluants réglementés :

Selon notre étude, nous avons calculé les émissions de polluants réglementés pour chaque véhicule de notre échantillon, qui se compose de 287 véhicules. Nous avons utilisé l'équation (10) pour calculer les émissions résultantes de chaque trajet effectué par ces véhicules, en tenant compte des facteurs d'émission spécifiques à chaque polluant et à chaque véhicule. Ensuite, nous avons généralisé ces calculs à l'ensemble des déplacements recensés dans notre zone d'étude en utilisant l'équation (11).

Nous avons estimé le poids total des émissions de gaz étudiées dans notre zone d'étude à environ 41 kg par jour, répartis entre les différents polluants de la manière suivante : environ 27,7 kg de CO, 1,88 kg d'HC, 11 kg NOx et 0,39 kg de PM. Ces chiffres soulignent l'importance des émissions de chaque polluant par rapport aux autres. De plus, nous avons observé des différences de niveaux d'émissions entre les polluants dans chaque zone de notre aire d'étude.

Tableau 16 : Émissions quotidiennes de polluants réglementés par zone d'étude.

	CO (g/j)	HC (g/j)	NOx (g/j)	PM (g/j)
Zone 1	7383,0282	574,2169	3486,9545	117,0077
Zone 2	645,6725	118,8737	427,1850	19,4661
Zone 3	4415,1494	418,4940	2951,9803	101,4196
Zone 4	15299,4686	774,2608	4222,2864	159,3368
Total	27743,3187	1885,8454	11088,4063	397,2301

Source : (SABTI, 2023)

Le tableau 16 révèle des variations dans les émissions de chaque polluant entre les différentes zones, ce qui peut être attribué à plusieurs paramètres tels que la distance des trajets, la vitesse moyenne, le type de carburant, la cylindrée et les normes de dépollution euro. Un exemple significatif est les émissions de la zone 4, qui sont considérablement plus élevées que celles des autres zones. Cette différence s'explique par la distance moyenne des déplacements vers cette zone, d'environ 49 km par trajet, la plus élevée parmi toutes les autres zones. Cette situation peut être expliquée par l'attrait d'un parking hors voirie dans cette zone.

Par ailleurs, il a été constaté que les émissions de CO et de NOx sont plus élevées en comparaison avec les autres polluants, principalement en raison du fait que la majorité des

1903 déplacements recensés sont effectués par des véhicules fonctionnant à l'essence ou au diesel.

2.2.3 Emission de dioxyde de carbone :

Le dioxyde de carbone (CO₂) est un gaz à effet de serre majeur, responsable du réchauffement climatique et des changements climatiques observés à l'échelle mondiale. Dans le cadre de notre étude, nous avons réalisé des estimations des émissions de CO₂. Nous avons supposé une combustion complète des carburants utilisés dans les véhicules, et les calculs ont été effectués de la même manière que pour l'estimation des polluants réglementés. Nos résultats ont révélé des émissions totales de CO₂ d'environ 10,7 tonnes.

Tableau 17 : Émissions quotidiennes de CO₂ par zone d'étude.

	CO ₂ (KG)
Zone 1	3002
Zone 2	373
Zone 3	2355
Zone 4	4984
Total	10714

Source : (SABTI, 2023)

Les chiffres estimés sont d'une certaine ampleur, et ils sont justifiés par une distance totale parcourue dans l'étude d'environ 68 430 km. Ces chiffres mettent en évidence une consommation considérable de carburant lors des déplacements étudiés.

En analysant les émissions globales résultant de ces 1903 déplacements étudiés, nous sommes en mesure de déduire la part de chaque personne parmi les 3209 personnes effectuant ces déplacements. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Émissions moyennes par personne dans la zone d'étude.

	CO (g/personne)	HC (g/personne)	NO _x (g/personne)	PM (g/personne)	CO ₂ (kg/personne)
émission	8,6455	0,5877	3,4554	0,1238	3,3387

Source : (SABTI, 2023)

Après avoir précisé le niveau des émissions dues à ces déplacements, nous avons recherché à déterminer la part de ces émissions réalisée dans l'air de la commune d'Alger centre, présentée comme suit :

Tableau 19 : Émissions quotidiennes de polluants réaliser sur Alger centre.

	CO (g)	HC (g)	NO _x (g)	PM (g)	CO ₂ (kg)
émission	1824,8319	200,2735	867,9645	32,9349	776,1334

Source : (SABTI, 2023)

Les résultats trouvés démontrent que les déplacements étudiés contribuent à 779 kg d'émissions dans l'air d'Alger centre, ce qui représente plus de 7% des émissions totales étudiées. Cette contribution est répartie entre 776 kg d'émissions de CO₂ et 3 kg des polluants réglementés.

Conclusion :

En conclusion, ce chapitre présente une méthodologie de calcul précise pour quantifier les émissions de polluants liées aux déplacements routiers vers une zone spécifique. En combinant les facteurs d'émission spécifiques des véhicules du modèle NAEI et la méthode de calcul des émissions du modèle COPERT, nous avons obtenu des résultats significatifs.

L'application de cette méthodologie nous a permis de déterminer les émissions globales, sa part réaliser au niveau de la commune d'Alger centre ainsi que les émissions moyennes par personne dans la zone d'étude pour différents polluants tels que le CO, les HC, les NO_x, les PM et le CO₂. Nous avons également pu observer l'impact de l'attrait d'une zone sur les niveaux d'émissions atmosphériques. Ces chiffres sont essentiels pour évaluer l'impact environnemental des déplacements et identifier les principales sources de pollution.

Grâce à notre approche personnalisée de calcul des facteurs d'émission spécifiques à chaque véhicule, nous avons obtenu des résultats plus précis et représentatifs de notre étude, en tenant compte des caractéristiques individuelles des véhicules telles que le type de carburant, la cylindrée, la norme Euro et la vitesse moyenne. Cela nous a permis de mettre en évidence les relations entre ces différents paramètres et la pollution atmosphérique.

En utilisant les données sur les distances parcourues par chaque véhicule, nous avons pu estimer les émissions totales générées par l'ensemble des déplacements dans la zone d'étude.

Cela nous permet de mieux comprendre l'impact global des activités de transport sur la qualité de l'air et l'environnement.

La mise en œuvre de cette méthodologie de calcul des émissions de polluants dans le transport routier revêt une importance cruciale, car elle fournit des informations essentielles pour évaluer l'efficacité des mesures de réduction des émissions et orienter les politiques en faveur du transport durable. Il est impératif de continuer à améliorer ces méthodologies de calcul des émissions afin de mieux évaluer l'impact environnemental du transport routier. De plus, cela permettra de développer des solutions plus efficaces pour réduire la pollution atmosphérique et atténuer les effets du changement climatique. À partir de nos données, il est clair que trouver des solutions qui maintiennent ou améliorent à la fois les coûts et les délais des trajets est essentiel pour répondre aux attentes des différents usagers de l'automobile.

En adoptant des mesures appropriées basées sur ces résultats, nous pouvons espérer construire un avenir plus propre, plus durable et plus respectueux de l'environnement, où le transport routier joue un rôle positif dans la préservation de notre planète et améliore la qualité de vie pour tous.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'étude présentée dans ce document avait pour objectif d'estimer de manière détaillée les émissions de polluants atmosphériques provenant des déplacements en véhicule particulier vers la zone d'étude située dans la commune d'Alger Centre. Pour cela, une méthodologie a été développée en s'inspirant du modèle européen COPERT pour le calcul des émissions globales et du modèle anglais NAEI pour la précision des facteurs d'émission. Des enquêtes et des sondages ont également été réalisés pour combler le manque de données en Algérie.

Cette étude permet d'analyser les déplacements effectués vers la zone d'étude et leur relation avec les émissions de CO, HC, NOx, PM et CO2. Les résultats ont révélé un bilan considérable d'émissions, avec environ 15 tonnes par an pour les polluants réglementés et 3900 tonnes par an pour le CO2. Cette situation soulève une alerte quant à la qualité de l'air à Alger. Des liens ont été établis entre le niveau des émissions, la vitesse et la distance parcourue lors de chaque déplacement sur les routes de la wilaya d'Alger.

Dans l'ensemble, cette étude constitue une contribution importante à la compréhension de la pollution atmosphérique causée par les déplacements en véhicule particulier vers la zone d'Alger Centre. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour la prise de décisions politiques visant à réduire l'impact environnemental du transport routier et à promouvoir des solutions plus durables.

Il convient de noter que l'Algérie a pris des mesures nécessaires pour réduire le niveau de pollution, telles que l'adoption du contrôle technique des véhicules, entre autres. Par conséquent, il est essentiel de poursuivre le développement de politiques et de mesures visant à encourager l'utilisation de modes de transport plus propres, à établir des normes d'émissions plus strictes et à développer des infrastructures durables. Il est également important de sensibiliser le public aux problèmes de pollution atmosphérique et de promouvoir des comportements de transport respectueux de l'environnement. La réduction des distances parcourues en voiture particulière et l'amélioration de la circulation routière pour augmenter la vitesse moyenne peuvent contribuer à améliorer le bilan environnemental.

Pour remédier à cette problématique environnementale, plusieurs solutions sont envisageables :

- Effectuer une transition vers des sources d'énergie plus propres.
- Améliorer les caractéristiques des carburants actuels à court terme et adopter à long terme des véhicules électriques ou fonctionnant à l'hydrogène.
- Améliorer les normes de dépollution des véhicules, notamment en comblant le retard de l'Algérie dans le respect des normes existantes.
- Renforcer l'attrait des transports en commun et réduire l'utilisation des véhicules particuliers, que ce soit par le biais de mesures économiques telles que la tarification et les taxes, ou par des mesures de gestion et d'infrastructures, comme l'incitation à utiliser les parcs-relais.
- La restriction de l'accessibilité aux zones urbaines par les véhicules particuliers peut avoir un impact positif sur cette problématique.
- Mettre en place des incitations et des infrastructures favorisant le covoiturage et encouragent le partage de véhicules.
- Investir dans la mobilité douce (des pistes cyclables sécurisées, des trottoirs et des infrastructures adaptées aux piétons).
- Encourager les entreprises à mettre en place des politiques de télétravail et des horaires flexibles pour réduire les déplacements domicile-travail aux heures de pointe.
- Investir dans la recherche et le développement de technologies propres.
- Sensibiliser et éduquer le public sur les impacts de la pollution atmosphérique due au transport routier.
- Adopter des réglementations plus strictes et assurer leur suivi.
- Nécessiter d'assurer la mise en place d'un large réseau de suivi de la qualité de l'air.
- Veiller à l'aménagement d'espaces verts dans le but d'améliorer la qualité de l'air.

Il est important de reconnaître les limitations de cette étude, notamment en raison de la disponibilité limitée de données spécifiques à l'Algérie et des contraintes méthodologiques. Il est donc recommandé de poursuivre les recherches dans ce domaine en recueillant des données plus précises et en améliorant les méthodologies d'estimation.

La gestion de la pollution atmosphérique causée par le secteur des transports est un défi majeur, mais il existe des solutions potentielles pour réduire son impact négatif. En poursuivant les recherches dans ce domaine et en prenant des mesures concrètes, nous pouvons espérer améliorer la qualité de l'air, protéger l'environnement, préserver la santé publique et assurer un avenir plus sain pour les générations futures.

Annexes

Annexe A : questionnaire de l'enquête par interview aux conducteurs.

Mémoire fin d'étude

Etude sur la pollution émis par les véhicules de transport

Wilaya : Alger

commune : Alger centre

Zone :

heure :

N° :

Conducteur :

Sexe :	H / F	Age :	
Catégorie socio-professionnelle :	Fonctionnaire / fonction libérale / commerçant / cadre d'état / en chômage / femme au foyer / retraité / autre.		
Nbr de passagers :			

Véhicule :

Marque :		Model :	
Type de véhicule :	personnel / utilitaire	Age	
Type d'énergie :	Essence / diesel / GPL		
Cylindrée :		Entretien :	Oui/non

Déplacement :

Origine :			
Itinéraire :			
Heure de démarrage :		Heure d'arriver :	
Destination final :			
Motif de déplacement	Travail - domicile -étude - loisir- magasinage - autre / Travail - domicile - étude - loisir - magasinage - autre		
Nbr de déplacement :			

Questions supplémentaire :

D'autre mode possible	Bus-taxi-train-tram-métro- autre	Distance de l'origine	Près – loin – très loin
Raison de choisir un carburant ou un autre	Prix – performance - autre		
raison pour choisir un mode ou un autre :	Cout – temps – confort – autre ()		
Commentaire :			

Annexe B : les facteurs d'émission.

carburant	cylindrée	Norme	facteurs d'émission [g/km]				
			CO	HC	Nox	PM	CO2
gazole	>2L	euro 4	0,0485	0,0190	0,4159	0,0096	220,5249
		euro 5	0,0334	0,0167	0,2577	0,0005	186,5710
	1,4L - 2L	euro 2	0,5938	0,1262	1,2740	0,0491	234,1376
		euro 3	0,2100	0,0642	0,8038	0,0541	212,3815
		euro 4	0,1821	0,0310	0,4708	0,0346	193,5760
		euro 5	0,1616	0,0310	0,3172	0,0005	177,1487
essence	<1,4l	euro 2	2,8490	0,1840	0,2387	0,0030	258,3580
		euro 3	0,5257	0,0436	0,0714	0,0029	237,2968
		euro 4	0,4305	0,0089	0,0562	0,0024	178,2874
		euro 5	0,3704	0,0083	0,0352	0,0025	173,1624
	1,4L - 2L	euro 2	1,9227	0,1555	0,2054	0,0018	277,3802
		euro 3	1,0994	0,0429	0,0916	0,0019	277,8921
		euro 4	0,9910	0,0948	0,0637	0,0019	234,6139
		euro 5	1,0300	0,0989	0,0437	0,0020	255,8667
GPL	<1,4l	euro 4	0,0680	0,2805	0,5424	0,0032	486,4000
		euro 5	0,0370	0,0400	0,1281	0,0014	136,8270
	1,4L - 2L	euro 3	0,1193	0,3154	0,6538	0,0023	305,8373
		euro 4	0,0427	0,1057	0,2637	0,0018	227,1162
		euro 5	0,0528	0,1923	0,2980	0,0025	352,9295

Bibliographie

Bibliographie

- Abelsohn, A., & Stieb, D. M. (2011). Effets de la pollution de l'air sur la santé: Une approche pour conseiller les patients à l'aide de la cote air santé. *Canadian Family Physician*, 57(8), e280–e287.
- Admassu, W., & Wubeshet, S. (2006). Air Pollution. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*. University of Gondar. Ethiopia.
- AOURAGH, L. (2015). Etude de la Qualité de l'Air Urbain au Niveau de la Ville de Batna: Cas du Transport Routier (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- Appert, O. (2009). Énergie et mobilité durable. *Réalités industrielles*, (3), 8-12.
- APS. (2021, 21 juin). Généralisation de l'utilisation du carburant sans plomb à partir de juillet. Algerie Presse Service. Consulté le 15 mai 2023, à partir de <https://www.aps.dz/economie/123937-generalisation-de-l-utilisation-du-carburant-sans-plomb-a-partir-de-juillet-prochain>
- Arquès, P. (1998). La pollution de l'air : causes, conséquences, solutions-Edisud, Aix-en-Provence.
- Balmes, J. R. (2011). Environmental and Occupational Health Assembly: Air Pollution and Health. *American Thoracic Society Patient Health Series*.
- Barlow, T. J., & Boulter, P. G. (2009). Emission factors 2009: Report 2-a review of the average-speed approach for estimating hot exhaust emissions.
- BARON, É., & PESCAROU, P. (2012). Transmissions dans l'automobile-Influence sur les performances du véhicule.
- Bergmans, M., & Bréchet, T. Quel est l'avenir de la voiture propre dans le contexte actuel?
- Berrouane, N. (2010). Contribution à la détermination des facteurs d'émissions unitaires de polluants de véhicules utilitaires légers (Mémoire de magister). Université Saad Dahleb - Blida, Algérie.

- Bhaskaran, K., Hajat, S., Haines, A., Herrett, E., Wilkinson, P., & Smeeth, L. (2009). Effects of air pollution on the incidence of myocardial infarction. *Heart*, 95(21), 1746-1759.
- Boulter, P. G., Barlow, T. J., & McCrae, I. S. (2009). Emission factors 2009: Report 3-exhaust emission factors for road vehicles in the United Kingdom. TRL published project report.
- Boulter, P. G., & Latham, S. (2009). Emission factors 2009: Report 4-a review of methodologies for modeling cold-start emissions.
- Boulter, P. G., Barlow, T. J., Latham, S., & McCrae, I. S. (2009). Emission factors 2009: Report 1-a review of methods for determining hot exhaust emission factors for road vehicles.
- Boubel, R. W., Vallero, D., Fox, D. L., Turner, B., & Stern, A. C. (2013). *Fundamentals of air pollution*. Elsevier.
- Boucher, S. (2016, 18 juillet). 25 conseils pour réduire sa consommation d'essence. Consoglobe. Consulté le 20 mai 2023, à partir de : <https://www.consoglobe.com>
- Boughedaoui, M. (2007). Etude des émissions polluantes issues du trafic routier en Algérie (Doctoral dissertation).
- Brahim, A. (2023). Arkab annonce 1000 bornes de recharge à l'horizon 2025 : La feuille de route des véhicules électriques prend forme. *L'Algérie aujourd'hui*. Alger.
- Builtjes, P. and R. Paine 2010. The Problem – Air Pollution. Chapter 1 of AIR QUALITY MODELING - Theories, Methodologies, Computational Techniques, and Available Databases and Software. Vol. IV – Advances and Updates (P. Zannetti, Editor). Published by The EnviroComp Institute (<http://www.envirocomp.org>) and the Air & Waste Management Association (<http://www.awma.org>).
- Bowyer, D. P., Akçelik, R., & Biggs, D. C. (1984, September). Guide to fuel consumption analyses for urban traffic management. Sydney, Australia: Australian Road Research Board.
- Cadle, S. H., Gorse, Jr, R. A., Bailey, B. K., & Lawson, D. R. (2003). Real-world vehicle emissions: A summary of the twelfth Coordinating Research Council on-road vehicle emissions workshop. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(2), 152-167.

Castonguay, S., & al. (s.d.). Catégories de véhicules et machineries - Ma municipalité efficace. Consulté le 15 mai 2023, à partir de : <https://www.mamunicipaliteefficace.ca/66-efficacite-energetique-ges-annexe-a-categories-de-vehicules-et-machineries.html>

CEREFÉ (2020): Transition Énergétique en Algérie: Leçons, État des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Énergies Renouvelables, (Édition 2020): Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique, Premier Ministre, Alger.

Charpin, D., Pairon, J. C., Annesi-Maesano, I., Caillaud, D., De Blay, F., Dixsaut, G., ... & Dalphin, J. C. (2016). La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire. Document d'experts du groupe pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF). *Revue des Maladies Respiratoires*, 33(6), 484-508.

Charton, F. (s.d.). Algérie - Le Grand Alger: Une aire urbaine méditerranéenne entre terre et mer. Consulté le 5 mars 2023. à partir de : <https://geoimage.cnes.fr/fr/algérie-le-grand-alger-une-aire-urbaine-mediterraneenne-entre-terre-et-mer>

Cheah, L., Evans, C., Bandivadekar, A., & Heywood, J. (2009). Factor of two: Halving the fuel consumption of new US automobiles by 2035 (pp. 49-71). Springer Netherlands.

Chiron, M., Quenel, P., & Zmirou, D. (1997). La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. *Pollution Atmosphérique: climat, santé, société*, pp-41.

Choudhary, M. P., & Garg, V. (2013, August). Causes, consequences and control of air pollution. In All India Seminar on Methodologies for Air Pollution Control, held at MNIT.

CITEPA. (2019). Rapport Secten - édition 2019. CITEPA. France.

Daly, A., & Zannetti, P. (2007). An introduction to air pollution—definitions, classifications, and history. *Ambient air pollution*. P. Zannetti, D. Al-Ajmi and S. Al-Rashied, The Arab School for Science and Technology and The EnviroComp Institute, 1-14.

Deletraz, G. (2002). Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriadou (Pyrénées) (Doctoral dissertation, Université de Pau et des Pays de l'Adour).

Department of Environmental Protection. (n.d.). Health & Environmental Effects of Air Pollution. Commonwealth of Massachusetts Executive Office of Energy and Environmental Affairs. One Winter Street, Boston - MA.

Donchenko, V., Kunin, Y., Ruzski, A., Barishev, L., Trofimenko, Y., & Mekhonoshin, V. (2016). Estimated atmospheric emission from motor transport in Moscow based on the transport model of the city. *Transportation Research Procedia*, 14, 2649-2658.

Eggleston, H. S., Gaudioso, D., Gorissen, N., Joumard, R., Rijkeboer, R. C., Samaras, Z., & Zierock, K. H. (1993). CORINAIR working group on emission factors for calculating 1990 emissions from road traffic (p. 142). Office for Official Publications of the European Communities.

Elichegary, R., Alouini, M., & Boularbah, A. (2010). *Air Pollution: Sources, Control and Management*. Nova Science Publishers.

Ennahar Online. (2023, 21 février). Installation de 1000 bornes de recharge pour voiture électrique d'ici 2025. Ennahar Online. Consulté le 15 mai 2023, à partir de <https://www.ennaharonline.com/fr/installation-1000-bornes-de-recharge-pour-voiture-electrique-dici-2025/>

Environmental Protection Agency (EPA). (s.d.). MOVES and Other Mobile Source Emissions Models. Consulté le 31 May 2023. À partir de <https://www.epa.gov/moves>

Flanquart, M., Anicia, L. (2000). Evaluation du risque sanitaire dû à la pollution lié au trafic routier en milieu urbain, projet cindynique.

François, S. (2004). Méthodologie d'établissement de cadastres d'émissions à l'échelle régionale: Application au cadastre Escompte et à son extension à la région PACA, Thèse de l'université Louis Pasteur-Strasbourg 1- France.

Gilliland, F. D. (2009). Outdoor air pollution, genetic susceptibility, and asthma management: opportunities for intervention to reduce the burden of asthma. *Pediatrics*, 123(Supplement_3), S168-S173.

Henderson-Sellers, A., & Robinson, P. J. (1993). *Contemporary Climatology*. Routledge.

Jacobson, M. Z. (2002). *Atmospheric pollution: history, science, and regulation*. Cambridge University Press.

Joumard, R., Paturel, L., Vidon, R., & COMBET, E. (1990). Emissions unitaires de polluants des véhicules légers. Rapport INRETS, (116).

JORADP. (2006). Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.

Kauffmann, A., Rouil, L., Real, E., Chang, J. P., Serveau, L., Gueguen, C., ... & Riviere, E. (2012). National Pole of Coordination of Territorial Inventories. Methodological guide for the elaboration of territorial inventories of atmospheric emissions (air pollutants and greenhouse gases). Method of elaboration of territorial inventories of atmospheric emissions.

Larose, S. (1999). Outils d'inventaires d'émissions liées au transport routier (Doctoral dissertation, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU)).

Lejri, D. (2015). Analyse comparée des différentes méthodes pour l'évaluation environnementale d'aménagements et de stratégies de régulation routière. IFSTTAR. France.

Leoz-Garziandia, E. (2019). Les impacts de la pollution de l'air. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 96, 9-12.

Lumbreras, J., Borge, R., Guijarro, A., Lopez, J. M., & Rodríguez, M. E. (2014). A methodology to compute emission projections from road transport (EmiTRANS). *Technological Forecasting and Social Change*, 81, 165-176.

Lyu, P., Wang, P. S., Liu, Y., & Wang, Y. (2021). Review of the studies on emission evaluation approaches for operating vehicles.

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 14.

Mayer, H., (1999). Air pollution in cities, *Atmospheric environment*, 33, 4029-4037

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. (2000). Rapport National sur l'État et l'Avenir de l'Environnement.

Ministère de la Santé, de la Population et de la Réforme Hospitalière. (2019). Enquête par grappes à indicateurs multiples Algérie, 2019 : Rapport des Résultats de l'Enquête.

Ntziachristos, L., Samaras, Z.(2020). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019.

Office national des statistiques. (2020). PARC NATIONAL AUTOMOBILE AU 31/12/2019. Alger. Conversion de plus de 600.000 véhicules au GPL carburant. (18 juillet 2022). Algérie presse service. <https://www.aps.dz/economie/142978-conversion-de-plus-de-600-000-vehicules-au-gpl-carburant>

Organisation mondiale de la santé. Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé. Aide-mémoire no 313; 2014. [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [Accédé le 15 février 2023].

OMS. (s.d.). Pollution atmosphérique. Organisation mondiale de la santé. Consulté le 10 mai 2023. A partir de https://www.who.int/fr/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

Ouazene, M. (2015). Consommation énergétique du secteur des transports "Bilan et perspectives". Séminaire sur l'efficacité énergétique dans le transport, APRUE.

PANORAMA. (2009). Les énergies pour le transport : avantages et inconvénients. Institut français du pétrole. Récupéré le 20 mai 2023, de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/016/42016175.pdf

Pol, D. (s.d.). L'atmosphère terrestre. Fondation La main à la pâte. Consulté le 9 mai 2023. a partir de: <https://fondation-lamap.org/documentation-scientifique/l-atmosphere-terrestre>

QAir. (s.d.). Pays et régions les plus pollués du monde (données historiques 2018-2022). Consulté le 18 mai 2023, à partir de <https://www.iqair.com/fr/world-most-polluted-countries>

Robert, C., Barrault, S., Druart, A., Allemand, N., Andre, J. M., Bongrand, G., ... & Sadaqat, B. (2022). Greenhouse gases and atmospheric pollutants. 1990-2021 France emissions report. National inventory report/Secten format-June 2022 edition.

Salam, M. T. (2008). Air pollution and birth weight in Connecticut and Massachusetts. Environmental Health Perspectives, 116(3), A106-A106.

- Saha, K. (2008). *The Earth's atmosphere: Its physics and dynamics* (pp. 367-1). Berlin: Springer.
- Secrétariat de l'Organisation mondiale de la santé. (2015). *Santé et environnement : agir face aux conséquences sanitaires de la pollution de l'air*. Soixante-huitième Assemblée mondiale de la santé.
- Spiga, A. (2013-2014). *Introduction aux sciences de l'atmosphère*. Cours niveau licence. Laboratoire de Météorologie Dynamique (Institut Pierre-Simon Laplace), Université Pierre et Marie Curie.
- Sportisse, B. (2008). *Pollution atmosphérique: Des processus à la modélisation*. SpringerVerlag France. Paris, 2008. 345 p. (Ingénierie et développement durable).
- Trépanier, M. P., & Coelho, L. C. (2017). *Facteurs et méthodes de calcul d'émissions de gaz à effet de serre*. CIRRELT, Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport= Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation.
- T.S. Ashton, *The Industrial Revolution, 1760-1830*, London: Oxford University Press, 1948.
- Turton, H. (2006). Sustainable global automobile transport in the 21st century: an integrated scenario analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(6), 607-629.
- Ung, A. (2003). *Cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide de données multi sources* (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure des Mines de Paris).
- Vallero, D. A. (2014). *Fundamentals of air pollution*. Academic press.
- Werner, S. (2009). *Optimisation des cadastres d'émissions: estimation des incertitudes, détermination des facteurs d'émissions du "black carbon" issus du trafic routier et estimation de l'influence de l'incertitude des cadastres d'émissions sur la modélisation: application aux cadastres Escompte et Nord-Pas-de-Calais* (Doctoral dissertation, Strasbourg).
- Wilaya d'Alger. (2021). *Annuaire statistique de la wilaya d'Alger 2021*. Alger.
- Wilaya d'Alger. (2020). *Annuaire statistique de la wilaya d'Alger 2020*. Alger.

ملخص :

النقل يلعب دورًا كبيرًا في تلوث الهواء، وخاصة انبعاثات المركبات السيارة، وهي ضارة بشكل خاص في المدن الكبيرة المتوسعة مثل الجزائر. تقدير هذه الملوثات ضروري لاستراتيجيات النقل. يركز هذا الأطروحة على تقييم انبعاثات الملوثات الجوية المرتبطة برحلات السيارات إلى منطقة محددة في الجزائر. بسبب نقص البيانات وعدم وجود نموذج مناسب للسياق المحلي، تم إجراء استطلاعات لجمع المعلومات اللازمة. تم تطوير نهج مستلهم من النماذج الأوروبية NAEI وCOPERT لتقدير انبعاثات النقل. تؤكد النتائج مستويات ملحوظة من انبعاثات CO و HC و NOx و PM و CO2، مما يبرز ضرورة تحسين جودة الهواء في الجزائر. توفر هذه النتائج معلومات قيمة لوضع سياسات أكثر فاعلية لإدارة جودة الهواء وتعزيز حلول النقل المستدامة.

كلمات مفتاحية: تلوث الهواء، السيارة، الملوثات، الانبعاثات، النقل، NAEI، COPERT.

Résumé :

Le transport joue un rôle majeur dans la pollution atmosphérique, notamment les émissions des véhicules automobiles, particulièrement préjudiciables dans les grandes villes en pleine expansion comme Alger. Estimer ces polluants est essentiel pour les stratégies de transport. Ce mémoire se concentre sur l'évaluation des émissions de polluants atmosphériques liées aux déplacements en voiture vers une zone spécifique d'Alger. En raison du manque de données et d'un modèle adapté au contexte local, des enquêtes ont été menées pour recueillir les informations nécessaires. Une approche basée sur les modèles européens NAEI et COPERT a été développée pour estimer les émissions liées aux transports. Les résultats soulignent des niveaux significatifs d'émissions de CO, HC, NOx, PM et CO2, mettant en évidence l'urgence d'améliorer la qualité de l'air à Alger. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour élaborer des politiques de gestion de la qualité de l'air plus efficaces et promouvoir des solutions de transport durables.

Mots clés : pollution atmosphérique, automobile, polluants, émissions, transport, NAEI, COPERT.

Abstract :

Transport plays a major role in atmospheric pollution, notably vehicle emissions, particularly detrimental in rapidly expanding cities like Alger. Estimating these pollutants is essential for transportation strategies. This thesis focuses on the evaluation of atmospheric pollutant emissions related to car travel to a specific zone in Alger. Due to the lack of data and a model adapted to the local context, surveys were conducted to gather necessary information. An approach based on the European models NAEI and COPERT was developed to estimate emissions related to transportation. The results emphasize significant levels of CO, HC, NOx, PM, and CO2 emissions, highlighting the urgency to improve air quality in Alger. These results provide valuable information for developing more effective air quality management policies and promoting sustainable transportation solutions.

Keywords: atmospheric pollution, automobile, pollutants, emissions, transportation, NAEI, COPERT.