



Université Hadj-Lakhdar, Batna
Institut d'Hygiène & Sécurité Industrielle
Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle



THÈSE

Présentée pour obtenir le grade de

DOCTEUR

EN

Hygiène & Sécurité Industrielle

Option: Gestion des Risques

PAR

M^{elle} AOURAGH LEILA

**Etude de la Qualité de l'Air Urbain au
Niveau de la Ville de Batna : Cas du
Transport Routier**

Soutenue 2015 devant le Jury composé de:

Dr. DJEBABRA Mébarek, Professeur, Université de Batna	Président
Dr. BOURMADA Noureddine, Professeur, Université de Batna	Rapporteur
Dr. DIB Abderahmane, Maître de Conférences A, Université de Oum El-Bouaghi	Examineur
Dr. OMARI Mahmoud, Professeur, Université de Biskra	Examineur
Dr. BOUBAKOUR Farès, Professeur, Université de Batna	Examineur
Dr. BOUBAKER Leila, Maître de Conférences A, Université de Batna	Invitée

DÉDICACE

A la mémoire de mon père

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Dieu, notre créateur, pour le courage et la patience qu'il m'a donné pour accomplir ce travail.

Tout d'abord, j'adresse mes vifs remerciements à mon Directeur de thèse le professeur BOURMADA Noureddine qui a suivi mes travaux et su me faire confiance et m'apporter l'aide nécessaire, tant sur le plan scientifique que moral.

Je remercie également M^{me} Nadège BLOND et M^r Jean Luc-PONCHE qui ont bien accepté de m'accueillir d'abord dans leur laboratoire LIVE (CNRS) et ensuite de suivre ce travail avec beaucoup d'intérêt, sans oublier M^r Farid Rahal, pour son aide précieuse.

Je n'oublie pas de remercier également les membres du Jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail et de participer au Jury de cette thèse. Je m'adresse, plus particulièrement au Professeur Mébarek DJEBABRA que je remercie d'avoir présidé le Jury de thèse ainsi qu'au professeur Mahmoud OMARI, Docteur A/Rahmene DIB, Professeur Farès BOUBAKOUR et Docteur Leila BOUBAKEUR d'avoir accepté d'expertiser le travail en question. Je n'oublie pas de remercier Docteur Hocine BENABID pour ses encouragements et son aide.

Mes sincères remerciements aux partenaires socio-économiques pour le chemin parcouru ensemble. Je les remercie vivement et garderai précieusement en mémoire cette collaboration pour les conseils avisés pour le travail de terrain. Je cite messieurs M. AOUF, (P.D.G.) ETB. Batna, H. ABDELKADER, Responsable DRAG. Batna, A.GUELLIL (NAFTAL), sans oublier Mr S.SMATI (DPAT).

Mes vifs remerciements vont à mes amies qui m'ont accompagnée de leur affection, amitié et de leurs encouragements pendant toutes ces années, tout particulièrement à Linda SEFOUHI, Nora OUZRAOUI, Saadia SAADI, Lylia BAHMED et Nora ABDESSELEM. Sans oublier le personnel administratif de mon institut d'Hygiène & Sécurité Industrielle.

Mes ultimes et dernières pensées, non les moindres, vont à mes proches à qui je dédie ce travail. Tout particulièrement à ma mère qui a su me pousser et m'accompagner tous les jours durant cette période de ma vie par son amour sans limite et encore aujourd'hui!

A mes frères et sœurs pour leur soutien surtout moral à l'achèvement de ce travail, à mes neveux et nièces.

Nombreux sont ceux que je n'ai pas cités, qu'ils m'en excusent et trouvent toute ma reconnaissance dans ces quelques lignes.

Merci à toutes et à tous.

ملخص - في العقود الأخيرة، نمت مشكلة تلوث الهواء بسبب زيادة كبيرة في النشاط البشري والتنمية الصناعية. ومع ذلك، فإن مشكلة الانبعاثات الناتجة عن قطاع النقل أصبح مقلقا بشكل متزايد على حد سواء محليا، إقليميا وعالميا. ركز هذا العمل في مجال النقل، ويهدف إلى دراسة الانبعاثات الناجمة عن النقل البري في مدينة باتنة، واحدة من المدن الكبرى في الجزائر. كما أنها تقع على مفترق الطرق بين اثنين من المواضيع الرئيسية لقرننا، وهي الشواغل البيئية والنمو السكاني في المدن. أولا، نقترح للتعرف على مشكلة تلوث الهواء ومصادر مختلفة، والآثار من حيث البيئة وظروف المعيشة واللوائح المرتبطة بقياسه. الاستمرار بمراجعة الأدبيات وصفا لمختلف قوائم جرد الانبعاثات الحالية، مكونات أداة أساسية لدراسات الأثر البيئي والصحة العامة وكأداة لدعم اتخاذ القرارات لإدارة حركة المرور في وسط المناطق الحضرية، وتطوير استراتيجيات وسياسات النقل البري. تم تطوير منهجية التقييم وحركة الملوثات التقدير الفعلي للسيارة وتقوم على المسوحات الميدانية واستخدام البرمجيات Emisens التي من شأنها أن تسمح لنا لحساب الانبعاثات بشكل أسرع من بيانات عن أسطول: عدد المركبات في كل فئة، وتدفق المركبات، وسرعة السيارة، ومتوسط معامل انبعاث، الخ. بحسب هذا النموذج أيضا الشكوك في معلمات الإدخال وتحديد والتي تحتاج إلى أن تقدر على نحو أفضل لتحسين كبير في النتيجة

كلمات البحث: النقل، أسطول، والعمر، والانبعاثات، وتلوث الهواء، Emisens، والمخزون، مدينة باتنة.

Résumé - Depuis ces dernières décennies, la problématique de la pollution de l'air n'a cessé de croître à cause de l'augmentation drastique de l'activité anthropique et le développement industriel. Cependant, la problématique des émissions polluantes du secteur des transports devient de plus en plus inquiétante tant à l'échelle locale que régionale et mondiale.

Ce travail ancré dans le domaine des transports, a pour objectif d'étudier les émissions polluantes issues du transport routier au niveau de la ville de Batna, l'une des grandes agglomérations Algérienne. Il se situe également à la croisée des deux thèmes privilégiés de notre siècle à savoir les préoccupations environnementales et la croissance démographique des villes.

Dans un premier temps, nous proposons de se familiariser avec la problématique de la pollution atmosphérique ainsi que les différentes sources, ses répercussions en termes d'environnement et de cadre de vie et la réglementation associée à sa mesure. Nous poursuivons cette étude bibliographique par une description des différents inventaires d'émissions existants, constituant un outil fondamental pour les études d'impacts sur l'environnement, la santé publique et comme outil d'aide à la décision pour la gestion du trafic en milieu urbain, ainsi que le développement de stratégies et de politiques de transport routier.

La méthodologie d'évaluation et d'estimation de polluants de véhicules en circulation réelle est mise au point et est basée sur des enquêtes sur terrain ainsi que l'utilisation d'un logiciel Emisens qui nous permettra de calculer les émissions plus rapidement à partir de données sur la flotte de véhicules: nombre de véhicules dans chaque catégorie, les flux de véhicules, la vitesse des véhicules, facteur d'émission moyen, etc. Ce modèle calcule également les incertitudes liées aux paramètres d'entrée et d'identifier, qui ont besoin d'être mieux estimée à améliorer de manière significative le résultat.

Mots clés : Transport, parc automobile, âge, émissions, pollution de l'air, Emisens, inventaire, ville de Batna.

Abstract - In recent decades, the problem of air pollution has grown steadily because of the drastic increase in human activity and industrial development. However, the problem of emissions from the transport sector is becoming increasingly worrying both locally and regionally and globally.

This work focused in the field of transport, aims to study emissions from road transportation in the city of Batna, one of the great cities of Algeria. It is also located at the crossroads of the two key themes of our century, namely environmental concerns and population growth of cities.

First, we propose to become familiar with the problem of air pollution and the different sources, impacts in terms of environment and living conditions and regulations associated with its measurement. We continue this literature review by a description of the different existing emission inventories, constituting a fundamental tool for environmental impact studies, public health and as a decision support tool for the management of traffic in the middle urban, and the development of strategies and road transport policies.

The evaluation methodology and actual traffic vehicle pollutant estimation is developed and is based on field surveys and the use of a Emisens software that will allow us to calculate emissions faster from data on the fleet: number of vehicles in each category, the vehicle flow, vehicle speed, average emission factor, etc. This model also calculates the uncertainties in input parameters and identifies which need to be better estimated to significantly improve the result.

Keywords: Transport, fleet, age, emissions, air pollution, Emisens, inventory, city of Batna.

Liste des abréviations

APHEIS	A ir P ollution and H ealth: E uropean I nformation S ystem.
COPERT	C OMputer P rogram to calculate E mission from R oad T ransport–
UE	U nion E uropéenne.
CORINAIR	C ORe I Nventory A IR emissions – U nion E uropéenne (European Emission Inventory methodology)
COV	C omposés O rganiques V olatils.
COVNM	C omposés O rganiques V olatils N on M ethaniques.
EMEP	E uropean M onitoring and E mission P rogram– U nion E uropéenne.
EMISENS	E MIssion S ENSitivity – M odèle sur les émissions du trafic routier.
GIEC	G roupe I ntergouvernemental sur l' E volution du C limat.
GPL	G az de P étrole L iquéfié (butane et propane).
HAP	H ydrocarbures a romatiques p olycycliques.
JORA	J ournal o fficiel de la R épublique A lgérienne.
OCDE	O rganisation de C oopération et de D éveloppement E conomique.
OMS	O rganisation M ondiale de la S anté.
NOx	N O + N O ₂ .
PAN	P eroxy a cétyl n itrate.
PM	P articulate M ater.
PM10	P articule dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm.
PM2.5	P articule dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 µm.
ppb	P art p er b illion (en français : partie par milliard).
ppm	P art p er m illion (en français : partie par million).
SIG	S ystème d' I nformation G éographique.
SNAP	S elected N omenclature for A ir P ollution - U nion E uropéenne.
Euro zéro	N ormes européennes d'émission de polluant de véhicule entrées en vigueur avant 1992
Euro I	N orme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 1992
Euro II	N orme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 1996
Euro III	N orme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 2000
Euro IV	N orme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 2005
Euro V	N orme européenne d'émission de polluant de véhicule prévu en 2009
Euro VI	N orme européenne d'émission de polluant de véhicule prévu en 2014
GES	G az à e ffet de s erre

IPCC	Intergovernmental p anel of climate c hange
Naftal	Société nationale de commercialisation de carburant
ONS	O ffice N ational de S tatistiques
PDAU	P lan d irecteur d' a ménagement et d' u rbanisme
PDU	P lan de d éplacement u rbain
PED	P ays en d éveloppement
PL	P oids L ourd
TC	T ransport en C ommun
Veh	V éhicule
VP	v éhicule p articulier
VUL	v éhicule u tilitaire l éger
CH4	Méthane
CO	Monoxyde de carbone
CO₂	Dioxyde de carbone
COV	C arbone o rganique v olatile
NO₂	Dioxyde d'azote
NO_x	Oxydes d'azote
SO₂	Dioxyde de soufre
SO_x	Oxydes de soufre

Liste des figures

Code	Titre	Page
Figure I.1	Les différentes couches de l'atmosphère. Structure globale de l'atmosphère	16
Figure I.2	Paramètres déterminant la qualité de l'air d'une zone géographique donnée	21
Figure I.3	Phénomène de retombée en panache	25
Figure I. 4	décès prématurés imputables à l'exposition à l'ozone dans les zones Urbaines en 2000 et 2030	28
Figure I.5	Echelles spatiale et temporelle des différents composés	29
Figure I. 6	Evolution du parc automobile mondial depuis 1930	34
Figure I.7	croissance du parc automobile mondiale	34
Figure I.8	Croissance du parc automobile mondial par catégorie 1990-2030	35
Figure I.9	Evolution comparée de la production automobile mondiale et de la concentration en CO ₂ dans l'atmosphère	36
Figure I.10	Contribution du secteur transport et des différents modes de transport en fonction des principaux polluants atmosphériques toxiques	38
Figure I.11	Effet des normes EURO sur les émissions de NO _x en fonction de la vitesse des véhicules particuliers essence	47
Figure I.12	Evolution des normes européennes pour les véhicules légers	48
Figure II.1	ville de Batna - Situation géographique et Occupation du sol	60
Figure II.2	Les secteurs urbains dans la ville de Batna.	60
Figure III.1	Répartition du parc National par catégorie	80
Figure III.2	Parc National par source d'énergie	81
Figure III.3	Répartition du parc automobile de la ville de Batna par catégorie	82
Figure III.4	Répartition du parc automobile par âge	83
Figure III.5	Evolution du parc automobile par années de la ville de Batna	84
Figure III.6	carte représentant les trois accès à la ville de Batna	84
Figure III.7	Carte du premier accès à la ville où l'enquête s'est effectuée	85
Figure III.8	Carte du deuxième accès à la ville où l'enquête s'est effectuée	86
Figure III.9	Carte du troisième accès à la ville où l'enquête s'est effectuée	86
Figure III.10	Le flux entrant et sortant des trois accès à la ville	87
Figure III.11	Cartographie de la ville de Batna	88
Figure III.12	Le flux par zone et par catégorie de route en heure de pointe	89
Figure III.13	L'évolution des ventes de carburant	90
Figure III.14	Evolution du parc automobile par Source d'énergie	90

Figure III.15	Représentation graphique de l'évolution quotidienne des volumes de trafic au niveau de l'espace choisi	94
Figure III.16	Evolution des polluants en fonction d'année	98
Figure IV.1	Répartition gaussienne de la concentration dans un panache de gaz passif	111
Figure IV.2	champs de concentration pour nombre de Reynolds=10 pour différents temps	122
FigureIV.3	champs de concentration pour nombre de Reynolds=500 pour différents temps	123
Figure II.4	concentration à la sortie du domaine en fonction de temps	123
Figure IV.5	effet du nombre de Reynolds sur le profil de concentration au temps =600	124

Liste des Tableaux

Code	Tableau	Page
Tableau I.1	Comparaison des compositions de l'atmosphère naturelle et polluée	20
Tableau I.2	Sources majoritaire de gaz en traces	22
Tableau I. 3	Les principaux polluants toxiques présents dans l'atmosphère: Sources, Contribution et impacts	23
Tableau I.4	Quantité de polluants (K/an) émis par le secteur transport routier pour les principaux polluants issus des émissions véhiculaires	38
Tableau I.5	Les Directives imposées par l'U.E pour la protection et la réglementation de la qualité de l'air	44
Tableau I.6	Normes européennes des émissions de VP (g/km	47
Tableau II.1	Résultats par le modèle Emisens	76
Tableau III.1	Flux entrant et sortant par le premier accès à la Ville: Batna- Biskra	85
Tableau III.2	Flux entrant et sortant par le second accès à la ville: Batna- Constantine	85
Tableau III.3	Flux entrant et sortant par le troisième accès à la ville: Batna- Khenchela	86
Tableau III.4	Flux entrant et sortant des trois accès à la ville	87
Tableau III.5	Répartition du flux par zone en heure de pointe moyenne	88
Tableau III.6	Evolution du parc automobile par source d'énergie. Pourcentage de véhicules utilisant du gasoil ou de l'essence	89
Tableau III.7	Comptage de véhicule pour la zone 1	91
Tableau III.8	Comptage de véhicule pour la zone 2	91
Tableau III.9	Comptage de véhicule pour la zone 3	92
Tableau III.10	Comptage de véhicule pour la zone 4	92
Tableau III.11	Comptage de véhicule pour la zone 5	92
Tableau III.12	Comptage de véhicule pour la zone 6	92
Tableau III.13	Comptage de véhicule pour la zone 7	93
Tableau III.14	nombre de véhicules pendant l'heure de pointe dans l'espace choisi	93
Tableau III.15	Identification des différents paramètres utilisés	95
Tableau III.16	Evolution du parc automobile par source d'énergie	96
Tableau III.17	Termes utilisés pour la deuxième démarche	97
Tableau III.18	Evolution des polluants en fonction des années Définition des termes utilisés	98

Tableau IV.1	Définition des termes utilisés	117
Tableau IV.2	Comptage de véhicule à partir de l'enquête	120
Tableau IV.3	Concentration des différents polluants constituant le panache en fonction d'années	121
Tableau IV.4	Concentration des différents polluants constituant le panache en fonction d'années	122

Sommaire

Remerciements

Résumé

Liste des Abréviations

Liste des figures

Liste des Tableaux

Introduction générale..... 11

Chapitre I : Etat de l'art sur le transport routier et ses impacts sur l'environnement

I.1. Introduction.....	16
I.2. Généralités sur la pollution atmosphérique.....	16
I.2.1. Structure de l'atmosphère terrestre.....	16
I.2.2. Composition de l'atmosphère terrestre.....	16
I.3. La pollution atmosphérique.....	18
I.4. Facteurs influençant la pollution atmosphérique	24
I.4.1. Le vent	24
I.4.2. Les conditions météorologiques	25
I.4.3. La température et le rayonnement:	26
I.4.4. L'humidité:	26
I.4.5. La topographie locale	26
I.5. Les sources de pollution atmosphérique	26
I.6. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé.....	27
I.7. Impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement.....	28
I.7.1. Impact à l'échelle locale	29
I.7.2. Impact à l'échelle régionale.....	30
I.7.3. Impact à l'échelle planétaire.....	32
I.8. Généralités sur la pollution générée par le transport routier.....	33
I.8.1. Evolution du parc automobile mondial depuis 1930.....	34
I.8.2. Polluants émis par le transport.....	37
I.8.3. Facteurs influençant les émissions véhiculaires	39
I.8.4. Impacts du transport routier.....	41
I.9. Réglementation et conventions vis-à-vis de la pollution atmosphérique.....	42
I.9.1. La convention sur la pollution transfrontalière à longue distance (CLRTAP).	42

I.9.2. Les normes européennes et la réglementation française sur la qualité de l'air.....	43
I.9.3. Les normes spécifiques au transport routier	45
I.9.4. Cadre réglementaire et législatif en Algérie	49
I.10. Synthèse bibliographique.....	51
I.11. Conclusion.....	56

Chapitre II : Inventaire des émissions des véhicules de la région de Batna: Problématique et outils

II.1. Introduction.....	58
II.2. Description Géographique de la région de Batna.	59
II.3. Inventaire des émissions atmosphérique dues au transport routier.....	61
II.3.1. Définitions Générales	61
II.3.1.1. Inventaire d'émission.....	61
II.3.1.2. Cadastre d'émissions	63
II.3.1.3. Sources d'émissions.....	64
II.3.1.4. Facteur d'émission.....	64
II.3.1.5. Nomenclatures	65
II.3.2. Nomenclature SNAP	65
II.3.3. Types d'inventaires	66
II.4. Méthodologie de réalisation d'un inventaire	67
II. 5. La méthodologie Copert	68
II.6. Modèle EMISENS	70
II.6.1. Les surémissions à froid.....	72
II.6.2. Les émissions par évaporation (COV)	74
II.7. Résultats par Emisens	75
II.8. Conclusion	76

Chapitre III : Evaluation des émissions dues au trafic routier

III.1. Introduction	78
III.2. Réseau de voirie de la ville de Batna.....	78
III.3. Le parc véhicule de Batna par rapport au parc National.	80
III.4. Situation des transports et nuisances engendrées	82
III.5. Evolution du transport routier	89
III.6. Démarche d'évaluation de la quantité des polluants.	91
III.6.1. Enquêtes réalisées sur terrain.....	91

III.6.2. Méthodologies d'évaluation des polluants.....	93
III.6.3. Discussions des résultats.....	96
III.7. Conclusion.....	100

Chapitre IV : Application d'un modèle mathématique de dispersion pour le trafic routier de Batna

VI.1. Introduction.....	103
VI.2. Les conditions de la modélisation de la dispersion.....	107
VI.3. Les modèles numériques de dispersion.....	108
IV.3.1. Modèle Gaussien:	110
IV.3.1.1. Introduction et domaine de validité.....	110
IV.3.1.2 Résolution du modèle Gaussien:	111
IV.3.2. Modèle intégral:.....	112
IV.3.2.1. Introduction et validation:	112
IV.3.2.2. Résolution du modèle intégral:.....	113
IV. 3.3. Modèle CFD (Computational Fluid Dynamics):	114
IV.3.3.1. Introduction:	114
IV.3.3.2. Résolution des modèles CFD:	114
IV.4. Application du modèle eulérien	115
IV.4.1. Modèle mathématique:	115
IV.4.2. Résolution du modèle:	117
IV.4.3. Facteur d'émission et condition initiale:.....	118
IV.4.4. Résultats et discussion:	120
IV.5 Conclusion.....	124

Conclusion Générale

Références Bibliographiques

Annexes

Introduction générale

L'un des problèmes environnementaux le plus important aujourd'hui dans les zones urbaines est la pollution de l'air. Ce n'est pas un phénomène récent, même si la médiatisation en fait la promotion ces dernières années et se limitait jusqu'ici qu'aux problèmes d'effet de serre et du trou d'ozone, mais attisant ainsi un affolement général de tout citoyen.

Le problème de la pollution de l'air se situe au croisement de trois mouvements (Jahnich, 2003) : les inquiétudes de la population pour les questions de santé publique, la montée des préoccupations écologiques et la renaissance de l'épidémiologie. C'est donc un domaine de recherche très intéressant, surtout que depuis des récentes évolutions en termes de responsabilités inversées des sources fixes en sources mobiles. L'une des études menées dans ce contexte, l'étude *Apheis*, qui s'est réalisée dans 26 villes européennes montre que la pollution de l'air reste une préoccupation de santé publique en milieu urbain (Médina et al, 2002). Ainsi, les résultats épidémiologiques montrent les effets nocifs de la pollution de l'air sur la santé publique (Dimitriou et al. 2013).

L'ère actuelle est l'ère de la motorisation. Elle est perçue comme synonyme de la civilisation et le statut d'élite. C'est un élément essentiel de la vie moderne. Mais en dépit de ces aspects positifs, elle est et reste une source majeure d'émission de polluant dans le monde entier (Saija et Romano, 2002).

Le transport routier est une source majeure d'émissions de polluants atmosphériques dans le monde entier, en particulier dans les zones urbaines et est responsable des effets de santé publique. Par ailleurs, les émissions du CO₂ du transport routier ont reçu une attention particulière ces dernières années, vu leur constante augmentation. Bien qu'ils peuvent être réduits par plusieurs méthodes, tels que l'amélioration des infrastructures routière, la qualité du carburant, les progrès dans les systèmes de technologie et de gestion du véhicule. Néanmoins, il a été estimé que les émissions de CO₂ dues au trafic routier dans le monde augmenteront de 92% entre 1990 et 2020 (Gorham, 2002).

Ainsi, il contribue à plus de 25% des émissions totales de CO, CO₂, NO_x, et les émissions de particules fines dans la plupart des pays (Ghenu et al., 2008).

Par ailleurs, les émissions du CO₂ du transport routier ont reçu une attention particulière ces dernières années, vu leur constante augmentation. Bien qu'ils peuvent être réduits par

plusieurs méthodes, tels que l'amélioration des infrastructures routière, la qualité du carburant, les progrès dans les systèmes de technologie et de gestion du véhicule. Néanmoins, il a été estimé que les émissions de CO₂ dues au trafic routier dans le monde augmenteront de 92% entre 1990 et 2020 (Gorham, 2002).

Il est maintenant généralement reconnu que la plupart des substances directement émises par les véhicules dans l'air ambiant ou indirectement produites par des réactions photochimiques représentent un grave danger pour la santé humaine (Hoek et al, 2002 ; Nyberg et al, 2000 ; Dab et al, 2001). Plusieurs études ont été réalisées dans ce sens, mais l'étude menée par Kunzli conduite sur la Suisse, l'Autriche et la France s'est intéressée aux effets à long terme de la pollution automobile (essentiellement en PM₁₀) sur la santé publique. Elle évalue un nombre de 40 000 décès par an pour ces pays (Künzli et al, 2000).

En Algérie, le transport routier est également un facteur important de développement social et économique. C'est le moyen de transport le plus usuel, que ce soit pour le transport de personnes ou celui de marchandises: environ 85% des déplacements de personnes s'effectuent par voie routière. Ainsi, le gouvernement a opté pour le renforcement du transport routier par le développement des infrastructures routières et a autorisé les concessionnaires automobiles à s'installer dans le pays (Boughedaoui, 2007) à développer. Cependant, dans les grands centres urbains, où la qualité de service des transports en commun n'est ni commode, ni suffisamment développée, la majorité des citoyens utilise leur véhicule personnel et leur paraît comme la meilleure solution de déplacement. Des études ont montré que le Grand Alger est, comme toute grande agglomération urbaine, confronté à une intense pollution atmosphérique (Boughedaoui et al, 2004). La principale source d'émission étant le trafic routier. La plupart des polluants sont liés directement ou indirectement au trafic automobile.

La forte tendance d'usage du gasoil, par son bas prix, a fait que le parc Algérien se diésélise de plus en plus. Selon les statistiques nationales, seul 49,52% des véhicules immatriculés en 2006 fonctionnent à l'essence et 74,36% du parc de véhicule de tourisme à plus de 15 ans (Boubakour, 2006).

La ville de Batna est devenue une métropole de transport à l'instar des autres villes Algériennes. Son parc automobile est en croissance constante et pratiquement vétuste. Selon les ventes de carburants, le gasoil est le plus utilisé par son parc automobile, ce qui accentue le phénomène de pollution de l'air.

Afin d'estimer la contribution des émissions du transport routier dans la dégradation de la qualité de l'air au niveau de la ville de Batna, une élaboration d'un inventaire d'émission s'avère nécessaire, ce qui constitue une condition préalable pour la planification et le développement des systèmes de transports routier durables. Offrant ainsi aux décideurs un moyen de gérer efficacement la qualité de l'air local. C'est dans ce contexte global que s'inscrit ce travail de thèse de doctorat qui a pour objectif d'apporter des réponses aux deux questions suivantes :

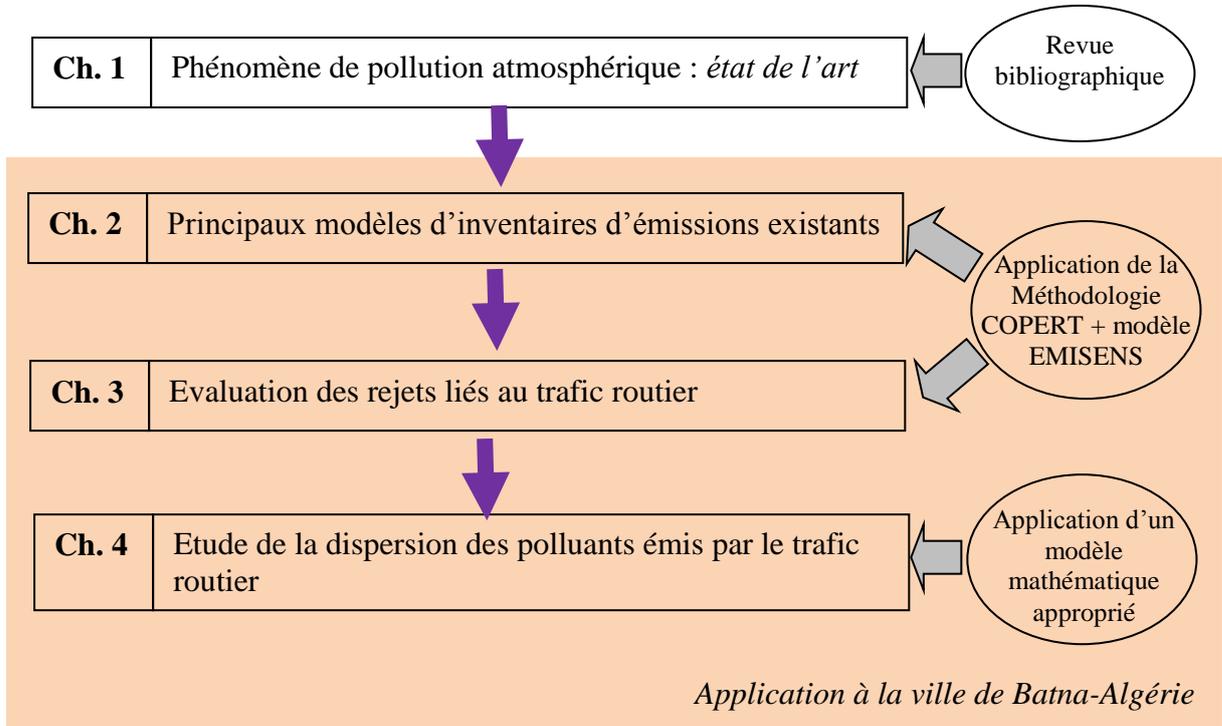
- Q₁**- Une fois établi, l'inventaire global des émissions de polluants issus du trafic routier à l'échelle de l'agglomération, présentera-t-il des éléments de réponses pour la gestion du trafic en milieu urbain, ainsi que le développement de stratégies de transport routier ?
- Q₂**- Est-ce que la pollution engendrée par le trafic en zone urbaine est transportée vers une autre zone ?

Pour atteindre cet objectif, le présent manuscrit est scindé en quatre chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est une revue de littérature consacré à la présentation du phénomène de pollution atmosphérique, les principaux polluants, la part de la pollution automobile dans les émissions totales, les facteurs influençant ces émissions, notamment le parc automobile et enfin la présentation du cadre réglementaire relatif aux émissions automobile.
- ✓ Le second chapitre, s'attache à illustrer les principaux inventaires d'émissions existants, tout en définissant ces derniers, leurs composants et les différentes méthodologies utilisées dans ce domaine ainsi que la méthodologie COPERT et le modèle EMISENS adoptés pour notre travail.
- ✓ Quant au troisième chapitre, il est consacré à la démarche d'évaluation des rejets liés au trafic routier et à la réalisation du cadastre de ses émissions. Cette démarche nous a permis dans un premier temps d'évaluer la quantité du CO₂ émise, ainsi que d'autres polluants. Ensuite, nous nous sommes penchés sur l'utilisation du modèle EMISENS pour générer les émissions globales, qui seront ensuite réparties pour chaque maille et chaque heure des jours choisis. Enfin, la réalisation de la cartographie des émissions à Batna.
- ✓ Un quatrième et dernier chapitre complète l'idée développée dans le troisième chapitre dans le sens où l'intérêt est porté sur la dispersion des polluants issus par le trafic

routier. Pour ce faire, un modèle mathématique a été utilisé, suite à ses nombreux avantages par rapport à l'expérimentation. Enfin nous terminerons par une conclusion et des perspectives.

Le schéma préconisé pour la structuration de la présente thèse de doctorat est fourni ci-après.



CHAPITRE I

Etat de l'art sur le transport routier et ses impacts sur l'environnement

Résumé :

Les impacts environnementaux des transports routiers sont nombreux. Ils regroupent les impacts directs et indirects des véhicules et ceux des infrastructures routières. Ils sont locaux ou globaux, ce qui nécessite, une approche harmonisée et une coopération inter-Etats.

La pollution ne s'arrêtant pas aux frontières et certains pays étant victimes d'une position géographique faisant qu'ils sont traversés par des flux routiers internationaux. L'exposition des populations aux polluants produits par les gaz d'échappements notamment les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂) présente un réel problème de santé publique.

En effet, l'émission de ces polluants dans l'air est susceptible de retentir négativement sur l'atmosphère planétaire, le climat et contribuer ainsi au réchauffement de la planète. De plus, cette pollution induite par le trafic routier à des effets différés à moyen et long terme.

C'est dans ce contexte que s'intègre ce chapitre qui a pour objet de faire le point sur la problématique du transport routier et ses impacts environnementaux.

I.1. Introduction

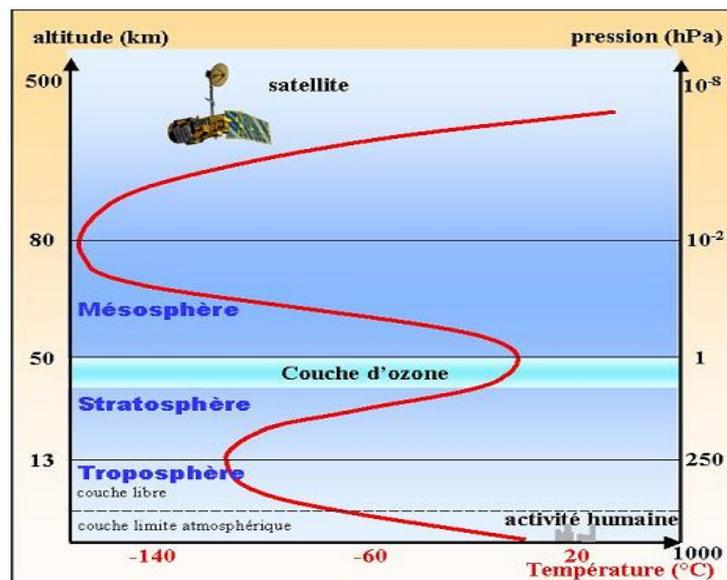
La pollution atmosphérique est un problème majeur de ce siècle. Son impact sanitaire et environnemental, bien que difficilement évaluable, préoccupe de plus en plus de personnes et les réglementations sont régulièrement réévaluées pour tenter de limiter les émissions de polluants.

C'est pour cette raison que dans ce premier chapitre, nous proposons de familiariser le lecteur et lui présenter une vue succincte et générale sur la composition de l'atmosphère, les polluants les plus courants et les divers aspects liés à cette problématique. Ensuite, de mettre en évidence ses mécanismes et ses manifestations spatiales. Enfin, nous effectuons un état de l'art dans le domaine des émissions du transport routier, ainsi que la réglementation régissant ce genre de problème.

I.2. Généralités sur la pollution atmosphérique

I.2.1. Structure de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est la couche gazeuse entourant la terre. Elle a un rôle protecteur très important, permettant la vie sur la planète. Elle protège la terre de certains rayonnements cosmiques et solaires. Elle peut être décrite comme une superposition de quatre régions, du niveau le plus élevé en altitude au niveau le plus bas: la thermosphère, la mésosphère, la stratosphère et la troposphère (Fig. I.1). Les couches de transition sont des zones de transition où les gradients de température verticale changent de signe (Elichegary et al, 2010).



Source : (Mallet, 2005).

Fig. I.1. Structure globale de l'atmosphère.

L'examen de la figure ci-dessus montre que :

- La première couche, la troposphère, celle dans laquelle nous vivons. Elle est comprise entre le sol et 10 à 15 km d'altitude. Dans cette couche, la température décroît assez régulièrement en fonction de l'altitude à un taux moyen de 6 degré par kilomètre, ce qui en fait d'elle une couche instable. Cette décroissance est toutefois variable suivant les saisons et les latitudes. Dans cette zone, ont lieu l'immense majorité des phénomènes météorologiques; elle contient presque toute la vapeur d'eau. La troposphère est divisée en deux parties distinctes :
 - ✓ la couche libre, la partie supérieure de la troposphère, où le vent est déterminé par de grands mouvements d'ensemble à l'échelle de la planète et est appelé vent géostrophique. Il résulte de l'équilibre entre les forces de gradient de pression et la force de Coriolis due à la rotation de la Terre;
 - ✓ la Couche Limite Atmosphérique (CLA), est la partie proche de la surface terrestre. L'écoulement de l'air est perturbé par le sol et donne naissance à une forte agitation appelée turbulence. La variation diurne du rayonnement solaire y est directement perceptible d'un point de vue thermique.
- Au-dessus de la troposphère, se situe la Stratosphère. Dans cette couche, la température augmente jusqu'à environ 50 km en raison de l'absorption du rayonnement solaire par l'ozone stratosphérique. Ce gradient positif entraîne une certaine stabilité dans cette partie de l'atmosphère. Notons bien l'importance de cet ozone stratosphérique qui est essentiel à la vie sur terre par son effet protecteur vis à vis du rayonnement solaire. Les mélanges verticaux sont relativement faibles à ce niveau. La limite supérieure de la stratosphère s'appelle la stratopause, qui se situe en moyenne vers 50 km d'altitude, avec une température moyenne de 0 °C.
- La troisième couche, la mésosphère. Elle est comprise entre 50 et 85 km d'altitude. C'est la zone la plus froide de l'atmosphère, car on y observe une décroissance rapide de la température avec l'altitude. Cette décroissance de température cesse brusquement à la mésopause, située vers 80 km et 1 Pa et où l'on a des températures comprises entre -120 °C et -50 °C.
- La quatrième couche, la Thermosphère, s'étalant au-delà de 85 km environ. Dans cette couche, le gradient de température est à nouveau fortement positif et peut atteindre 855 K à 200 km d'altitude et 1000 K à 750 km de par le rapprochement et la proximité du rayonnement solaire. Signalons que les molécules de gaz y deviennent si rares que

la notion de température établie sur l'agitation des molécules n'a plus vraiment de sens à partir de 100 km environ. À ces hautes altitudes, les particules commencent à interagir avec le vent solaire.

I.2.1. Composition de l'atmosphère terrestre

La qualité de l'air est caractérisée par la composition chimique des basses couches de l'atmosphère en interaction directe avec la biosphère et les populations (François, 2004).

Le terme «air pur» est fréquemment utilisé pour décrire un air «naturel» exempt de tout polluant, qui ne serait constitué exclusivement que d'azote (N₂) et d'oxygène (O₂). L'air pur n'existe pas et il n'a jamais existé naturellement car la composition réelle de l'atmosphère résulte de processus à la fois physiques à savoir la combustion, l'évaporation, la condensation et le dégazage des roches, biologiques telle que la fermentation et chimiques complexes qui existent depuis la formation de la terre (François, 2004).

A la fin du XVIII^{ème} siècle, Antoine-Laurent de Lavoisier donne la première composition de l'air selon ces termes: «l'air de l'atmosphère n'est pas un élément, c'est-à-dire un corps simple, mais un mélange de plusieurs gaz. L'air de l'atmosphère est composé d'un quart environ d'air déphlogistiqué ou air éminemment respirable [l'oxygène] et de trois quart d'un air méphitique et nuisible [l'azote]» (François, 2004).

Les principaux composants de l'atmosphère exprimés en volume se résument comme suit: azote 78,08 %, oxygène 20,95 %, argon 0,93 % et de dioxyde de carbone 0,036 %. En plus de l'argon, quatre autres gaz rares se retrouvent aussi dans l'atmosphère.

I.3. La pollution atmosphérique

Les phénomènes de pollution atmosphérique se manifestent principalement dans la plus basse couche de l'atmosphère: la troposphère et plus particulièrement au sein de sa couche limite. Elle peut aussi se manifester, moins fréquemment, dans la stratosphère dans le cas de polluants ayant une durée de vie plus longue (Sportisse, 2008). Les niveaux de polluants dans l'air dépendent de leur nature et des conditions de rejet de ceux-ci dans l'atmosphère en occurrence de l'intensité de la source et de la météorologie.

Par ailleurs, la pollution atmosphérique peut être définie par la présence de polluants soit gazeux ou Particules dans l'atmosphère, pouvant provoquer des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine (Arqués, 1998). Ses sources peuvent être soit naturelles tels que feu de forêt et éruption volcanique, soit anthropiques, c'est-à-dire liées à l'activité

humaine (Mayer, 1999). En outre, la pollution anthropique est souvent le résultat direct de la croissance et des progrès industriels, comme par exemple l'émission continue des polluants associés aux processus de combustion à savoir les véhicules automobiles, les installations industrielles et la production d'énergie par combustion.

Selon l'article 32 de la loi Algérienne n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement, la pollution atmosphérique est définie comme: «l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorantes, de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites» (Loi Algérienne, 1983).

En Algérie, les pouvoirs publics ont défini la pollution atmosphérique, à travers l'article 44 de la Loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit: Constitue une pollution atmosphérique au sens de la présente loi, l'introduction, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances de nature à mettre en danger la santé humaine, influencer sur les changements climatiques ou appauvrir la couche d'ozone, nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, compromettre la sécurité publique, incommoder la population, provoquer des nuisances olfactives, nuire à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, altérer les constructions et porter atteinte au caractère des sites, détériorer les biens matériels (JORADP, 2006).

Comme l'illustre le Tableau I.1, la composition de l'atmosphère polluée exprimée en partie par milliard (PPb) peut être très variable et différente de celle considérée comme étant naturelle.

Tableau I.1. Comparaison des compositions de l'atmosphère naturelle et polluée.

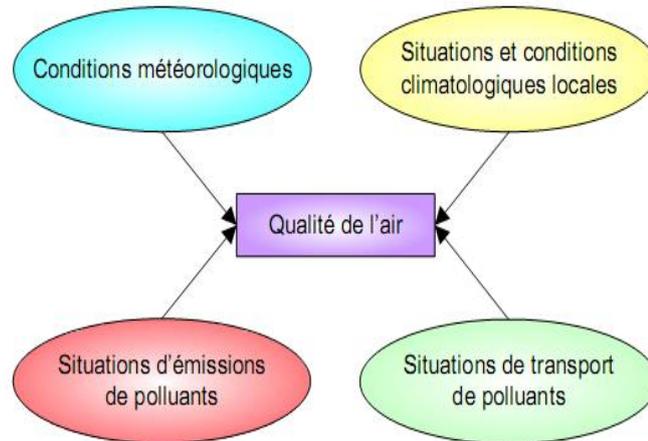
Source : (François, 2004).

Polluants	Atmosphère naturelle (ppb)	Atmosphère polluée (ppb)
Dioxyde de soufre	1-10	20 – 200
Monoxyde de carbone	120	1000- 10000
Monoxyde d'azote	0,01-0,05	50 – 750
Dioxyde d'azote	0,1 -0,5	50 – 250
Ozone	20-80	100-500
Acide nitrique	0,02 - 0,3	3-50
Ammoniac	1	10-25
Formaldéhyde	0,4	20-50
Acide formique	/	1-10
Acide nitreux	0,001	1-8
PAN	/	5-35
NMHC	/	500- 1200

La pollution atmosphérique se manifeste, tout d'abord, en fonction des émissions de polluants primaires dans l'air. L'identification de leurs sources et de leurs effets permet alors, par la mesure d'un nombre limité de polluants, d'obtenir un «indicateur ou traceur» de la pollution pour un secteur ou un impact choisi (WHO, 2000). Cependant, la qualité de l'air est le résultat de la combinaison complexe d'un ensemble de paramètres et de processus (Fig.I.2), ce qui rend son étude des plus difficiles.

Par ailleurs, pour étudier la qualité de l'air, il convient de connaître le mieux possible les émissions de polluants mais aussi les conditions météorologiques générales et climatologiques de la zone à étudier. De plus, toutes les sources de polluants, anthropiques ou biogènes, doivent être prises en compte pour obtenir une bonne description de la chimie de la basse atmosphère (vinuesa, 2000).

Ainsi, les processus de pollution atmosphériques tiennent compte des caractéristiques des polluants émis. Leur présence dans l'atmosphère est donc conditionnée par l'action de processus extérieurs modifiant sensiblement la qualité de l'air (Elichegaray et al, 2010). En effet, la pollution de proximité et la pollution de fond ne tiennent pas compte des mêmes polluants.



Source : (Ponche, 2003).

Fig. I.2. Paramètres déterminant la qualité de l'air d'une zone géographique donnée.

Un polluant atmosphérique est « toute substance étrangère dont la variation du taux dans l'atmosphère est susceptible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, de provoquer un effet nocif ou de créer une nuisance ou une gêne » (Flanquart et Anicia, 2000).

De par la constitution naturelle de l'atmosphère, de nombreuses substances encore dénommées «espèces traces» issues d'activités humaine ou du milieu naturel, viennent perturber cette composition. Parmi ces polluants atmosphériques, on distingue les composés émis directement dans l'atmosphère dits «polluants primaires» correspondant à l'émission et d'autres formés par réactions chimiques «polluants secondaires» correspondant à l'émission.

a. Les polluants primaires

Les polluants primaires sont des émissions directement émis par une source définie. Ces derniers directement reliés à leurs sources qui peuvent être soit diffuses (circulation automobile), ou ponctuelles (installations industrielles, chauffage résidentiel). Ces émissions ont un impact direct sur la qualité de l'air à proximité des sources d'émissions (Emery, 2012).

Les sources les plus importantes d'émissions de ces composés dits «primaires» sont présentées dans le Tableau I.2. On parle ici de composés primaires par opposition aux composés secondaires qui sont le résultat de la transformation physicochimique des composés dits primaires.

Tableau I.2. Sources majoritaire de gaz en traces

Source : (Cox et Derwent, 1981).

<i>Composés émis</i>	<i>Sources biogènes</i>	<i>Sources anthropiques</i>
Monoxyde de carbone (CO)	Oxydation du méthane, océans, feux de forêt	Combustion incomplète du bois, du charbon, du gaz
Dioxyde de carbone (CO ₂)	Oxydation du carbone, feux de forêt, respiration des plantes	Combustion du charbon, du bois, du gaz
Méthane (CH ₄)	Océans, fermentation de matière organique	Fermentation entérique des ruminants, fuite de gaz naturel
Hydrocarbures aromatiques		Trafic routier, solvants
Oléfines et paraffines	Sources biologiques anaérobies, plantes, feuillus, conifères	Trafic routier, solvants, évaporation des carburants
Monoxyde d'azote (NO)	Feux de forêt. processus anaérobies dans les sols, éclairs	Combustion de charbon, de gaz, de fioul et d'essence
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Feux de forêt, éclairs	Combustion de charbon, de gaz, de mazout et d'essence, transformation du
Ammoniac (NH ₃)	Décomposition organique, processus anaérobies des sols	Combustion du pétrole et du charbon, traitement des déchets
Nitrate de peroxyacétyle (PAN)	Dégradation de l'isoprène	Dégradation d'hydrocarbures
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	Fermentation anaérobie. volcans	Raffinage, papeterie
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Oxydation de H ₂ S. volcans	Combustion de tout combustible contenant du soufre (fioul, charbon, etc.)
Sulfure de diméthyle (DMS)	Océans	Pâte à papier, fumier
Acide chlorhydrique (HCl)	Volcans	Combustion du charbon
Chlorofluorocarbones (CFC)		Gaz propulseur. réfrigérant, solvant

b. Les polluants secondaires

Ce sont les polluants présents dans l'atmosphère qui se forment à la suite de réactions mettant en jeu les composés émis par des sources primaires ou encore qui ne proviennent pas d'une source directement polluante. Cette transformation des polluants n'intervient pas systématiquement. Cependant, les polluants primaires libérés dans l'atmosphère peuvent subir une série de transformations chimiques conduisant à la formation de pollution secondaires. Elle se forme en présence d'autres polluants et sous l'action du rayonnement solaire, de la chaleur, ou de l'humidité. Leur présence dans l'atmosphère est difficile à réguler car leur existence ne provient pas directement des activités anthropiques (Al-Barakeh, 2012). C'est pourquoi la source des pollutions secondaires est difficilement identifiable (Koffi, 2002 ; Keuken et al, 2010).

En outre, ce processus est plus caractéristique des pollutions estivales et printanières, comme dans le cas de la pollution à l'ozone ou de certaines particules (Koffi, 2002).

Le milieu urbain apparaît comme une source importante de la pollution atmosphérique, c'est-à-dire en tant que phénomène local susceptible d'avoir un impact direct ou indirect sur la qualité de vie et de santé des personnes. A l'exception des pollutions issues de l'activité agricole, les pollutions liées aux activités humaines se concentrent principalement dans les zones urbaines et périurbaines (industrie, chauffage domestique, transport).

Les polluants secondaires particulièrement l'ozone O₃Péroxyacétylnitrate(PAN), l'acide sulfurique (H₂SO₄) et l'acide nitrique(HNO₃) se forment principalement par transformation physico-chimique des polluants primaires dispersés et transportés dans l'atmosphère. Ces espèces secondaires contribuent notamment à certains phénomènes environnementaux tels que les smogs, phénomènes des pluies acides et d'effet de serre (Caplain, 2005). Les polluants considérés comme secondaires sont (Sevant et Sebek, 2004) : l'ozone troposphérique (O₃) provenant de la transformation des oxydes d'azotes et des composés organiques volatils non méthaniques sous l'action des ultraviolets, l'acide sulfurique (H₂SO₄) formé à partir des composés soufrés, l'acide nitrique (HNO₃) formé à partir des oxydes d'azote et d'autres polluants oxydants tels que les PAN (Péroxy-acétyl-nitrate).

Tous les polluants cités précédemment présentent des concentrations variables dans l'atmosphère et contribuent d'une façon directe ou indirecte à la pollution atmosphérique.

Le Tableau I. 3, rappelle les principales sources de ces polluants et leurs impacts.

Tableau I.3. Les principaux polluants toxiques présents dans l'atmosphère (sources, contribution et impacts)

Source : (CITEPA, 2011a et 2011b).

<i>Principaux polluants atmosphériques</i>	<i>Sources principales</i>	<i>Contribution des secteurs</i>	<i>Principaux impacts</i>
Le Dioxyde de soufre SO₂	Combustibles fossiles contenant du soufre (installations thermiques, raffineries,...)	Energie: 51% Industrie: 33% Résidentiel: 10% Agriculture: 3%	Santé (troubles respiratoires), milieux naturels et matériaux (pluies acides)
Les oxydes d'azotes NO_x	Combustion (transport, installations thermiques....)	Transport routier: 54% Industrie: 13% Résidentiel: 9% Agriculture: 9%	Santé (troubles respiratoires), milieux naturels et matériaux (pluies acides)
Le monoxyde de carbone CO	Installations de combustion, transport, chauffage domestique	Résidentiel: 36% Industrie: 32% Transport routier: 19% Agriculture: 9%	Santé (effets sur le système nerveux, atteinte des organes sensoriels)

Les composés organiques volatils COV	Utilisation des solvants et carburants, transports, industrie	Résidentiel: 37% Industrie: 36% Transport routier: 14% Energie: 5%	Santé (effets sur le système nerveux et respiratoire)
Les particules (Particules totales en suspension: TSP1)	Exploitation agricole, transport (en particulier diesel), industrie	Agriculture: 51% Industrie: 20% Transport routier: 9% Résidentiel: 9%	Santé (troubles respiratoires, intoxications), matériaux (noircissement des bâtiments)
Les métaux lourds ² Arsenic, Cadmium, Cuivre, Mercure, Plomb,...	Industrie, incinération des déchets, combustion essence	Industrie: As. Cd. Cr Résidentiel: As, Cr Energie: As, Cd. Cr. Ilg Transport routier: Cu	Santé (effets cancérogènes)
<p>¹ Les TSP comprennent la totalité des particules: PM10, PM2.5, PM1.0 (CITEPA, 2011b)</p> <p>² Les données détaillées sur les métaux lourds sont présentées de manière globale. Néanmoins, chaque secteur influe plus ou moins les concentrations de ces composants. Par exemple, le secteur du transport est le premier contributeur de la présence de cuivre dans l'atmosphère (CITEPA. 2011a)</p>			

I.4. Facteurs influençant la pollution atmosphérique

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

I.4.1. Le vent

Le vent est un facteur essentiel pour la dispersion des polluants dans l'atmosphère. Il agit sur la dispersion des polluants dans deux dimensions: par sa direction, pour orienter les panaches de fumées que par sa vitesse pour diluer et entraîner la dispersion plus ou moins rapide des émissions de polluants.

La vitesse du vent augmente avec le gradient de pression entre anticyclone (zone de haute pression) et dépression (zone de basse pression). À la surface de la Terre, la vitesse du vent est ralentie par les différents obstacles. Elle augmente avec l'altitude. L'épaisseur de cette «couche de frottement» varie de 500 à 1 000 mètres. Par ailleurs, le «profil» de vitesse du vent ou ensemble des vitesses moyennes est différent le jour ou la nuit. Pour le jour, les courants de convection thermique ramènent rapidement au sol l'air qui se déplace en altitude, renforçant ainsi les vents de surface. Par contre, la nuit, la convection thermique plus faible accentue les vents d'altitude. Le vent a une grande importance dans la diffusion des polluants atmosphériques. Ainsi, avec un vent de force moyenne et de mauvaises conditions de rejet des

effluents (cheminée trop basse, vitesse d'éjection des gaz insuffisante, etc.), il peut se produire un phénomène de retombée en panache vers le sol (Beral-Guyonnet, 1996).

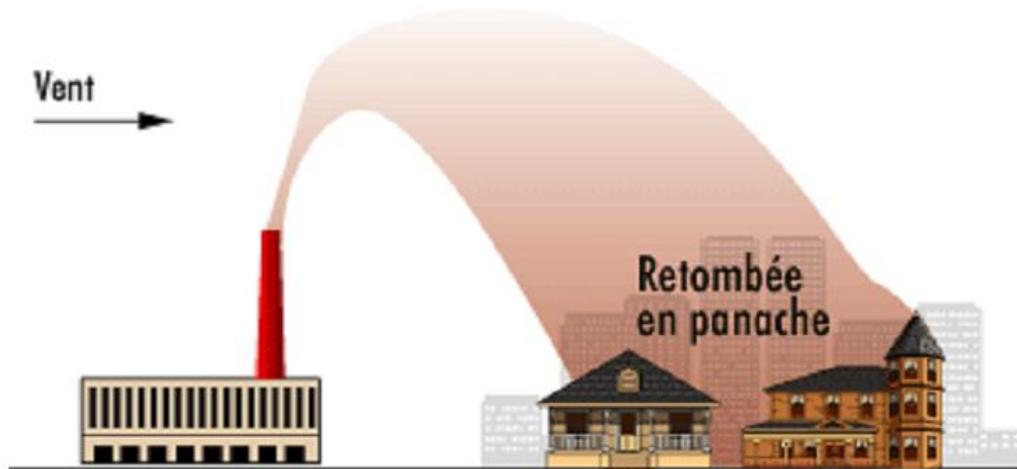


Figure I.3. Phénomène de retombée en panache

I.4.2. Les conditions météorologiques

Les conditions météorologiques tiennent une part importante dans la dispersion des polluants atmosphériques. On considère, en général les situations suivantes :

- i- **Atmosphère instable:** si la masse d'air soulevée est plus chaude que le milieu environnant, elle sera légère et subira donc une élévation. Dans de telles situations, la dispersion des polluants est facilitée. Les risques de pollution localement concentrée sont alors très réduits. Ces situations apparaissent par fort réchauffement du sol. Elles se retrouvent principalement le jour en absence de vent fort (Diaf et al., 2003).
- ii- **Atmosphère neutre :** ces situations permettent la dispersion des polluants. Elles correspondent aux situations de vents modérés ou à des situations de ciel couvert. Il s'agit de la situation la plus fréquente en zone tempérée.
- iii- **Atmosphère stable:** si une masse d'air est écartée de sa position d'équilibre, a tendance à revenir et s'accumule à la base de la troposphère, causant souvent des pollutions locales intenses. De telles situations freinent le déplacement des masses d'air. Elles sont induites par des inversions thermiques près du sol, ce qui limite la dispersion des polluants. Ces situations se retrouvent principalement la nuit par vent faible.

I.4.3. La température et le rayonnement

Les influences saisonnières favorisent la transformation des polluants. De basses températures favorisent la présence et la concentration de polluants primaires, alors qu'à l'inverse des températures plus importantes combinées à un rayonnement solaire sont plus favorables à la réaction photochimique.

I.4.4. L'humidité

Elle joue un rôle primordial lors des processus de dépollution de l'air par l'action des précipitations. Néanmoins, l'humidité en relation avec la nébulosité joue aussi un rôle en réduisant le rayonnement solaire et limite ainsi les processus photochimiques.

I.4.5. La topographie locale

D'une manière générale, la topographie, les obstacles naturels, les constructions ou les phénomènes de brise de terre et de mer sont des éléments qui modifient la circulation des vents et qui peuvent canaliser l'écoulement des polluants dans des directions privilégiées.

La topographie d'un site peut influencer la circulation et la dispersion des masses d'air. Par exemple, les rues canyon, les bords de mer et les vallées peuvent modifier la dispersion des polluants.

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

En général, le relief exerce une action dynamique sur l'écoulement de l'air, car lorsque le vent heurte un obstacle, son écoulement se trouve perturbé (Huber, 1989 ; Mavroidis et Griffiths, 2000).

Par ailleurs, c'est donc la taille, la forme, la densité des obstacles et son environnement qui conditionnent l'écoulement de l'air à la surface de la terre, leur temps de résidence et les échanges avec la couche limitent (Anthony, 2003).

I.5. Les sources de pollution atmosphérique

Les polluants atmosphériques ont deux catégories de source (Arquès, 1998) :

- ✓ Source anthropique sont une source de pollution liée à l'activité humaine. Elles sont souvent proportionnelles à la densité de population (ex: émissions du trafic routier),

créant donc souvent les situations de pollutions dans les zones où les taux d'exposition des populations sont les plus élevés (François, 2004).

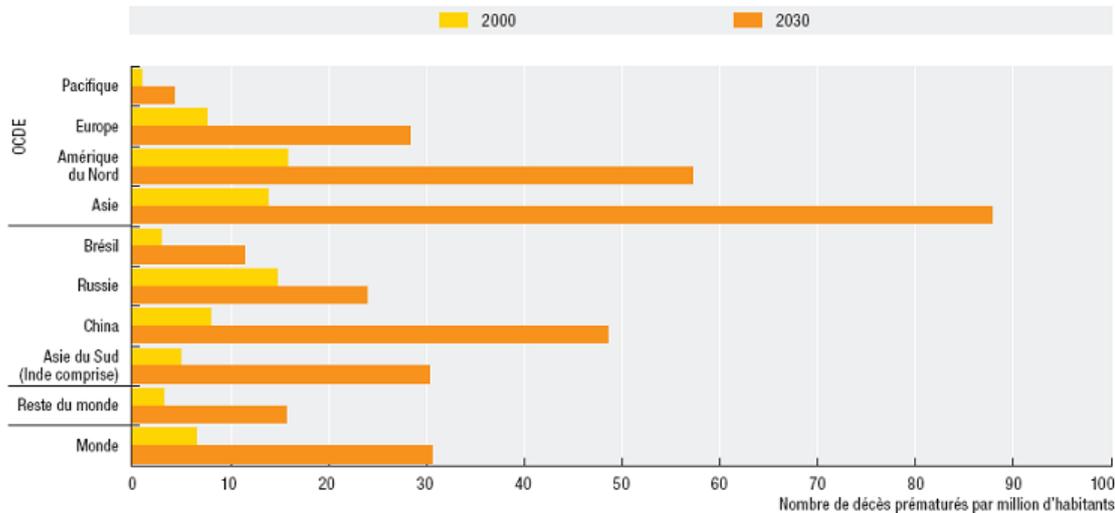
Parmi les sources anthropiques, on oppose souvent les sources fixes, émises par des installations ne se déplaçant pas tels que le secteur industriel et résidentiel aux sources mobiles liées aux transports.

- ✓ Source biogénique est la source associée aux émissions d'origine naturelle liées à la biosphère: feux de forêt et le volcanisme (ORS, 2007). En outre, l'agriculture est aussi une source majeure de la pollution, par l'utilisation d'engrais azotés ou encore l'élevage des animaux produisant du méthane produit par leur système digestif et de l'ammoniac issue de la transformation de l'urée. Ajoutant à cela, les phénomènes naturels comme les nuages de cendres associées aux éruptions volcaniques (Arquès, 1998).

I.6. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé

Depuis quelques dizaines d'années, des études ont montré un lien étroit entre la dégradation de l'environnement, de la santé humaine et la présence de ces polluants dans l'atmosphère (Monk, 2009; Anderson, 2009 ; Kulkarni et Grigg, 2008 ; FNORS, 2008). Notons, que la pollution atmosphérique est considérée comme étant responsable d'environ 800 000 décès prématurés chaque année dans le monde (OECD, 2008).

La figure I.4, montre bien l'évolution prévisionnelle des décès prématurés liés à l'excès d'ozone entre 2000 et 2030 (OECD, 2008). Pour n'importe quelle zone géographique, la situation est déjà très inquiétante avec près de 8 à 15 décès prématurés imputés à la pollution atmosphérique par million d'habitants et par an. Mais les prévisions à 20 ans sont très pessimistes avec en particulier une augmentation d'un facteur 10 dans la zone d'Asie (OECD, 2008).



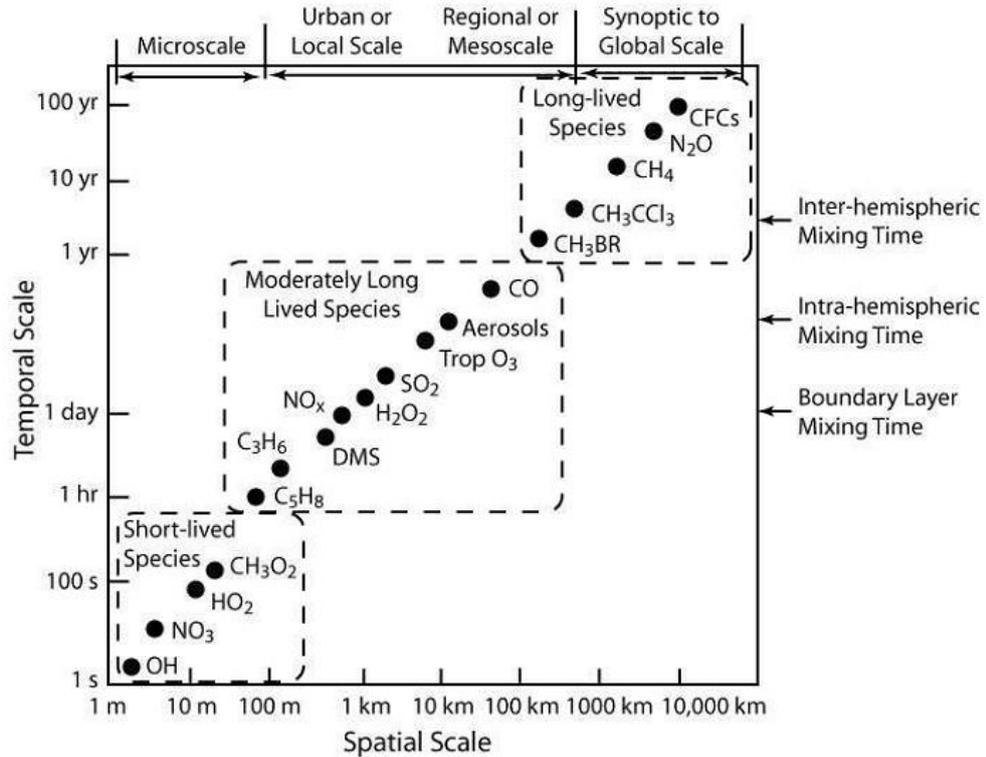
Source : (OECD, 2008).

Figure I.4. Décès prématurés imputables à l'exposition à l'ozone dans les zones urbaines en 2000 et 2030.

Par ailleurs, plusieurs études récentes particulièrement en Chine sont axées sur cette thématique. En effet, ces études ont montrés que les PM sont devenues le polluant majeur à Beijing et dans d'autres villes (An et *al.*, 2013). Une autre étude dans huit pays européens montre également l'importance de l'influence des PM10 sur la santé humaine (Dimitriou et al, 2013). Cependant, les populations les plus touchées sont toujours les personnes âgées, les asthmatiques et les jeunes enfants. D'autre part ce n'est bien souvent pas l'agression d'un polluant caractéristique qui est en cause, mais un ensemble de facteurs. Le symptôme propre à un polluant n'étant que le révélateur d'une fragilisation plus générale (Nicolas, 1996).

I.7. Impact de la pollution atmosphérique sur l'environnement

Toutes les émissions atmosphérique issues des sources naturelles et anthropiques peuvent être transportées dans l'atmosphère non seulement horizontalement à plus ou moins longues distances, mais aussi verticalement, parfois jusqu'à des altitudes élevées. Ces dernières peuvent interagir entre elles ou avec les phases liquides et solides (glace) des nuages et des précipitations (Werner, 2009). Leur durée de vie dans l'atmosphère dépend fortement de leur réactivité chimique et des conditions de séjour lesquelles déterminent leur transport à courtes, moyennes, ou longues distances (Fig.I.5).



Source : (NASA)

Figure I.5. Echelles spatiale et temporelle des différents composés. (Werner, 2009)

Dans ces conditions, on distingue usuellement trois niveaux spatiaux de pollution à savoir: planétaire, régionale et locale (Sportisse, 2008 ; CITEPA, 2011a).

I.7.1. Impact à l'échelle locale

La pollution atmosphérique agit localement sur quelques kilomètres et se manifeste à proximité des sources de pollution. Néanmoins, à cette échelle il est possible qu'elle se manifeste à deux échelons du territoire: l'échelle urbaine (niveau de pollution de fond) et l'échelle de proximité directement induite par les émissions directes de polluants primaires (impact direct d'une source).

La pollution atmosphérique se caractérise par l'émission de composés toxiques et cancérigènes impactant plus spécifiquement les populations environnantes (WHO, 2003 et 2005). Ces polluants ont une durée de vie courte, allant de la minute à la journée, et sont aussi précurseurs de pollution se manifestant à l'échelle régionale. A cette échelle, les polluants qui participent le plus à la mauvaise qualité de l'air sont les NO_x.

La pollution locale, affecte le plus souvent directement la santé humaine et animale par l'exposition à des substances toxiques, mais pose également des problèmes environnementaux

suite à l'exposition des différentes espèces animales et végétales. A cette échelle, elle peut également agir sur la flore directement par voie chimique ou indirectement par modification des équilibres dans les sols, et enfin sur les matériaux et le bâti par corrosion et salissure.

I.7.2. Impact à l'échelle régionale

Cette pollution est caractérisée par des polluants secondaires ayant une durée de vie moyenne dans l'atmosphère. La retombée des polluants se fait par l'intermédiaire de mécanismes météorologiques comme le vent ou la pluie, par exemple. Notons qu'à cette échelle, la pollution va impacter plus spécifiquement les écosystèmes environnants comme les sols ou la végétation jusqu'à plus de mille kilomètres autour de la source d'émission. Les principaux problèmes de la pollution à longue distance sont l'acidification, l'eutrophisation et la pollution photochimique.

a. Les pluies acides

"Les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). En général, les pluies sont naturellement légèrement acides par la présence de CO_2 en phase aqueuse en équilibre avec l'eau des précipitations.

Les pluies acides résultent de rejets d'oxydes d'azote et de soufre qui se combinent avec les eaux de pluie, pour former de l'acide nitrique et sulfurique ou leurs sels.

Malgré les concentrations plus élevées de CO_2 dans l'atmosphère par rapport au SO_2 , ce dernier contribue de manière plus importante à l'acidité des précipitations principalement pour deux raisons : le SO_2 a une solubilité plus importante dans l'eau que le CO_2 et la constante d'acidité (pKa) du SO_2 est de quatre ordres de grandeur plus importante que celle du CO_2 .

Majoritairement, les pluies acides sont d'origine anthropique et dues aux différentes émissions industrielles, des centrales thermiques et du trafic routier. L'oxydation des gaz en composés acides et leur dépôt peuvent s'étendre sur plusieurs jours pendant lesquels les masses d'air les contenant peuvent se déplacer à des centaines, voire des milliers de kilomètres de la zone d'émissions.

Les principaux effets des pluies acides sont (Werner, 2009) :

- la phytotoxicité directe pour les plantes due à une concentration en acide excessive,
- la phytotoxicité indirecte par la modification des propriétés des sols et la libération de métaux lourds,
- les effets respiratoires sur les êtres humains et les animaux,

- l'acidification des eaux des lacs et des rivières entraînant des effets toxiques sur la faune et la flore,
- la destruction de forêts,
- la corrosion et l'érosion des matériaux (bâtiments, roches calcaires, constructions métalliques). Les roches calcaires sont particulièrement sensibles aux attaques acides.

Cette acidification peut provoquer l'eutrophisation des eaux de surfaces et constitue un facteur important du dépérissement forestier. D'autre part, la pollution photochimique (ou smog) due aux émissions des composés organiques volatiles (COV), des oxydes d'azote et du monoxyde de carbone est à l'origine de la formation d'ozone troposphérique et de PAN (nitrate de peroxyacétylène).

D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'acide chlorhydrique émis par incinération de certains déchets plastiques. Ces pluies acides engendrent de graves conséquences sur les écosystèmes et les matériaux.

- i- Les pluies acides : les effets des pluies acides sur les écosystèmes découlent principalement des modifications des équilibres chimiques qu'ils entraînent dans les milieux récepteurs. L'acidité augmente notamment la solubilité de l'aluminium ou d'autres métaux toxiques pour la faune et la flore. L'acidification des sols favorise également la mise en solution et le lessivage, hors des zones racinaires, d'éléments minéraux utiles à la nutrition des végétaux. Les composés de l'azote peuvent également contribuer à des phénomènes d'eutrophisation suite à un enrichissement excessif des milieux terrestres ou aquatiques en nutriments. Ceci peut entraîner une croissance accélérée d'algues et de formes plus élevées de vie végétale, et porter atteinte à la qualité des eaux et à la biodiversité (Elichagaray, 2004).

La pollution acide (liée au SO_2) entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. Il s'agit bien souvent de la décomposition de certaines pierres calcaires sous l'effet des acides.

- ii- La pollution photochimique : la présence dans l'air de composés oxydants est caractéristique de la pollution Photochimique ou la pollution à l'ozone. La formation de ces composés oxydants et notamment de l'ozone, à de fortes concentrations, se produit à l'intérieur et autour des zones urbaines, lors de fortes températures estivales et journées ensoleillées avec stagnation de l'air, lorsque les COV et les NO_x issus du

trafic routier réagissent entre eux (Koffi, 2002 ; Manahan et Stanley, 2000 ; Sportisse, 2008). Le résultat de ces réactions est la formation de nombreux polluants secondaires nocifs à l'origine de la pollution photochimique. Le principal composé oxydant formé est l'ozone, mais ces réactions produisent aussi d'autres composés oxydants, tels que (Manahan et Stanley, 2000) : le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), des peroxydes organiques (ROOR), des acides carboxyliques (ROOH), le nitrate de peroxy-acétyl ou (PAN) ($CH_3(CO)OONO_2$) ainsi que d'autres composés organiques oxydants.

Les concentrations d'ozone sont donc les plus importantes au cours des après-midi estivales allant de Mai à Septembre. Les polluants photochimiques sont nocifs du fait de leurs propriétés oxydantes. Ils peuvent générer des nuisances en terme de :

- ✓ La santé humaine qui se traduit particulièrement par des problèmes respiratoires et irritations des yeux. De plus, certains des composés intermédiaires peuvent avoir des effets cancérogènes;
- ✓ Des problèmes environnementaux caractérisés par la phyto-toxicité.

Le transport routier apparaît donc comme un facteur important de la formation de l'ozone troposphérique. Cependant, au bord des axes routiers, les niveaux d'ozone sont plus faibles, ceci s'explique principalement par les émissions de NO_x (en particulier le NO) qui vont participer à la destruction des molécules d'ozone. C'est pourquoi les concentrations d'ozone sont maximales à la périphérie des villes.

1.7.3. Impact à l'échelle planétaire

La destruction de la couche d'ozone est liée à des émissions de composés chimiques chlorés suffisamment stables pour accéder à la stratosphère où ils sont dissociés par le rayonnement UV. Le chlore, ainsi libéré, s'attaque alors aux molécules d'ozone, entraînant la diminution de ces derniers, provoquant ainsi une augmentation de l'effet de serre.

L'émission de gaz à effet de serre va avoir un impact plus global en participant au réchauffement climatique mondial du fait de leur temps de résidence important (de la décennie au siècle). Par ailleurs, cette pollution se traduit par des baisses de la quantité d'ozone stratosphérique, ainsi qu'un risque de changement climatique global par accroissement de l'effet de serre (Sportisse, 2008 ; CITEPA, 2011a).

L'accroissement de l'activité humaine, entraîne une augmentant des émissions de gaz à effet de serre (GES), favorisant ainsi le réchauffement climatique et en générant l'émission de quatre principaux gaz à effet de serre :

- Le CO₂ provenant principalement de la combustion des énergies fossiles;
- le CH₄ lié aux activités agricoles et à la distribution de gaz naturel;
- Les NO_x issus de la combustion des énergies fossiles et de l'utilisation de fertilisants;
- Les composés organiques halogénés, dont les principaux sont les chlorofluorocarbures (CFC), utilisés comme gaz propulseur ou réfrigérant et dans des procédés industriels. Notons que leurs émissions ont cessé après la découverte de leur rôle dans la diminution de la couche d'ozone et la mise en place d'un traité international limitant puis interdisant leur utilisation.

Le changement climatique aurait à son tour des répercussions profondes sur l'environnement. Il provoquerait une fonte des calottes de glace polaire qui entraînerait une hausse du niveau des mers, avec ennoyage des plaines et des agglomérations littorales, et une modification des climats, au niveau tant régional que planétaire, affectant la production agricole. Le CO₂ est le principal gaz à effet de serre mais ce n'est pas un polluant toxique. Les rejets de CO₂ seraient responsables de 60 % de l'effet de serre et le transport contribue avec 23 % à ces émissions. Une hausse inhabituelle des écarts de température a été observée dans l'hémisphère Nord au cours des cent dernières années.

I.8. Généralités sur la pollution générée par le transport routier

Les émissions atmosphériques dues au transport routier ont augmenté partout dans le monde au cours des dernières décennies plus rapidement que d'autres sources de pollution. Notons, qu'ils contribuent à plus de 25% des émissions totales de CO, CO₂, NO_x et les émissions de particules fines dans la plupart des pays européens. Cette situation met l'accent sur l'importance du transport routier lors de l'application des différentes normes d'émissions relatives à la qualité de l'air (Lumbreras et Borge, 2014).

Cependant, la pollution induite par l'automobile présente un réel risque urbain non pas comme étant la combinaison d'un aléa et d'une vulnérabilité, mais en se définissant comme étant "le croisement entre une exposition et une vulnérabilité" (Makri et Stilianakis, 2008).

I.8.1. Evolution du parc automobile mondial depuis 1930

L'automobile s'est rapidement imposée dès le XX^{ème} siècle, comme le principal moyen de déplacement dans les grandes agglomérations des pays occidentaux. Cependant, les transports terrestres à eux seuls, représentent plus de 75% des consommations mondiales d'énergie liées au secteur des transports. Dans le monde, le transport routier représente 90 % des trajets effectués par les passagers et 75 % des biens transportés.

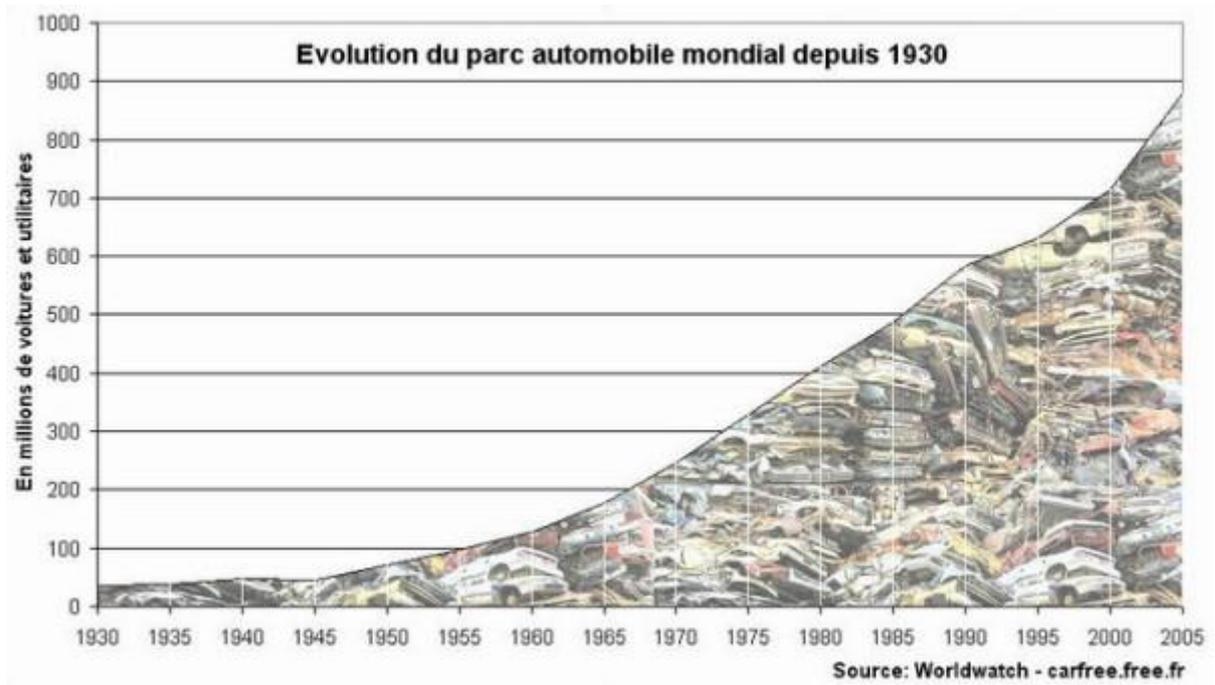
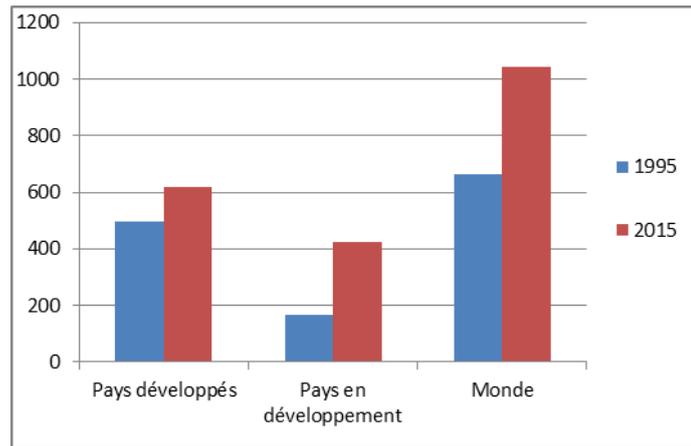


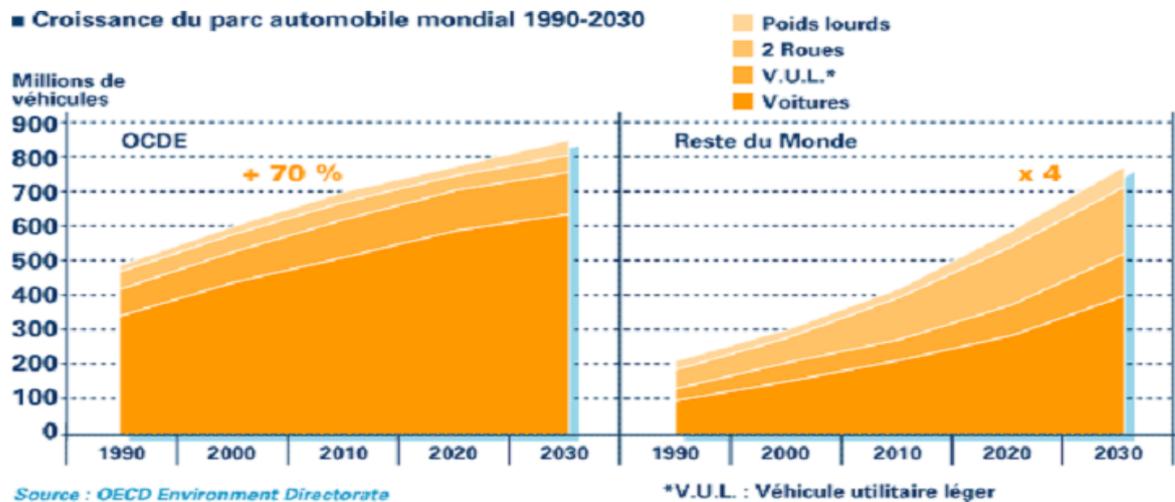
Fig.I.6. Evolution du parc automobile mondial depuis 1930.

Les projections démographiques et les perspectives de développement des pays en développement (PED) seront responsables d'un fort accroissement de la motorisation. Cette aspiration à la modernité et au développement va inévitablement faire croître le parc automobile mondial qui est prévu de doubler à l'horizon 2015 tel qu'il est illustré sur la Figure suivante.



Source : (Pemberton, 1996).

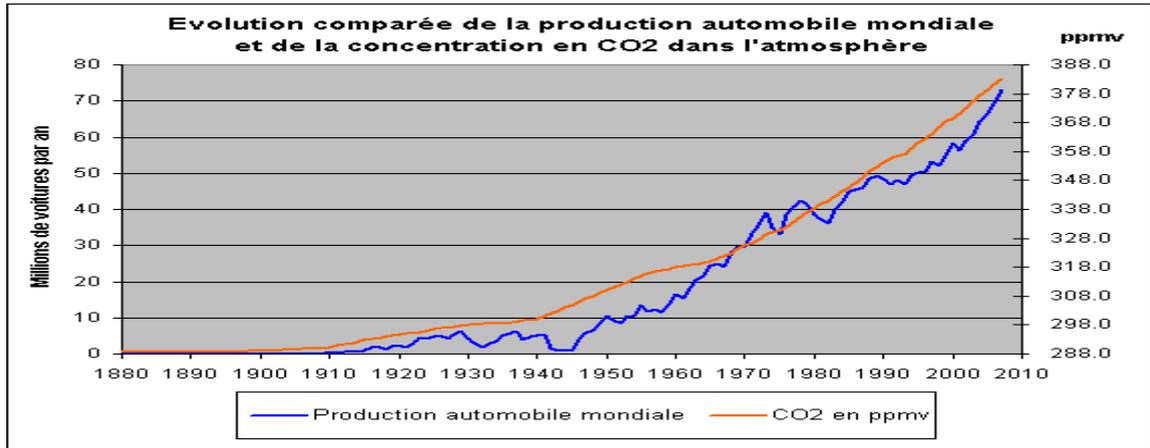
Fig. I.7. Croissance du parc automobile mondiale.



Source: OECD Environment Directorate.

Fig. I.8. Croissance du parc automobile mondiale par catégorie 1990-2030.

Remarquons que cette évolution automobile entrave la qualité de l'air par l'accroissement des émissions de CO₂ tel est illustré dans la Fig. I.9.



Source : CarFree France.

Fig. I.9. Evolution comparée de la production automobile mondiale et de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère

En prenant l'exemple de l'Algérie, les émissions dues aux consommations de carburant liées aux transports sont très importantes. En effet, les émissions dues aux transports routiers en 1994 ont été de l'ordre de (Boughedaoui, 2007) : 702.814 Tonnes de monoxyde de CO, 147.717 Tonnes de l'oxyde d'azote NO_x, 13772 Tonnes de dioxyde de Carbone CO₂ et 115.019 Tonnes de Composé Organique volatils (VOC).

En ce qui concerne les émissions en zone urbaine, une étude réalisée en 1991 sur la banlieue Est algéroise (Boughedaoui, 2007) faisait ressortir des pics quotidiens correspondant aux heures de pointe de la circulation routière, se situant entre 7h et 9h, mais également autour de 18 à 20h, dont les valeurs les plus élevées se retrouvent à proximité des voies à plus forte circulation, marquées par des concentrations.

Pour la ville d'Alger, on estime que les déplacements motorisés sont passés d'environ 1million/jour en 1990 à plus de 2 million/jour en 2005 (Ministère Transport, 2007).

Par ailleurs, l'Algérie est appelé à réfléchir sur les moyens à mettre en œuvre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et les polluants nocifs, tout en développant les outils de surveillance et d'évaluation de la qualité de l'air.

Des travaux antérieurs (Kerbachi et al, 1998) relatifs à la pollution d'Alger par les oxydes d'azote ont montré qu'Alger fait l'objet d'une intense pollution atmosphérique dont la principale source d'émission est le trafic routier.

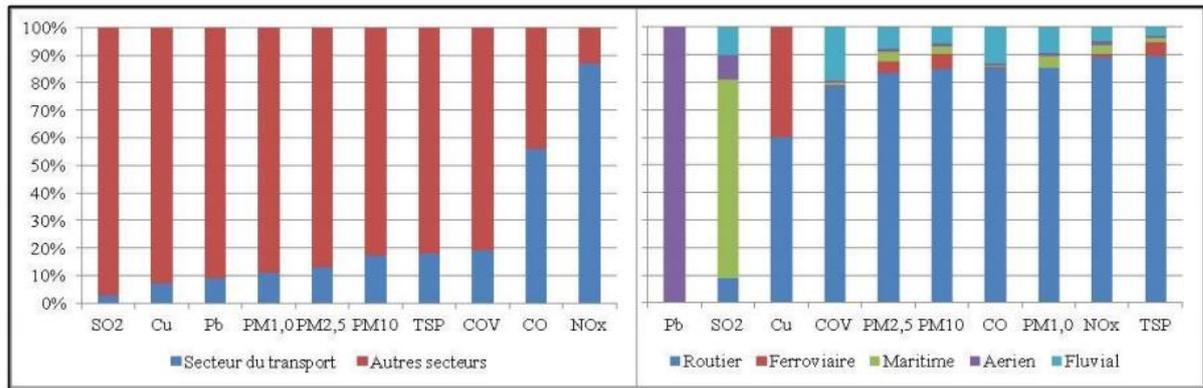
I.8.2. Polluants émis par le transport.

Les émissions atmosphériques dues au transport routier ont augmenté plus rapidement partout dans le monde, au cours des dernières décennies que d'autres sources de pollution. Leur contribution par exemple, plus de 25% des émissions totales de CO, CO₂, NO_x, et les émissions de particules fines dans la plupart des pays européens. Cette situation montre l'importance du transport routier lors de l'application rigoureuse des normes de qualité de l'air relatives à ces polluants (Lumbreras et Borge, 2014).

Par ailleurs, dans la plupart des aires urbaines européennes, le transport routier est à l'origine d'environ 50% de la pollution azotée et contribue au dépassement des seuils et normes de la qualité de l'air en NO₂ et particules en suspension. Ainsi, on a pu constater que c'est au bord des axes de transport que les émissions de NO₂ ont dépassé les normes annuelles de qualité de l'air (40 µg/m³) (AEE, 2011).

Lors de la présentation des différents paramètres et processus entraînant la pollution atmosphérique, le secteur des transports est indéniablement l'une des principales sources émettrice de polluants atmosphérique. Ces émissions sont produites soit directement lors de l'utilisation des véhicules, soit ultérieurement lors de réactions chimiques dans l'atmosphère. Les émissions produites directement sont les gaz d'échappement résultant de la combustion (produites par la combustion des hydrocarbures afin de produire de l'énergie), mais aussi des gaz d'évaporation du carburant, de l'utilisation de la climatisation, ainsi que de l'usure des freins et des pneumatiques (CETMO, 1994).

Les substances émises par les véhicules sont très nombreuses et forment, à proximité des routes, un véritable cocktail de polluants dans l'air (Deletraz, 2002). En effet, ces émissions contribuent à la dégradation de la qualité de l'air d'une part, par la proportion significative des NO_x, CO et COVNM (composés organiques volatils non méthanique), et d'autre part, par la seconde plus importante proportion en particule en suspension dont le diamètre est inférieur à 10 micromètre et 2.5 micromètre (PM₁₀ et PM_{2.5}) (AEE, 2011).



Source : (CITEPA, 2011a).

Fig.I.10. Contribution du secteur transport et des différents modes de transport en fonction des principaux polluants atmosphériques toxiques.

Le secteur du transport routier est le principal contributeur pour les polluants NO_x , CO, et COV (Fig. I.10 et tableau I.4), puisqu'il participe à plus de 70% des émissions de polluant relatives au transport (CITEPA, 2011a). C'est pourquoi il a été placé en premier plan des actions en faveur de la pollution atmosphérique dans deux dimensions: les impacts sur l'effet de serre, et la pollution de proximité (Colvive et al, 2000).

Néanmoins, l'utilisation du gazole non désulfuré, ainsi que l'essence plombée engendrera dans ce cas des composés halogénés, à savoir les halogénures, les bromures et les chlorures de plomb qui produisent dans l'atmosphère du bromure d'hydrogène (HBr) et de l'acide chlorhydrique (HCl). De plus, les émissions de composés métalliques comme le zinc des lubrifiants et impureté cadmium et de particules organiques (suies) émanant de l'échappement des véhicules diesels lesquelles s'avèrent en pleine expansion.

Tableau I.4: Quantité de polluants (K/an) émis par le secteur transport routier pour les principaux polluants issus des émissions véhiculaires.

Source : (CITEPA, 2004).

<i>Composés</i>	<i>Quantité émise en kt/an</i>
SO ₂	23,2
NO _x	695,2
COVNM	425,1
CO	2351
CO ₂	128,9

La majorité de ces polluants émise à l'échappement (polluants primaires) contribuent à la formation de polluants dits secondaires. En outre, certains de ces composés sont bien connus pour leurs effets toxiques et sont réglementés, par contre, les polluants non réglementés sont souvent moins mesurés, relaté dans la littérature et leur impact est beaucoup moins considéré.

La circulation routière est l'une des principales sources de particules dans l'atmosphère. Les émissions dues aux transports routier dépendent, pour l'essentiel, du type du moteur ou du carburant (les moteurs avec catalyseur utilisant de l'essence sans plomb présentent des niveaux d'émissions très proches de ceux des moteurs diesel), ainsi que du degré d'engorgement de la circulation (plus il y a de circulation, plus la pollution est importante) (CETMO, 1994). Tous les véhicules n'émettent pas la même quantité et les mêmes proportions des différents polluants.

I.8.3. Facteurs influençant les émissions véhiculaires

Les quantités de polluants rejetées par chaque véhicule sont appelées «émissions unitaires». Ces émissions sont influées par un ensemble de paramètres agissant directement ou indirectement à leur échappement. Par ailleurs, ces émissions sont la résultante de toute une série de variables à savoir le type de véhicule, la conduite du conducteur, les conditions de circulation, les caractéristiques de la route et des conditions climatiques.

Les paramètres relatifs à une voiture sont extrêmement nombreux. Il faut à la fois tenir compte des paramètres propres au véhicule comme la technologie du moteur et des facteurs externes tels que trajet, mode de conduite, météo, relief, altitude. De nombreuses études ont souligné ces variations sur l'émission des polluants réglementés.

a. Facteurs liés au véhicule

Les caractéristiques du véhicule ont une grande influence sur les émissions unitaires: type de véhicule, technologies mises en œuvre, l'âge du véhicule, type de carburant mais aussi l'entretien, le niveau de chargement et l'aérodynamisme. La différence de fonctionnement de chacun de ces moteurs apporte des variations sur la composition des polluants émis à l'échappement. Citons par exemple la proportion majoritaire des particules émises par les voitures diesels. Cependant, les véhicules à essence, munie d'un pot catalytique permet de réduire les émissions de certains polluants, notamment avec les pots catalytiques 3 voies montés sur tous les véhicules essence depuis 1993. Sachant, dans ce cas que le pot catalytique entraîne une surconsommation de 5 % environ. En outre, si le catalyseur est moins efficace au démarrage, il n'est pas pour autant inefficace (Joumard et al, 2001).

A ces paramètres, nous ajoutons l'entretien du véhicule. En effet, des différences de maintenance amènent des niveaux d'émissions différents. Sans oublier que la climatisation accroît la demande énergétique et par conséquent les émissions.

D'autre part, plus les véhicules sont lourds, plus les besoins énergétiques sont élevés, plus la consommation de carburant augmente et plus les émissions sont importantes.

b. Les facteurs liés aux conditions de circulation

Les émissions varient énormément selon les conditions de circulation: urbain lent, urbain fluide, route, autoroute, ... etc. En effet, les phases d'accélération et de décélération, la durée des arrêts aux feux (moteur au ralenti) ont un grand effet sur les niveaux d'émissions. Cependant, la vitesse est le paramètre essentiel influant sur la valeur des émissions. Plusieurs études ont montré que ce paramètre a une importance sur les émissions réglementées, (Joumard et al, 1990 et 1995 ; Alhvik, 1997) par une décroissance des émissions lors de l'augmentation de la vitesse moyenne. La même tendance est constatée concernant les rejets des COV (Bailey et al, 1990). En effet, les faibles vitesses comme les vitesses rapides sur autoroute contribuent à l'augmentation des émissions (Noppe, 1998).

Ainsi, les émissions sont beaucoup plus importantes lorsque le véhicule est froid (surémission à froid au démarrage). Sachant que la distance parcourue à froid est en moyenne proche de 6 km (INRETS, 1995) alors que, la longueur moyenne des trajets des véhicules légers (VL) en Europe varie entre 5 et 8 km (Joumard et Serié, 1999).

c. Facteurs liés aux conditions thermiques

Au niveau de l'aspect thermique des véhicules, deux températures sont à prendre en considération, d'une part la température du moteur et d'autre part la température externe.

Lors du démarrage à froid, et tant que le moteur n'a pas atteint 70°C (Degobert, 1995), les émissions sont plus importantes. Par ailleurs, plus la température ambiante est basse, plus le moteur met du temps pour atteindre sa température d'équilibre «mode chaud» et plus les émissions sont plus élevées, car les processus de combustion sont perturbés par le fait que les conditions d'équilibre ne sont pas atteintes à temps.

En outre, le vent en ralentissant ou en facilitant le déplacement des véhicules peut influencer les émissions véhiculaires. D'autre part, l'effet du rayonnement UV, qui joue un rôle dans la chimie atmosphérique à l'origine de la formation de polluant secondaire entre autre l'ozone.

d. Facteurs liés à la route

La nature de la route sur laquelle un véhicule se déplace influence ses émissions, car deux paramètres sont à prendre en considération l'altitude et la pente.

En effet, avec l'altitude les véhicules émettent quatre fois plus de CO à 2500 m. De plus, la pente, qui va souvent de pair avec les hautes altitudes, aggrave le niveau d'émission des véhicules. Elle entraîne donc une surconsommation et finalement une augmentation des émissions (Joumard et al, 1990).

e. Facteurs liés au conducteur

Le comportement du conducteur est capable d'influencer les émissions. Pour la Fédération Belge de l'Industrie de l'Automobile et du Cycle (FEBIAC, 2001), «chaque automobiliste porte une responsabilité non négligeable par sa façon de conduire et l'état technique de sa voiture. Un style de conduite agressif peut réduire à néant tous les efforts réalisés par le constructeur pour économiser du carburant».

I.8.4. Impacts du transport routier

Les émissions dues au transport routier sont reconnus par leur impact de manière non négligeable sur la qualité de l'air. Par ailleurs, les émissions de NO_x, qui sont un bon indicateur et traceur de la pollution due à l'automobile (CITEPA, 2011a), sont tributaires de l'intensité des sources d'émissions traduite par la circulation routière. Ceci incite à une meilleure compréhension des caractéristiques des émissions provenant de différentes sources liées à la circulation, afin de mener une répartition par source ainsi que les études des effets sur la santé (Schauer et al, 2006).

En outre, le transport routier est la composante la plus importante des émissions du CO₂ (85%) (Ministère du Commerce et Industrie, 2004).

Les émissions dues au transport routier sont connus pour faire une grande contribution au total de concentration des particules (PM) dans les zones urbaines. Par ailleurs, l'exposition à ces particules a été démontré à avoir des effets néfastes sur la santé humaine (Mauderly, 1994 ; Buckeridge et al, 2002 ; Fan et al, 2006 ; HEI, 2010 ; Rissler et al, 2012). En effet, une étude réalisée en Angleterre affirme que les émissions dues au transport causeraient environ 7500 morts prématurées par an (Yim et Barrett, 2012). D'autres études ont montré que les individus habitants ou travaillant à proximité de grands axes routiers sont soumis à une augmentation de risques de maladies cardio-vasculaires et respiratoires, et de mortalité prématurée (Adar et al, 2007 ; Brugge et al, 2007 ; Salam et al, 2008 ; Samet et al, 2000).

Une meilleure compréhension des caractéristiques des émissions provenant de différentes sources liées à la circulation est donc indispensable pour mener la répartition par source et les études des effets sur la santé (Schauer, 2006).

Par ailleurs, les pollutions sonores et atmosphériques dues au transport routier, apparaissent aujourd'hui comme les premières nuisances environnementales directement ressenties par la population à une échelle locale et faisant courir un risque pour la santé humaine (Makri et Stilianakis, 2008 ; PRIMEQUAL, 2009). L'Organisation mondiale de la Santé a partir des évaluations récentes de (Who, 2003 ; Pope et al., 2003) a suggéré que certains effets sur la santé montrent des liens plus étroits avec la fraction fine des particules et a recommandé la réglementation des PM_{2.5} à la place de PM₁₀.

Plusieurs études épidémiologiques ont clairement lié le transport aux maladies d'asthme, bronchite, crises cardiaques, et d'accident vasculaire cérébral (AVC) (Zmirou et al., 2004 ; HEI, 2003).

I.9. Réglementation et conventions vis-à-vis de la pollution atmosphérique

I.9.1. La convention sur la pollution transfrontalière à longue distance (CLRTAP).

La Convention sur la Pollution Transfrontalière à Longue distance (CLRTAP) a été adoptée en 1979 à Genève. Elle rassemble 51 pays signataires (UNECE). Son objectif est de limiter autant que possible la pollution de l'air.

Les protocoles édictés sous cette convention sont:

- ✓ Le protocole d'Helsinki sur le soufre (1985),
- ✓ Le protocole de Sofia sur les oxydes d'azote (1991),
- ✓ Le protocole de Genève sur les composés organiques volatils (1991),
- ✓ Le protocole d'Oslo sur le soufre (1994),
- ✓ Le protocole d'Aarhus sur les métaux lourds et les polluants organiques persistants (1998),
- ✓ Le protocole de Gothenburg sur la réduction de l'acidification (1999).
- ✓ La convention sur la protection de la couche d'ozone adoptée en mars 1985 à Vienne. Son ultime objectif est d'accroître la coopération internationale visant à «protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets néfastes résultant ou susceptibles de résulter des activités humaines, qui modifient ou sont susceptibles de modifier la couche d'ozone».

A cette convention, en 1987 lui a été ajouté le protocole de Montréal visant à réduire progressivement la consommation, la production et les exportations de huit substances

appauvrissant la couche d'ozone. Il est entré en vigueur le 1^{er} janvier 1989. Ses résultats sont observés aujourd'hui, en évitant un grand appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, ainsi que les conséquences néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

- ✓ La convention sur le changement climatique (UNFCCC) qu'est sous forme d'un traité international mis en place en 1992 à Rio de Janeiro en conférence des nations unies. Ce traité a pour objectif de stabiliser toutes les concentrations des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, sans fixer de limite obligatoire sur ces dernières. Par ailleurs, ce traité, comporte des dispositions de mise à jour, sous forme de protocole, fixant ainsi les limites des émissions. La principale mise à jour est le protocole de Kyoto, qui oblige les pays signataires de réaliser un inventaire d'émission de gaz à effet de serre. Ceci en acceptant de réduire leurs émissions (surtout en dioxyde de carbone) à des niveaux inférieurs qu'en 1990.

I.9.2. Les normes européennes et la réglementation française sur la qualité de l'air

Les normes de la qualité de l'air sont fixées à l'échelle internationale par des organismes tels que la Communauté Européenne et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

En France, la réglementation est basée sur la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) qui date du 30 décembre 1996. Cette loi rend obligatoire la surveillance de la qualité de l'air au niveau local, tout en définissant des objectifs de qualité, des seuils d'alertes et l'obligation d'information de la population (Werner, 2009).

Elle impose la réalisation de :

- ✓ *Plans Régionaux pour la Qualité de l'Air (PRQA)* : Ils font partie des prérogatives du préfet de la région. Ces plans permettent d'atteindre les objectifs de qualité de l'air et de réduire la pollution de l'air et implicitement ses effets. En général, ils s'appuient sur des inventaires d'émissions, des évaluations de la qualité de l'air, ainsi que des effets sur la santé publique et sur l'environnement. Ces plans sont révisés tous les cinq ans, si les objectifs fixés n'ont pas été atteints.
- ✓ *Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA)* : Ils concernent toutes les villes de plus de 250 000 habitants. Ils ont pour but de faire respecter les valeurs limites et cibles des polluants. Ils permettent aux autorités de prononcer la restriction ou la suspension des activités polluantes et de prescrire des limitations à la circulation des véhicules. Notons, qu'il y a trente-cinq PPA mis en place aujourd'hui (MEDDLT, 2011).

- ✓ *Plans de Déplacements Urbains (PDU)* : Ils sont spécifiques pour toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Les PDU ont été mis en place en 1982 par la Loi d'Orientation sur les transports Intérieurs (LOTI). Ils ont pour but d'assurer un équilibre durable entre le besoin de mobilité et la facilité à son accès, en plus de la protection de la santé humaine et de l'environnement.

La loi fixe également pour un certain nombre de polluants (WHO, 2000) :

- Les objectifs de qualité: fixant un niveau à atteindre à long terme et à le maintenir afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble ;
- Les valeurs cibles: fixer une valeur à atteindre, dans un délai précis, afin de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement ;
- Les valeurs limites: traduisant un niveau à ne pas dépasser, afin de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement ;
- Le seuil d'information et de recommandation: exprime la valeur au-delà de laquelle, l'exposition à la pollution devient un risque pour la santé humaine ;
- Le seuil d'alerte: traduisant un niveau au-delà duquel l'exposition des populations présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population et justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Le Tableau I.5 donne la liste des Directives les plus importantes imposées par l'Union Européenne pour la réglementation et la protection de la qualité de l'air. Au niveau national, la loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

Tableau I.5. Les Directives imposées par l'U.E pour la protection et la réglementation de la qualité de l'air

<i>Directive</i>	<i>Date de parution</i>	<i>Cible</i>
80/779/EEC (C.E., 1980)	15-Juillet-1980	SO ₂ et PM ₁₀
82/884/EEC (C.E., 1982)	3-Décembre-1982	NO _x
85/283/EEC (C.E., 1985)	7-Mars-1985	
92/72/EEC (C.E., 1992)	21-Septembre-1992	O ₃
1999/30/CE (C.E., 1999)	22-Avril-1999	SO ₂ , NO ₂ & NO _x , PM ₁₀ , Pb
2000/69/CE (C.E., 2000)	16-Novembre-2000	C ₆ H ₆ , CO
2002/3/CE (C.E., 2002)	12-Février-2002	O ₃

2004/107/CE (C.E., 2004)	15-Décembre-2004	As, Cd Hg, Ni et HAP
2008/50/CE (C.E., 2008)	21-Mai-2008	SO ₂ , NO ₂ & NO _x , PM ₁₀ , PM _{2.5} , Pb, C ₆ H ₆ , CO, O ₃

I.9.3. Les normes spécifiques au transport routier

a. Dans le monde

Le caractère dangereux des polluants atmosphériques, a conduit l'Union Européenne à légiférer: des directives et des normes qui ont été mises en place pour limiter et contrôler les émissions polluantes entre autre dues au transport routier (Al-Barakeh, 2012).

Par ailleurs, la plupart des pays a adopté des réglementations concernant les polluants automobiles, afin de fixer des valeurs limites d'émissions sur un certain nombre d'entre eux.

b. Cadre réglementaire aux Etats Unis

En Californie, en 1950 des études ont été menées pour les premières réglementations concernant l'élimination des Gaz CO et HC, qui n'ont vu le jour qu'en 1959 (Caplain, 2005). Ces réglementations sont applicables seulement aux véhicules produits à partir de 1966.

Cependant, en 1975 y a eu la Promulgation de la loi EPCA (Energy Policy and Conservation Act) qui a mis en place le premier programme au monde de limitation de la consommation de carburant automobile, CAFE (Corporate Average Fuel Economy). Ce programme fixe la consommation moyenne en carburant des véhicules personnels et commerciaux légers (pickup, mini vans, SUV de poids compris entre 6.000 et 8500lbs) que les constructeurs automobiles et les importateurs doivent respecter (Ministère Energie et Mines, 2009).

Ces limites, exprimées dans cette loi en mile per gallon (MPG) sont converties en Litres/100 Km comme suit:

- ✓ Véhicules personnels: 13 l/100 km en 1978 et 8,75 l/100km de 1995 à ce jour;
- ✓ Véhicules commerciaux: 13,5 l/100km en 1983, 11,5 en 2004 et 10,6 à partir de 2007.

Les Etats-Unis ont ainsi été le premier pays à instaurer une réglementation des émissions de polluants automobiles. En ce qui concerne, les normes d'émission et leur évolution, le Clean Air Act Amendements (CAAA) a établi en 1990 deux phases de réglementation nommées Tier1 (publiée en 1991 et appliquée à partir de 1994 avec une mise en place définitive en 1997) et Tier 2 adoptée en 1999 et qui sera opérationnelle sur la période 2004-2009.

Enfin, la dernière loi de décembre 2007 EISA (Energy Independence and Security Act) a fixé l'objectif d'un seuil moyen de consommation de carburant de 6,75 L/100 km en 2020, avec application progressive dès 2011, pour l'ensemble du parc des véhicules personnels et commerciaux de poids de 6.000- 8.500 lbs au niveau fédéral (en Californie, cet objectif est de 5,6 L/100 km).

Cet objectif de 6,75 l/100 km en 2020 est en cours de réexamen actuellement, il peut être ramené à l'horizon 2015. En outre, la particularité des normes américaines tient au fait qu'elles sont fonction de l'âge du véhicule et sont réévaluées sur la vie totale du véhicule: les niveaux d'émissions sont contrôlés à 80000 et 160000 Km.

c. Cadre réglementaire en Europe

Un mémorandum of understanding a été signé en 1998 et 1999 entre la CEE et les Associations des constructeurs automobiles Européen (ACEA), Japonais (JAWA) et Coréens (KAWA), s'engageant à réduire les émissions de CO₂ des véhicules personnels commercialisés en Europe à 120 g/km en 2008 avec un niveau intermédiaire de 165-170 g/km en 2003 (MEMA, 2009).

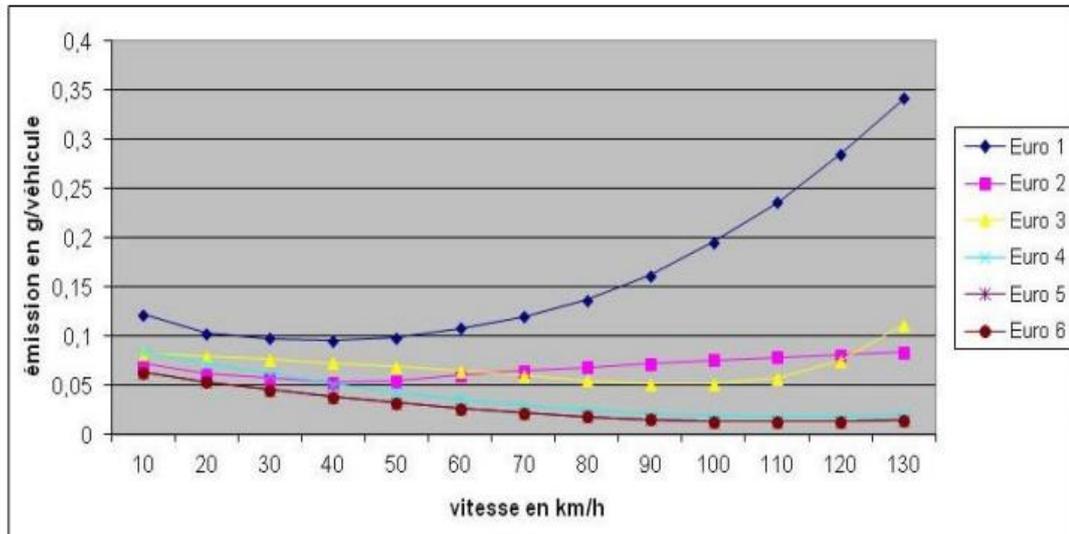
Ces objectifs n'étant pas atteint, la moyenne européenne était de l'ordre de 160 g/km en 2007, le parlement Européen a adopté en décembre 2008 un projet de directive (en cours de publication par la Commission) pour rendre obligatoire, à partir de 2012, le seuil d'émission de CO₂ de 130 g/km soit, en termes de consommation de carburant, l'équivalent de : Véhicules à essence: 5,6 l/100km; Véhicule diesel: 5l/100 km.

Cette directive fixe également un objectif de 95 g/km en 2020 (i.e consommation de carburant de 4 l/100km pour moteur à essence et de 3,6 l/100 km pour le diesel). Les modalités de mise en œuvre de cette norme doivent être arrêtées avant 2013.

Les normes d'émissions, mises en œuvre au niveau de l'UE, fixent les limites maximales des polluants rejetés par l'automobile. Les instances internationales parlent des normes "EURO 6" concernant l'homologation des véhicules neufs. Ces normes sont révisées tous les cinq ans en fonction des connaissances actuelles (AEE, 2011).

Notons, que la norme EURO VI, qui concernera les véhicules neufs sortis en 2015, aura pour objectif une limitation plus importante des émissions de particules issues des véhicules diesels (PM10, PM2.5).

La figure I.11 permet d'observer les effets des différentes normes EURO sur les émissions de NO_x.



Source : (COPERT, SETRA, 2009)

Figure I.11. Effet des normes EURO sur les émissions de NO_x en fonction de la vitesse des véhicules particuliers essence

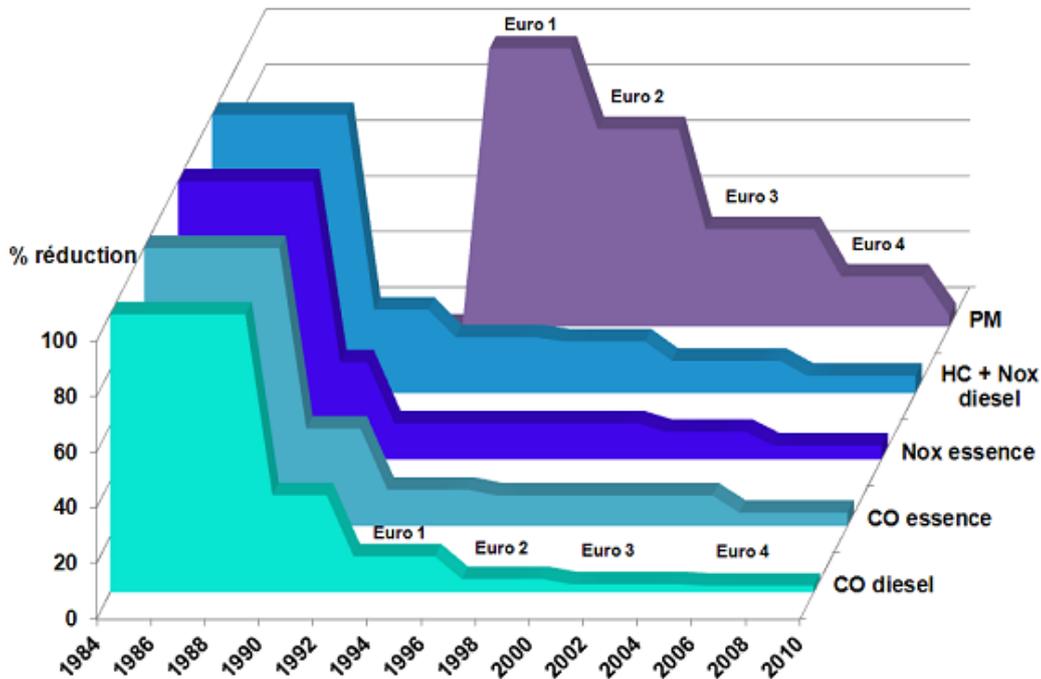
Par ailleurs, la mise en place de ces normes a permis un progrès considérable en ce qui concerne les émissions issues de l'automobile (AEE, 2011 ; CITEPA, 2011a).

Le tableau 8 montre l'évolution des normes d'émissions des véhicules neufs depuis l'entrée en vigueur des normes européennes en 1991 à ce jour.

Tableau I.6. Normes européennes des émissions de VP (g/km)

Source : (CITEPA, 2004).

Classes	Normes	Année		CO	HC	HCNM	HC+NOx	NOx	Particules
		Nouveau type	Tout type						
Diesel	Euro 1	1992		2,720	-		0,970	-	0,140
	Euro 2 - IDI	1996		1,000	-		0,700	-	0,080
	Euro2-DI	1999		1,000	-		0,900	-	0,100
	Euro 3	01/2000	01/2001	0,640	-		0,560	0,500	0,050
	Euro 4	01/2005	01/2006	0,500	-		0,300	0,250	0,025
	Euro 5	09/2009	01/2011	0,500	-		0,230	0,180	0,005
Euro 6	09/2014	09/2015	0,500	-		0,170	0,080	0,005	
Essence	Euro 1	1992		2,720	-		0,970	-	-
	Euro 2	1996		2,200	-		0,500		-
	Euro 3	01/2000	01/2001	2,300	0,200		-	0,150	-
	Euro 4	01/2005	01/2006	1,000	0,100		-	0,080	-
	Euro 5	09/2009	01/2011	1,000	0,100	0,068	-	0,060	0,005a
	Euro 6	09/2014	09/2015	1,000	0,100	0,068	-	0,060	0,005a



Source : www.senat.fr

Fig. I.12. Evolution des normes européennes pour les véhicules légers.

d. Cadre réglementaire dans d'autres pays

Le Japon, la Chine et la Corée du sud disposent d'une réglementation régissant le niveau de consommation de carburant des véhicules mis sur leurs marchés.

Au Canada, la réglementation de la consommation de carburant existe mais n'est pas obligatoire, c'est le programme CAFC (Compagnie Average Fuel Consumption). Quant aux mesures informationnelles, comprenant l'obligation de déclaration de la consommation de carburant des véhicules par le constructeur et la publication 3^{ème} g/100km et de 95 euro/unité pour chaque g/km au-delà de 133 g/km (MEMA, 2009).

Enfin, de la même manière qu'aux USA, la réglementation européenne prévoit :

- ✓ L'obligation des constructeurs d'inclure dans la fiche technique des véhicules et sur les lieux de vente (showrooms) le niveau des émissions CO₂ et de consommation carburant;
- ✓ La publication d'un guide sur la consommation de carburant par chaque Etat de la CEE (ADEME. France) pour assister et encourager le public à acheter des véhicules «économiques» et leur donner conseil dans le domaine de la conduite «écologique».

Sur Internet de guides de consommation à l'attention des clients, de nombreux pays tels l'Afrique du Sud, la Nouvelle Zélande, l'Inde, l'Australie ont mis en place les mêmes types de

dispositifs que ceux en vigueur aux Etats-Unis et en Europe. Tendance donc à la généralisation de ces dispositifs d'information.

I.9.4. Cadre réglementaire et législatif en Algérie

a. Etat des lieux:

La réglementation Algérienne relative au contrôle technique des véhicules neufs est reprise notamment dans les textes principaux suivants (MEMA, 2009) :

- ✓ Arrêté du 05 - 09 – 1984: conditions techniques de réception.
- ✓ Décret N° 88-06 du 19-01-1988 et N° 04-381 du 28 novembre 2004: Règles circulation routière;
- ✓ Loi 01-14 du 19 Août 2001: organisation, sécurité et police circulation routière;
- ✓ Décret exécutif N° 03-410 du 05-11-2003: Seuils limites des polluants CO, NO_x, HC et particules des véhicules neufs importés et du contrôle technique des véhicules en services;
- ✓ décret exécutif N° 07-390 du 12-12-2007: Modalités d'exercice activité de commercialisation véhicules neufs.

Aucun de ces textes ne limite le niveau de consommation de carburant des véhicules importés. Ces textes ne font également pas obligation aux concessionnaires d'informer le public sur le niveau des consommations des véhicules. Certains concessionnaire n'incluent même pas cette information dans les fiches techniques des véhicules, d'autres indiquent des valeurs de consommation sans en préciser les bases d'estimation ce qui les rend peu fiables et inutilisables).

Cette situation, malgré certaines mesures fiscales appliquées ces dernières années, n'incite pas à l'Importation de véhicules peu énergivores, nous constatons au contraire l'apparition sur le marché de grosses cylindrées fortement consommatrices d'énergie. Ces véhicules sont également, souvent de technologie ancienne, car les véhicules énergivores sont en général de technologie plus ancienne.

b. Enjeux de la réglementation relative à la consommation de carburant en Algérie

Ces enjeux sont multiples. Il s'agit notamment de l'enjeu :

- ✓ *économique* où la Consommation de carburant dans le secteur des transports représente la quasi-totalité de la consommation des produits pétroliers en Algérie (près de 10.000.000 de tonnes en 2009); Une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules permettra de réduire, de façon substantielle, la consommation nationale en carburants. A rappeler, dans ce cadre, les gains réalisés en Europe (15% entre 1995 et 2007 et 40% entre 2007 et 2020).
- ✓ *environnemental* où le secteur des transports représente une source majeure de pollution atmosphérique en Algérie, notamment dans les grands centres urbains où la situation est devenue préoccupante. La Réduction de la consommation de carburant entraîne directement la réduction des émissions des polluants, GES et polluants réglementés, améliorant ainsi la qualité de l'environnement;
- ✓ *technologique* où les véhicules peu consommateurs d'énergie sont souvent de technologie plus récente. La réglementation de la consommation permettra donc d'améliorer le niveau technologique des moteurs du parc national véhicule.

c. Réglementation en étude

Au vu de l'intérêt, économique, environnemental et technologique, que présente la réglementation de la consommation de carburant, un comité intersectoriel, regroupant tous les départements ministériels concernés, a été mis en place pour proposer une réglementation qui doit viser, à l'instar des dispositifs en vigueur dans le monde, les objectifs principaux suivants (MEMA, 2009) :

- ✓ Améliorer l'efficacité énergétique des véhicules par l'établissement de seuils limites de consommation de carburants des véhicules importés;
- ✓ Informer et sensibiliser le public sur les questions de l'efficacité énergétique en général et à celles de la consommation de carburant automobile en particulier;

En ce qui concerne l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules, Il est prévu notamment de fixer des seuils limites de consommation de carburant pour les véhicules neufs de catégorie essence et diesel.

- Ces seuils seront applicables pour tous les véhicules de tourisme importés ou construits en Algérie (l'application aux autres catégories de véhicules se fera ultérieurement en fonction de l'évolution au niveau international);
- Ces seuils seront différents selon le type d'énergie utilisée (véhicules essence ou diesel);

- Le niveau de ces seuils, qui seront révisés annuellement, tiendra compte de la réglementation au niveau international et des spécificités du parc nation

En cas de non-respect de ces seuils, il est prévu : un paiement de pénalités et une mise en place d'un plan d'actions correctif.

Enfin, la norme technique selon laquelle la consommation de carburant des véhicules sera mesurée est également à l'étude. S'agissant de l'information et de la sensibilisation du public, il est prévu notamment :

- ✓ Indication obligatoire, dans les fiches techniques des véhicules, de la consommation en carburant et des émissions de CO₂ des véhicules en ville, sur route et en consommation mixte;
- ✓ Elaboration d'un guide, destiné au public, qui indiquera la consommation de carburant et le niveau des émissions de CO₂ de tous les véhicules mis en vente en Algérie.

Ce guide comportera également les règles de conduite écologique ainsi que toutes informations jugées utiles pour la réduction de la consommation de carburant, la promotion de carburants propres, et les avantages fiscaux qui y sont liées, la lutte contre la pollution automobile et autres.

I.10. Synthèse bibliographique

La pollution atmosphérique liée principalement à la croissance industrielle des pays et à une consommation d'énergie en perpétuelle augmentation est un problème majeur de ce siècle.

Dès la fin du XVIIIème siècle, entre industrialisation exponentielle et augmentation drastique de l'activité anthropique, la problématique de la pollution de l'air n'a cessé de croître. Son étude, vise à bien en comprendre ses particularités dans le but de limiter au mieux ses effets (Dimo et al, 2010). De nombreux efforts ce sont penchés sur ce problème, pour contrôler et réduire les émissions des polluants provenant du transport, de l'industrie et de l'agriculture.

Par ailleurs, au début du XXème siècle, les premiers phénomènes de pollutions régionales dus aux émissions humaines sont apparus. En 1930, a été observé le premier phénomène de SMOG dans la vallée de la Meuse en Belgique. Le dioxyde de soufre présent dans l'atmosphère est ainsi transformé en acide sulfurique très irritant, attaquant les voies respiratoires, causant ainsi la mort de plus de 60 personnes (Werner, 2009).

A l'heure actuelle, le principal responsable de la mauvaise qualité de l'air dans les villes européennes s'avère être le transport routier (AEE, 2011).

Par ailleurs, la circulation routière est l'une des principales sources des émissions atmosphériques. Malgré son importance, il y a des défis importants dans l'évaluation quantitative de sa contribution à des concentrations atmosphériques.

Au fur des années et suite à l'accélération de la pollution atmosphérique liée au trafic routier, beaucoup d'auteurs se sont mis à travailler dans ce domaine. Une succincte synthèse concernant les différents travaux entamés jugés importants dans cette thématique seront résumés en dessous :

- **Julio Lumbreras et al, 2014** : Cet auteur et ses collaborateurs se sont intéressé aux émissions du transport routier et montre qu'ils contribuent à plus de 25% des émissions totales de CO, CO₂, NO_x et les particules fines dans la plupart des pays européens. En s'appuyant sur la modélisation pour effectuer les projections des émissions atmosphérique en Espagne jusqu'en 2020. Un logiciel EMITRANS a été utilisé comme outil de planification dont les résultats seront comme données d'entrée pour le modèle COPERT IV dans l'objectif de réduire les émissions, l'amélioration de la qualité de l'air et de contribuer à atténuer le changement climatique.
- **Farid Rahal et al, 2014** : Etant donné, que la ville d'Alger a un trafic routier intense et est la principale source de pollution de l'air, l'auteur a appliqué un nouveau modèle des émissions du trafic routier EMISENS, pour construire l'inventaire d'émission du trafic routier. Cet inventaire d'émission est utilisé ensuite comme données d'entrée pour les modèles MM5 et CHIMERE, afin d'estimer la pollution de l'air à Alger, tout en gérant les incertitudes associées à toute modélisation.

Les résultats obtenus par EMISENS pour les émissions totales moyennes de CO sont de 105.95 tonnes/jour, ce qui est considérablement plus élevé que 54,52 tonnes/jour par la base de données des émissions pour la recherche atmosphérique mondiale (EDGAR 4.2).

- **Pallavi Pant et al, 2013** : Toujours dans la même thématique (polluants atmosphériques), dans cette étude de cas, les auteurs se sont penchés sur la quantification de la contribution de la circulation routière aux polluants atmosphérique en général et à la nature des particules en suspension (PM) en particulier et cela à l'échappement et non échappement (l'usure des pneus, abrasion de la surface de route et remise en suspension). Les principales raisons de la nécessité de l'évaluation de ce

genre d'émission (non échappement), permet de déterminer leur toxicité inhérente à agir comme transporteurs de métaux lourds et de composants cancérigènes (Adachi et Tainosho, 2004 ; Johansson et al, 2009 ; Amato et al, 2011) ainsi que leur contribution à des dépassements des normes de qualité de l'air (Denier van der Gon et al, 2013 et Amato et al, 2011).

Par ailleurs, ils estiment que la plupart des analyses effectuées ont été réalisées aux Etats-Unis ou en Europe, mais il y a un manque d'informations fiables sur les émissions de la circulation dans les zones à forte densité de population comme en Afrique, Asie et Amérique du Sud.

Ils ont conclu que les émissions de la circulation continuent de contribuer de manière substantielle aux émissions de particules dans les zones urbaines et que la contribution, en particulier des émissions non-échappement restent insuffisantes. Pour cela, de futures recherches s'avèrent nécessaires, tout en développant de nouvelles méthodes pour la quantification de la contribution des émissions non échappement à la pollution atmosphérique.

- **Farhad Nejadkoorki et al, 2008** : L'impact local de divers polluants atmosphériques, tels que le CO, NO_x, SO₂ et PM₁₀, a été bien documenté jusque-là. Mais ces derniers temps, un accent croissant est mis sur le phénomène de l'effet de serre et notamment les émissions du CO₂. Cependant, les émissions du CO₂ dues au transport routier ont reçu une attention particulière, suite à leur constante augmentation. Par exemple, il a été estimé que les émissions de CO₂ provenant de la circulation routière dans le monde augmenteront de 92% entre 1990 et 2020 (Gorham, 2002).

C'est dans cette optique, que les auteurs ont estimés les émissions de CO₂ en utilisant une approche de modélisation à micro-échelle sur la ville de Norwich située à l'est de l'Angleterre.

Le modèle SATURN (Simulation et affectation du trafic en milieu urbain réseaux routiers) a été utilisé pour déterminer les caractéristiques d'une route. Les données de sortie de ce modèle sont ensuite analysées en utilisant le programme MATLAB, pour fournir des estimations d'émissions de CO₂ pour la zone urbaine. Enfin, ArcGIS est utilisé pour illustrer la sortie du modèle.

L'étude a montré que les émissions de CO₂ annuelles totales provenant de la circulation routière dans la ville (population: 121 650) ont été estimées à environ 69 100 t en 2003. Cela signifie qu'environ 568 kg de CO₂ aurait été émis par chaque personne résidant dans la zone d'étude. La désagrégation horaire des émissions totales

a révélé que: 41% étaient pendant les périodes inter-pics (de 09h30 à 16h), 18% étaient à l'heure de pointe (16h-18h30), 17% étaient pendant l'heure de pointe du matin (7h 30-9h 30), 14% étaient à la nuit (24h-07h 30) et 11% étaient dans la soirée (18h 30-24h).

En outre, ils ont conclu que les zones les plus polluées étaient les principales artères, les rocades et le centre-ville. En effet, les calculs ont indiqué que 85% des émissions de CO₂ étaient dans les routes principales et seulement 15% au niveau routes mineures. Les voitures étaient la principale source, contribuant 72,5% de toutes les émissions de CO₂, suivis par VUL (12,5%), poids lourds (7,5%), les autobus (6,5%), et les motos (1%).

Les travaux en cours ont démontré que la modélisation est un outil extrêmement utile dans l'estimation des polluants à effet de serre générés par le trafic. Ceci, pourrait avoir la possibilité de réduire les émissions totales par la restructuration urbaine et le développement des réseaux routiers. L'étude a souligné également, la polyvalence de ArcGIS pour illustrer les émissions urbaines de CO₂ au niveau d'une route dans un format qui pourrait être pour les planificateurs ou les décideurs conviviale.

- **Sunil Malla, 2014** : Le transport routier domine tous les modes de transport au Népal. A Katmandou (capitale) les véhicules privés sont principalement des cycles à moteur, par contre les véhicules publics sont des bus. En outre, plus de la moitié de l'énergie commerciale totale de ce pays est consommée par le secteur des transports. C'est ce qui a laissé les chercheurs à se pencher sur l'étude et l'estimation des émissions de CO₂ à Katmandou, par une modélisation. Le modèle conventionnel «en quatre étapes», dynamic traffic assignment et le modèle de simulation de la circulation ont été utilisés dans ce cas. Les résultats montrent qu'à Katmandou, le transport de marchandises représentait 38% des émissions totales de CO₂, suivis par 37% des véhicules privés et 24% pour le transport public. Cependant, les émissions de polluants de l'air local dues au trafic routier sont importantes et sont probablement responsables de la détérioration de la qualité de l'air dans les zones urbaines du pays.
- **Golubic Jasna et al, 2013** : Cette étude a été menée en Zagreb (Croatie). En raison du grand nombre de véhicule, de mauvaises conditions de fonctionnement de leur moteur, des vitesses réduites (inférieures à 80 km/ heure), mauvaise qualité du carburant et du grand pourcentage de véhicules défectueux ont fait que les chercheurs sont intéressés à analyser les émissions générées par le trafic routier au niveau de cette ville entre 2001 et 2009.

A Zagreb, la surveillance de la qualité de l'air a été réalisée par l'Institut recherche médicale (Institut zamedicinskaistraživanja - IMI) qui a effectué des mesures au niveau de 13 stations de surveillance. L'analyse a montré que le plus gros problème dans la ville était la pollution par les oxydes d'azote, les particules en suspension et de l'ozone (ozone troposphérique), ce qui signifie que l'air était de catégorie II, soit modérément polluée, alors que la valeur a été dépassée pour le paramètre PM_{10} , de sorte que dans la partie occidentale de la ville, l'air était de la catégorie III, c'est à dire trop pollué. Par ailleurs, la plus grande influence sur la pollution de l'air à Zagreb est les véhicules routiers avec un pourcentage de 35% pour NO_x , 44% CO, 7% SO_x , 38% Pb, 16% pour COVNM et 30% pour les particules en suspension.

Les résultats de la surveillance de la qualité de l'air dans la ville de Zagreb indiquent sans aucun doute que la pollution atmosphérique accrue est causée par la circulation routière, c'est à dire les sources de pollution mobiles.

- **Farhi Adel et al, 2014** : Cette étude de cas est une étude de cohorte comprenant 216 730 nourrissons pendant les périodes de 1997 à 2004. Les données sur la pollution de l'air, entre autre le dioxyde de soufre (SO_2), les particules $<10\text{ pm}$ (PM_{10}), les oxydes d'azote (NO_x) et l'ozone (O_3) ont été obtenus à partir d'une base de données de station de surveillance de l'air pour la période d'étude. L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) et la procédure de krigeage, leur a permis de déterminer l'exposition à la pollution de l'air pendant le premier trimestre. Pour chaque femme toute la période de la grossesse a été évaluée selon le lieu de résidence. Ensuite le modèle de régression logistique avec l'approche de l'équation d'estimation généralisée (EEG) ont été utilisés pour évaluer le risque ajusté de malformations congénitales.

Les résultats montrent que l'exposition à des niveaux plus élevés de PM_{10} et NO_x pendant la grossesse a été associée à un risque accru de malformations congénitales. Néanmoins, d'autres études s'avèrent nécessaires, notamment l'évaluation plus précise de l'exposition en prenant un échantillon plus important, afin de confirmer ces résultats.

- **Afroz Rafia et al., 2003** : Après les différents épisodes de brume en Asie du Sud-Est de 1983, 1984, 1991 1994 et 1997, menaçant la qualité de l'environnement, le gouvernement Malaisien a établi des recommandations pour la qualité de l'air, l'indice de la pollution de l'air et le plan Haze pour améliorer la qualité de l'air.

C'est dans cette optique que des chercheurs se sont penchés à trouver la source de ce problème (brume). La stratégie adoptée est basée sur les rapports de la surveillance de

la qualité de l'air dans plusieurs grandes villes de la Malaisie, qui couvre les polluants atmosphériques tels que le monoxyde de carbone (CO), dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃), et de particules en suspension (PM). Les résultats trouvés montrent la prédominance du dioxyde d'azote (NO₂) et les particules en suspension (PM).

La pollution de l'air provient principalement de transport routier, les émissions industrielles, et les sources de combustion à ciel ouvert. Mais le transport routier contribue le plus à la pollution atmosphérique et porte atteinte à la santé publique.

I.11. Conclusion

Ce premier chapitre, un peu long, est nécessaire car la pollution atmosphérique est un sujet complexe. Les différents types de pollution possibles et leurs actions à différentes échelles temporelles et spatiales ont été abordés. Leur impact peut se manifester à différentes échelles, du fait du transport des polluants.

Pour essayer de maîtriser et évaluer ces impacts, il est aujourd'hui reconnu que les inventaires d'émissions sont fondamentaux, que ce soit au niveau local pour alimenter des modèles de dispersion des polluants ou à une échelle plus globale pour les modèles de climatologie. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les principes généraux d'établissement d'inventaires des émissions des véhicules de la région de Batna.

CHAPITRE II

Inventaire des émissions des véhicules de la région de Batna: Problématique et outils

Résumé:

Le transport routier est une source majeure d'émissions que les acteurs locaux cherchent le plus souvent à maîtriser. Il faut pour cela caractériser au mieux le trafic circulant sur chacun des axes routiers de la zone d'étude. Il s'agit de connaître non seulement le débit moyen de véhicules, mais aussi la proportion des poids lourds, les profils de vitesse de chaque véhicule, le parc roulant de l'année considérée. La fiabilité de ces paramètres est primordiale pour modéliser l'impact d'une mesure telle que la réduction de vitesse ou une restriction de circulation pour certaines catégories de véhicules tel que les anciens véhicules.

Pour déterminer les quantités de certaines substances rejetées dans l'atmosphère les inventaires d'émissions ont été mis en place. Ces derniers, représentent une étape nécessaire et fondamentale à toute politique de protection de l'environnement.

C'est dans ce contexte que s'intègre ce deuxième chapitre qui a pour but de se focaliser sur l'inventaire des émissions de véhicules dans la région de Batna.

II.1. Introduction

La connaissance des quantités de certaines substances rejetées dans l'atmosphère est une étape nécessaire et fondamentale à toute politique de protection de l'environnement qui s'intéresse aux problèmes actuels comme l'acidification, la dégradation de la qualité de l'air, le réchauffement global et les modifications du climat, l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique.

Cette quantification que l'on dénomme usuellement «inventaire d'émission» s'effectue à partir de règles spécifiques qui varient éventuellement d'un inventaire à l'autre.

Plusieurs inventaires d'émission de véhicule ont été réalisés dans le monde et notamment dans les pays en voie de développement, tout en utilisant différents modèles d'inventaires. L'inventaire réalisé pour l'Espagne durant la période 1998 à 2010 a utilisé le modèle Copert II (Burón et al, 2004). Le même modèle a été utilisé aussi pour estimer l'inventaire des émissions de la Sardaigne (Italie) (Bellasio et al, 2007; Saija et Romano, 2002), devant l'absence des données requises au niveau local a adopté la méthodologie Copert III, tout en développant une approche Top-down, pour estimer les émissions en Italie. Par contre, pour calculer l'inventaire d'émission de véhicule de la Chine pour l'année 2002, (Song et Xie, 2006) a utilisé Copert III, que (Cai et al, 2007) a complété ce dernier pour la période de 1980 à 2005. Par ailleurs, un autre inventaire d'émission de véhicule a été réalisé par (Soylu, 2007) pour la Turquie en utilisant également la méthodologie Copert III. Ce cas de la Turquie est fort intéressant pour l'Algérie pour leurs similitudes.

Les émissions polluantes des véhicules en circulation constituent non seulement un problème de qualité de l'air dans les villes tel qu'Alger (Mayer, 1999; Kerbachi et al., 2003; Kerbachi et al., 2006; Boughedaoui et al., 2004), mais aussi une source en constante croissance de gaz à effet de serre notamment dans les pays en développement (PED) (Schafer, 2000; Sausen et al., 1998, Metz, 2005). Le développement de facteurs d'émission unitaires spécifiques basé sur des données nationales du pays est très encouragé par l'IPCC (GIEC) (GIEC, 2000), afin de réduire les incertitudes lors de la réalisation d'inventaire d'émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques (UNFCCC). Les émissions unitaires de véhicules deviennent une donnée incontournable pour toute comparaison des niveaux d'émission et tout calcul d'inventaire où la recherche de gisements de réduction des émissions devient très importante dans le cadre du protocole de Kyoto. L'utilisation de facteurs d'émission unitaires par défaut des différentes bases de données internationales (IPCC, CORINAIR, COPERT, ARTEMIS, MOBILE, ... etc.) ne sont

pas représentatives de la réalité des émissions nationales des pays en développement et sont la cause de surestimation ou sous-estimation des émissions de polluants.

Plusieurs méthodologies sont utilisées pour caractériser les émissions unitaires des véhicules. L'une des méthodes utilisée en Algérie est le CVS qui a été utilisé sur banc à rouleau au laboratoire (Joumard et al., 1987), pour la mesure des émissions par la reproduction d'un cycle cinématique représentatif des situations réelles ou normalisé. La fiabilité des méthodologies de mesure embarquée est démontrée par des essais comparatifs au laboratoire et sur routes (Van Ruymbeke, 1991; Cadle et al, 2003).

L'objectif de ce chapitre est consacré d'une part, à définir l'un des moyens permettant l'évaluation et la quantification des émissions polluantes issues du trafic routier, appelé «inventaire d'émission», qui représente une étape primordiale dans la connaissance et la maîtrise de la pollution de l'air et de mettre en exergue les différents inventaires existants dans la littérature d'autre part. Car il est nécessaire de connaître non seulement les sources de pollution, mais de les quantifier, afin d'élaborer la politique de réduction et de contrôle de la pollution et également effectuer l'analyse des décisions politiques en matière de surveillance de la qualité de l'air.

II.2. Description Géographique de la région de Batna.

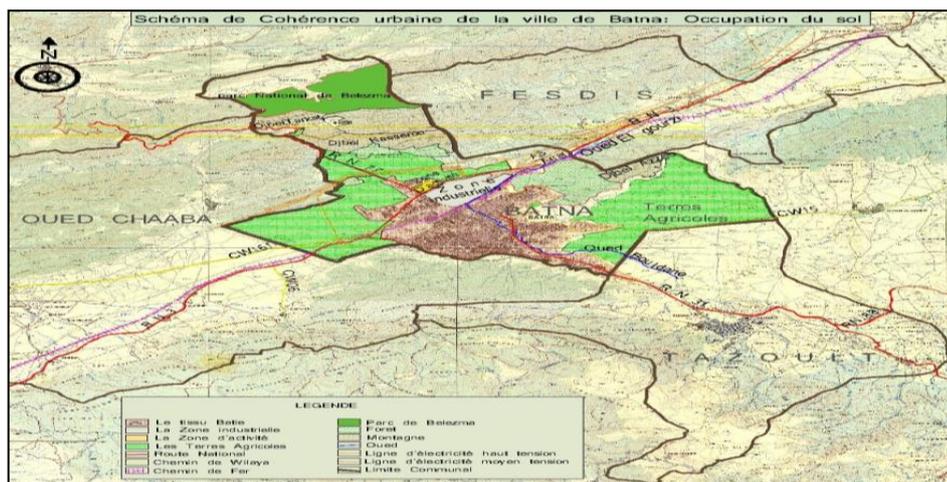
La ville de Batna (Latitude 35°33'23''Nord, Longitude 6°8'42''Est) est située à 435 Km au sud-est d'Alger, au carrefour des routes Constantine, Biskra et khenchela.

Chef-lieu d'une vaste wilaya de 12.038,76km² et d'une population de 1139877 hab. Le taux d'accroissement de la population est de 1.58%. Batna occupe une position au cœur des Aurès.

Le territoire de la commune de Batna est composé de deux grands ensembles :

- une zone montagneuse, constituée des Djebels Kasrou (altitude 1780 m) au Nord-ouest, Djebel Azeb (altitude 1360 m) au Nord-est, Touguer (2094m) de l'ouest et Djebel Ich Ali (1809) au sud,
- une zone de plaines (altitude 1040 m) sur le reste du territoire de la commune.

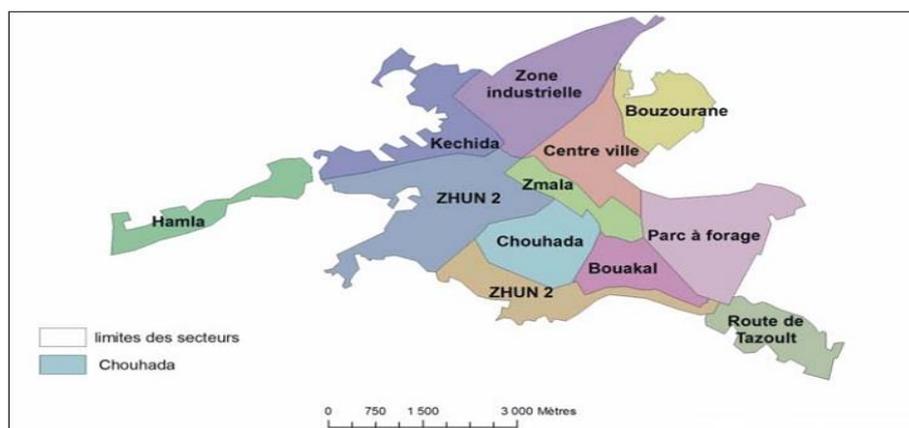
Cette croissance désordonnée de la ville a engendré une occupation irrationnelle du sol, produisant ainsi la déformation de rues en ruelles et la création de voies en cul de sac, particulièrement au niveau des extensions des nouveaux quartiers.



Source : (Benyahia, 2013)

Fig. II.1. ville de Batna - Situation géographique et Occupation du sol

Pour une répartition équitable des enquêtes sur l'ensemble des secteurs urbains de la ville, on a pris comme base la sectorisation officielle (quartiers) de la ville de Batna faite dans le dernier PDAU 2006 (Fig.II.2) qui montre l'existence de 11 secteurs urbains: centre-ville, ZHUN 1, ZHUN 2, Bouzourane, Zmala, Hamla, Parc à forage, Bouakal, Route de Tazoult, Kechida et Cite Chouhadala.



Source: APC 2013 + Auteur.

Fig. II.2. Les secteurs urbains dans la ville de Batna.

La ville de Batna, malgré la grande poussée démographique et l'apparition de nouveaux secteurs d'habitation tels que Hamla 1 et Hamla 2. Le maximum des équipements administratifs et commerciaux sont toujours concentrés au centre-ville. Ce dernier attire un grand nombre des populations pour des motifs liés aux emplois et aux grands équipements, ce qui implique une dynamique de mobilité importante vers le centre-ville, qui s'accompagne d'une demande de déplacement très importante.

II.3. Inventaire des émissions atmosphérique dues au transport routier

Pour mieux connaître la pollution de l'air et estimer ses impacts sur la santé et les écosystèmes, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et de les quantifier, pour pouvoir ensuite prendre des mesures de réduction des émissions à la source.

II.3.1. Définitions Générales

II.3.1.1. Inventaire d'émission

Une émission est un rejet dans l'atmosphère de substances chimiques par une source. La liste de sources d'émissions est quasiment illimitée. Elle inclue aussi bien le domaine naturel (faune, flore, volcanisme, etc.), qu'anthropique (véhicule particulier, torchère dans une raffinerie, etc.).

Un inventaire d'émissions est une base de données qui recense qualitativement et quantitativement des rejets de certaines substances polluantes dans l'atmosphère émises de sources anthropiques et/ou naturelles, qui peut être caractérisé par les paramètres suivants :

- La zone d'étude couverte par l'inventaire, définie par des limites soit administratives (ex: une agglomération, un département, un pays,...), soit par des coordonnées géographiques (latitude - longitude, coordonnées projetées, zone de X km x Y km, ...etc.),
- la période de temps sur laquelle on comptabilise les émissions (ex: une année, un mois, une journée, une heure...),
- les espèces chimiques que l'on prend en compte dans l'inventaire (ex: les polluants réglementés, les polluants nécessaires pour la modélisation photochimique, les gaz à effet de serre,...),
- les sources que l'on considère dans l'inventaire (ex: type de sources, domaine d'activité,...),
- la qualité que l'on souhaite donner à l'inventaire, qui conditionne la complexité de l'étude (ex: finesse de l'analyse sectorielle d'activité, seuil de prise en compte des sources,...).

C'est un outil important pour la caractérisation de la qualité de l'air dans le sens où il peut être utilisé :

- comme un outil spécifique pour (AIRAQ, 2010) :

- i. alimenter les plans réglementaires (PRQA, PPA, PDU, ... etc),
 - ii. suivre les émissions secteurs par secteurs au fil des actualisations de l'inventaire,
 - iii. renforcer la surveillance de la qualité de l'air,
 - iv. aider à la politique de réduction des rejets ;
- comme donnée d'entrée pour la modélisation afin de:
 - i. caractériser la pollution atmosphérique en tout point du territoire utiliser les données dans le cadre d'études épidémiologiques,
 - ii. évaluer l'impact d'une infrastructure et les politiques d'aménagement du territoire dans le cadre d'études d'impact,
 - iii. choisir des sites pour de nouvelles stations fixes ou pour des laboratoires mobiles,
 - iv. servir d'information auxiliaire pour les cartographies.

Indépendamment de ces deux utilisations, l'inventaire d'émissions peut être utilisé comme un outil de sensibilisation et d'aide à la prise de décision pour définir les priorités environnementales.

Par ailleurs, on distingue généralement trois niveaux géographiques d'inventaire: national, urbain et local. Pour chaque niveau les objectifs d'un inventaire peuvent être extrêmement variés :

- i. Inventaire national: les autorités publiques cherchent à apprécier l'évolution des émissions de polluants au niveau national, afin d'identifier le rôle des différentes sources, de tester des politiques futures, de vérifier le respect des conventions internationales. Les objectifs des inventaires au niveau international sont assez semblables.
- ii. Inventaire urbain: le premier objectif est souvent didactique vis-à-vis des décideurs ou du public (donner à voir les sources d'émissions); un inventaire urbain permet aussi de tester des politiques future (de transport par exemple), et sert de données d'entrée aux modèles physico-chimiques qui modélisent la qualité de l'air sur l'agglomération.
- iii. Inventaire local, au niveau d'une rue par exemple est essentiellement utilisé pour tester des modes de gestion du trafic vis-à-vis de la qualité de l'air ou pour décrire avec précision la distribution spatiale des émissions.

II.3.1.2. Cadastre d'émissions

La réalisation d'un cadastre d'émission peut se définir de manière simple comme étant un croisement de base de données (données statistiques, comptages de véhicules, enquêtes) et de facteurs d'émissions issus d'expérience de métrologie ou de modélisation. Il regroupe les notions d'inventaire d'émissions et de distribution spatiale sur un maillage régulier.

Par ailleurs, pour son élaboration il nécessite un grand nombre de données. La collecte de ces données n'est pas une chose aisée et la mise en forme de tous ces paramètres est définie en fonction des utilisateurs (Caplain, 2005).

En outre, la notion de cadastre a pour avantage d'inclure, en plus de la notion d'inventaire, deux notions spatiales complémentaires: plan et parcelle.

Tout d'abord, il inclut la notion de plan car il s'agit d'une véritable cartographie des émissions et ensuite la notion de parcelle car il faudra dans sa réalisation définir une taille de maillage qui détermine la résolution spatiale, représentant ainsi la surface élémentaire sur laquelle on va comptabiliser les émissions. Tout ceci se réalise à l'aide d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.)

Un cadastre des émissions permet d'avoir une information quantitative et spatialisée sur les rejets de polluants pour :

- i. Informer les décideurs et le public;
- ii. Fixer des objectifs et contraintes en matière de réduction des émissions;
- iii. Evaluer des impacts environnementaux;
- iv. Evaluer l'effet de différentes stratégies pour combattre les impacts;
- v. Evaluer l'effet de différents scénarios d'aménagement.

D'une part, c'est un outil d'aide à la décision: la connaissance des émissions en tout point du territoire permet de cibler tel ou tel secteur d'émissions dans le but d'aider à la réduction des rejets polluants. Il peut également s'avérer très utile dans le cadre de l'impact sur la santé. En effet, les données spatialisées vont pouvoir être croisées avec des données de population et d'occupation des sols. Ces données seront alors une information importante pour l'exposition des individus aux émissions. D'autre part, c'est un outil pour la modélisation: les émissions calculées peuvent servir de données d'entrée pour des modèles de haute résolution. Ces modèles sont très utilisés dans le cadre d'études d'impact, d'études de risque sanitaire et afin d'évaluer les conséquences d'une modification d'infrastructure ou d'un aménagement du territoire.

II.3.1.3. Sources d'émissions

Généralement, il existe un grand nombre de classifications de sources d'émissions et chacune d'entre elles répond à des usages et des objectifs particuliers. Les sources sont classées en premier lieu en sources ponctuelles, linéaires et surfaciques. De plus, les sources peuvent être stationnaires ou mobiles.

- *Les sources ponctuelles stationnaires*: elles sont en général constituées par les gros émetteurs stationnaires. L'émission est concentrée en un "point" (ou lieu restreint) bien défini dont on connaît la position avec précision. L'exemple type serait une cheminée appartenant à une installation de combustion industrielle.
- *Les sources linéaires mobiles*: c'est le mode de représentation utilisé généralement pour les transports, en particulier le trafic routier hors agglomération, la source étant une entité linéique regroupant l'ensemble des émissions des véhicules la parcourant.
- *Les sources surfaciques stationnaires*: par défaut, il s'agit de toutes les autres sources qui ne sont ni ponctuelles ni linéaires. Cette représentation sert en général à des émetteurs dont la nature réelle ou/et la localisation est une surface (ex: sources biogènes du type culture agricole, massif forestier continu, ...) et dont les émissions sont proportionnelles à la surface occupée. (François et al, 2004).

Cette classification est la plus courante et en général la plus utilisée.

II.3.1.4. Facteur d'émission

L'émission unitaire, ou facteur d'émission est la masse de polluant émise par une unité de transport. Cependant le nombre de passagers et le tonnage transporté ne doivent pas être oubliés.

Un facteur d'émission est un paramètre qui relie une quantité de polluant émis dans l'atmosphère avec un indice d'activité associé au processus qui est à l'origine de l'émission.

Les facteurs d'émissions jouent un rôle déterminant dans la précision et la fiabilité des résultats. Ils indiquent les flux de polluants émis rapportés en général à la consommation d'une unité d'énergie, pour le logement et l'industrie, au kilomètre parcouru ou au mouvement pour le transport... Ils permettent ainsi de relier des procédés, des combustions, des consommations de solvants, etc., avec des flux de polluants (ASPA, 2006).

Un certain nombre de facteurs d'émission doivent être spécifiquement établis ou adaptés en fonction des besoins de l'étude.

Citons parmi les plus importantes sources de facteurs d'émissions:

- "Atmospheric Emission Inventory Guidebook" (joint EMEP/CORINAIR) -mise à jour permanente;
- "Grenzübergreifende Datenerhebung im Gebiet Oberrhein 1997" (UMEG);
- "Handbuch – Emissionsfaktoren für stationäre Quellen 2000" (OFEFP);
- La banque de données de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) sur les émissions des moteurs d'avions, ...etc.

II.3.1.5. Nomenclatures

Pour la génération d'un calcul d'émissions, il apparaît un besoin de nomenclatures pour ordonner l'ensemble des sources d'un inventaire. Les nomenclatures sont des classifications en général élaborées dans un but très précis

II.3.2. Nomenclature SNAP

Chaque activité génératrice d'émissions a été classifiée selon la nomenclature SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) développée par l'Union Européenne dans le cadre du programme CORINAIRE (Airparif, 2005).

Cette nomenclature comporte onze niveaux, chacun étant lui-même divisé en sous niveaux. Les principaux onze niveaux sont:

1. Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie (centrales thermiques)
2. Combustion hors industrie: chauffage résidentiel, tertiaire, liée à l'agriculture...etc.
3. Combustion dans l'industrie manufacturière: chaudières, turbine, fours...etc.
4. Procédés de fabrication (procédés de l'industrie pétrolière, de la sidérurgie...etc.)
5. Extraction et distribution de combustibles fossiles (station de service, dépôt...etc.)
6. Utilisation de solvants et autres produits (application de peinture, fabrication de plastique, Imprimerie, etc.)
7. Transports routiers (voitures, véhicules utilitaires légers, poids-lourds, motocycles...etc.)
8. Autres sources mobiles et machines (activités militaires, ferroviaires, navigation fluviale, trafic aérien, engins spéciaux pour l'agriculture...etc.)
9. Traitements et élimination des déchets (incinération, décharges...etc.)
10. Agriculture, sylviculture et aquaculture (émissions liées aux épandages d'engrais...etc.)

11. Autres sources et puits (sources biogéniques, forêts, prairies...etc.)

II.3.3. Types d'inventaires

La méthode de calcul des émissions varie selon le problème posé. Pour cela, trois modèles se différencient par leur niveau de précision ou d'agrégation sont élaborés: un modèle de base, un modèle agrégé et un modèle désagrégé.

- Le modèle de base (ou central) de calcul des émissions des transports est basé sur une description fine du parc de véhicules et sur une prise en compte des conditions de circulation à travers la seule vitesse moyenne du trafic. Au niveau européen, cela correspond aux modèles Copert 1 (Eggleston et *al*, 1993), COST 319/MEET/Copert 3 (Joumard; et *al*, 1998). Ce type de modèle, décrit est bien adapté aux inventaires internationaux et urbains. Il est cependant trop complexe à utiliser pour des calculs rapides et pas assez précis pour certaines applications à micro échelle, d'où le développement des modèles agrégés et désagrégés.
- Les modèles agrégés d'inventaires sont issus du modèle de base par intégration de certains paramètres: on peut par exemple agréger les quelques dizaines de classes de véhicules du modèle de base en seulement trois grandes classes de véhicules (deux roues, voitures particulières et véhicules utilitaires), ou intégrer tous les paramètres de description des usages et notamment la vitesse moyenne en urbain, route et autoroute. A la limite on peut intégrer tous les paramètres du modèle de base pour obtenir un facteur d'émission unique par véhicule. Kilomètre, quel que soit le véhicule et ses conditions d'utilisation. Ces intégrations se traduisent par une beaucoup plus grande facilité d'utilisation; en contrepartie elles sont spécifiques à une situation donnée, caractérisée par un parc de véhicules, des conditions de conduite, des conditions ambiantes...et difficilement utilisables dans des conditions assez différentes. On ne peut donc disposer d'un modèle agrégé que si un modèle central a été développé auparavant pour le pays considéré avec tous les paramètres spécifiques correspondants. Ces modèles agrégés sont particulièrement utiles pour des estimations rapides ou à grande échelle, pour modéliser l'effet de serre par exemple.
- Les modèles désagrégés vont au-delà de la vitesse moyenne pour décrire les conditions cinématiques, en tenant compte de la vitesse instantanée, du taux d'accélération...Ils sont indispensables pour évaluer l'impact d'une nouvelle gestion de feux de circulation, d'une vitesse limite, ou pour calculer une distribution

longitudinale des émissions le long d'une rue, c'est-à-dire chaque fois que la vitesse moyenne du trafic se révèle trop synthétique. Malheureusement, les modèles de ce type existant aujourd'hui en Europe sont peu fiables, soit qu'ils soient construits à partir de données peu réalistes, soit qu'ils tiennent compte de manière inappropriée des conditions de conduite (Joumard et al, 1998). Les modèles désagrégés sont donc indispensables pour certaines applications mais sont encore à construire.

II.4. Méthodologie de réalisation d'un inventaire

Un inventaire d'émission est communément considéré comme une «description qualitative et quantitative des rejets de certaines substances polluantes dans l'atmosphère issues de sources anthropiques et/ou naturelles pour une zone géographique et une période de temps données». Il consiste en un calcul théorique des flux de polluants émis dans l'atmosphère (masses de composés par unité de temps). Ce calcul est généralement réalisé par un croisement entre les données dites primaires (statistiques, comptages routiers, enquêtes, consommations énergétiques...) et des facteurs d'émissions issus d'expériences métrologiques ou de modélisation. (Air Rhône-Alpes, 2013).

Afin de pouvoir maîtriser la pollution de l'air, il est primordial de connaître non seulement les sources de pollution mais aussi de les quantifier. Pour cela, les données de base d'un inventaire comme les facteurs d'émissions unitaires et l'activité, sont souvent mal connues. Pour cela, on a recours soit à l'utilisation de valeurs par défaut non représentatives de la situation réelle d'un pays ou d'une région, soit à leur estimation. Les résultats d'inventaire obtenus et leur représentativité dépendent des données en entrée de l'inventaire.

L'établissement d'une méthodologie complète de réalisation d'inventaire est une tâche très lourde. Elle n'est à la portée que d'un organisme supranational tel la CEE (EEA) ou les USA »Environmental Protection Agency» (EPA).

Dans le cas de l'Europe, la méthodologie considérée comme référence est celle de CORINAIR, la branche qualité de l'air du programme européen CORINE (Coordination d'information Environnementale) dépendant de l'EEA. Cette méthode est exposée dans plusieurs documents méthodologiques parmi lesquels on peut citer l'Atmospheric Emission Inventory Guide Book (AEE, 2002).

L'équation de base du calcul d'inventaire paraît a priori simple: c'est le produit du flux d'émission par l'activité de la source d'émission considérée :

$$E = A \times Fe \quad (II.1)$$

Avec : E est l'émission massique (ou flux d'émission massique) en tonnes. A est l'activité des émetteurs (kilométrage ou tonnage). F_e est un facteur d'émission unitaire de polluant (en g/km)

La forme désagrégée de cette équation, en considérant différents types de sources ayant des activités et des facteurs d'émission unitaires différentes, peut s'écrire sous la forme:

$$E = \sum_{ijkl} A_{ijkl} F_{e_{ijkl}} \quad (\text{II.2})$$

Où i, j, k et l sont les variables des différentes classes de sources polluantes considérées telles que la catégorie de véhicules, le type de carburation, la puissance, la technologie, etc. Pour chaque cas, on détermine l'activité, qui est le kilométrage parcouru par unité de temps considéré.

Ces dernières années, plusieurs études ont été réalisées en utilisant des méthodologies différentes pour estimer l'inventaire des émissions [François et al. 2004; Martinet, 2004]. Ces méthodes consistent en l'approche bottom-up et l'approche Top-down. Il a été convenu par plusieurs chercheurs que la combinaison des deux approches est préférable pour l'estimation des émissions urbaines (Friedrich et Reis, 2004; Vivanco et Andrade, 2006; Parrish, 2006) à défaut de données pour chaque approche.

Récemment Ho et Clapier (2011) ont proposé une méthodologie efficace pour la production de l'inventaire des émissions avec seulement quelques données. Elle consiste en la combinaison des deux approche top-down et bottom-up, tout en faisant la classification des véhicules et des rues par catégorie. Ceci peut être fait à partir des mesures (Belalcazar et al, 2010) ou à l'aide d'une méthodologie Européenne appelée COPERT que nous détaillerons dans ce qui suit.

II. 5. La méthodologie COPERT

Le modèle COPERT III calcule, sur une base combinée des données d'activités qu'on va lui injecter (parc véhicules, kilométrages annuelles parcourus, ...) et des facteurs d'émission, le total des émissions, issues du trafic routier, pour chaque polluant considéré. Ce total d'émissions est la somme de trois émissions qui est calculé par l'équation suivante :

$$E_{Total} = E_{Hot} + E_{Cold} + E_{Evap} \quad (\text{II.3})$$

Où: E_{Total} est l'émission totale d'un polluant donné. E_{Hot} est Émissions à chaud: émissions pendant la phase chaude du moteur (température d'eau $\geq 70^\circ\text{C}$). E_{Cold} étant l'émissions à froid: émissions pendant la phase froide du moteur (Température d'eau

< 70°C), c'est la phase de démarrage du moteur et, enfin, E_{Evap} est l'émissions par évaporation: émissions dues à l'évaporation du carburant (essence)

Les émissions polluantes des véhicules dépendent des conditions de roulage de ces derniers, suivant la gamme de vitesse pratiquée et selon le type de voirie empruntée (urbain, rural, autoroute). Donc des différents états d'opération des moteurs des véhicules résultent des émissions distinctes. Par conséquent, les facteurs d'émission varient selon chaque situation motrice. L'équation (1) peut s'écrire encore sous la forme suivante:

$$E_{Total} = E_{Urban} + E_{Rural} + E_{Highway} \quad (II.4)$$

Où: E_{Urban} est l'émission en milieu urbain. E_{Rural} est l'émission en milieu rural et $E_{Highway}$ étant l'émission en milieu autoroutier

Le calcul des émissions polluantes totales est effectué en combinant des données d'activité pour chaque catégorie de véhicule avec des facteurs d'émission appropriés, qui varient selon des données d'entrée (conditions de roulage, conditions climatiques) fournis par l'utilisateur (qu'on verra par la suite). L'organigramme ci-dessous montre les différentes données nécessaires en entrée et les différentes étapes intermédiaires avant d'arriver à la phase calcul.

II.5.1. Données d'entrée et de sortie de COPERT

Pour estimer les émissions polluantes, le modèle COPERT III a besoin en entrée d'une base de données qui doit être structurée sous une forme matricielle dans un fichier Excel pour être finalement et facilement importé par cette application. Cette base de données comprend les données du parc véhicules roulant, des kilométrages annuelles moyens parcourus, des vitesses moyennes pratiquées dans les différentes voiries (urbain, rural, autoroute), des différentes proportions des kilométrages annuels effectués dans les types de voirie, des températures ambiantes (minimales et maximales) mensuelles des 12 mois et des consommations annuelles de carburants ainsi que leurs compositions en soufre et plomb (et d'autres composés).

Pour une année de référence (où on veut calculer les émissions polluantes), les données du parc roulant (population) doivent être structurés et réparties par classe de véhicules (VP, VUL, TC, PL, 2 roues), par type de carburant (essence, diesel, GPL), par gamme de cylindrées (pour les VP) et par PTAC (Poids total autorisés en charge) pour les PL, et par législations (technologies ou normes).

Aussi, à chaque ligne de cette matrice on lui fait correspondre un kilométrage annuel moyen parcouru, les proportions (%) de ce kilométrage dans les trois types de voirie (urbain, rural, autoroute) et les vitesses moyennes pratiquées dans chacune de ces voiries.

Ces différentes vitesses et proportions varient dans le temps (annuellement). Les données des consommations annuelles de carburants sont introduites par type (Essence Plombé, Essence sans Plomb, Diesel et GPL). Par contre, ces données ne servent pas pour calculer les émissions polluantes par le modèle COPERT. Elles servent pour faire le bilan de carburant entre celles-ci (données utilisateur) et celles calculées par COPERT. D'autres données citées plus haut (comme les températures) ne sont pas représenté ici sous forme de tableaux. Cette matrice de données représente uniquement l'état du parc véhicules pour une année de référence donnée qui est calculée à partir d'une base de données globale qui contient tout un ensemble de données sur le parc véhicules (et ses différentes caractéristiques) sur période successive d'années à laquelle on s'intéresse d'étudier l'évolution des émissions polluantes

Le modèle COPERT III couvre les principaux polluants: CO, NO_x, VOC, CH₄, CO₂, N₂O, NH₃, SO_x, les particules issues du diesel (PM), et autres métaux lourds contenus dans le carburant (plomb, cadmium, cuivre, chrome, nickel, sélénium et zinc). Ainsi, une fois le calcul fait, COPERT III donne en sortie les émissions annuelles à chaud, à froid et par évaporation (en Tonnes) des différents polluants, par classe de véhicules, par type de carburant et par puissance, détaillées comme dans la matrice de données d'entrée.

II.6. Modèle EMISENS

Beaucoup d'études et de méthodologies existent pour estimer l'inventaire des émissions (François et al, 2004 ; Martinet, 2004). Ces méthodes sont classées comme bottom-up ou une approche top-down. Plusieurs auteurs ont recommandé une combinaison des deux approches pour l'estimation des émissions urbaines (Friedrich et al., 2004; Vivanco and Andrade, 2006) que les deux approches appliquées sur la même région ne donnent généralement pas les mêmes résultats et les causes de ces différences sont très difficiles à identifier. Toutes ces méthodes ont besoin d'une grande quantité de données, mais en particulier dans les pays en développement, il y a un manque général de capacité pour la collecte et l'évaluation des données, pour leur transformation en informations utiles et de leur diffusion.

Récemment, Ho et Clappier (2011) ont proposé une méthodologie efficace pour produire l'inventaire des émissions avec seulement quelques données. La méthodologie a été conçue pour combiner à la fois ascendante et l'approche descendante fin de gagner en cohérence. Au

lieu de faire la distinction brins de toutes les rues, des véhicules et de leurs facteurs d'émission pour les polluants associés comme les classiques émissions de la circulation des modèles, des rues et des véhicules sont classés par catégories. Les facteurs d'émission moyens doivent alors être spécifiés pour chaque catégorie de véhicule. Cela peut être fait à partir des mesures (Belalcazar et al, 2010) ou de la COPERT de méthodologie européenne. Ce regroupement en catégories est utilisé pour calculer les émissions plus rapidement à partir de données sur la flotte de véhicules: nombre de véhicules dans chaque catégorie, les flux de véhicules, la vitesse des véhicules, facteur d'émission moyen, etc. Ce modèle calcule également les incertitudes liées aux paramètres d'entrée et d'identifier, qui ont besoin d'être mieux estimée à améliorer de manière significative le résultat. L'outil EMISENS a été testé sur la ville de Strasbourg en France et appliqué aux villes de Ho Chi Min hau Vietnam et Bogota en Colombie. Il est également appliqué à la ville d'Agadir au Maroc. Cette méthode est bien expliqué dans Ho (2010).

EMISENS calcule dans un premier temps, les émissions globales de la zone étudiée en utilisant une approche Top-down (de haut en bas), puis, en utilisant une méthodologie bottom-up, de distribuer ces émissions dans l'espace et le temps. Au lieu de différencier chaque segment de route et les véhicules associés et des facteurs d'émission, EMISENS est basée sur des informations agrégées dans des véhicules et de la rue des catégories et des facteurs moyens d'émissions par catégorie. Cette méthode produit un gain important dans la quantité de calculs nécessaires pour calculer les émissions. Il permet ainsi une analyse d'incertitude des résultats en ce qui concerne les paramètres d'entrée et de leurs valeurs d'erreurs respectives en utilisant la méthode de Monte-Carlo. Ce qui permet à l'utilisateur d'identifier les paramètres qui devraient être révisées en priorité afin d'obtenir une amélioration significative des résultats (Robra, 2010). Le calcul des émissions par le modèle EMISENS est basé sur un programme informatique pour calculer les émissions de transports routiers par la méthodologie COPERT (Ntziachristos et al, 2007), qui prend en compte les émissions des véhicules chauds, surémissions liées à démarrage à froid selon la durée moyenne de voyage et par évaporation les émissions des véhicules.

Le choix des catégories de véhicules nous permet d'estimer les facteurs d'émission moyens de la distribution des types de véhicules dans ces mêmes catégories. Par conséquent, les émissions peuvent être calculées en utilisant un facteur d'émission moyen par catégorie et une activité moyenne pondérée pour chaque catégorie. Ainsi, nous pouvons calculer les facteurs d'émission moyens par catégorie de véhicule, pour chaque polluant et pour chaque type

d'émission prise (chaud, froid et évaporation) en tenant compte de la proportion de chaque type de véhicule dans une catégorie de véhicules.

Il permet ainsi d'analyser l'incertitude des résultats obtenus concernant les paramètres d'entrées et leurs valeurs d'erreurs respectives en utilisant la méthodologie de Monte Carlo. Ce qui permet à l'utilisateur d'identifier les paramètres qui devraient être révisées en priorité afin d'obtenir une amélioration significative des résultats (Robra, 2010).

C'est les émissions produites pendant la phase où les conditions thermiques de post-traitement du moteur du véhicule sont stables. Elles dépendent d'une variété de facteurs comprenant le kilométrage annuel parcouru par chaque catégorie et classe de véhicule, les vitesses employées dans les différentes voies (urbain, rural, autoroutier), l'âge et la puissance des véhicules. L'équation employée pour l'estimation de ces émissions est:

$$E_{Hot\ i,j,k} = N_j \cdot M_{j,k} \cdot e_{Hot;i,j,k} \quad (II.5)$$

Où: $E_{Hot\ i,j,k}$: émissions à chaud du polluant i en [g] produites par le véhicule de classe j roulant dans la voie de type k ; N_j : nombre de véhicules [veh] de classe j ; $M_{j,k}$: kilométrage annuel parcourue par le véhicule de classe j sur la voie de type k ; $e_{Hot\ i,j,k}$: facteur d'émission en [g/km] du polluant i pour la classe j de véhicule circulant sur la voie de type k .

Les émissions à chaud dépendent principalement de la technologie des véhicules (contrôle des émissions et après le traitement) et les conditions de conduite. La vitesse moyenne du véhicule est un paramètre important, car il peut être utilisé pour caractériser les modes de conduite. Les vitesses lentes rencontrées dans les villes incluent habituellement stop-and-go conditions, qui peut significativement augmenter les émissions. D'autre part, les vitesses élevées rencontrées sur les autoroutes exigent puissance de sortie élevée, ce qui augmente encore les niveaux d'émission. En ce qui concerne les émissions, des vitesses modérées sont les plus favorables (Krzyzanowski et al, 2005).

II.6.2. Les surémissions à froid

Les émissions associées à des démarrages à froid sont principalement significatif pour les véhicules à allumage commandé de catalyseur, en raison de la faible efficacité du catalyseur avant que la température d'allumage (la température à laquelle 50% des conversions de monoxyde de carbone ou de l'oxyde nitrique est atteinte) est atteint et en raison de la suraccumulation du moteur nécessaire pour maintenir la maniabilité malgré la

volatilisation de carburant incomplète. Bien entendu, les gaz d'échappement augmentent avec la diminution de la température ambiante (Joumard et Sérié, 1999). Les performances observées dépendent du type de polluant. La plupart de démarrage à froid plus d'émission de polluants, qui dépend de l'enrichissement du combustible, se produit principalement dans les premières fractions du voyage. Estimation de la surémission de moteur de démarrage à froid à un niveau flotte est une fonction du polluant considéré, la température ambiante, la technologie des véhicules, la vitesse moyenne et la distance parcourue en moyenne.

L'effet de démarrages à froid est principalement concentré dans les zones urbaines, où la plupart des voitures de tourisme commencent et où de nombreux voyages sont plus courts que 6 km. En conséquence, après le traitement du système ne fonctionne pas dans des conditions optimales la plupart du temps; ce qui conduit à des émissions relativement élevées par la distance parcourue, comparativement à longue distance conduite (même à grande vitesse) sur les routes en dehors des zones urbaines et sur les routes.

C'est des émissions supplémentaires aux émissions à chaud. Généralement elles sont produites en milieu urbain lors du démarrage à froid des véhicules et sont donc estimées uniquement pour la fraction du kilométrage parcouru tant que le moteur n'a pas encore atteint la stabilité thermique de post-traitement. Cette fraction dépend de la région d'opérabilité du véhicule (qui dépend des conditions climatiques). Par ailleurs ces émissions ne dépendent pas de l'âge de ces derniers. Elles sont calculées en utilisant la formule suivante:

$$E_{Cold;i,j} = \beta_{i,j} \cdot N_j \cdot M_j \cdot e_{Hot;i,j} \cdot [e_{Cold}/e_{Hot\ i,j-1}] \quad (II.6)$$

Où: $E_{Cold;i,j}$: Émissions à froid du polluant i causées par le véhicule de classe j

$\beta_{i,j}$: Fraction de kilométrage parcouru pendant la phase froide du moteur

N_j : Nombre de véhicules [veh] de classe j

M_j : Kilométrage total parcouru par le véhicule de classe j

$e_{Cold}/e_{Hot\ i,j}$: Rapport Cold sur Hot des émissions du polluant i produites par le véhicule de classe j.

Le paramètre β dépend de la température ambiante t_a (température mensuelle moyenne) et de la distance moyenne de parcours l_{trip} . Cependant, la donnée l_{trip} n'est pas disponible dans beaucoup de pays pour toutes les classes de véhicule, une valeur européenne de 12.4 km a été établie (André, 1998).

Le rapport e_{Cold} / e_{Hot} dépend également de la température ambiante et du polluant considéré.

II.6.3. Les émissions par évaporation (COV)

Les pertes par évaporation sont une autre source d'émissions de COV non méthaniques des véhicules à essence. L'évaporation de carburant se produit que des pertes diurnes (en raison de la variation de la température du contenu du réservoir de carburant pendant la journée), que chaudes et chaleureuses absorber les pertes dans le système mélange de préparation (en raison de la température élevée du moteur) et que les pertes en mouvement pendant le fonctionnement du véhicule. Pour une flotte de véhicules, les pertes par évaporation dépendent de la variation de la température ambiante, la volatilité du carburant et signifient la distance parcourue. Les pertes par évaporation, cependant, ont été significativement réduites dans les voitures modernes, qui sont équipés de systèmes scellés d'injection de carburant et réservoirs à charbon actifs dans leurs événements des réservoirs (Krzyzanowski et al, 2005). Elles sont très sensibles à la température. Il y a trois sources primaires d'émissions par évaporation qui sont estimées séparément :

- émissions journalières (Diurnal émissions): associées à la variation quotidienne de la température ambiante, ces émissions résultent de l'expansion de la vapeur à l'intérieur du réservoir d'essence pendant le jour. Sans système de contrôle d'évaporation, une partie du volume croissant de la vapeur de carburant est mise à l'air libre,
- émissions par imbibition chaude (Hot soak emissions): elles sont causées quand un moteur chaud est arrêté. La chaleur du moteur et du dispositif d'échappement augmente la température du carburant qui ne coule plus dans le système,
- émissions par pertes courantes (Running losses): elles sont le résultat de la vapeur générée dans le réservoir d'essence pendant que la circulation du véhicule. Elles sont plus significatives au cours des périodes où la température ambiante est élevée.

Pour estimer les émissions par évaporation, on utilise l'équation suivante:

$$E_{EVA,VOC;j} = 365 \times N_j \times (e^d + S^c + S^{fi}) + R \quad (II.7)$$

Où: $E_{EVA,VOC;j}$: Émissions (COV) par évaporation causées par les véhicules de classe j

N_j : Nombre des véhicules à moteur à essence de classe j

e^d : Facteur d'émission moyen pour les pertes journalières des véhicules à moteur à essence équipés de réservoir en métal (dépend de la température ambiante moyenne mensuelle, de la variation de la température et de la volatilité du carburant (RVP))

S^c : Facteur d'émission par imbibition chaude (warm soak) des véhicules à moteur à essence équipés d'un carburateur

S^{fi} : Facteur d'émission par imbibition chaude (warm soak) des véhicules à moteur à essence équipés d'une pompe à injection de carburant

R : Pertes chaudes en circulation (hot and warm running losses)

II.7. Résultats par Emisens

Le modèle EMISENS a été développé par le professeur Alain Clapier au niveau de l'université de Strasbourg, dont l'objectif est d'évaluer et de distribuer les émissions du trafic routier. Le modèle fonctionne à partir des facteurs d'émission moyens, qui intègre la méthodologie européenne COPERT. Cette méthode repose sur le nombre, la catégorie et la vitesse des véhicules. Contribue ainsi à évaluer les émissions des polluants avec une répartition spatio-temporelles. Nous avons opté pour ce modèle pour évaluer les différents polluants engendrés par le transport urbain au niveau de la ville de Batna.

Une enquête a été menée afin d'avoir le nombre de véhicules par catégorie circulants sur les différentes voies urbaines (le détail de l'enquête sera présenté au chapitre III). Les résultats vont servir comme données d'entrée pour le modèle EMISENS.

Les résultats qui seront présentés (tableau II.1) prennent en charge les émissions à chaud des véhicules (E_{Hot}), les surémissions liées au démarrage à froid selon la longueur moyenne de trajet (E_{Cold}) et les émissions par évaporation des véhicules en circulation (E_{Evap}) selon la formule suivante:

$$E = E_{Hot} + E_{Cold} + E_{Evap} \quad (II.8)$$

Tableau II.1. Résultats par le modèle Emisens

Année	Polluants (Tonnes/an)					
	CO	PM	NO _x	CH ₄	VOC	MNVOC
2005	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2006	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2007	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2008	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2009	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2010	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2011	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2012	██████	██████	██████	██████	██████	██████
2013	██████	██████	██████	██████	██████	██████

Les résultats présentés dans le tableau montrent l'augmentation des émissions au fil des années pratiquement pour tous les polluants. A part d'une incohérence pour certaines valeurs qui reste à vérifier par la démarche empruntée dans le chapitre III.

II.8. Conclusion

L'évaluation des émissions polluantes est une condition préalable pour la planification et le développement des systèmes de transports urbains durables. La majorité des études existantes sur le transport urbain durable est axée sur la pollution causée par le transport urbain de passagers. Cet inventaire constitue un outil fondamental pour les études d'impacts sur l'environnement et la santé de la population, la gestion du trafic en milieu urbain, ainsi que le développement de stratégies et de politiques de transport routier future.

La réalisation de tels cadastres est néanmoins une tâche complexe et prend en compte un grand nombre de paramètres qui sont rarement connus avec exactitude. Dans le chapitre suivant, une nouvelle démarche est exposée pour surmonter les difficultés liées à l'application du modèle Emisens.

Chapitre III

Evaluation des émissions dues au trafic routier

Résumé:

L'urbanisation rapide entraîne une augmentation des émissions de la pollution de l'air. Ces émissions sont généralement liées à la production et la consommation de l'énergie, les activités industrielles ainsi que le transport dans les zones densément peuplées.

Le problème de la pollution de l'air en milieu urbain se pose à toutes les agglomérations Algériennes. Tout comme les grandes villes Algériennes, la ville de Batna devenue une métropole urbaine dont le parc automobile ne cesse d'augmenter et qui est pratiquement vétuste, provoquant ainsi une demande croissante en carburant et indéniablement une intensification des émissions polluantes. Par ailleurs, la structure du bilan de la consommation énergétique de la ville révèle que la plus forte part est attribuée aux hydrocarbures essence et gasoil, principaux émetteurs de polluants atmosphériques.

Devant cette situation, il est devenu alors très urgent de s'interroger sur l'appui éventuel qu'on pourrait apporter à ce secteur afin de prendre des mesures de la gestion de la qualité de l'air dans une perspective de durabilité. Ce chapitre apporte une modeste contribution à l'évaluation de l'état du transport routier et son impact sur la qualité de l'air dans la ville de Batna.

III.1. Introduction

Le transport routier est une source majeure d'émissions de polluants atmosphériques dans le monde entier, en particulier dans les zones urbaines. En outre, sa contribution aux émissions totales a augmenté au cours des dernières décennies plus rapidement que d'autres sources (Lumbreras et Borge, 2014 et Metz et al., 2007). Cependant, il libère de grandes quantités de substances dangereuses dans l'atmosphère, que celles-ci menacent le développement durable de notre planète en général, et la qualité de l'air en particulier (HO, 2010).

Par ailleurs, les émissions atmosphériques du transport routier ont augmenté partout dans le monde au cours des dernières décennies plus rapidement que d'autres sources de pollution. Par exemple, ils contribuent à plus de 25% des émissions totales de : CO , CO_2 , NO_x , et les émissions de particules fines dans la plupart des pays européens. Cette situation montre l'importance du transport routier lors de l'application des normes de qualité de l'air appliqué à ces polluants.

Parmi les émissions du transport routier, le CO_2 a reçu une attention particulière, parce qu'il est en croissance constante. Bien qu'il existe des méthodes par lesquelles il peut être réduit, comme l'amélioration des infrastructures de transport, les progrès dans les systèmes de technologie et de gestion de véhicule, la stabilisation des émissions de CO_2 du transport routier est susceptible d'être une tâche compliquée en raison de la hausse des besoins en trafic dans le monde entier.

Ce chapitre est consacré dans une première étape à décrire la situation du transport routier dans la ville de Batna, considérée comme l'une des grandes agglomérations Algériennes, ainsi que les différents impacts engendrés. Ensuite, de calculer la quantité de CO_2 rejetée par le parc roulant de la ville et enfin d'élaborer un inventaire d'émissions polluantes issues du transport routier en utilisant des facteurs d'émissions et des logiciels, qui nous permettront par la suite de spatialiser les concentrations trouvées, afin de servir d'outil d'aide à la décision pour les décideurs en matière de gestion de la qualité de l'air en seconde étape.

III.2. Réseau de voirie de la ville de Batna

Le réseau de voirie de Batna peut être décrit selon sa configuration suivante:

- ✓ **Réseau de contournement (ou d'évitement)** : Comprend des voies dont le rôle est d'assurer la double liaison interurbaine et le contournement de la ville.

- **Evitement Nord:** Contourne Batna au sud, pour permettre les échanges entre les deux axes importants RN 3 et RN 31. Il est caractérisé par une chaussée en bon état et des caractéristiques géométriques relativement satisfaisantes.
- **Evitement Sud:** Cette voie est en bon état également. Elle longe successivement la ZHUN II, le quartier de Bouakal et Kechida et la zone industrielle.
- ✓ **Réseau d'échange (pénétrant) :** Ce réseau permet, outre la liaison entre la commune de Batna et les localités environnantes, l'échange entre le centre-ville de Batna et les quartiers périphériques. Il rayonne du centre-ville vers les quatre points cardinaux de la ville. Certains axes sont constitués par le prolongement des routes nationales (RN 3 et RN 31), d'autres sont de simples boulevards urbains ayant un rôle de distribution et de collecte de trafic au niveau des principaux quartiers, ainsi qu'une fonction de liaison entre les différentes composantes de la ville.
- ✓ **Réseau de desserte du centre-ville :** Ce réseau regroupe deux catégories de voies, à savoir :
 - **Voies artérielles:** Ces voies sont le prolongement physique des axes appartenant au réseau d'échanges et assurent la distribution du trafic à l'intérieur du centre-ville.
 - **Voies de desserte:** Cette catégorie regroupe toutes les rues qui débouchent sur les voies artérielles. Elles sont, soit parallèles, soit perpendiculaires à ces dernières. Elles assurent principalement la desserte fine des différents quartiers. Elles présentent, en outre, des caractéristiques géométriques assez bonnes (largeur de la chaussée de 6 m et plus).
- ✓ **Réseau de desserte locale des quartiers :** Celui-ci comprend toutes les rues situées à l'intérieur des quartiers délimités par les voies d'échange. Disposant d'emprises carrossables assez larges, certaines voies desservant les nouveaux quartiers (SAE, SONATIBA,...) favorisent la circulation routière à vive allure, ce qui augmente, sans doute le risque d'accidents. De ce fait, la ville de Batna est devenue une ville d'importance nationale avec toutes les contraintes que connaissent les grandes villes d'Algérie. Ainsi, elle a connu une importante croissance démographique et une urbanisation accélérée et donc des besoins accrus en déplacements motorisés.

III.3. Le parc véhicule de Batna par rapport au parc National.

Le parc automobile national comptait au 31/21/2012 4812555 de véhicules (ONS, 2012). Ce dernier est d'une part en augmentation de plus de 6 % par rapport à 2011 et de près de 30 % par rapport à 2006 d'autre part, pour une population d'environ 37 millions d'habitants. Jusqu'à lors, le rythme de croissance annuel du parc automobile continue d'augmenter. En réalité, le parc automobile Algérien devrait être comparé à des pays de même niveau de développement. Le Maroc, par exemple, ne compte que 1,5 million de véhicules pour une population de 33 millions d'habitants, comparable à pays. Cette impressionnante expansion du parc Algérien s'explique bien sûr par l'amélioration spectaculaire des ressources financières du pays apportée par la hausse des cours de pétrole dans les années 2000, la réception du réseau autoroutier Est-Ouest et le développement de la rocade des hauts plateaux, ainsi que l'autorisation de l'installation des concessionnaires automobiles dans le pays.

Par ailleurs, la ville de Batna possède une population de 302585 d'habitants, ce qui correspond à 0.81% par rapport à la population Nationale. Notons, que le parc automobile de la ville de Batna est de 95 mille véhicules (DRAG, 2012), ce qui correspond à 2% du parc automobile national. En effet, le taux de véhicule à Batna par habitant est de 0.31, alors que le taux national est de 0.13 véhicule /habitant, ce qui montre une densité de véhicule en circulation à Batna, qui se manifeste par un flux important engendrant ainsi une importante pollution.

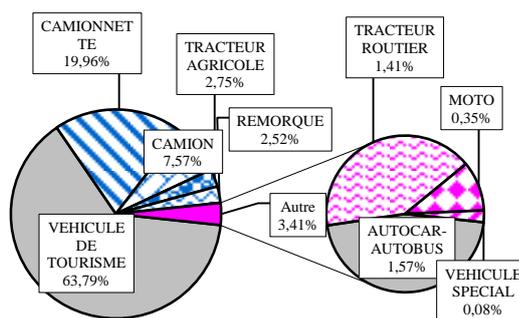


Fig. III.1. Répartition du parc National par catégorie

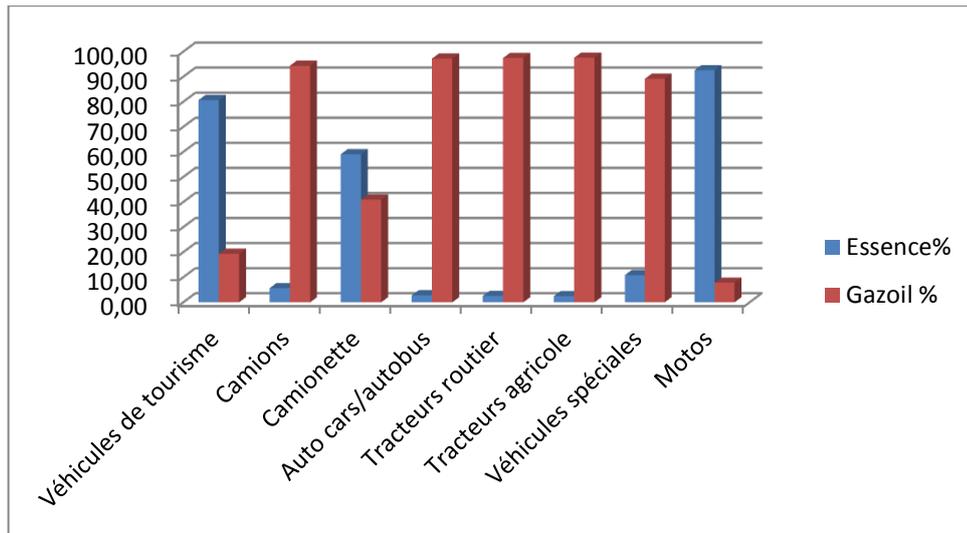


Fig. III. 2. Parc National par source d'énergie 31/12/2013

Les dysfonctionnements et la dégradation des transports publics à favorisé l'usage de la voiture particulière, en forte progression, mais ont encouragé aussi le développement des transports informels par taxis clandestins. En effet, selon une étude réalisée à Batna, montre que le transport informel par taxi connaît un développement très important. A cet effet, le transport par taxi clandestin participe à concurrence de 42 % dans le transport urbain par taxis (Boubakour, 2001).

En Algérie, où un tiers de la consommation énergétique finale est due au secteur des transports, l'essence représentait la source d'énergie pour plus de 72,67% des véhicules et en particulier pour 90,04% des véhicules de tourisme (ONS, 2009). Mais pour des raisons de prix à la pompe (le gazoil est deux fois moins cher que l'essence), l'on observe une forte tendance à la diésélisation du parc. Seulement 61.42% des véhicules immatriculés 2002 sont à l'essence. Cette tendance s'est accentuée et fortement puisque les statistiques au niveau national montrent que seuls 49.52% des véhicules immatriculés en 2006 fonctionnent à l'essence.

Sur un autre plan, concernant l'âge du parc. La situation n'est guère brillante en dépit du fait que l'on assiste depuis les dernières années à un rajeunissement rapide du fait de l'accès facilité des ménages algériens à la voiture (formule de crédit et facilité d'achat).

Selon l'Office National des Statistiques (ONS), 76,36 % du parc national en 2006 à 15 ans et plus d'âge. Pour les voitures, la situation est quasi similaire 74% du parc de véhicules de tourisme à 15 ans et plus d'âge.

En Algérie, tout le monde aspire à l'achat d'un véhicule particulier compte-tenu d'un certain nombre de facteurs :

- Dysfonctionnement et mauvaise qualité de service des transports publics;
- baisse relative et tendancielle du prix d'achat des véhicules neufs et écrasement des prix sur le marché de l'occasion;
- mise en place de formules de facilité d'achat à crédit;
- mais aussi et surtout pour des raisons de coût d'exploitation relativement bas (Carburant bon marché, notamment le gasoil).

III.4. Situation des transports et nuisances engendrées

L'agglomération de Batna devenue actuellement un grand centre de déplacements, affectée par les flux entrants et sortants, provoquant l'affaiblissement de la mobilité et parfois des congestions particulièrement aux heures de pointes. Les correspondances s'effectuent en grande partie au niveau du centre-ville, où elle enregistre le plus grand taux d'urbanisation (89,4%) (Rapport, 2005). Elle est passée de 236669 en 1995 à 302585 habitants en 2008, induisant une augmentation de la demande en transport (DPAT, 2008).

Celle-ci, implique forcément une surconsommation des carburants et par la même une augmentation de la pollution atmosphérique. Le parc roulant de la ville, regroupé au 31 décembre 2005, 31279 véhicules, par contre au 31 décembre 2013 est de 95239 véhicules répartis par catégorie selon le diagramme de la figure III.3 où l'on constate une grande proportion de véhicules légers (65,52%) (DRAG, 2012). La répartition par âge est illustrée sur la figure III.4, où l'on remarque la vétusté du parc, proportion qui avoisine les 60% supérieur à 20 ans ce qui intensifie les émissions des polluants.

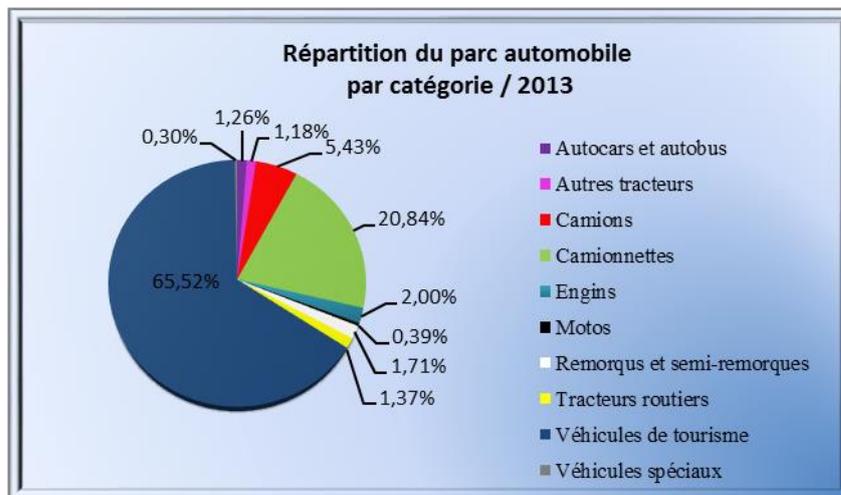


Fig. III.3. Répartition du parc automobile de la ville de Batna par catégorie au 31/12/2013

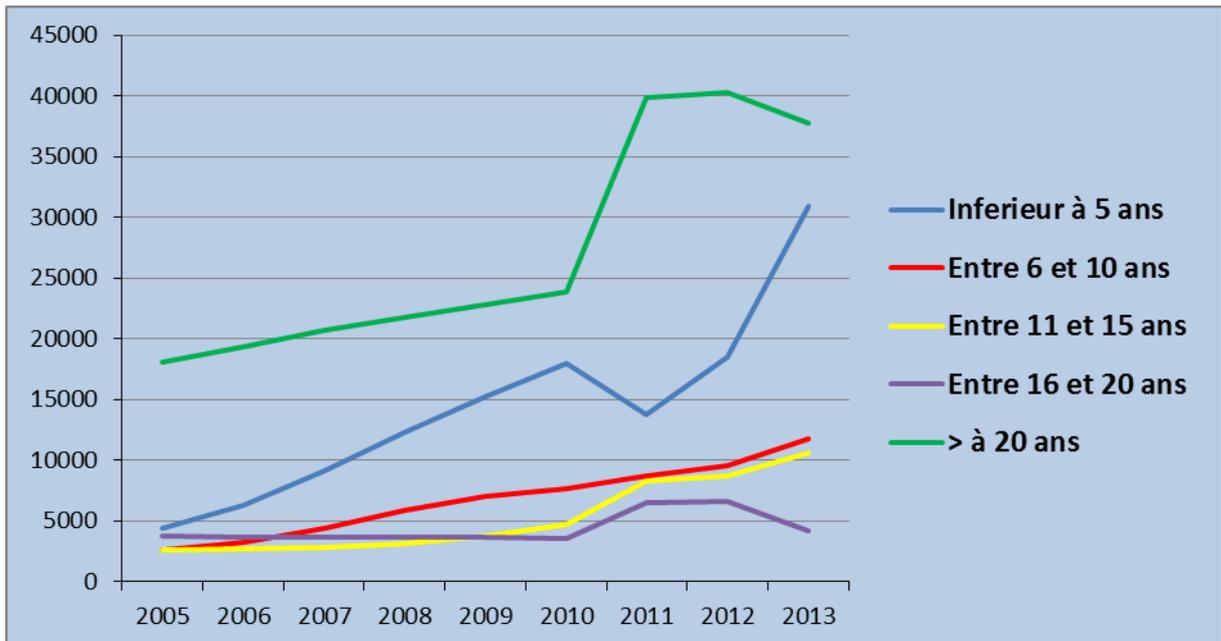


Fig.III.4. Répartition du parc automobile par âge

La figure III.4, montre cette évolution par âge. Il est à signaler que la forte croissance du parc automobile depuis l'année 2005, mais reste toujours vétuste, à défaut de la mise au rebut des plus âgées (plus de 20 ans) et le non maintien du bon état du véhicule en cours de circulation, ce qui accélère impérativement la dégradation de la qualité de l'air urbain.

S'ajoutant à ces problèmes, le degré de mobilité des biens et des personnes peut aussi se traduire en développement et progrès ou en un cumul de retard d'actions ce qui induit des congestions partielles ou globales. Les lieux de congestion de la voirie dans l'agglomération se diversifient dans leur évolution et se complexifient dans leurs causes. Comme dans toutes les villes, le centre possède quelques rues trop fortement circulées, en égard à la largeur et au bon état des chaussées. Il faut souligner la montée rapide de la congestion périphérique.

L'attrait de la voiture particulière, les facilités d'accès au crédit bancaire pour l'acquisition de véhicules et l'installation de concessionnaires automobiles, ont fortement contribué à l'équipement des ménages en voitures particulières, ce qui est bien illustré dans la figure III.5.

Nous remarquons une nette augmentation du parc automobile jusqu'à 2009, puis une légère régression suite à l'arrêt du crédit bancaire. Ensuite on remarque une progression à partir de 2010, suite à l'augmentation des salaires et aux primes données surtout pour tous les secteurs.

Il est à signaler aussi que la faiblesse de l'offre de transport collectif urbain qui ne répond aux normes, incite à l'augmentation du parc automobile privé, induisant forcément à la

saturation de la voirie et la réduction de la vitesse de circulation, provoquant ainsi des congestions qui quant à elles contribuent à une constante dégradation de la qualité de l'air urbain, par une croissance des émissions polluantes.

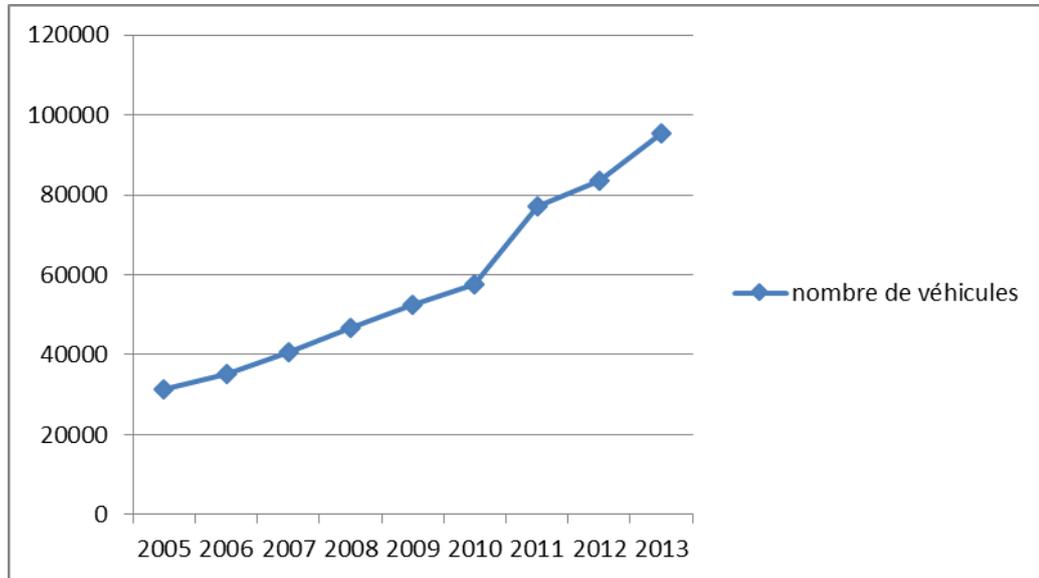


Fig.III.5. Evolution du parc automobile par années de la ville de Batna

A ce titre nous avons mené une enquête sur terrain, pour estimer le nombre de véhicules qui pénètrent par les accès principaux de la ville de Batna. Les flux traversant ces accès, constituent un facteur aggravant à la congestion de la voirie dans la ville de Batna. Les enquêtes menées renforcent cette hypothèse.

Les résultats obtenus sont décrits comme suit:



Fig.III.6. Carte représentant les trois accès à la ville de Batna

La ville de Batna a trois accès principaux, commençant par le premier accès Batna-Biskra, le second Batna- Constantine et enfin le troisième Batna –Khenchela

Tableau III.1. Flux entrant et sortant par le premier accès à la Ville: Batna- Biskra

Catégories de véhicules	V.P	V.U.L.	PL.	Bus	Motos
Flux entrant	4279	1516	1142	146	35
Flux sortant	4098	1504	1183	517	24

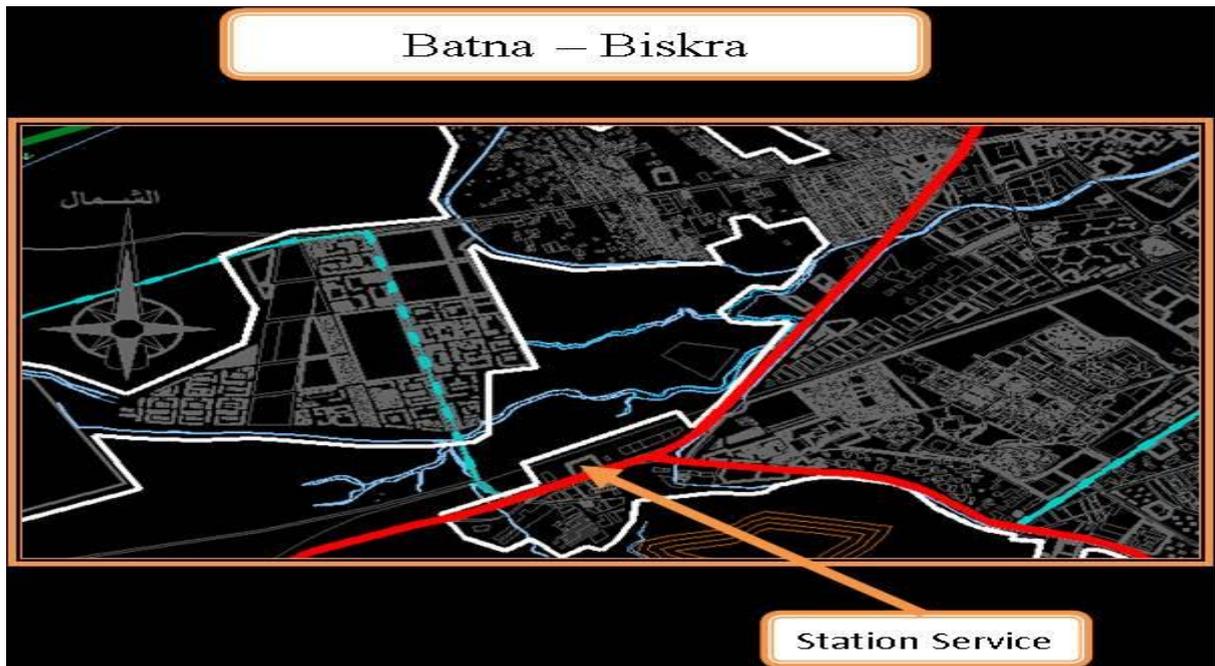


Fig.III.7. Carte du premier accès à la ville où l'enquête s'est effectuée

Tableau III.2. Flux entrant et sortant par le second accès à la ville: Batna- Constantine

Catégories de véhicules	V.P	V.U.L.	PL.	Bus	Motos
Flux entrant	1142	932	864	209	43
Flux sortant	1224	1020	908	932	34



Fig.III.8. Carte du deuxième accès à la ville où l'enquête s'est effectuée

Tableau III.3. Flux entrant et sortant par le troisième accès à la ville: Batna- Khenchela

Catégories de véhicules	V.P	V.U.L.	PL.	Bus	Motos
Flux entrant	4437	1601	801	541	26
Flux sortant	3510	1430	348	480	13

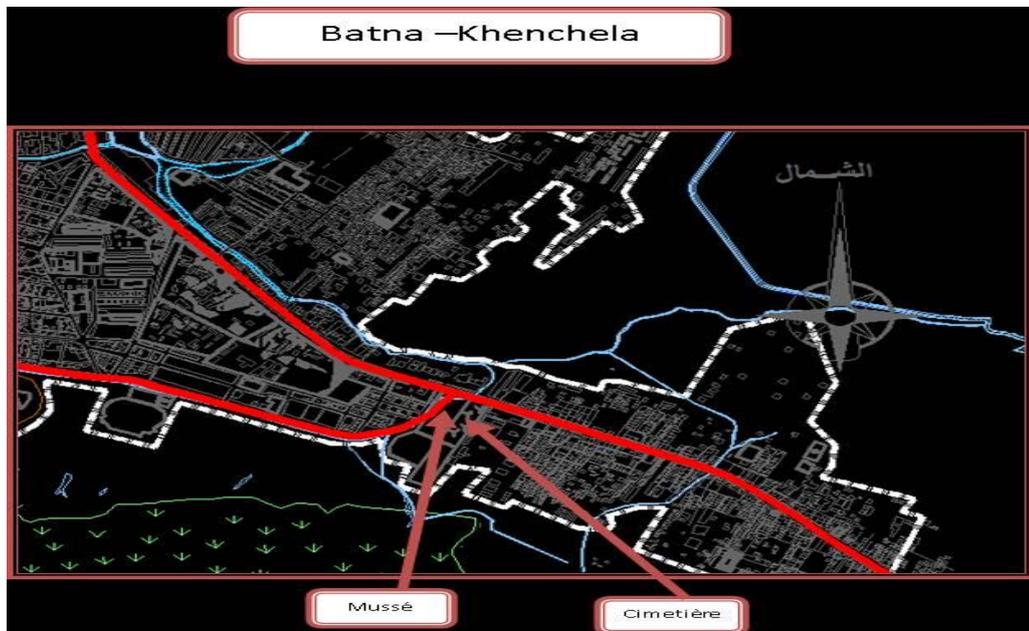


Fig.III.9. Carte du troisième accès à la ville où l'enquête s'est effectuée

Tableau III.4. Flux entrant et sortant des trois accès à la ville

Accès	Accès 1	Accès 2	Accès 3
Flux entrant	7118	3190	7406
Flux sortant	7326	4118	5781

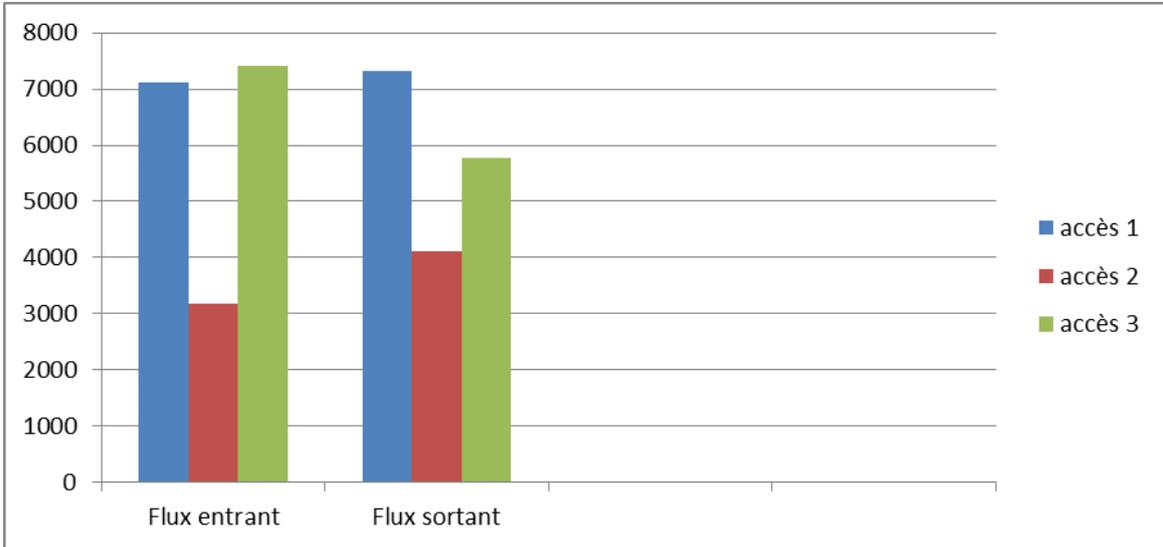


Fig.III.10. illustrant le flux entrant et sortant des trois accès à la ville

Afin de consolider nos résultats obtenus pour le comptage de véhicule entrant et sortant de la ville de Batna, nous avons réalisé une autre enquête dans l'objectif est d'estimer le nombre de véhicule circulant en zone urbaine, confirmant la participation de ces derniers aux émissions polluantes urbaines

L'enquête qu'on a menée consiste à choisir les routes représentatives selon le flux ou la densité du trafic, ainsi que le type de route (route principales, secondaire et tertiaire). Sachant que la ville de Batna a été scindée selon le code communal en 07 zones.

Pour ce faire, nous avons réalisé une carte de la ville géo-référencée, afin de répartir le flux des véhicule sur chaque catégorie de route et cela sur tout le sur l'ensemble du réseau routier de la ville (figure III.11).

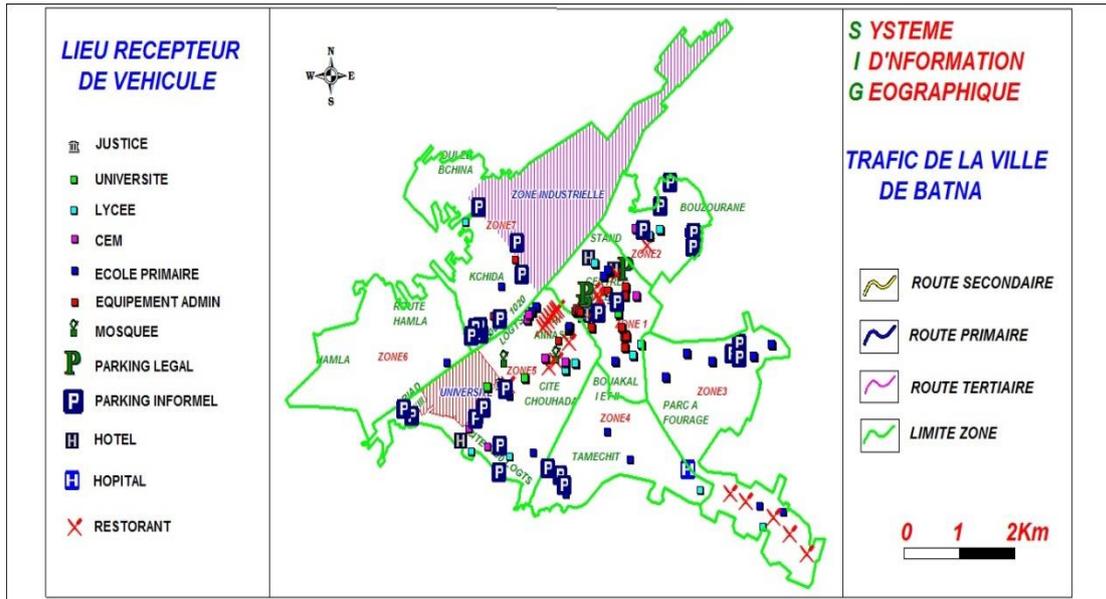


Fig. III.11. Cartographie de la ville de Batna (Aouragh et Bourmada, 2014).

Par ailleurs, les enquêtes que nous avons menés nous ont permis de déterminer d’une part le flux de véhicule réparti sur différentes catégories de routes et de zone et d’autre part la moyenne des heures de pointes, afin de déduire l’espace géographique le plus représentatif du trafic routier au niveau de la ville de Batna. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III.5 et figure III.12.

Tableau III.5. Répartition du flux par zone en heure de pointe moyenne

Zones / Routes	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
Route principale (Véhicule.)	539.33	208	257	231.66	327	345.66	374.33
Route secondaire (Véhicule.)	334.33	230	181.33	103.66	278.66	85	120.66
Route tertiaire (Véhicule.)	239.33	129.33	121	28.66	81.33	26	88.33
Véhicule moyen	1112.99	567.33	559.33	363.98	286.99	456.99	583.32
Heure de pointe moyenne. (mn)	10 10.66 5.16	4.83 7 34.33 s	8.16 11 7.66	11 8.33 6.33	13.66 8.33 6	5 3 4	8 9.66 6.66

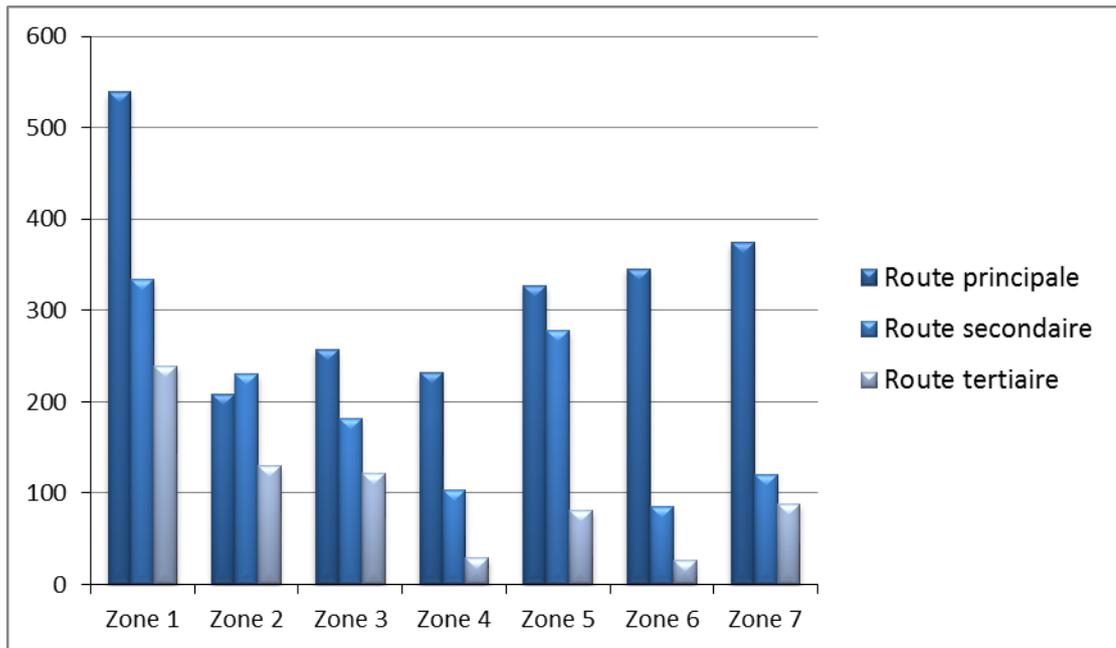


Fig. III.12. Le flux par zone et par catégorie de route en heure de pointe

III.4.1. Evolution du transport routier

L'éclatement du tissu urbain et la forte densité de la population dans la ville de Batna, a donné naissance à un besoin accru en déplacement motorisé, induisant ainsi à une augmentation de la demande en moyen de transport.

Le tableau III.6 illustre l'évolution du parc automobile de la ville selon la source d'énergie utilisée. On remarque bien que le parc automobile a tendance à être diéséliser de plus en plus et ceci pour son bas prix par rapport à l'essence.

Tableau III.6. Evolution du parc automobile par source d'énergie. Pourcentage de véhicules utilisant du gasoil ou de l'essence.

Années \ Énergie(%)	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Essence	63	60.82	58.83	57.77	56.86	56.54	56	55.54	49.38
Gasoil	37	39.18	41.17	42.23	43.14	43.46	44	44.46	50.62

Sachant que la ville de Batna n'est ni à caractère industriel, ni à caractère agricole. En se penchant aux quantités vendues de carburant, nous pouvons attribuer ces quantités vendues à une consommation utilisée par le secteur de transport routier, qui ne cesse d'augmenter. D'après les données du service de commercialisation NAFTAL Batna, la vente du carburant gasoil est en croissance constante à raison de son bas prix par rapport à l'essence, donnant l'opportunité aux propriétaires de véhicule à son utilisation, ce qui a été parfaitement illustré

dans la figure III.13. Où on constate qu'il y a une nette progression de la vente de cette source d'énergie (gasoil) par rapport aux autres sources, ce qui nous laisse à mettre l'accent sur la contribution aux émissions polluantes du trafic routier.

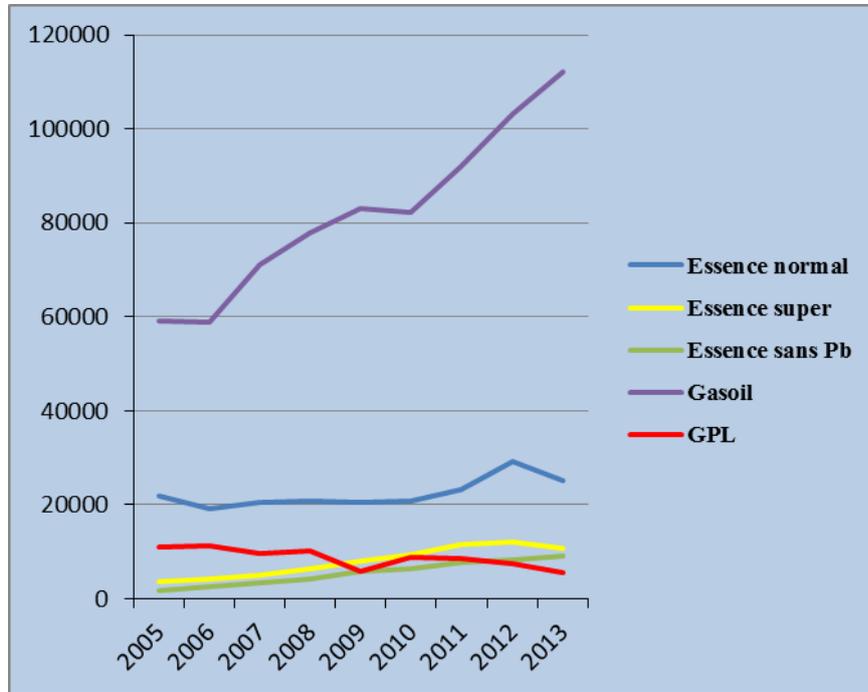


Fig. III.13. L'évolution des ventes de carburant (Quantités vendues par année. Unités en m^3/an).

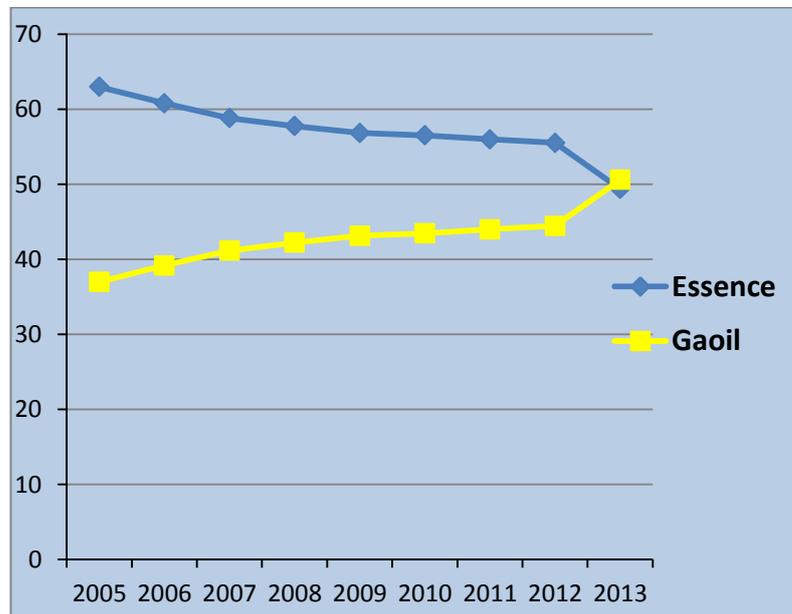


Fig. III.14. Evolution du parc automobile par source d'énergie

A travers cette figure (fig. III.14) nous constatons la progression du parc automobile diesel de 2005 jusqu'à 2010, puis il se stabilise pendant la période 2010- 2012, puis augmente de nouveau à partir de 2013. Ceci peut s'expliquer par le bas prix du gasoil, ainsi que de la durée de vie du moteur par rapport à celui du type essence.

III.5. Démarche d'évaluation de la quantité des polluants.

III.5.1. Enquêtes réalisées sur terrain

Les émissions polluantes des véhicules en circulation constituent non seulement un problème de qualité de l'air dans les villes telles qu'Alger (Mayer, 1999; Kerbachi et al., 2003 et 2006; Boughedaoui et al., 2004) mais aussi une source en constante croissance de gaz à effet de serre. La ville de Batna, n'en fait pas exception du fait de la croissance constante de son parc automobile, ainsi que la consommation de source d'énergie pour le trafic routier, ce qui provoque indéniablement des conséquences néfastes sur la qualité de l'air urbain.

L'enquête qu'on a menée consiste à choisir les routes représentatives constituant le réseau routier de la ville. Sachant qu'elle a été scindée en sept zones d'après le code communal de la ville. Scindé

Le comptage s'est fait de 7h à 19h sur les différentes catégories de route à savoir: route principale, secondaire et tertiaire. Les résultats de l'enquête sont regroupés dans les tableaux III.7 jusqu'au tableau III.13.

Par ailleurs, et après expertise de nos résultats, le choix de la zone à prendre en considération qui soit reproductible pour le reste de notre travail a été déterminée avec une moyenne d'heures de pointes.

Tableau III.7. Comptage de véhicule pour la zone 1

Catégories de véhicules / catégories routes	Route principale	Route secondaire	Route tertiaire
V.P	3351	3556	1916
V.U.L	538	639	481
B.US	126	158	168
PL	13	30	25

Tableau III.8. Comptage de véhicule pour la zone 2

Catégories de véhicules / catégories routes	Route principale	Route secondaire	Route tertiaire
V.P	2457	2458	870
V.U.L	40	332	870
B.US	481	215	86
PL	40	105	36

Tableau III.9. Comptage de véhicule pour la zone 3

Catégories de véhicules / catégories routes	Route principale	Route secondaire	Route tertiaire
V.P	2600	1743	522
V.U.L	623	351	316
B.US	212	154	180
PL	55	156	206

Tableau III.10. Comptage de véhicule pour la zone 4

Catégories de véhicules / catégories routes	Route principale	Route secondaire	Route tertiaire
V.P	1212	589	238
V.U.L	519	269	92
B.US	214	145	0
PL	653	103	24

Tableau III.11. Comptage de véhicule pour la zone 5

Catégories de véhicules / catégories routes	Route principale	Route secondaire	Route tertiaire
V.P	3140	2336	650
V.U.L	650	449	144
B.US	635	373	137
PL	218	126	38

Tableau III.12. Comptage de véhicule pour la zone 6

Catégories de véhicules / catégories routes	Route principale	Route secondaire	Route tertiaire
V.P	2361	183	69
V.U.L	717	79	25
B.US	214	369	36
PL	69	147	77

Tableau III.13. Comptage de véhicule pour la zone 7

Catégories de véhicules	Route principale	Route secondaire	Route tertiaire
-------------------------	------------------	------------------	-----------------

catégories routes			
V.P	2380	644	711
V.U.L	338	336	194
B.US	239	0	0
PL	607	301	199

III.5.2. Méthodologies d'évaluation des polluants.

Afin de quantifier l'impact de ces polluants, on fait appel aux facteurs d'émissions qui nous permettront l'estimation de leurs concentrations. La démarche utilisée, nous permettra l'estimation de concentration du CO₂ par rapport à un espace limité.

Pour estimer la quantité du CO₂ dégagée, nous avons déterminé l'espace temporel, selon les résultats obtenus de notre enquête, connaissant le nombre de véhicule, la distance et le temps emprunté, ainsi que le nombre de véhicules circulant pendant l'heure de pointe (tableau III.14; III.15 et figure 10).

Tableau III.14. Nombre de véhicules pendant l'heure de pointe dans l'espace choisi

Catégories	1973-1992	1993-1997	1998-2002	2003-2007	2008-2012
V.P	40	17	163	131	232
V.U.L	0	1	12	8	32
Bus	5	3	7	2	1

Le comptage de véhicule qu'on a réalisé, nous a permis d'avoir le profil horaire des flux de véhicules circulant dans l'espace choisi pour les jours ouvrables (Fig.III.15).

L'analyse de ces comptages montre des pics du trafic entre 7h-8h, 15h-16h et 19h-20h avec un léger creux entre 12h-13h.

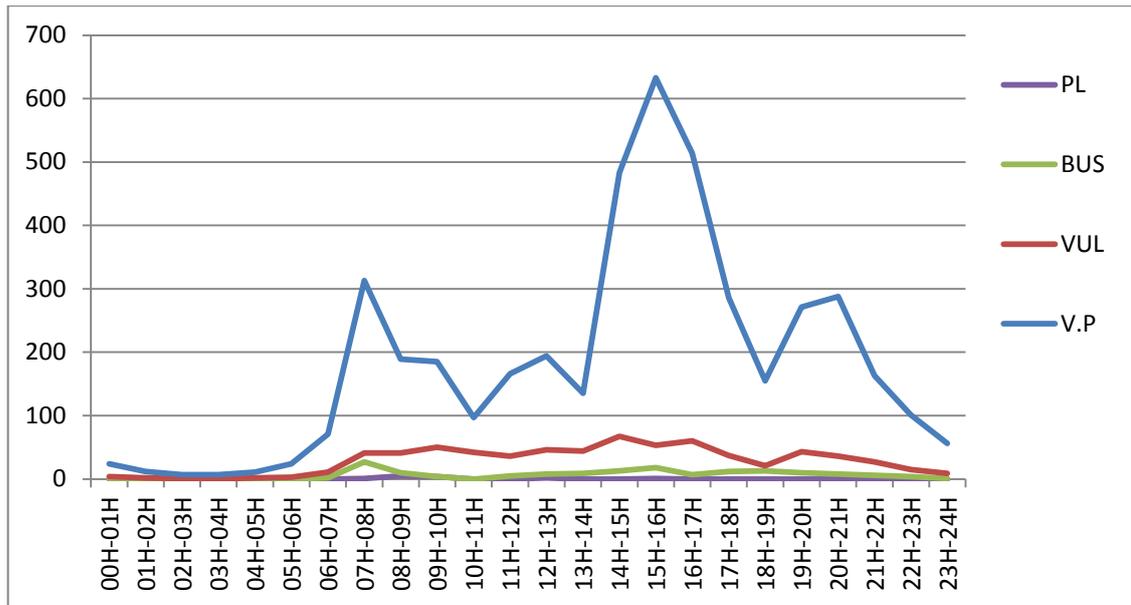


Fig.III.15. Représentation graphique de l'évolution quotidienne des volumes de trafic au niveau de l'espace choisi

Admettant d'après l'OEE qu'un véhicule consomme 4 litres de carburant par heure, alors l'ensemble des véhicules consommeront 1915.844 litres de carburant. Selon la D.R.A.G 49.38 % de l'ensemble des véhicules consomment de l'essence, le reste consomme du gasoil, sachant que la masse correspondante du carbone consommé n'est autre que la densité par le volume ($M = d.V$). Connaissant les densités du gasoil et de l'essence qui sont respectivement 0.845 et 0.755 et pour déterminer la quantité du carbone consommé pour les deux carburants, on utilise les deux facteurs d'émissions du carbone $F_E (C)$ qui est de 20.20 tonne/terra-joule pour le gasoil et $F_E (C)$ qui est de 18.90 tonne/terra-joule pour l'essence.

En faisant appel à l'unité Terra-joule et en considérant que 99% du carbone est oxydé, les teneurs d'émission de carbone pour le gasoil et l'essence sont respectivement 0.733 et 0.592 tonnes, ce qui correspondra à 2.69 et 2.17 tonne de CO_2 .

La démarche que nous avons adoptée pour notre travail est représentée par les équations suivantes, dont les paramètres sont définis dans le tableau 8 et qui vont nous permettre d'évaluer la quantité annuelle de CO_2 ($M_{Total Annuelle CO_2}$)

Tableau III.15. Identification des différents paramètres utilisés

Signification et définition des paramètres utilisés (Première Démarche)
m_{Diesel} (tonne CO_2/N_{Veh-HP}): la masse en tonne de CO_2 due au gazoil par rapport au nombre véhicule heure- pointe.
$N_{V/HP}$: nombre de véhicule par heure de pointe
% Veh(Diesel) et % Veh(Essence): pourcentage des véhicules gazoil et essence
d_{Diesel} et $d_{Essence}$: densité du gazoil et de l'essence
F_C (terrajoule): facteur de conversion en terra-joules
F_e (Diesel) et F_e (Essence): facteurs d'émission du carbone dans le gazoil et l'essence
% oxyC : pourcentage d'oxydation du carbone
M_{CO_2}/M_C : masse moléculaire du CO_2 par rapport à la masse moléculaire de carbone
$m_{Essence}$ (tonne CO_2/N_{Veh-HP}): la masse en tonne de CO_2 due à l'essence par rapport au nombre véhicule heure- pointe
m_{diesel} (tonne CO_2/N_{Veh-HP}): la masse en tonne de CO_2 due au gazoil par rapport au nombre véhicule heure- pointe
$m'_{CO_2/Essence}$ et $m'_{CO_2/Diesel}$: masse de CO_2 en tonne dans le cas de l'essence et du gazoil
cons – moy/j : consommation moyenne de l'essence ou du gazoil par jour
$Q_{Essence}(l)/HP$ et $Q_{Diesel}(l)/HP$: quantité en litres pour l'essence ou gazoil par rapport à l'heure de pointe

La démarche nous permis tout d'abord d'évaluer la quantité émise de CO_2 en tonne par jour et par rapport au nombre moyenne de véhicule pendant les heures de pointe dans le cas des deux carburants gazoil et essence (m_{Diesel} (**tonne** CO_2/N_{Veh-HP}); m_e (**tonne** CO_2/N_{Veh-HP})).

$$m_D = 4N_{veh/HP} \times P_{veh/D} \times d_D \times F_C \times F_e \times P_{oxy/C} \times \frac{M_{CO_2}}{M_C} \quad (III.1)$$

$$m_E = 4N_{veh/HP} \times P_{veh/E} \times d_E \times F_C \times F_e \times P_{oxy/C} \times \frac{M_{CO_2}}{M_C} \quad (III.2)$$

Le calcul de la quantité d'émission de CO_2 au nombre de véhicules en circulation annuel par rapport à la quantité du carburant consommé en heure de pointe ($m'_{CO_2/E}$; $m'_{CO_2/D}$).

$$m'_{CO_2/E} = C_{moy/j} \times N_{veh} \times P_{veh/E} \times m_E \times Q_{E/HP} \quad (III.3)$$

$$m'_{CO_2/D} = C_{moy/j} \times N_{veh} \times P_{veh/D} \times m_D \times Q_{D/HP} \quad (III.4)$$

$$M_{TAn}(CO_2) = (m'_{CO_2/E} + m'_{CO_2/D}) \times 365 \quad (III.5)$$

Alors, la quantité globale de CO_2 émise au niveau de la ville, durant l'année 2013, où l'on a en moyenne un nombre de véhicule de 95239 (tableau III.16)et en considérant qu'un véhicule

parcours en moyenne 170 km/jour et qu'un véhicule essence consomme en moyenne 6.7 litres / 100 km et 8.46 litres /100 km de gasoil ce qui correspondra à une émission de annuelle de 1140117.65 tonnes de CO₂.

Tableau III.16: Evolution du parc automobile par source d'énergie

Source d'énergie	Nombre de véhicule/ Année de circulation								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Gasoil	11443	13764	16739	19722	22639	25024	32830	35728	58110
Essence	19836	21362	23916	26979	29844	32549	44281	47816	37129

III.6. Discussions des résultats

Le travail que nous avons mené, concernant la ville de Batna repose sur des hypothèses tenant compte à la fois du nombre et catégories des véhicules ainsi que de l'espace parcouru et des consommations moyennes de carburant, nous a permis d'estimer la part des émissions de polluants à effet de serre issues du secteur des transports routier.

Cependant, on relève un certain nombre de problèmes qui sont liés à la croissance démographiques, à l'état et la saturation du réseau routier, à la vétusté du parc, ainsi qu'à la congestion, qui sont responsables de la dégradation de la qualité de l'air avec des effets sur la santé humaine, la dégradation des écosystèmes et surtout la réduction de la qualité de vie.

A Batna, les conséquences de la pollution atmosphérique commencent à se faire sentir par sa population à travers une atmosphère irrespirable, se traduisant par l'élévation des maladies respiratoires causées par les allergènes libérés dans l'environnement par les moteurs, les pots d'échappement, la climatisation, ainsi que l'usure des pneumatiques, particulièrement dans les zones où le trafic routier urbain est dense. On estime plus de 50% des émissions sont imputables aux transports routiers, étant donné que la ville est faiblement industrialisée et l'évolution des ventes de carburants est en croissance constante.

La qualité de l'air urbaine est liée principalement au type de véhicule, qualité du moteur et carburant, présence du pot catalytique, à la charge transportée ainsi qu'à la vitesse exercée. Celle-ci est réduite au niveau d'une agglomération urbaine où le trafic est en croissance constante, favorisant l'émission de CO₂, CO, NO_x et PM dus à une surconsommation du carburant avec une efficacité d'avancement réduite. Générant ainsi des pics de pollution, conduisant aux impacts caractérisant chaque polluant (Boukahilat, 2011) se traduisant par des pollutions d'ordre locales, régionales et globales.

Pour consolider nos résultats, une deuxième méthode s'avère utile qui repose sur les hypothèses suivantes:

- Un véhicule moyen produit entre 100 et 300 m³ de gaz d'échappement par heure;
- On considère 3 phases dans la journée représentant les heures de pointes, correspondant à 1 heure/jour de circulation maximale;
- Un véhicule léger produit 0.020 tonne de CO₂ au 100 Km parcouru;
- On retient dans tous les cas les valeurs maximales.

Pour nous permettre de comparer les deux résultats dans le cas des deux méthodes, on prendra le même nombre de véhicules qui est de 95239 de l'année 2013 et nous avons considéré qu'un véhicule parcourt en moyenne 170 Km/jour, en considérant que, suite à la vétusté du parc automobile, les pots d'échappements des véhicules produisent le maximum de gaz estimée à 300 m³/h. Ce qui nous permettra de quantifier l'émission globale annuelle de CO₂, selon l'expression suivante:

$$Q_{An}(CO_2) = N_{veh} \times L_{j/veh} \times me_{moy} \times 365 \quad (III.6)$$

Ce qui correspond à une émission journalière de 3238.126 tonnes; correspondant à une émission annuelle totale de CO₂ de 1181916 tonnes.

Il ressort de ces résultats, trouvés par les deux méthodes se concordent parfaitement avec un coefficient d'erreur de 3.53 %.

Les termes utilisés pour cette deuxième démarche sont définis dans le tableau III.17

Tableau III.17: Termes utilisés pour la deuxième démarche

Signification et définition des paramètres utilisés (deuxième Démarche)
$Q_{An}(CO_2)$: quantité annuelle de CO₂
N_{VEH}: nombre de véhicule
$L_{j/veh}$: Distance parcourue / jour / Véhicule:
me_{moy}: masse émise / Veh / j / distance moyenne

Par ailleurs, en utilisant les facteurs d'émissions des polluants: CO, NO_x et PM_{2.5} qui sont respectivement: 7.5; 0.64; 0.060 g/km/Veh. (Ghenu et al., 2008) et à partir de la même démarche, on retrouve les résultats indiqués dans le tableau III.18 et figure III.16.

Tableau III.18. Evolution des polluants en fonction des années

Années /Tonne	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
CO ₂	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
NO _x	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
PM	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
CO	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████

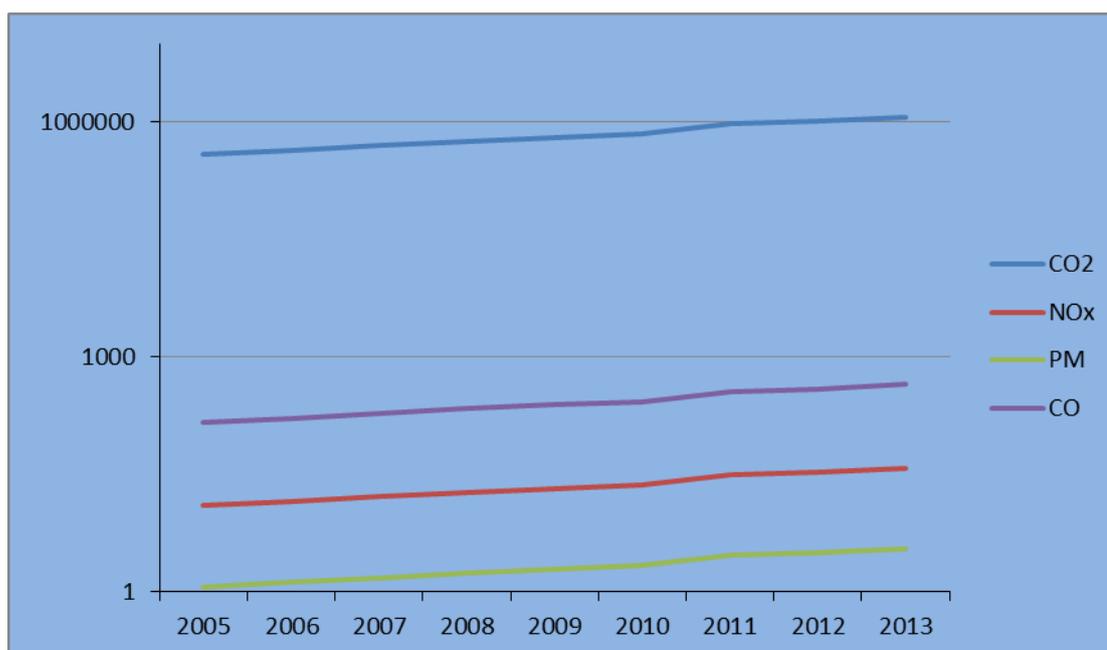


Figure III.16. Evolution des polluants en fonction d'année

Afin de se situer par rapport aux différentes normes, limitant les concentrations émises, des différents polluants liés au transport urbain, nous avons dû refaire le calcul des émissions uniquement pour les véhicules particuliers pour l'année 2013, qui occupent 65.52% de l'ensemble du parc automobile (figure III.3). Ce qui nous donne une émission en CO₂ 192g/km/jour relativement supérieure à la norme Européenne, qui est de 130g/km.veh.

Concernant le CO, on trouve une valeur de 11.446 g/km.veh. Relativement supérieure à la norme Algérienne, qui se situe dans un intervalle de 1 -2.3g/km.veh. (Décret exécutif-Algérie, 2003).

Ceci peut s'expliquer par le comportement du conducteur, ainsi qu'à la congestion due à la circulation ralentie aux heures de pointe.

Enfin, en ce qui concerne les particules en suspension moyen (PM), la valeur calculée est de l'ordre de 0.091 g/km.véh, dépassant la norme qui est de 0.05g/km.Veh. (Décret exécutif-Algérie, 2003).

Les résultats trouvés par EMISENS montrent une augmentation remarquable par rapport à ceux trouvés par les deux démarches suivies. On peut rapporter cette augmentation au fait que le modèle EMISENS prend en considération les émissions dès le démarrage du véhicule (E_{cold}), jusqu'à son stationnement ($E_{hot} + E_{evap}$), par contre les deux démarches que nous avons utilisés prennent en charge uniquement les émissions à chaud (E_{hot}), c'est-à-dire que notre étude s'est limitée à prendre en charge uniquement les véhicules qui arrivent avec une température d'équilibre (80°C-90°C) pour la zone d'étude.

En outre, plusieurs travaux ont été réalisés dans ce sens, à titre d'exemple, l'évaluation faite au niveau du département loir-cher-France (Rapport,Lig'Air, 1999) indiquant un nombre de population comparable à celui de Batna et un parc automobile de 39 fois plus grand, dégageant pratiquement la même quantité de CO₂. Un autre travail concernant la ville d'Alger, qui représente une population et un parc dix fois plus grand donnant une valeur de CO₂ de 13772 tonnes/j/veh, qui est quatre fois plus grande que celle trouvée. Ce qui montre que notre valeur dépasse largement les normes, s'expliquant par une grande congestion, induisant à une surconsommation du carburant, générant ainsi une pollution considérable par rapport à CO₂; Tandis que pour les autres polluants les rapports sont acceptables.

En matière de pollution, il est à signaler l'insuffisance et parfois l'absence même d'outil et de laboratoire permettant d'appréhender avec précision le niveau de pollution causée. A notre connaissance, peu de mesures ont été réalisées, en matière de pollution atmosphérique due au transport. Une étude de PNAE (Plan National d'Actions environnementales) effectuée sur la base des données relatives aux parcs de 1995 sur le grand Alger et les Wilayates limitrophes, a estimé la concentration dans l'air du dioxyde d'azote à 18% du total national. Celle du plomb à 22%, 14% en dioxyde de soufre et enfin à 20,5% du total national en oxydes de carbone. (www.aprue.org/publications/Medetec3).

Les efforts techniques se sont avérés insuffisants à réduire les émissions de CO_2 jusqu'à présent. En effet, ces dernières restent étroitement liées au volume de la consommation du carburant. C'est pourquoi, il faut agir directement sur la conduite automobile, mais aussi et surtout sur la densité du trafic, nécessitant une bonne organisation du parc automobile.

III.7. Conclusion

Le transport routier tient une place de plus en plus importante de nos jours avec l'augmentation des véhicules. L'impact du développement du transport routier sur la qualité de l'air est significatif. Il se traduit également en termes d'élévation de l'accidentologie, d'atteinte à la santé publique, de saturations urbaines, de consommations d'énergie non renouvelable et de dégradation des paysages.

La croissance rapide et démesurée du tissu urbain de la ville de Batna a conduit à des effets négatifs sur les plans de circulation induisant ainsi une surcharge de certains axes se traduisant d'une part par une mobilité réduite et d'autre part par des congestions particulièrement aux heures de pointes. Ces effets, impliquent forcément une surconsommation des carburants et par la même à l'augmentation de la pollution atmosphérique et sonore. Ce qui se traduit par une émission en CO_2 très importante. L'extrapolation, des résultats obtenus pour 2020, montre une augmentation de CO_2 de 75%. La même extrapolation est réalisée pour la capitale Algérienne pour 2020, donnant 2.3 millions tonnes de CO_2 (Boukahilat, 2011). Ce qui montre en plus que les émissions au niveau de la ville de Batna sont très importantes

Pour faire face à ce genre de problème, plusieurs dispositions peuvent être prises. Au niveau local, un certain nombre d'aménagements sont nécessaires en matière de gestion de la circulation automobile, en particulier aux endroits des points noirs les plus significatifs, une meilleure signalisation et un stationnement réglementé s'avèrent nécessaires. Une nouvelle réflexion sur les plans de transport et de circulation serait une priorité pour les collectivités locales et un encouragement et mesures incitatives de l'emploi de carburants moins polluants GPL, GNV, pourrait être nécessaire, pour faire face.

Cette étude, a permis d'évaluer l'impact du transport sur la qualité de l'air, il s'agit d'établir un équilibre entre la mobilité du transport urbain et le taux de pollution engendrée.

Par ailleurs, la ville de Batna est appelé à prendre les mesures nécessaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et les polluants nocifs, tout en développant les outils de surveillance et d'évaluation de la qualité de l'air et de ses évolutions futures qui seront mis

à la disposition des décideurs et des collectivités locales. Nous avons essayé de suivre la dispersion des polluants émis en utilisant un modèle mathématique, qui fera l'objet du quatrième chapitre.

CHAPITRE IV

Application d'un modèle mathématique de dispersion pour le trafic routier de Batna

Résumé:

Traiter de la qualité de l'air s'avère plus ou moins complexe selon l'optique dans laquelle est abordée la question, nuisances, diffusion, impacts ou risques. L'approche développée ici s'intègre dans une démarche à la fois dynamique et spatiale d'étude des risques environnementaux liés à la pollution des rejets automobiles.

La pollution de l'air est un phénomène dynamique et multi - scalaire. Ces phénomènes d'échelles sont imbriqués et rétroagissent ensemble. Si la pollution régionale ou de fond est assez bien connue des scientifiques, la pollution urbaine l'est beaucoup moins. En effet à l'échelle urbaine ou intra-urbaine, il est difficile d'estimer les concentrations car celles-ci sont très hétérogènes. La dispersion atmosphérique caractérise le devenir dans le temps et dans l'espace d'un ensemble de particules (aérosols, gaz, poussières) rejetées dans l'atmosphère.

L'emploi de modèles numériques pour l'évaluation de la dispersion atmosphérique d'un produit présente de nombreux avantages par rapport à des expérimentations: la rapidité de l'étude et la possibilité d'envisager un grand nombre de cas.

Les modèles déterminent les lieux de l'espace où une concentration donnée est observée. Il est donc possible, en première approximation, de ne s'intéresser qu'à la distance maximale sous le vent de la source où une concentration donnée est atteinte.

L'objectif de ce chapitre est l'utilisation d'un modèle mathématique appliqué pour des conditions particulières de la ville de Batna qui va nous permettre de poursuivre le panache des polluants et voir leur dissipation dans le temps et l'espace.

VI.1. Introduction

En l'absence d'outils précis et adéquats pour la surveillance de la pollution dans une ville entière, les différents acteurs concernés par la gestion de la qualité de l'air, élabore de méthodologies de traitement des informations disponibles à différentes échelles spatiales, afin de produire une représentation, la plus fidèle possible à la réalité, permettant l'élaboration de cartographie des concentrations liées aux différents polluants atmosphériques.

Son étude peut être distinguée en trois grandes échelles spatiotemporelles. Ces échelles sont fonction du transport des polluants et donc de leur durée de vie qui dépend de la stabilité des substances chimiques:

- à l'échelle de la rue, ces modèles sont capables de suivre une situation de pollution avec une résolution spatiale inférieure à 10 m. Malheureusement, une analyse de la pollution à cette résolution spatiale ne peut pas être appliquée à une ville entière car les ressources informatiques nécessaires seraient trop importantes;
- à une échelle inférieure, les mesures ponctuelles de polluants viennent compléter toutes ces informations sur la dispersion des polluants.

La modélisation numérique est un outil de compréhension, d'analyse et dans certains cas de prévision. Les modèles numériques, ont d'abord été créés pour simuler les régimes de vent et de courant à l'échelle du globe. Pour cela, ils utilisent les équations de la mécanique des fluides et calculent ainsi avec une résolution de quelques centaines de kilomètres, l'évolution de paramètres tels que le vent, la température, l'humidité, l'eau nuageuse ou les précipitations.

Il existe un grand nombre de modèles numériques de transports et transformations d'éléments dans l'atmosphère. Ces modèles se distinguent suivant les échelles spatiales et temporelles prises en compte mais aussi suivant les équations de transport utilisées.

Dans le domaine de la qualité de l'air, il devient possible de modéliser l'évolution physico-chimique des polluants, leur émission, leur transport, leur diffusion, leur dépôt et transformation chimique. Ils permettent d'accéder à une estimation des concentrations des polluants atmosphériques dans l'espace et dans le temps.

La croissance de la population, la consommation d'une grande quantité d'énergie telles que la combustion de combustibles fossiles, l'augmentation des émissions de polluants dans l'atmosphère sont les menaces qui pèsent sur le développement durable de notre planète en général, et de la qualité de l'air, en particulier (HO, 2010). L'ère actuelle est l'ère de la motorisation, qui est perçue comme synonyme de la civilisation et le statut d'élite. (Tripathi,

2013). La croissance de la mobilité et du transport routier constituent une séquence de problèmes environnementaux, qui deviennent visibles à l'échelle locale (Berkhout et al., 2009) avant de provoquer des effets régionaux ou mondiaux évidents.

Le transport routier est une source majeure d'émissions de polluants atmosphériques dans le monde entier, en particulier dans les zones urbaines (Saija et Romano, 2002). Malgré son importance, il est responsable de plusieurs externalités comme la pollution de l'air, le bruit, la congestion et la sécurité routière (Pallavi et Harrison, 2013). Sa contribution aux émissions totales a augmenté au cours des dernières décennies plus rapidement que d'autres sources (Turton, 2006 ; Metz et al., 2007). Par exemple, il contribue à plus de 25% des émissions totales de CO, CO₂, NO_x, et les émissions de particules fines dans la plupart des pays européens (Lumbreras et Borge, 2014).

Cependant, il y a maintenant un accent croissant mis sur les effets mondiaux, en particulier pour l'effet de serre et notamment du CO₂, qui a reçu une attention particulière, car il est en constante augmentation et dont les véhicules routiers sont reconnus comme étant la composante la plus importante de ces effets (Nejadkoorki et al, 2008).

La pollution atmosphérique induite par le transport routier présente à cet effet un véritable enjeu de santé publique dont les collectivités doivent se saisir autant à l'échelle régionale qu'urbaine (Makri et Stilianakis, 2008 ; Rouse, 2010)

Aujourd'hui, Les gaz à effet de serre (GES) et la pollution sonore générés par le transport routier sont également parmi les problèmes environnementaux, les plus importants dans les zones urbaines (Marko et al, 2014). Bien que l'industrie est reconnue comme étant fortement émettrice. C'est ainsi que, cette situation incite et fait appelle à une «mobilité urbaine durable», caractérisée par un passage à la marche à pied, l'utilisation du vélo, du bus, du tram et le service ferroviaire (Tripathi, 2013).

L'intérêt pour les nuisances liées au transport routier s'est peu à peu transformé en une véritable préoccupation des sociétés, incitant la volonté des pouvoirs publics à maintenir un air plus sain à proximité des zones densément peuplées et des zones d'habitation (Rouse, 2006 ; MEDDTL, 2011 ; Silva-Sanchez et Tierin, 2008). A cet effet, l'évaluation des émissions polluantes est une condition préalable pour la planification et le développement des systèmes de transports urbains durables (Marko et al., 2014). Ainsi, le transport routier, a des défis importants dans l'évaluation quantitative de sa contribution aux concentrations des émissions générées (Pallavi et al., 2013).

La qualité de l'air n'est pas seulement dépendante de la quantité de polluants émise par les sources. Elle est également liée aux conditions climatiques, météorologiques, topologiques et morphologiques du milieu. Une fois émis par une source de polluant, son évolution dans l'atmosphère est dépendante du vent, de la stabilité de l'atmosphère, du rayonnement solaire, de la topographie et morphologie du milieu.

Il est bien entendu impossible d'effectuer des mesures des polluants atmosphériques en tous points d'une zone donnée (AQEG, 2005). Le recours alors à des modèles de la qualité de l'air peut être une aide complémentaire, pour pallier ce manque de mesures et pour avoir une idée de l'étendue de cette pollution sur une région définie (Caplain, 2005).

Les modèles de simulation de la circulation sont capables de prédire les émissions pour différentes conditions de circulation basés sur des algorithmes calibrés avec des données principalement de véhicules européens. Mais ces estimations ne sont pas susceptibles de refléter les conditions Algériennes, étant donné les différences significatives dans la composition du parc de véhicules en termes de caractéristiques des véhicules, l'âge et le type de carburant utilisé (Bover et al., 2013).

À cet égard, l'estimation et la modélisation des émissions du transport routier peuvent être un outil puissant, capable d'aider les décideurs à élaborer des stratégies de réduction des émissions. En outre, ils permettent d'examiner l'impact des différents plans de transport (par exemple en réduisant la mobilité personnelle, la restructuration des zones urbaines et de commutation pour les véhicules à faibles émissions de carbone) et surtout à évaluer les émissions à effet de serre (Nejadkoorki et al., 2008).

En Algérie comme dans la plupart des pays, la prise en compte de la dégradation de la qualité de l'air en milieu urbain et de l'impact sanitaire dus aux émissions du trafic routier est observée (Azri et al., 2002 ; Nejjari et al., 2003 ; Atk et al., 2004 ; Laid et al., 2007).

Par ailleurs, plusieurs études effectuées récemment en Algérie montrent que le trafic routier constitue sans aucun doute la principale source de pollution dans le milieu urbain (Kerbachi et al., 2006 ; Kerbachi et al., 2011). Les émissions polluantes des véhicules en circulation constituent non seulement un problème de qualité de l'air dans les villes telles qu'Alger (Kerbachi et al., 2006 ; Mayer, 1999 ; Kerbachi et al., 2003 ; Boughedaoui et al., 2004) mais aussi une source en constante croissance de gaz à effet de serre.

L'agglomération de Batna est devenue une métropole de transport, et est affectée par les flux entrants et sortants, provoquant l'affaiblissement de la mobilité et parfois des congestions

particulièrement aux heures de pointes, provoquant ainsi une pollution urbaine très importante. Malgré que la ville de Batna, n'est pas à caractère industrielle, mais le phénomène de pollution de l'air s'est fait senti par sa population, à travers les maladies engendrées à savoir: les allergies, l'asthme, AVC etc.

Les résultats de ces modèles, permettent une surveillance de la pollution en terme de pronostic pour l'information quotidienne du public ou en terme de diagnostic a posteriori de la pollution pour mieux cerner les phénomènes enjeux..

Ces modèles permettent une analyse d'une situation de la pollution à l'échelle régionale ou à une échelle très locale (point, rue):

- ✓ à l'échelle régionale, les modèles numériques sont capables de gérer les concentrations de polluants avec une résolution spatiale (taille de la maille de calcul) supérieure à 10 km. Une limite de résolution spatiale existe et dérive des équations de transport et des simplifications utilisées;
- ✓ à l'échelle de la rue, ces modèles sont capables de suivre une situation de pollution avec une résolution spatiale inférieure à 10 m. Malheureusement, une analyse de la pollution à cette résolution spatiale ne peut pas être appliquée à une ville entière car les ressources informatiques nécessaires seraient trop importantes;
- ✓ à une échelle inférieure, les mesures ponctuelles de polluants viennent compléter toutes ces informations sur la dispersion des polluants.

Bien que les caractéristiques de la ville de Batna ont un impact positif sur le développement économique, mais ils nuisent à sa qualité de l'air, en raison des flux origine/destination et de transit de marchandises accentuant les émissions. L'objectif de cette étude est d'estimer et simuler numériquement les effets de la dispersion des polluants sous forme d'un panache dû aux rejets automobiles dans la ville de Batna. Pour ce faire, on a opté pour l'utilisation d'un modèle mathématique reposant sur les équations de base de la mécanique des fluides liée au phénomène de transport pour un écoulement laminaire, exprimé par les équations du transport caractérisées par les équation d'énergie, les équations de mouvement, les équations de conservation de masse et l'équation de continuité.

Ce modèle nous permet de suivre l'évolution du panache dû aux rejets automobiles dans une zone urbaine pour permettre de dire est ce que la pollution est dissipée sur place ou elle est transporté d'une zone a une autre, ce qui permettra par la suite de calculer le temps du séjour des polluants dans chaque zone.

VI.2. Les conditions de la modélisation de la dispersion

Les conditions de dispersion atmosphérique d'un produit vont dépendre de plusieurs paramètres:

- les conditions de rejet (nature du nuage de produit, mode d'émission...);
- les conditions météorologiques (champ de vent, de température...);
- l'environnement (nature du sol, présence d'obstacles, topographie...).

Différents processus dont l'importance relative dépend des conditions de rejet, entrent en jeu et agissent simultanément ou successivement. Ces différents mécanismes physiques sont présentés dans cette partie. La dispersion atmosphérique caractérise le devenir dans le temps et dans l'espace d'un ensemble de particules (aérosols, gaz, poussières) rejetées dans l'atmosphère. L'émission d'un produit dans l'atmosphère peut revêtir un caractère :

- Soit chronique, avec des émissions dans l'atmosphère plus ou moins continues ou périodiques dans le temps. Les rejets sont les sous-produits indésirables de toute activité humaine (Pour notre cas, c'est les émissions des gaz d'échappement des voitures).
- Soit en situation post-accidentelle, l'analyse des conditions de dispersion dans l'atmosphère peut permettre de mieux comprendre le déroulement et les conséquences de ces accidents. Il s'agit ici à la fois d'identifier les mécanismes physiques intervenant dans la dispersion atmosphérique d'une substance (Ho, 2010) et de présenter les principales méthodes d'estimation de la dispersion atmosphérique d'un produit en particulier celles relatives aux outils de résolution numérique. La modélisation des effets d'un phénomène accidentel comprend trois composantes, à savoir les modélisations du «terme source», de la «propagation» de cette source dans l'environnement et l'effet sur les «cibles».

La dispersion atmosphérique d'un produit rejeté accidentellement dépend essentiellement:

- ✓ Des caractéristiques de la source d'émission (énergie cinétique, direction du rejet, densité du produit rejeté, durée de la fuite, conditions de la fuite...);
- ✓ Des conditions météorologiques comme la vitesse du vent, la stabilité de l'atmosphère, l'hygrométrie, la température ambiante;
- ✓ Des conditions orographiques, c'est-à-dire essentiellement l'état du sol qui varie selon qu'il s'agit d'un champ cultivé, d'une forêt ou d'une zone industrielle (Tripathi, 2013 ; Berkhout et al., 2009).

La modélisation numérique permet de se substituer en première approche à l'investigation expérimentale, en offrant un gain de temps et d'argent considérables par rapport à des essais réels. Elle donne aussi facilement accès à une grande quantité d'informations, contrairement à l'étude expérimentale. Elle apporte donc une aide précieuse à la compréhension et à la prédiction des effets de différents risques.

Les modèles numériques que l'on peut trouver se différencient selon leur méthodes de résolutions et selon les phénomènes prisent en considérations. On note la présence des trois modèles qui sont :

- modèle gaussien (pour la dispersion passive) Dispersion pilotée uniquement par la météo-Validité: $100 \text{ m} < d < 10 \text{ km}$
- Modèle de type intégral (jet, gaz lourd...) Résolution simplifiée des équations de la mécanique des fluides Validité: $20 \text{ m} < d < 10 \text{ km}$.
- Modèle CFD (= Computational Fluid Dynamics) Résolution + complète des équations de la mécanique des fluides Validité: $1 \text{ cm} < d < 10 \text{ km}$.

VI.3. Les modèles numériques de dispersion

La modélisation numérique est un outil de compréhension, d'analyse et dans certains cas de prévision. Les modèles numériques, ont d'abord été créés pour simuler les régimes de vent et de courant à l'échelle du globe. Pour cela, ils utilisent les équations de la mécanique des fluides et calculent ainsi avec une résolution de quelques centaines de kilomètres, l'évolution de paramètres tels que le vent, la température, l'humidité, l'eau nuageuse ou les précipitations.

Il existe un grand nombre de modèles numériques de transports et transformations d'éléments dans l'atmosphère. Ces modèles se distinguent suivant les échelles spatiales et temporelles prises en compte mais aussi suivant les équations de transport utilisées.

La modélisation de la pollution atmosphérique est importante pour l'amélioration de la qualité de l'air car elle permet de simuler l'impact de nouvelles émissions et l'effet de réduction ou d'augmentation des 'émissions de certaines sources. Par ailleurs, elle est utilisée pour la prévision de la qualité de l'air et la cartographie des concentrations de certains polluants. La prévision de la qualité de l'air est un enjeu important, notamment pour les personnes ayant des problèmes respiratoires, car elle permet de les prévenir lors de pics de pollution. En cas de rejet de polluant dans l'atmosphère, qu'il soit accidentel ou naturel, il est important de connaître les régions vers lesquels les polluants seront transportés afin que les populations puissent y être protégées si nécessaire. On pensera par exemple aux accidents nucléaires

survenus à Tchernobyl en Ukraine et Fukushima au Japon ou encore la récente éruption du volcan en Islande. La cartographie de la pollution est utilisée par exemple pour l'information du public et pour des études d'exposition de la population ou d'épidémiologie. Les applications sont donc variées; il convient donc de pouvoir disposer de modèles performants. La modélisation est nécessaire en raison du grand nombre de processus physico-chimiques qui sont divers et complexes. Nous nous intéresserons ici plus particulièrement aux différentes modèles utilisés pour modéliser la dispersion de polluants dans l'atmosphère urbaine.

De nombreux types de modèles faisant appel à des techniques de modélisation diverses ont été développés. Chacun de ces modèles est généralement adapté à des échelles spatiales bien définies, qu'elles soient locale, régionale, continentale ou même globale. Le choix du modèle à utiliser dépendra donc de l'échelle spatiale à modéliser mais aussi des ressources informatiques disponibles pour le mettre en œuvre ou encore de la résolution des données d'entrée. Par exemple les modèles de dispersion gaussiens font l'hypothèse de données d'entrée uniformes spatialement ce qui est réaliste à petite échelle mais ne l'est plus à l'échelle d'une région ou d'un continent. À l'inverse, les modèles de chimie-transport sont fondés sur une approche eulérienne et supposent des émissions moyennes sur chaque maille. Ceci est légitime si l'on considère un domaine de plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres mais ne l'est plus à l'échelle locale. En effet, chaque type de modèle a des spécificités qui lui sont propres qu'il faut prendre en compte. Ainsi plus l'échelle spatiale sera fine, plus les données d'entrées devront l'être aussi.

Il convient aussi de choisir un modèle en fonction des phénomènes que l'on souhaite modéliser avec plus de précision. Par exemple, si l'on souhaite estimer l'impact des rejets d'une source sur les populations alentour, un modèle local pourra convenir. Si l'on souhaite estimer la contribution de cette source à la pollution de fond dans la région, un modèle de chimie-transport à maille eulérienne sur une échelle régionale sera plus adapté. De plus, la plupart des modèles eulériens sont couplés avec des modèles de chimie et peuvent supporter des schémas chimiques complexes.

Cependant, la dilution initiale des émissions aura pour effet de réduire les concentrations près des sources et de donner des valeurs de concentrations non nulles en amont des sources à cause de la diffusion numérique. Ces erreurs locales dans les concentrations sont transmises dans les réactions chimiques et peuvent mener à des différences significatives pour les concentrations régionales de certains polluants. Pour pallier ces limitations de résolution spatiale, il existe des modèles dit sous-mailles, qui permettent l'utilisation d'un modèle local

en sous-maille d'un modèle eulérien. Le but est donc de mieux représenter, dans une simulation eulérienne, certains des processus physiques se produisant à une échelle spatiale inférieure à la taille d'une maille.

Le modèle local est lui aussi influencé par le modèle eulérien. Grâce à une meilleure modélisation de la dispersion initiale, ce type de modèle permet de simuler à la fois l'impact de la source sur la pollution de fond ainsi que l'impact local pour les populations alentour.

L'emploi de modèles numériques pour l'évaluation de la dispersion atmosphérique d'un produit présente de nombreux avantages par rapport à des expérimentations: la rapidité de l'étude et la possibilité d'envisager un grand nombre de cas. Toutefois, les essais à grande échelle ou sur maquette permettent aussi de connaître les phénomènes à modéliser et par conséquent de participer au développement des outils de calcul.

IV.3.1. Modèle Gaussien:

IV.3.1.1. Introduction et domaine de validité

Les premiers modèles de dispersion utilisés sur ordinateur sont de type **Gaussien**. Leur origine remonte aux travaux de (Pasquill, 1974).

Ces modèles permettent d'estimer la dispersion des gaz neutres ou passifs (de masse volumique très proche de celle de l'air). Cette limitation s'est vite avérée inacceptable pour bon nombre d'études faisant intervenir des gaz dont la masse volumique était sensiblement plus importante que celle de l'air. Une méthodologie déjà existante et créa le premier modèle de type intégral appliqué à la dispersion des gaz lourds.

L'augmentation et la démocratisation croissante des moyens de calcul ont permis d'envisager de résoudre directement le système d'équations qui régit réellement la dispersion du nuage.

En considérant la diffusion moléculaire négligeable, la diffusion turbulente homogène et isotrope et un champ de vent uniforme dans l'espace, la concentration de produit est supposée suivre une distribution gaussienne le long des plans perpendiculaires à la direction du rejet s selon la Figure1.

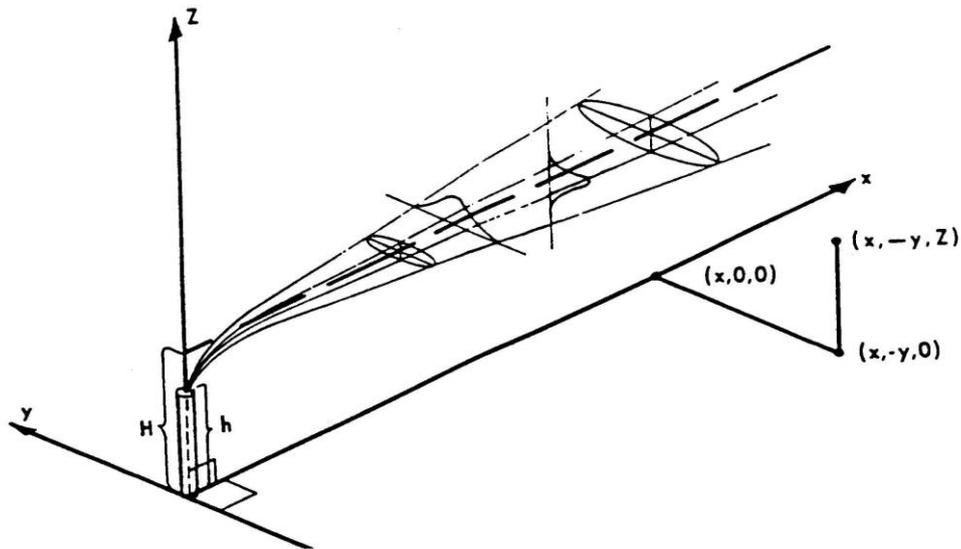


Fig. IV.1. Répartition gaussienne de la concentration dans un panache de gaz passif

Le modèle gaussien s'applique aux rejets de gaz passifs, le produit rejeté doit donc avoir : une densité à peu près égale à celle de l'air, une température identique à celle de l'air et une vitesse initiale relative nulle.

De plus, les modèles gaussiens s'appuient sur un champ de concentration tridimensionnel généré par une source ponctuelle. La diffusion moléculaire est négligée devant la diffusion turbulente, la vitesse du vent doit donc être d'au moins 1 à 3 m/s. Dans la plupart des cas, le champ de vent est uniforme avec un profil vertical constant. Des outils plus élaborés peuvent considérer la variation de la vitesse du vent, de la température de l'air et de la densité de l'atmosphère avec l'altitude.

Une couche d'inversion de température peut parfois aussi être prise en compte. La turbulence atmosphérique est prise en compte par l'intermédiaire de classes de stabilité. Le terrain doit être homogène et plat puisque la présence de reliefs, d'obstacles (Demail et Crissimo, 2006) introduirait des perturbations de l'écoulement de l'air importantes. Aussi, de façon pratique, les résultats sont valables au-delà d'au moins 100 m depuis le point de rejet. Par ailleurs, au-delà de distances de dispersion de l'ordre de la dizaine de kilomètres, les résultats ne sont plus valables car d'autres phénomènes de turbulence et de diffusion doivent être considérés.

IV.3.1.2. Résolution du modèle Gaussien:

- ✓ Dans le cas du rejet ponctuel et instantané d'une masse de gaz M , la concentration C du gaz dans l'atmosphère en un point (x,y,z) est de la forme:

$$C(x, y, z, t) = \frac{M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(x-x_0-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \alpha \exp\left(\frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \dots \text{(IV.1)}$$

C : concentration [kg/m³]; M : masse de produit libéré [kg]; (x_0, y_0, z_0) : coordonnées de la source de produit [m]; (x, y, z) : coordonnées du point où l'on calcule la concentration [m]; u : vitesse moyenne du vent [m/s]; t : temps depuis l'émission du gaz; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: écarts-types de la distribution gaussienne de la quantité M de gaz par rapport à sa localisation à l'instant t .

- ✓ Pour modéliser un rejet continu, il est possible de considérer l'émission d'une succession de rejets instantanés qui évolueront de façon gaussienne.

$$C(x, y, z, t) = \sum_{l=1}^{l=n} \frac{M_l}{(2\pi)^{3/2} \sigma_{x_l} \sigma_{y_l} \sigma_{z_l}} \exp\left(-\frac{[x - x_0 - u(t - t_l)]^2}{2\sigma_{x_l}^2} - \frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_{y_l}^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z - z_0)^2}{2\sigma_{z_l}^2}\right) + \alpha \exp\left(-\frac{(z - z_0)^2}{2\sigma_{z_l}^2}\right) \right] \quad (\text{IV.2})$$

Avec : M_i : Masse du $i^{\text{ème}}$ rejet instantané [kg];

u : vitesse moyenne du vent [m/s];

n : nombre de rejets instantanés considérés;

t_i : instant de fin d'émission du $i^{\text{ème}}$ rejet [s];

t_{i-1} : instant de fin d'émission du $(i-1)^{\text{ème}}$ rejet et début d'émission du $i^{\text{ème}}$ rejet [s]

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: écarts-types de la distribution gaussienne du $i^{\text{ème}}$ rejet instantané de masse M_i par rapport à sa localisation à l'instant t [m];

α : coefficient de réflexion au sol.

IV.3.2. Modèle intégral:

IV.3.2.1. Introduction et validation:

Lorsque le rejet est tel qu'il perturbe l'écoulement atmosphérique de l'air, l'emploi d'un modèle gaussien est inadapté. Des mécanismes physiques non pris en compte par les modèles gaussiens doivent être considérés tels les effets de :

- ✓ Turbulence dynamique, pour les rejets sous forme de jet à grande vitesse d'émission;
- ✓ Gravité, pour les rejets de gaz lourds;
- ✓ Flottabilité pour les rejets de gaz légers.

L'emploi d'un modèle intégral permet de modéliser ces mécanismes. Ce type de modèle est basé sur les équations de la mécanique des fluides dont le système d'équations est suffisamment dégénéré pour permettre une résolution rapide. Cette simplification se traduit par l'introduction de paramètres représentant globalement les mécanismes non modélisés.

Pour la modélisation des nuages de gaz passifs, l'outil intégral utilise un modèle gaussien.

Comme pour les modèles de dispersion passive, le terrain est supposé homogène et idéalement plat. La présence de reliefs, d'obstacles (murs, bâtiments...) introduirait des perturbations de l'écoulement de l'air complexes. Les caractéristiques du terrain sont définies sous la forme d'une seule hauteur de rugosité pour toute la région du rejet.

Comme pour les modèles gaussiens, au-delà de distances de dispersion de l'ordre de la dizaine de kilomètres, les résultats ne sont plus valables car d'autres phénomènes de turbulence et de diffusion doivent être considérés (Pasquill, 1974 ; Turbelin, 2000).

IV.3.2.2. Résolution du modèle intégral:

Rappelons d'abord que la mise au point des modèles de type intégral passe par la paramétrisation de certaines équations de la mécanique des fluides et la sélection de méthodes numériques de résolution, d'une part, et par le calage des paramètres introduits dans le système d'équations, d'autre part.

Chaque outil utilise une mise en équation spécifique et qui lui est propre pour chacun des mécanismes physiques modélisés (effets de gravité des gaz lourds, effets dynamiques des jets turbulents) (Turbelin, 2000).

Pour la modélisation de la dispersion d'un rejet continu, le modèle considère un panache totalement développé dans lequel le produit est encore en train d'être rejeté. La modélisation d'un rejet continu est seulement valable après que le panache se soit totalement développé, si le rejet est relativement court ou encore de durée limitée, le modèle doit alors considérer le développement partiel du panache et ajuster ses calculs de façon adéquate.

Ce type de modèle résout directement le système d'équation décrivant les mécanismes physiques de la dispersion. Les temps de calcul sont plus longs, de l'ordre de l'heure, voire de la journée. Quand le nuage est en contact avec le sol ou atteint une couche d'inversion, la composante verticale de la quantité de mouvement est transformée en composante horizontale, ce qui se traduit par une augmentation de la largeur du nuage (cas des rejets automobiles). La quantité de mouvement va être perdue progressivement du fait de l'entraînement de l'air et de l'éventuel frottement du nuage avec le sol. Le nuage est par la suite entraîné par le vent.

Le profil de concentration dans une section du nuage va changer avec le temps, varie de façon franche dans les premiers instants de la dispersion pour prendre des variations régulières et monotones au fur et à mesure que la dilution s'opère et tend ainsi vers une forme gaussienne lorsque la dispersion devient passive.

La qualité de ce type de modèle est conditionnée en grande partie sur le choix et l'établissement des paramètres utilisés pour simplifier les équations de la mécanique des fluides.

IV. 3.3. Modèle CFD (Computational Fluid Dynamics):

IV.3.3.1. Introduction:

Ces modèles s'attachent donc à résoudre directement le système d'équations physiques qui gouverne la dispersion sans le dégrader comme dans la démarche des modèles de type intégral.

Le système d'équations du modèle physique est composé de la conservation de la : quantité de mouvement, l'énergie, la masse d'air et la quantité de produit.

IV.3.3.2. Résolution des modèles CFD:

Plusieurs méthodes de résolution existent et sont caractérisées par les différents paramètres :

- ✓ le type de modèle, eulérien / lagrangien / pré-processeurs météorologiques;
- ✓ le schéma général de résolution, éléments, différences ou volumes finis;
- ✓ les méthodes de résolution locales: gradient conjugué, Gauss Seidel.

Ces trois modèles sont détaillés dans ce qui suit.

a. Modèle eulérien:

Afin de résoudre le système, le modèle doit discrétiser numériquement les équations à résoudre. Ceci se fait par l'intermédiaire d'un maillage qui peut être plus ou moins complexe. De ce point de vue, les modèles eulériens diffèrent également suivant le schéma de résolution numérique qu'ils adoptent:

- ✓ éléments finis. Le maillage est défini par des lignes de nœuds qui épousent à une homothétie près, la forme du relief. Le principal inconvénient des différences finies réside dans le manque de souplesse dans le dessin du maillage.
- ✓ différences finies. C'est la méthodologie la plus utilisée, essentiellement du fait de la facilité de mise en œuvre.
- ✓ volumes finis. Cette méthode plus élaborée, permet d'améliorer la convergence et évite la diffusion numérique.

b. Modèles lagrangiens:

Les modèles lagrangiens utilisent, pour modéliser le mouvement du fluide, une approche particulière: la dispersion est évaluée par le calcul de plusieurs milliers de trajectoires de particules partant d'une même source. Les concentrations sont alors données par sommation du nombre de particules présentes dans un volume donné. Les particules sont supposées indépendantes et le modèle néglige donc les interactions entre les trajectoires des particules, ce qui ne rend que partiellement compte du champ de turbulence

c. Modèles diagnostics:

Les modèles diagnostics utilisent simplement des données météorologiques afin de créer un champ de vent 3D par interpolation sous des contraintes de continuité mais, sans passer par la résolution des équations d'écoulement. Bien entendu, cette méthode demande un nombre de données conséquent pour permettre une bonne corrélation avec la réalité.

IV.4. Application du modèle eulérien

IV.4.1. Modèle mathématique:

La modélisation décrit et traduit, sous la forme d'équations mathématiques, l'ensemble des phénomènes de la mécanique des fluides appliqués à la dispersion atmosphérique. Ce correspondra à la reconstitution du phénomène de dispersion atmosphérique, à partir de la modélisation mathématique, grâce à l'introduction de paramètres d'entrée permettant de représenter les spécificités du site (topographie, météorologie, émissions). L'objectif, par la mise en œuvre de ces applications numériques, est de réaliser une cartographie de l'impact, auquel sont exposés les riverains d'un site émetteur (Lumbreras et Borge, 2014 ; Nejadkoorki et al., 2008).

La modélisation de la dispersion atmosphérique doit permettre d'établir une relation entre la source et la cible, sous l'influence de différents paramètres physiques, en particulier le transport et la diffusion (Makri et Stilianakis, 2008).

Le modèle nécessite un maillage dans lequel nous suivrons l'évolution des polluants. Cette grille a l'avantage de permettre de calculer, sur tout le domaine désiré, les différentes grandeurs physiques nécessaires à l'étude de la pollution atmosphérique. Pour résoudre ces équations, le modèle doit décomposer les composantes de la vitesse en la somme d'une moyenne et de fluctuations (Lumbreras et Borge, 2014; Makri et Stilianakis, 2008; Demail et Carissimo, 2006).

La dispersion des polluants atmosphériques est déterminée par la direction et la vitesse du vent, les températures de l'air ambiant et du rejet, mais aussi par la stabilité atmosphérique.

Notre travail considère un espace temporel dont les conditions de la dispersion obéissent à un régime d'écoulement laminaire. Afin de résoudre le système mathématique, le modèle doit discrétiser numériquement les équations de l'équation de transport générale suivante:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \text{div}(\rho u\phi) = \text{div}(\tau \cdot \text{grad}(\phi)) + S_\phi \quad (\text{IV.3})$$

Ce qui correspondra à l'ensemble des équations suivantes:

✓ Equation de Mouvement

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + U \frac{\partial \rho U}{\partial x} + V \frac{\partial \rho U}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial U}{\partial y} \right) + S_U \quad (\text{IV.4})$$

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + U \frac{\partial \rho V}{\partial x} + V \frac{\partial \rho V}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial V}{\partial y} \right) + S_V$$

✓ □ Equation d'Energie (IV.5)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S_T$$

✓ Equation de conservation d'espèces (IV.6)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + S_C$$

$$\text{(IV.7) Equation de Continuité: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho U}{\partial x} + \frac{\partial \rho V}{\partial y} = 0 \quad (\text{IV.8})$$

Les termes sources sont exprimés par: $S_U = -\frac{\partial P}{\partial x}$; $S_V = -\frac{\partial P}{\partial y}$ (IV.9)

Le tableau IV.1, donne la signification des termes utilisés dans le modèle mathématique

Tableau IV.1: Définition des termes utilisés

Terme	Signification
Φ	Fonction représentant U, V,T et C
U	Vitesse selon l'axe x
V	Vitesse selon l'axe y
C	Concentration de l'espèce
S	Terme source
P	Pression
T	Température
D	Diffusion
(x ,y)	Espace étudié
t	Temps
Re	Nombre de Reynolds

IV.4.2. Résolution du modèle:

Pour résoudre notre système d'équation on utilise la méthode des volumes finis qui consiste à discrétiser la forme intégrale des équations de conservation plutôt que leurs formes différentielles. Le résultat de l'intégration exprime la conservation exacte de la conservation physique Φ sur chaque volume de contrôle (Rousse, 2010; Marko et al, 2014; Tripathi, 2013). Cette méthode est caractérisée par son avantage à satisfaire la conservation de masse, la quantité de mouvement et d'énergie dans tous les volumes finis ainsi que dans tout le domaine de calcul. Elle facilite la linéarisation des termes non linéaires dans les équations de conservation telle que le terme source par exemple. La méthode des volumes finis (Rousse,2010) est appliquée sur l'équation générale de transport suivante :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + div(\rho u\Phi) = div(\tau.grad(\Phi)) + S_{\Phi} \quad (IV.10)$$

Et qui est explicité par les trois formes d'équations suivantes:

- Equation de mouvement pour déterminer les composantes de vitesses U, V.
- Equation de l'énergie pour déterminer la température T.
- Equations de conservation des espèces pour suivre le panache

Le problème physique donné est résolu suivant trois principales étapes:

- Division du domaine de calcul en volumes de contrôle via un maillage

- Intégration des équations sur chaque volume de contrôle afin de les transformer en équations algébriques,
- Résolution des équations ainsi discrétisées.

Où φ représente une grandeur intensive telle que T_φ est un coefficient de diffusion et S_φ le terme source de l'équation de transport. Sous cette forme générale, tous les termes non-convectifs ou non-diffusifs sont inclus dans le terme source S_φ . Pour déterminer les conditions initiales et les conditions aux limites, une étude antérieure nous a permis de déterminer le nombre de véhicule par zone et les concentrations des polluants engendrés par rapport au domaine spatiotemporel (Marko et al., 2014).

IV.4.3. Facteur d'émission et condition initiale:

La connaissance des quantités de certaines substances rejetées dans l'atmosphère est une étape nécessaire et fondamentale à toute politique de protection de l'environnement qui s'intéresse aux problèmes actuels comme l'acidification, la dégradation de la qualité de l'air, le réchauffement global et les modifications du climat, l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, ... etc.

Cette quantification que l'on dénomme usuellement «inventaire d'émission» s'effectue à partir de règles spécifiques qui varient éventuellement d'un inventaire à l'autre.

La réalisation d'un inventaire des émissions peut s'appuyer, sur le calcul théorique des flux de polluants émis dans l'atmosphère (masse du composé par unité de temps). Il s'agit du produit de l'activité et des facteurs d'émissions issus d'expériences météorologiques ou de modélisation, dans certains cas, les émissions sont déterminées par des relations mathématiques plus complexes car les données d'activité dépendent de nombreux paramètres, et varient sur de courtes échelles de temps. C'est par exemple le cas du trafic routier, de la sylviculture ou encore des émissions biotiques qui dépendent des conditions météorologiques (Ponche, 2002).

IV.4.3.1. Facteur d'émission:

L'émission unitaire, ou facteur d'émission est la masse de polluant émise par une unité de transport (passager .Km; mais par simplification et manque de données, elle est le plus souvent exprimée en g/km parcouru par le véhicule).

On distingue généralement trois niveaux géographiques d'inventaire: national, urbain et local. Pour chaque niveau les objectifs d'un inventaire peuvent être extrêmement variés:

- ✓ Inventaire national: les autorités publiques cherchent à apprécier l'évolution des émissions de polluants au niveau national, afin d'identifier le rôle des différentes sources, de tester des politiques futures, de vérifier le respect des conventions internationales. Les objectifs des inventaires au niveau international sont assez semblables.
- ✓ Inventaire urbain: le premier objectif est souvent didactique vis-à-vis des décideurs ou du public (donner à voir les sources d'émissions); un inventaire urbain permet aussi de tester des politiques future (de transport par exemple), et sert de données d'entrée aux modèles physico-chimiques qui modélisent la qualité de l'air sur l'agglomération.
- ✓ Inventaire local, au niveau d'une rue par exemple est essentiellement utilisé pour tester des modes de gestion du trafic vis-à-vis de la qualité de l'air ou pour décrire avec précision la distribution spatiale des émissions.

Pour consolider cette étude, par rapport à la détermination des conditions initiales l'expression de l'inventaire des émissions d'une activité, transport urbain dans notre cas, est exprimé par:

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} \cdot F_{s,a} \quad (\text{IV.11})$$

- Où: $E_{s,a,t}$: émissions relative à la substance s, à l'activité a et pendant le temps t;
 $A_{a,t}$: quantité d'activité relative à l'activité a et pendant le temps t;
 $F_{s,a}$: facteur d'émission de la substance s et à l'activité a (Tripathi, 2013).

Dans le cas d'un panache représentant un ensemble de substances, l'émission correspondra à:

$$E_{Panache,transport,t} = \sum_i^n A_{transport,t} \cdot F_{s(i),a}; \quad (\text{IV.12})$$

Où: $s(i)$ représente les différentes substances

L'activité engendre l'ensemble des risques: $A_{transport,t} = \sum_i^n R(j); \quad (\text{IV.13})$

Où: R : risques liés l'activité du transport et j représente les différents risques.

Ce qui donne:

$$E_{Panache,a,t} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{n'} R(j) \cdot F_{s(i),a} \quad (\text{IV.14})$$

Ce qui nous permettra de déterminer la concentration du panache lorsqu'il est dû à un ensemble de risques émettant un ensemble de polluants issus de plusieurs sources.

L'illustration de cette dernière équation, pour i ayant les valeurs de 1-5 et j ayant les valeurs de 1-4 est exprimée par le tableau 2 suivant:

Tableau IV.2: illustration de l'équation de $E_{panache, a, t}$ pour i et j donné

$j \downarrow \rightarrow i$ j / i	$E_{Panache, a, t}$				
	$R(1).F_{S(1)}$	$R(1).F_{S(2)}$	$R(1).F_{S(3)}$	$R(1).F_{S(4)}$	$R(1).F_{S(5)}$
	$R(2).F_{S(1)}$	$R(2).F_{S(2)}$	$R(2).F_{S(3)}$	$R(2).F_{S(4)}$	$R(2).F_{S(5)}$
	$R(3).F_{S(1)}$	$R(3).F_{S(2)}$	$R(3).F_{S(3)}$	$R(3).F_{S(4)}$	$R(3).F_{S(5)}$
	$R(4).F_{S(1)}$	$R(4).F_{S(2)}$	$R(4).F_{S(3)}$	$R(4).F_{S(4)}$	$R(4).F_{S(5)}$

R(1): risque lié au transport engendrant une pollution atmosphérique; R(2): engendrant un bruit; R(3): engendrant des déchets solides ou liquides; R(4): engendrant un incendie; R(5): engendrant explosion.

$F_{S(1)}$: facteur d'émission de la substance 1 (exemple NO_x); $F_{S(2)}$: facteur d'émission de la substance 2 (exemple CO_2); $F_{S(3)}$: concernant la substance 3 (exemple CO); $F_{S(4)}$: concernant la substance 4 (exemple SO_x); $F_{S(5)}$: concernant la substance 5 (exemple PM)

En appliquant ce formalisme à notre cas correspondant à une pollution urbaine due au transport (rejet des pots d'échappements automobiles) ce qui correspond à: $R(1) = A_{transport, t}$

Et $F_{S(i)}$ les facteurs d'émissions respectivement de CO_2 , CO , SO_x , NO_x et PM, les autres grandeurs sont nulles, ce qui correspond à:

$$E_{Panache, a, t} = \sum_{i=1}^{n'} R_{(1)} \cdot F_{S(i), a} \quad (IV.15)$$

IV.4.4. Résultats et discussion:

Il s'agit de suivre l'évolution des rejets des pots d'échappements des véhicules circulants dans une zone considérée, comme la zone la plus fréquentée par les automobiles, tels que l'espace parcouru, le nombre de véhicule/heure, le temps et le carburant utilisé.

Les conditions météorologiques, pour notre étude, correspondent à une moyenne de température de 20°C et une vitesse de vent de 4m/s. Ces dernières sont considérées comme stables par rapport au domaine spatiotemporel utilisé, ce qui nous a permis de dire que l'écoulement des gaz suit un régime laminaire. Le rejet d'un véhicule parcourant la zone est ramené en moyenne à une source fixe pour toute la zone d'étude (tableau IV.3) de telle sorte à être considérée comme une cheminée.

- Les conditions initiales: la concentration C_0 du panache n'est autre que la somme des concentrations des substances rejetées par le pot d'échappement $C_0 = \sum_{i=1}^{n'} S_{(i)}$ avec S_i

substance rejetée et i nombre de substance rejeté; T_0 : la température ambiante; v : vitesse du vent ayant une valeur moyenne de 4m/s et les conditions aux limites à la sortie du domaine sont données; $\frac{\partial \phi}{\partial y} = 0$ et à l'entrée du domaine $\phi = \phi_0$ (avec ϕ_0 représente la température ou la concentration ou la vitesse et ou la pression).

Un programme informatique (fortran) a été réalisé pour obtenir les profils du champ de concentration du panache pour une géométrie bidimensionnelle et les équations gouvernantes le problème doivent être sous forme adimensionnelle.

Les résultats sont illustrés comme suit (Aouragh et Bourmada, 2014): la figure IV.2 montre le champ des concentrations du panache en fonction du temps et pour une valeur Reynolds de 10, l'ensemble des courbe montrent que le panache dépasse la zone de l'étude après un temps déterminé, ce qui correspond au déplacement de la pollution d'une zone à une autre avec dispersion importante en hauteur et dans les conditions les plus stables d'une atmosphère. La figure IV.3 montre que le champ des concentrations en fonction du temps est accéléré pour Reynolds de 500, c'est-à-dire plus en tend vers le domaine de turbulence plus le déplacement de la pollution est accéléré, plus le temps de séjour des polluants dans l'atmosphère urbain est très réduit. Ce qui montre aussi que la pollution due aux rejets automobiles est très ressentie dans le cas d'un régime laminaire que dans le cas du régime turbulent (Rousse, 2006), ce qui est le cas de la ville de Batna dans la majorité des saisons.

Tableau IV.3: nombre de véhicule par rapport aux différentes zones de la ville

Zones Routes	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
Route principale (Véhicule.)	539.33	208	257	231.66	327	345.66	374.33
Route secondaire (Véhicule.)	334.33	230	181.33	103.66	278.66	85	120.66
Route tertiaire (Véhicule.)	239.33	129.33	121	28.66	81.33	26	88.33
Véhicule moyen	1112.99	567.33	559.33	363.98	286.99	456.99	583.32

Tableau IV.4: concentration des différents polluants constituant le panache en fonction d'années

Années Tonne	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
CO ₂	■	■	■	■	■	■	■	■	■
NO _x	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PM	■	■	■	■	■	■	■	■	■
CO	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Dans le cas de la figure IV.4, on s'intéresse au panache à la sortie de la zone (volume de contrôle) en faisant varier les valeurs de Reynolds entre 10 et 500, on constate que dans le cas ou Reynolds est de 500 la concentration à la sortie du domaine augmente rapidement. Par contre, pour Reynolds de 10, elle met un temps plus long pour augmenter, ce qui confirme que plus on tend vers le régime turbulent plus la pollution est dissipée rapidement vis-à-vis du domaine d'étude. Même remarque pour la figure IV.5 correspondant au profil de concentration en fonction de la dimension x, pour un temps fixe de 600 secondes, une fois de plus pour Reynolds de 500 la concentration décroît rapidement, alors que pour Reynolds de 10, elle met plus de temps à décroître ce qui montre l'influence de la turbulence sur le comportement du panache.

Les conditions de cette modélisation reflètent parfaitement les conditions météorologiques de la ville de Batna, qui montre que la pollution des rejets des pots d'échappement non seulement elle persiste mais elle est transportée d'une zone à une autre.

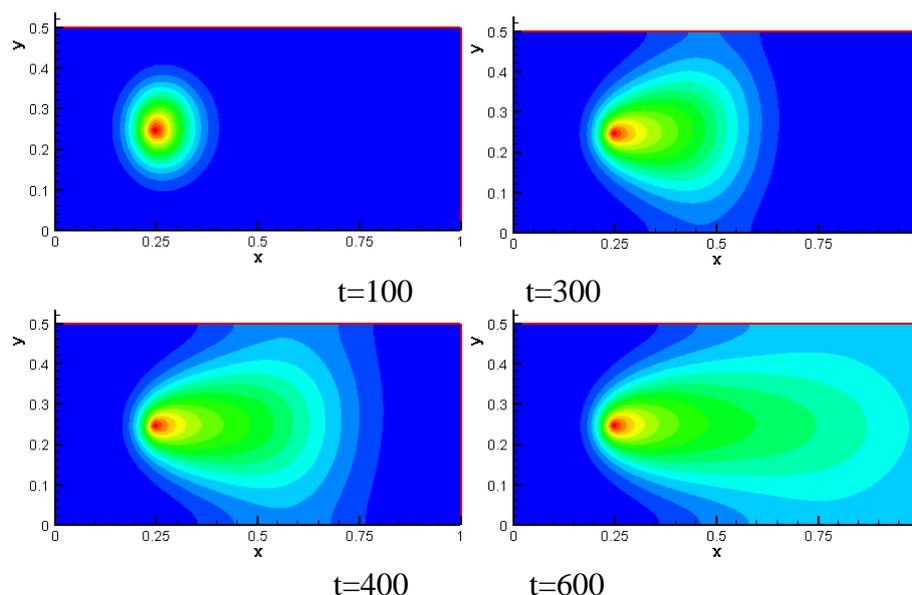


Fig.IV.2. champs de concentration pour nombre de Reynolds=10 pour différents temps

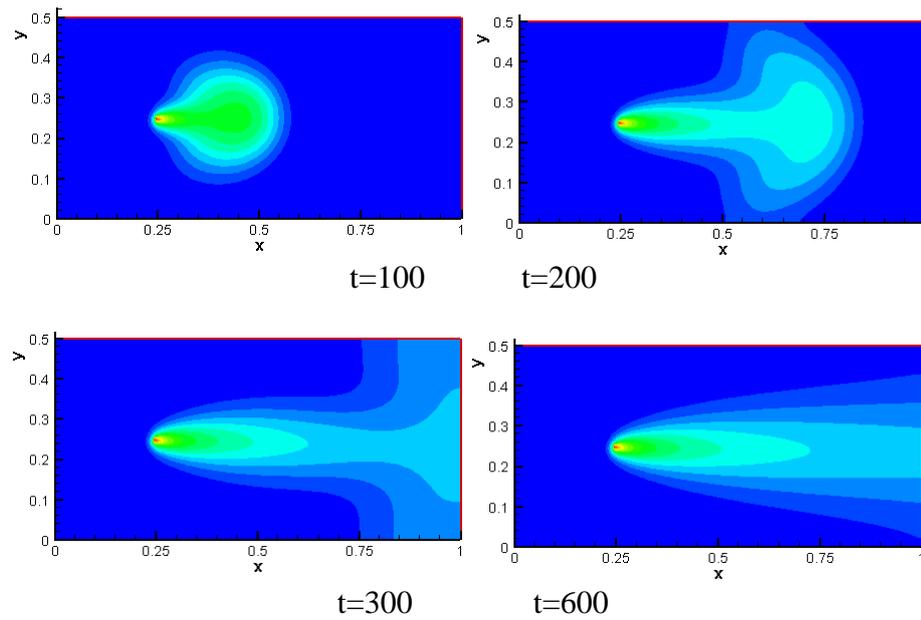


Fig. IV.3. champs de concentration pour nombre de Reynolds=500 pour différents temps.

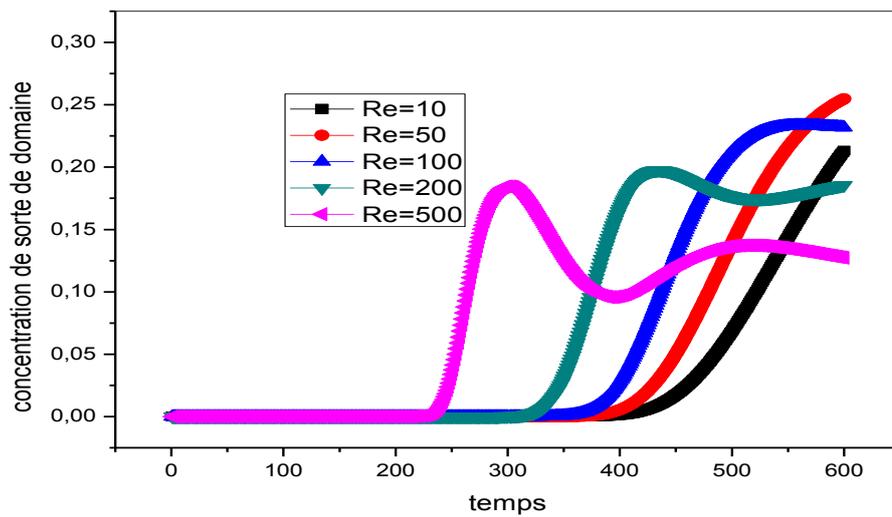


Fig.IV.4. concentration à la sortie du domaine en fonction de temps: effet de nombre de

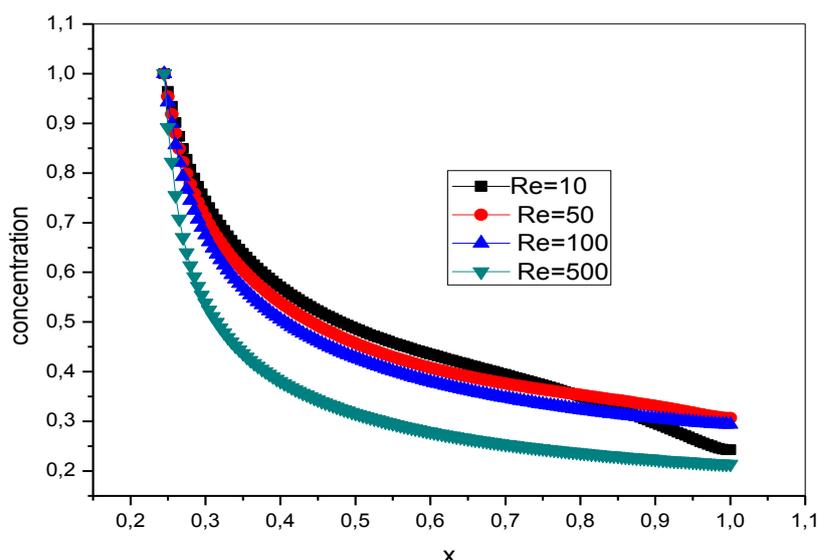


Fig.IV.5: effet du nombre de Reynolds sur le profil de concentration au temps =600

Pour y remédier à ce problème, il faut intégrer les questions d'urbanisme et de transport dans une même perspective (MEDDTL, 2011). Il faut également coordonner dans une démarche prospective et stratégique du développement de la ville, selon les exigences du marché lié au transport, les volontés politiques et les impératifs socio- techniques.

Cependant, la notion de ville durable est non seulement liée aussi aux dimensions géographiques ou environnementales mais intimement liée aux dimensions économiques, politiques et sociales, qui sont la notion du développement durable (AQEG, 2005).

IV.5 Conclusion

Après avoir présenté l'approche de modélisation du problème lié au transport urbain localisé par la dispersion basée sur l'équation de transport pour un régime laminaire, en utilisant la méthode des volumes finis comme un moyen numérique pour résoudre le système d'équations différentiels, représentant parfaitement le climat ordinaire de la ville de Batna.

D'après les résultats obtenus, il apparaît que la pollution due aux rejets automobiles est très ressentie dans le cas d'un régime laminaire que dans le cas du régime turbulent, ce qui est le cas de la ville de Batna dans la majorité des saisons. Cette pollution représente un problème d'environnement et de santé pour les habitants (Caplain, 2005).

Les politiques de transport durable sont l'expression de l'intégration du développement durable dans le secteur des transports. Il faut de définir des objectifs réalistes dans le but de tendre vers un développement urbain soutenable (Bover et al., 2013). L'accélération de la

croissance urbaine, la hausse prévisible du prix de l'énergie et la forte contribution des transports dans les émissions de GES, confortent le besoin d'avoir une vision durable de la ville. Pour développer des transports durables, il est nécessaire de prendre en considération les relations de la ville avec sa région urbaine, pour les choix techniques, la planification et l'organisation.

Conclusion générale

Le secteur du trafic routier est le plus difficile à appréhender car les sources sont mobiles, diverses et dont les informations doivent être exhaustives. Notre contribution à travers cette thèse est d'apporter un nombre d'information nécessaires à l'élaboration d'un inventaire, qui est une composante clé pour n'importe quel programme de contrôle de la pollution de l'air.

Dans un premier temps, les différents types de pollution possibles et leurs actions à différentes échelles temporelles et spatiales ont été abordés. Leur impact peut se manifester à différentes échelles, du fait du transport des polluants. Pour essayer de maîtriser et évaluer ces impacts, il est aujourd'hui reconnu que les inventaires d'émissions sont fondamentaux, que ce soit au niveau local pour alimenter des modèles de dispersion des polluants ou à une échelle plus globale pour les modèles de climatologie.

En amont de la modélisation, nous avons constitué notre base de données, émanant de l'enquête réalisée pour générer un inventaire. Ce dernier est donc une étape essentielle pour connaître la nature des polluants émis. L'utilisation du modèle EMISENS qui combine les deux méthodes « top-Down et Bottom-up », nous a permis d'avoir les premiers résultats concernant les émissions globales, qui prennent en charge la pollution du véhicule dès son démarrage jusqu'à son stationnement.

Afin de comparer les résultats trouvés avec le modèle EMISENS et avec l'absence de mesures réelles des émissions (station de mesure), nous avons utilisé deux autres démarches. Ces dernières, nous ont permis d'obtenir des résultats cohérents avec une erreur de 3.53%. Le résultat trouvé pour le polluant CO₂ pour l'année 2013 est de 192g/km/jour, cette valeur excède la norme Européenne, qui est de 130g/km.veh.

L'ensemble de ces démarches utilisées travail sont résumés dans le tableau – suivant:

Méthodes et outils	Résultats en tonnes
<p>Méthode 1: pour l'évaluation de CO₂ à partir de l'analyse d'une réaction de combustion qui s'effectue au niveau du moteur à combustion; ainsi que les facteurs d'émissions pour l'évaluation des autres polluants.</p> $m_D = 4N_{veh/HP} \times P_{veh/D} \times d_D \times F_C \times F_e \times P_{oxy/C} \times \frac{M_{CO_2}}{M_C}$ $m_E = 4N_{veh/HP} \times P_{veh/E} \times d_E \times F_C \times F_e \times P_{oxy/C} \times \frac{M_{CO_2}}{M_C}$ $M_{TAn}(CO_2) = (m'_{CO_2/E} + m'_{CO_2/D}) \times 365$	<p>CO₂: ██████████</p> <p>CO: ██████████</p> <p>NO_x: ██████</p>
<p>Méthode 2: pour l'évaluation des émissions de la combustion (quantité d'échappement moyenne); facteurs d'émissions; cartographie réalisée par un modèle mathématique de dispersion.</p> $Q_{An}(CO_2) = N_{veh} \times L_{j/veh} \times me_{moy} \times 365$	<p>CO₂: ██████████</p> <p>CO: ██████████</p> <p>NO_x: ██████</p>
<p>Méthode 3: Utilisation du modèle Emisens, qui combine à la fois l'approche Top-down et Bottom-up basée sur la méthodologie de Copert</p> $E = A \times F_e.$ $E = E_{hot} + E_{Cold} + E_{Evap}$ <p>Distribue les émissions calculées dans l'espace et dans le temps</p>	<p>CO: ██████████</p> <p>NO_x: ██████</p>

Un autre volet de l'étude s'est basé sur la modélisation mathématique, qui utilise la méthode des volumes finis comme moyen numérique pour résoudre le système d'équations différentielles. Cette modélisation va nous permettre d'examiner le caractère de dispersion des polluants émis, selon les valeurs de Reynolds.

L'analyse nous a permis de mettre l'accent sur le phénomène de pollution due aux rejets automobiles dans la ville Batna en cas d'un régime laminaire que turbulent et ceci dans la majorité des saisons.

Etant donné que la ville de Batna a connu une croissance rapide et démesurée de son tissu urbain, ce qui a engendré à des effets négatifs sur les plans de circulation induisant ainsi une surcharge de certains axes se reflétant d'une part par sur la mobilité et d'autre part sur les

congestions, particulièrement aux heures de pointes. Ces effets, impliquent forcément une surconsommation des carburants et de ce fait une augmentation de la pollution atmosphérique et sonore. Cette pollution se traduit par une émission en CO₂ très importante. L'extrapolation des résultats obtenus pour 2020, montre une augmentation de CO₂ de 75%. La même extrapolation est réalisée pour la capitale Algérienne pour 2020, donnant 2.3 millions de tonnes de CO₂. Ce qui montre en plus que les émissions au niveau de la ville de Batna sont très importantes.

Pour faire face à ce genre de problème, plusieurs dispositions peuvent être prises. Au niveau local, un certain nombre d'aménagements sont nécessaires en matière de gestion de la circulation automobile, en particulier aux endroits des points noirs les plus significatifs, une meilleure signalisation et un stationnement réglementé s'avèrent nécessaires, une nouvelle réflexion sur les plans de transport et de circulation serait une priorité pour les collectivités locales, l'utilisation du transport en commun, tout en améliorant leur qualité de service, le contrôle et la régulation des transports en commun, l'encouragement du co-voiturage, l'amélioration et l'extension de l'infrastructure routière, la conception de piste cyclable pour inciter à pratiquer le vélo, opter pour le tramway dans le but de diminuer le phénomène de congestion et du stationnement anarchique et un encouragement et mesures incitatives de l'emploi de carburants moins polluants GPL, GNV, seraient nécessaires pour faire face.

Enfin, notre étude nous a permis d'évaluer l'impact du transport routier sur la qualité de l'air urbain de la ville de Batna, qui s'insère dans une perspective d'établir un équilibre entre la mobilité du transport urbain et le taux de pollution engendrée.

Cependant, une étude approfondie serait nécessaire pour déterminer la dispersion et le temps de séjour des polluants par rapport à l'ensemble de la ville, afin d'établir les cartographies appropriées.

Par ailleurs, les autorités locale de la ville de Batna sont appelés à prendre les mesures nécessaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et les polluants nocifs, tout en développant les outils de surveillance et d'évaluation de la qualité de l'air ainsi que ses évolutions futures qui seront mises à la disposition des décideurs et des collectivités locales.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- Adachi, K., Tainosho, Y. (2004). Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International*, 30-8-2004, pp.1009-1017.
- Adar, S.D., Gold, D.R., Coull, B.A., Schwartz, J., Stone, P.H., Suh, H., (2007). Focused Exposures to Airborne Traffic Particles and Heart Rate Variability in the Elderly. *Epidemiology* 18, 95–103.
- AEE (European Environment Agency). (2011). Air quality in Europe: reports. EEA, Copenhagen.
- AEE. (2002). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 3rd edition October 2002 UPDATE, technical report n°30, EEA.
- Afroz, R., Hassan, MN., Ibrahim, NA. (2003). Review of air pollution and health impacts in Malaysia, *Environmental research* 92 (2), 71-77.
- Air Rhône-Alpes. (2013). Rapport: Méthode d'élaboration du cadastre des émissions atmosphériques en Rhône-Alpes. www.air-rhonealpes.fr
- Airparif. (2005). Rapport : Analyse de l'inventaire et du cadastre des émissions des principaux gaz à effet de serre en Ile de France, septembre. www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/Rges.pdf
- Al barakeh, Z. (2012). Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs– méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution. Thèse doctorat, spécialité: genie des procedés. Siutenu le 17 decembre à saint Etienne.
- Alhovick, P., Eggleston, S., Goriben, N., Hassel, D., Hickman, AJ., Joumard, R., Ntziachristos, L., Rijeboer, R., Samaras, Z., Zierock, KH., 1997 , « COPERT III compute Program to calculate emission from road transport- Methodology and emission factors » Final draft report, European Topic Centre on Air Emission, 85p.
- Amato, F., Pandolfi, M., Moreno, T., Furger, M., Pey, J., Alastuey, A., Bukowiecki, N., Prevot, A.S.H., Baltensperger, U., Querol, X. (2011). Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmospheric Environment*, 45 -37 - 2011, pp. 6777–6787.
- An, X., Hou, Q., Li N., Zhai S. (2013). Assessment of human exposure level to PM10 in China. *Atmos. Environ.* 70, 376–386.

- Anderson, H.R. (2009). Air pollution and mortality: A history. *Atmospheric environment*, Vol. 43, No. 1, 2009, p. 142 - 152.
- André, M., (1998). Construction de cycles de conduite représentatifs pour la mesure des émissions de polluants des véhicules, Thèse doctorat soutenue le 03 février 1998 à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Anthony-ung. (2003). Cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide de données multi-sources, thèse de doctorat en Sciences de l'Université Paris 7 – Denis Diderot, soutenue le 7 novembre 2003, France.
- Aouragh, L., Bourmada N. (2014). Assessment of the Contribution of Road Traffic to Greenhouse Emissions: A Case of an Algerian City, *Journal of Environmental Protection*, Vol.5, No 13, pp.1364-1372.
- AQEG. (2005). Particulate matter in the United Kingdom, Report to Defra by the Air Quality Expert Group, avril 2005, product code PB10580a ISBN 0-85521-144-X, <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/aqeg>
- Arquès, P. (1998). La pollution de l'air : causes, conséquences, solutions-Edisud, Aix-en-Provence.
- Aspa. 2006. Rapport de synthèse: Inventaire des émissions atmosphériques sur la plate-forme aéroportuaire de l'Eroairport. ASPA-05112801- ID, rapport du 20 février 2006.
- Atk, M., Laid, Y., Oudjehane, R., Zidouni, N., Filleul, L., Tessier, J.F., Boughedaoui, M., Baough, L. (2004). Effets sanitaires de la pollution atmosphérique urbaine en Afrique du nord: Cas de la ville d'Alger, *The International Journal of Tuberculosis Lung Disease*, 8,11, S20.
- Azri, Ch., Maalej, Ah., Medhioub, Kh. (2002). Caractérisation du niveau de pollution atmosphérique dans la ville Sfax (Tunisie): Influence des sources et des facteurs météorologiques, *Techniques-Sciences-Méthodes*, 1, 78-92.
- Belalcazar, L.C., Clappier, A., Blond, N., Flassak, T., and Eichhorn, J. (2010). An evaluation of the estimation of road traffic emission factors from tracer studies, *Atmospheric Environment Journal*, Vol. 44, No. 31, pp.3814–3822.
- Bellasio, R., Bianconi, R., Corda, G., Cucca, P. (2007). Emission inventory for the road transport sector in Sardinia (Italy), *Atmospheric Environment*, 41 (4), pp. 677-691.

- Benyahia, L., Dridi, H., Naceur, F. (2014). La perception des dysfonctionnements du développement urbain vue par les habitants de Batna (Algérie). *Rev. Roum. Géogr./rom. Journal géographie*, 58, (1), p. 57-71, Bucuresti.
- Beral-Guyonnet, I. (1996). Influence des facteurs météorologiques sur la pollution atmosphérique: le cas de l'agglomération Lyonnaise, *revue de géographie de Lyon*. Vol.71 N°11, p.71-77.
- Berkhout, F., Angel, D., Wiczorek, A.J. (2009) Asian development pathways and sustainable socio-technical regimes. *Technol. Forecast. Soc. Chang.*, 76, pp. 218–228.
- Boubakour, F. (2001). «Le transport informel de personnes en milieu urbain ampleur et raisons d'être. Cas de la ville de Batna (Algérie)». In, revue: *Transports n°406 Editions techniques et économiques PARIS*.
- Boubakour, F. (2006). Les transports urbains en Algérie face aux défis du développement durable : sur les problèmes rencontrés et les solutions proposées. CODATU XIII, 2006. [www.codatu.org/.../Les-transports-urbains-en-Algérie-face-aux-défis-du développement durable....](http://www.codatu.org/.../Les-transports-urbains-en-Algérie-face-aux-défis-du_développement_durable...)
- Boughedaoui, M. (2007). Etude des émissions polluantes issues du trafic routier en Algérie. Thèse de Doctorat d'Etat - Génie de l'Environnement de l'Ecole Nationale Polytechnique Alger.
- Boughedaoui, M., Kerbachi, R., Kessali, D., Joumard, R. (2004). Mesure de la pollution plombifère dans l'air ambiant d'Alger. *Pollution Atmosphérique*, n°181, 105-111.
- Boughedaoui, M., Kerbachi, R., Kessali, D., Joumard, R. (2004). Mesure de la pollution plombifère dans l'air ambiant d'Alger. *Pollution Atmosphérique*, n°181, 105-111.
- Boukahilat, H. (2011). Evaluation des gains énergétiques et des émissions évitées lors de la mise en place d'une nouvelle organisation des déplacements avec étude de cas. Ecole Doctorale en Energétique et Développement Durable, Ecole des mines de Nantes. Mémoire de Magister, option «Management de Projet Energétique».
- Bover, P., Zhu, S., Ferreira, L. (2013). Modelling vehicle emissions for Australian conditions. *Road & Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice*, Vol. 22, No. 4, Dec 2013: 15-29.

- Brugge, D., Durant, J.L., Rioux, C. (2007). Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: A review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks. *Environ. Health* 6, 23.
- Buckeridge, D.L., Glazier, R., Harvey, B.J., Escobar, M., Amrhein, C., Frank, J. (2002). Effect of motor vehicle emissions on respiratory health in an urban area *Environmental Health Perspectives*, 110 -3, pp. 293–300.
- Burón, J.M., López, J.M., Aparicio, F., Martín, M.A., García, A. (2004). Estimation of road transportation emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program, *Atmospheric Environment*, 38 (5), pp. 715-724
- Cadle, S.H., Gorse, 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 Air & Waste Management Association*, 53, 152-167.
- Cai, H., Xie, S. (2007). Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005, *Atmospheric Environment*, Volume 41, Issue 39, December 2007, Pages 8963-8979.
- Caplain, I. (2005). Mesures des émissions polluantes automobiles- Application à la modélisation eulérienne 3D de la formation des oxydants photochimiques dans la troposphère, thèse doctorat soutenue 11 mai 2005 à Lille (France), spécialité « structure et dynamique des systèmes réactifs ».
- CETMO. (1994). Impact du Transport sur l'environnement: Analyse générale et réflexions pour la Méditerranée Occidentale, Résumé, mars 1994, p 5-20.
- CITEPA. (2001a). Rapport : « Inventaire des émissions de polluants dans l'atmosphère en
- CITEPA. (2004). Centre Interprofessionnel Technique D'étude de la Pollution Atmosphérique, Calcul des émissions dans l'air-principes méthodologiques généraux- Méthodologie-Emissions, 24 p. Document interne accessible sur le site internet www.citepa.org.
- CITEPA. (2011b). Rapport : Emissions dans l'air en France métropolitaine des particules en suspension (PM).
- Colvive, R., Hutchinson, E., Mindel, J., Warren, R. (2000). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment* Vol. 35, n°9, p. 1537–1565.

- Cox, R.A.; Derwent, R.G. (1981). Gas kinetics and energy transfer, Specialist Periodical Reports Chem. Soc., 4, p. 189.
- Dab, W., Segala, C., Dor, F., Festy, B., Lameloise, P., Le Moullec, Y., Le Tertre, A., Medina S., Quénel, P., Wallaert, B., Zmirou, D. (2001). Pollution atmosphérique et santé: Corrélation ou causalité? Le cas de la relation entre l'exposition aux particules et la mortalité cardio-pulmonaire. *Journal of the Air & Waste Management Association* 51, 203–219.
- Décret exécutif-Algérie, N° 03-410 du ramadhan 1424 correspondant au 5 novembre 2003, fixant les seuils limites des émissions des fumées des gaz toxiques et des bruits par les véhicules automobiles.
- Degobert, P. (1995). *Automobile et pollution*. Paris: Editions Technip. 516. ISBN 2-7108-0628-2.
- Deletraz, G. (2002). *Pollution atmosphérique, Trafic routier et environnement*. Titre : Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Indices des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Bariatou (Pyrénées). Thèse de doctorat en Géographie- Aménagement, soutenue le 13 décembre 2002 à l'université de Pau et des pays de l'Adour- France- 561p.
- Demaël, E and Carissimo, B. (2006), Comparison between Eulerian CFD and Gaussian plume models on prairie grass dispersion experiment. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47(1): 888-900.
- Denier van der Gon, H., Gerlofs-Nijland, M.E., Gehrig, R., Gustafsson, M., Janssen, N., Harrison, R.M., Hulskotte, J., Johansson, C., Jozwicka, M., Keuken, M., Krijgheld, K., Tziachristos, L., Riediker, M., Cassee, F.R. (2013). The policy relevance of wear emissions from road transport, now and in the future—an international workshop report and consensus statement. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63 -2, pp. 136–149
- Diaf, N., Bouchaour, M., Merad, L., Benyoucef, B. (2003). Paramètres influençant la dispersion des polluants gazeux. *Revue éner. Ren.: ICPWE*. 139-142.
- Dimitriou, K., Paschalidou, A.K., Kassomenos, P.A. (2013). Assessing air quality with regards to its effect on human health in the European Union through air quality indices. *Ecol. Indic.* 27, 108–115.

- Dimo, I et al. (2010). Studying the sensitivity of pollutants' concentrations caused by variations of chemical rates. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 235. pp. 391-402.
- DPAT. (2008). (Direction de la wilaya et de l'Aménagement du Territoire).
- DRAG. (2012). (Direction de la Réglementation et de l'Administration Générale) Batna.
- Eggleston, S., Gaudioso, D., Gorissen, N., Joumard, R., Rijkeboer, R C., Samaras, Z, and Zierock, K H. (1993). CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic. Volume 1: Methodology and emission factors. Final Report. Document of the European Commission ISBN 92-826-5571-X.
- Elichagaray, C. (2004). La pollution atmosphérique, données générales sur les émissions et la physico-chimie des polluants de l'air, leurs effets, la réglementation. ADEME, 31 mars 2004.
- Elichegaray, C., Bouallala, S., Maitre, A. (2010). Etat et évolution de la pollution atmosphérique. *Revue Française d'Allergologie*. juin 2010. Vol. 50, n°4, p. 381–393.
- Emery, J. (2012). La qualité de l'air liée au transport routier en milieu urbain: Analyse des concentrations en oxydes d'azote sur l'agglomération dijonnaise, mémoire pour l'obtention du Master 2 Transport, Mobilité-Environnement, Climat, université de Bourgogne (France).
- Fan, Y., Meng, Q., Weisel, C., Shalat, S., Laumbach, R., Ohman, P., Strickland, B., Rodriguez, M., Bonanno, L. (2006). Acute short-term exposures to PM_{2.5} generated by vehicular emissions and cardiopulmonary effects in older adults *Epidemiology*, 17 -6, pp. S213–S214.
- Farhad, N., Ken, N., Iain, L., Trevor, D. (2008). An approach for modelling CO₂ emissions from road traffic in urban areas, *Science of the total Environment*, vol. 406, issues 1-2, pp 269-278.
- Farhi, A., Valentina, B., Jonatan, A., Itzhak, SE., Yinon, R., et al. (2014). The possible association between exposure to air pollution and the risk for congenital malformations, *Environmental research*, 135 C , 173-180.
- FEBIAC. (Fédération Belge de l'Industrie de l'Automobile et du Cycle). (2001). A tout consommation: <http://www.febiac.be/fr/content/default.asp>.

- Flanquart, M., Anicia, L. (2000). Evaluation du risque sanitaire dû à la pollution lié au trafic routier en milieu urbain, projet cindynique.
- FNORS. (2008). Santé et environnement dans les régions de France -Rapport. - Ministère de la santé, de la Jeunesse, des Sports et de la vie associative.
- France – format SECTEN »
- 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.
- François, S., Boissard, C., Mirabel, Ph., Noppe, J., Ponche, J. (2004). Méthodologie des cadastres d'émissions atmosphérique: Application au programme ESCOMPTE, vol. 13, pp 493-499.
- Friedrich, R., and Reis, S. (Eds.). (2004). Emissions of Air Pollutants: Measurements, Calculations and Uncertainties, Springer.
- Ghenu, A., Rosant, J.-M., Sini, J.-F. (2008). Dispersion of pollutants and estimation of emissions in street canyon in Rouen, France. Science Direct. Environmental Modelling and Software 23 (2008) 314-321.
- GIEC, (2000) : Rapport de synthèse. Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat GIEC. Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, AIEA/OCDE/IGES.
- Golubic, J., Vogrin, Z. (2013). Analysis of harmful emissions generated by road traffic in the city of Zagreb and proposals of measures, vol. 8, issues 2.
- Gorham, R. (2002). Air pollution from ground transportation. An assessment of causes, strategies and tactics, and proposed actions for the international community, United Nations 169pp, SD 008.
- HEI. (2003). Accountability Working Group. Assessing health impacts of air quality regulations: concepts and methods for accountability research. Report, communication 11, publication. Research Report, 162 Health Effects Institute Boston, Massachusetts.
- HEI. (2010). Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution: A critical Review of the literature on Emissions, Exposure and Health Effects Special Report, 17 Health Effects Institute, Boston, MA (2010).

- H-Huber. A, (1989). The influence of building width and orientation on plume dispersion in the wake of building, *Atmospheric Environment*. Vol.23. Issue 10, p. 2109-2116.
- Ho, Q.B (2010). Optimal Methodology to Generate Road Traffic Emissions for Air Quality modelling: Application to Ho Chi Minh City. Thèse de l'École polytechnique fédérale de
- Ho, Q.B. and Clapier, A. (2011) "Road traffic emission inventory for air quality modelling and to evaluate the abatement strategies: a case of Ho Chi Minh City", Vietnam, *Atmospheric Environment Journal*, Vol. 45, No.21, pp.3584-3593.
- Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., van den Brandt, P.A., (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 360 (9341), 1203–1209.
- INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité- France). (1995). Evolution des émissions de polluants des voitures particulières lors du départ moteur froid. Fiche résultat du rapport 197, Bron. www.inrets.fr
- Jahnich. M., (2003). Le traitement multi médiatique d'un risque pour la santé, étude de cas: le problème des gaz d'échappement. Thèse de doctorat ENS de Cachan, soutenue le 22 septembre 2003 (France).
- Johansson. C., Norman.M.,Burman, (2009). Road traffic emission factors for heavy metals. *Atmospheric environment*, 43 -31, pp. 4681–4688
- JORADP. (2006). « 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 ». *Journal Officiel*, 2006. <http://www.joradp.dz>.
- Joumard R, F Philippe and R Vidon (1998) Reliability of the current models of instantaneous pollutant emissions. 6th International Highway and Urban Pollution Conference, Ispra, Italy.
- Joumard, R., Patuere, L., Vidon, R., Guitton, J.P., Saber, A.I., Combet, E. (1990). Emissions unitaires de polluants de véhicules légers. Rapport INRETS n° 116, pp 119, Bron, France.
- Joumard. R, Sérié E., (1999). Modelling of cold start excess emissions for passenger cars in Artemis model. Bron, French National Institute For Transport And Safety Research (INRETS) (INRETS Report LTE 9931).

- Joumard. R, Vidon R et Tassel. P, (2001). Émissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires légers. ADEME. Bron, France: INRETS, Rapport LTE0101.
- Joumard. R, Vidon R, Paturel. L, Pruvost.C, Tassel P, De Soete G., Saber A, (1995). «Evolution des émissions de polluants des voitures particulières lors du départ moteur froid». Rapport INRETS, n° 197, LEN, Bron, France, 75p.
- Joumard. R., André. M., Crauser, J.P.; Badin, F., Paturel, L., (1987). Méthodologie de mesure des émissions réelles du parc automobile, rapport INRETS, n° 31, Arcueil, France, 81p.
- Kerbachi R, Boughedaoui, M., Keddou, M., Bounoua L., (2006). Ambient air pollution by aromatic hydrocarbons in Algiers, *Atmospheric Environment*, 40, 21, 3995-4003
- Kerbachi R, Kerchich.Y et Hatraoui.H., (2011). Cartographie de la pollution de l'air par les BTEX dans le grand-Alger, Premier colloque francophone «Polluants organiques générés par l'agriculture et les transports», 25 – 27 octobre, Agadir, Maroc.
- Kerbachi R., Boughedaoui, M., Boumechhour, F., Oucher, N., (2003). Etude de la pollution de l'air par les particules fines (PM-10, PM-2,5 et PM-1) et évaluation de l'aérosol acide à Alger. 12ème colloque internationale Transport et Pollution de l'Air, 15-17 juin 2003, Avignon, France. Proceedings INRETS, n°92, volume 2, pp. 93-98.
- Kerbachi. R., Boughedaoui. M., Koutai. N et Lakki. T., (1998). la pollution par oxydes d'azote et l'ozone dans la ville d'Alger », *Poll. Atm*, pp 98-101, Avril – Juin, 1998
- Keuken.M.P, Jonkers. S, Wilmink. R., Wesseling. J; (2010). Reduced NO_x and PM10 emissions on urban motorways in The Netherlands by 80 km/h speed management. *Science of The Total Environment*, Vol. 408, n°12, p. 2517–2526. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.008>.
- Koffi.B, (2002). Que sait-on de la pollution photochimique urbaine?: La Documentation Française, 2002. 101 p. ISBN: 2110049693.
- Krzyzanowski. M., and al., (2005). Health effects of transport-related air pollution, World Health Organisation. www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/74715/E86650.pdf
- Kulkarni. N. and Grigg. J., (2008). Effect of air pollution on children -Conference Symposium: socialpaediatrics. - Elsevier, pp. 238-243.
- Künzli.N, Kaiser. R., Medina S., Studnicka.M., Chanel.O.,Filliger. P., Herry. M., Horak. F. Jr., Puybonnieux-Textier V., Quénel.P., Schneider. J., Seethaler. R., Vergnaud J-C.,

Sommer.H., Lancet,(2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: aEuropeanassessment; 356: 795-801.

Laid. Y, Atek. M.,Oudjehane. R, Filleul. L, Baough. L, Zidouni. N, Boughedaoui, M, Tessier. J.F, (2007). Health effects of PM10 Air Pollution in an Low Incime Country / the case of Algiers. Int.J. Tberc. Lung Dis., 10(12), 1406-1411.

Lausanne (France).

Loi Algérienne n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement.

Lumbreras.J, Borge.R, 2014. A methodology to compute emission projections from road transport (EmiTRANS). Technological Forecasting and Social Change.Volume 81, January 2014, Pages 165–176. Elsevier

Makri.N, Stiliakis, I, "Vulnerability to air pollution health effects".International Journal of Hygiene and Environmental Health. 15 juillet 2008. Vol.211, n°3-4, p326-336. Disponible sur <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.06.005>.

Mallet, V. (2005). « Estimation de l'incertitude et prévision d'ensemble avec un modèle de chimie transport-Application à la simulation numérique de la qualité de l'air ». Thèse de doctorat. Ecole des ponts Paris Tecn. France.

Manahan, Stanley E., (2000). The atmosphere and atmospheric chemistry, Environmental Chemistry Boca Raton: CRC Press LLC

Marko. S, Velickovic, Djurdjica.M. Stojanovic, and Valentina B. Basaric, (2014). The assessment of pollutants emissions within sustainable urban freight transport development the case of Novi Sad. THERMAL SCIENCE: Year 2014, Vol. 18, No. 1, pp. 307-321.

Martinet, Y., (2004). Conception, validation et exploitation d'un cadastre des émissions de polluants atmosphériques sur la région Nord-Pas-de-Calais, Thèse de doctorat, Université Lille1.

Mauderly J.L, (1994). Toxicological and epidemiological evidence for health risks from inhaled engine emissions. Environmental Health Perspectives, 102, pp. 165–171.

Mavroidis I., Griffiths R., (2000). Investigation of building- Influenced atmospheric dispersion using a dual source technique, Urban Air Quality: Measurement, Modelling Management, Springer Link. P. 239-247.

- Mayer, H., (1999). Air pollution in cities, *Atmospheric environment*, 33, 4029-4037
- MEDDTL (2011). «Les enjeux atmosphériques: Etat des lieux France-Région pour l'élaboration des SRCAE», juillet 2011. Ministère de l'Ecologie du Développement Durable, du Transport et du Logement, Revue régionale Bourgogne, www.developpement-durable.gouv.fr
- Medina S., Plasència A., Artazcoz L., Quénel P., Katsouyanni K., Mücke H.-G., De Saeger E., Krzyzanowsky M., Schwartz J. and the contributing members of the APHEIS group. APHEIS Health Impact Assessment of Air Pollution in 26 European Cities. Second year report, 2000-2001. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice, September 2002; 225 pages.
- MEMA(2009), Ministère de l'Energie et des Mines Autorité de Régulation des Hydrocarbures; Journée d'information sur la rationalisation de la consommation de carburant dans le secteur des transports routiers, le 25 novembre 2009.
- Metz, N., (2005), Estimation of worldwide CO-, NMVOC-, NO_x -, and PM-emissions, Proceedings of the 10th conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 17-20 October 2005, Sissi, Crete, Greece.
- Metz.B, Davidson.O.R, Bosch. P.R, Dave.R, Meyer. L.A, (2007), Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- Monk. P.S, (2009). Atmospheric composition change - global and regional air quality, *Atmospheric environment* Vol.43, p. 5268-5350.
- Nejadkoorki.F, Nicholson.K, Lake.I, Trevor Davies., 2008. An approach for modelling CO₂ emissions from road traffic in urban areas. *Science of The Total Environment*, Volume 406, Issues 1-2, 15, Pages 269-278.
- Nejjari.C, Filleul. L, Zidouni. N, Laid, Y., Atek. M., El Meziane, A., Tessier, J.F., (2003). Air pollution: A new respiratory risk for cities in Low-Income Countries, *International journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 7, 3, 223-231.
- Nicolas. P, (1996). Ville Transports et Environnement, Contributions relatives des paramètres du trafic routier affectant la pollution sonore et atmosphérique en milieu urbain, thèse de doctorat en sciences économiques, soutenue le 12 septembre 1996 à l'université Lumière Lyon 2 (France).

- Noppe. J., (1998). Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière: Paramètres déterminants et méthode de quantification. Paris: ADEME Editions. 112p. ISBN 2-86817-371-3.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z., Gkatzoflias, D. and Kouridis, C. (2007) COPERT IV – Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, User Manual (Version 5.0), EEA.
- Nyberg. F., Gustavsson. P., J. arup, L., Bellander, T., Berglind, N., Jakobsson, R., Pershagen, G., et *al.*, (2000). Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology* 11 (5), 487–495.
- OECD (2008). Environmental outlook to 2030. Rapport, ISBN 978-92-64-04048-9.
- ONS-Office nationale des statistiques (ONS). Données statistiques, parc national automobile situation arrêtée au 31/12/2009.(<http://www.ons.dz>).
- ONS-Office nationale des statistiques (ONS). Données statistiques, parc national automobile situation arrêtée au 31/12/2012.(<http://www.ons.dz>)
- ORS (2007). Les composés organiques volatils (COV), état des lieux : définition, sources d'émissions, exposition, effets sur la santé. Rapport Ile de France : Observatoire régional de santé d'Ile de France, 127 pp.
- Pallavi. Pant, Roy. M. Harrison., (2013). Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment*, Volume 77, October 2013, Pages 78–97.
- Parrish, D. (2006) 'Critical evaluation of US on-road vehicle emission inventories', *Atmospheric Environment*, Vol. 40, No. 13, pp.2288–2300.
- Pasquill. F., (1974). «Atmospheric Diffusion», Ellis Horwood.
- Pemberton. M, "World Vehicle Forecasts and Strategies", Ward's/Pemberton, États-Unis/Royaume-Uni, 1996.
- Ponche J.L., 2002. Inventaires des émissions atmosphériques : un outil pour la gestion de la qualité de l'air. Lettre n°13 Programme International Géosphère Biosphère-Programme Mondial de Recherches sur le Climat (PIGB-PMRC).
- Ponche.J.L, (2003). Modélisation de la qualité de l'air troposphérique: cinétique de transferts hétérogènes, inventaires spatialisés d'émissions atmosphériques et modélisation à méso-

échelle. Mémoire d'habilitation à diriger des Recherches. Université Louis Pasteur de Strasbourg (France).

- Pope,A, Bumett,R, Thurston,G, THun, M, Call,E, Krewski,D, and Goldeski,J. (2003). Cardiovascular mortality and long terme exposure to particule air pollution. Epidemiological evidence of general pathological pathways of disease. Journal of the american heart association, decembre 15, 8 pp.
- Rahal. F, Benharrats. N, Blond. N, Clappier. A, Ponche. J.L, 2014. Modelling of air pollution in the area of Algiers city, Algeria. Int. J. Environment and pollution, vol. 54, n°1, 27pp.
- Rapport, (2005). Nuisances par les transports « Diagnostic sur les zones à risques de pollution atmosphérique et sonore, ville de Batna (Algérie).
- Rapport, Lig'Air, (1999). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en région centre (France).
- Rissler.J, Swietlicki.E, Bengtsson.A, Boman.C, Pagels,. Sandstrom.J.T, Blomberg.A, Londahl.J, (2012). Experimental determination of deposition of diesel exhaust particles in the human respiratory tract. Journal of Aerosol Science, 48, pp. 18–33.
- Robra, J.P., (2010). An Emissions Inventory OF Air Pollutants for the City of Bogotá, Colombia Master Project 2010, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering (ENAC) Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL).
- Rousse. I., (2006). «Climatologie géographique et pollution atmosphérique: Quelles synergies?». In Climat et société: l'apport des géographes-climatologues. Journées de la Climatologie. Nice (France).
- Rousse. I., (2010). Chapitre 23 «Pollution atmosphérique locale et développement durable», in Bertrand ZUINDEAU (éd), Développement durable et Territoire. Septentrion. Villeneuve d'Ascq: [s.n.],291-313 p. (Environnement et société).
- Saija, S., Romano, D., A methodology for the estimation of road transport air emissions in Urban Areas of Italy, Atmospheric Environment, 36 (2002), 34, pp. 5377-5383.
- Salam, M.T., Islam, T., Gilliland, F.D., (2008). Recent evidence for adverse effects of residential proximity to traffic sources on asthma. Curr. Opin. Pulm. Med. 14, 3–8.

- Samet, J.M., Dominici, F., Curriero, F.C., Coursac, I., Zeger, S.L., (2000). Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, 1987–1994. *N. Engl. J. Med.* 343, 1742–1749.
- Sausen. R., Koehler, I., Grabbe, G. C., Metz, N., (1998). Development of a (simplified) motor vehicle emission data set and its comparison to other emitters. *Forschungsbericht - Deutsche Forschungsanstalt fuer Luft - und Raumfahrte.*, 98-04, 27pp.
- Schafer, A., (2000). Carbon dioxide emissions from world passenger transport reduction options. *Transportation Research Record*, 1738, 20-29.
- Schauer.J.J, Lough.G.C, Shafer.M.M, Christensen.W.C, Arndt.M.F, DeMinter.J.T, Park.J.S., (2006). Characterization of Emissions of Metals Emitted from Motor Vehicles, Health Effects Institute, 2006, SD-008.
- SETRA (2009), Emissions routières de polluants atmosphériques : Courbes et facteurs d'influence. Note d'information du Sétra- Série Economie Environnement conception n° 92.
- Sevant. L et Sebek. A., (2004). La pollution atmosphérique et les transports franciliens. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile de France IAURIF, octobre 2004
- Silva-Sánchez.S, Sánchez, Tierin.L.E, (2008). Strategic environmental assessment and project environmental impact assessment in highway planning in São Paulo, Brazil, *journal of Environmental Impact Assessment Review*, 28, 515–522.
- Song, X.Y., Xie S.-D., (2006). Development of vehicular emission inventory in China, *HuanjingKexue/Environmental Science*, 27 (6), pp. 1041-1045.
- Soylu, S., (2007). Estimation of Turkish road transport emissions, *Energy Policy*, 35 (8), pp. 4088-4094.
- Sportisse. B, (2008). Pollution atmosphérique: Des processus à la modélisation. Springer-Verlag France. Paris, 2008. 345 p. (Ingénierie et développement durable). ISBN: 978-2-287-74961-2.
- Sunil, M. (2014). Assessment of mobility and its impact on energy use and air pollution in Nepal, *Energy & Environmen: Bringing to gether Economics and Engineering*, vol. 69, pp 485-496.

- Tripathi, N. (2013). Where the road is without congestion & environment is pollution free: trip to sustainable urban mobility. Tripathi / OIDA International Journal of Sustainable. Available at <http://www.ssrn.com/link/OIDA-Intl-journal-Sustainable-Dev.html>.
- Turbelin. G., (2000). «Modélisation de la turbulence atmosphérique en vue de l'étude du chargement aérodynamique des structures soumises aux effets du vent». Thèse soutenue le 14 janvier à l'Université d'Evry – Centre d'Etudes de Mécanique d'Ile-de-France.
- Turton. H, (2006). Sustainable global automobile transport in the 21st century: an integrated scenario analysis. Technol. Forecast. Soc. Chang., 73, pp. 607–629.
- Van Ruymbeke. C., (1991). Mise au point d'une méthode de mesure des émissions polluantes automobiles applicable au cas de Mexico. Thèse, Chimie - Génie de l'Environnement, Univ. Savoie, France, 223 p.
- Vinuesa, J.F, (2000).). Modélisation de la qualité de l'air: Impact à l'échelle locale et régionale de l'utilisation des carburants automobiles modifiés. Thèse de Doctorat en Chimie-Physique, Université Louis Pasteur (Strasbourg I)- France-
- Vivanco, M.G. and Andrade, M. (2006) 'Validation of the emission inventory in the Sao Paulo Metropolitan Area of Brazil, based on ambient concentrations ratios of CO, NMOG and NOx and on a photochemical model', Atmospheric Environment, Vol. 40, No. 7, pp.1189–1198.
- Werner, Stéphane. (2009). Optimisation des cadastres d'émissions: estimation des incertitudes, détermination des facteurs d'émissions du «black carbon» issus du trafic routier et estimation de l'influence de l'incertitude des cadastres d'émissions sur la modélisation. Application aux cadastres ESCOMPTE et Nord-Pas-de-Calais. Thèse doctorat en chimie physique, soutenue à Strasbourg (France).
- Who R.O, for E., (2000). Air Quality Guidelines for Europe : Seconde Edition Copenhagen : World Health Organization : Regional Office for Europe, 2000. (Who regional publications. European series ; No. 91)
- Who, (2003). Health Aspects of Air Pollution with particulate matter, Ozone and Nitrogen dioxide. WHO Report. WHO. Available from: "<http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>".
- www.v1.agora21.org/ari/doc2004/91flanquart_lagier.pdf

Yim, S.H.L., Barrett, S.R.H., (2012). Public Health Impacts of Combustion Emissions in the United Kingdom. *Env. Sci Technol* 46, 4291–4296.

Zmirou. D & *al*, (2004).Traffic related air pollution and incidence of childhood asthma: results of the vestacase control study *Journal of epidemiology and community health*, 58(1) 18-23.

Annexes

Annexe 1

Historique et principe du modèle COPERT

Les émissions atmosphériques des transports routiers sont calculées en utilisant un modèle d'estimation basé sur la méthodologie européenne CORINAir/COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport). Le développement de la méthodologie COPERT a été financé par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) dans le cadre des activités CORINAir du centre thématique sur les émissions atmosphériques. Ce centre thématique est chargé de collecter et de fournir des données européennes de haute qualité aux différents utilisateurs.

Il y a eu plusieurs versions de ce modèle COPERT. La première version de la méthodologie COPERT (COPERT 1990) date de 1991. La première mise à jour date de 1997 (COPERT II) et la deuxième de fin 2000 (COPERT III). Les différences entre les versions de Copert II et III se situent dans les bases de données des facteurs d'émissions unitaires utilisés:

- Mise à jour des facteurs d'émissions et de consommation à chaud pour certains types de Véhicules;
- Mise à jour des facteurs d'émissions à froid pour certains types de véhicules;
- Nouveaux facteurs d'émissions pour 23 polluants HAP et POP;
- Nouveaux facteurs d'émissions pour les dioxines et les furannes.

Le modèle COPERT III (utilisé dans ce cas pour estimer les émissions polluantes annuelles issues du trafic routier en Algérie) traite les principaux polluants réglementés (CO, NO₂, SO₂, Pb, PM) ainsi que les non réglementés (COV, Cd, Cr, Ni, Se, Zn).

Description de la méthodologie

Le modèle COPERT III calcule, sur une base combinée des données d'activités (parc véhicules kilométrages annuelles parcourus, ...) et des facteurs d'émission, le total des émissions, issues du trafic routier, pour chaque polluant considéré. Ce total d'émissions est la somme de trois émissions qui est calculé par l'équation suivante:

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{hot}} + E_{\text{Cold}} + E_{\text{Evap}}$$

Historique de la méthodologie de calcul des émissions.

Plusieurs initiatives internationales ont conduit à élaborer la méthodologie de calcul des émissions dans version actuelle:

- Le projet MAP (Major Air Polluant) de l'OCDE
- L'inventaire DGXI
- Le programme CORINE de l'EEA
- Le programme EMEP
- Le programme GGEP de l'IPCC/OCDE

A. Le Projet MAP

Le projet a démarré en 1983 et a été publié en 1990 en Europe de l'ouest. L'inventaire MAP a couvert les polluants suivants: SO₂, NO_x et COV tout en incluant les sources naturelles. Il quantifie les sources ponctuelles et diffuses pour 9 secteurs principaux sur 17 pays Européens de l'OCDE et parmi ses sources le transport.

B. L'inventaire DGXI

Ce projet a été rendu public en 1988, par le directeur de l'environnement du GEC. L'objectif de cet inventaire a été de leur produire les données nécessaires pour réaliser des études de pollution de l'air et évaluer des stratégies de contrôle. L'inventaire couvrait 04 polluants (SO₂, NO_x, VOC, particules) pour 10 principaux secteurs dont le transport. Ce travail a été conduit en collaboration avec les réalisateurs du projet MAP.

C. Le programme CORINE

Le programme CORINE a été établi par le conseil Européen en 1986, incluant notamment la collecte et l'organisation de données d'émissions en rapport avec les problèmes d'acidification. Il a pour objectif de réaliser un inventaire coordonné des émissions atmosphériques pour les 12 pays membres de la communauté européenne en 1985. Cet inventaire a pour nom CORINAIR 1985 et couvre 3 polluants (SO₂, NO_x, et COV) distribués en 8 secteurs dont le transport routier. Le projet a également permis de développer une nomenclature pour les secteurs d'activité, (NAPSEA, Nomenclature for Air Pollution Socio-Economic Activity), ainsi que la nomenclature SNAP (selected nomenclature for air pollution- for émission source sectors and activities). Il a permis d'éditer un état de l'art sur les facteurs d'émissions et de réaliser un programme

informatique d'entrée de données pour le calcul sectoriel, régional ou national des émissions.

En 1991, une décision a été prise pour produire une version up-to-date de CORINAIR 1985 pour l'année 1990 CORINAIR90 en coopération avec le groupe de travail EMEP et l'IPCC-OECD, en préparation des inventaires requis pour la convention sur la pollution transfrontière (LRTAP) et celle sur le changement climatique. Le système Corinair a été étendu sur 30 pays, incluant les polluants: SO₂, les NO_x, les COVNM, le méthane, le CO, l'ammoniaque, le N₂O et le CO₂. Dans l'esprit de Corinair, l'exhaustivité de l'inventaire vient autant du fait qu'il est disponible pour tous les pays européens. La consistance est garantie par l'utilisation du logiciel lié à corinair. La transparence est liée à l'unicité de la méthode.

D. Le programme EMEP

EMEP est le programme de surveillance et d'évaluation associé à la convention LRTAP. Il a conduit à former une série de travail sur les techniques d'inventaires d'émission pour développer une méthodologie de calcul et de format pour les émissions de SO_x, NO_x, NMCOVs, CH₄, NH₃ et CO. Ses missions seront d'évaluer les méthodes actuelles d'inventaires et de proposer des améliorations et une harmonisation des méthodes et de format de présentation. Ce travail devrait se faire en liaison avec le projet corinair. Les objectifs de ce groupe étaient:

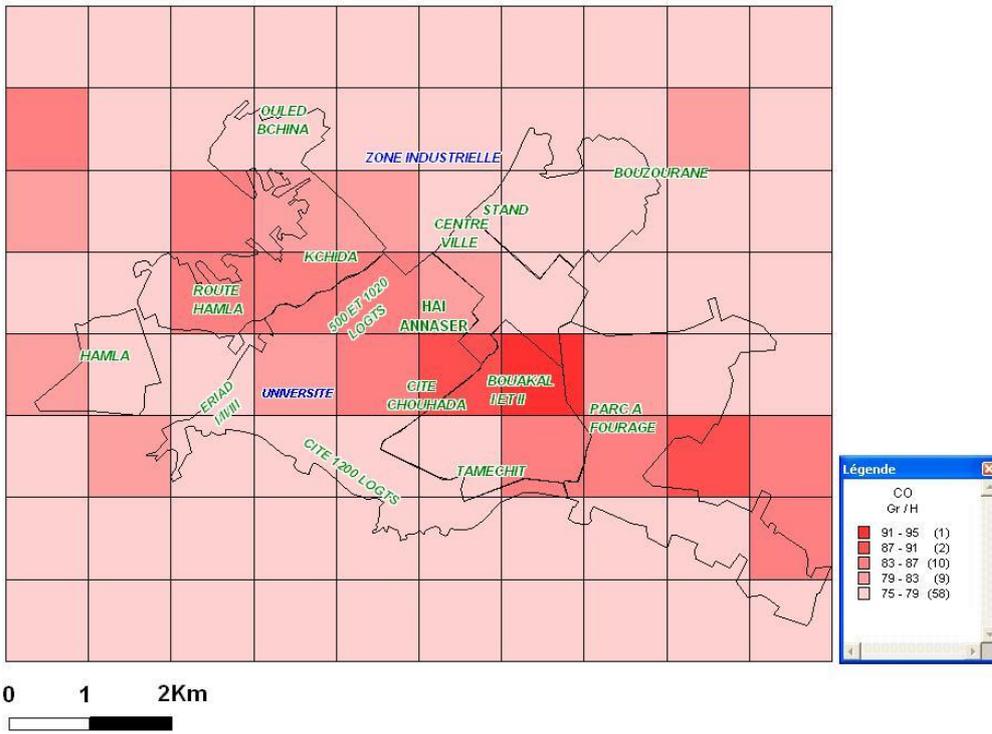
- a. De fournir un forum de discussion, d'échange d'information et d'harmonisation sur les inventaires d'émissions, incluant les aspects facteurs d'émission, méthodologie...
- b. D'évaluer en profondeur la qualité des facteurs d'émission et méthodologie en usage
- c. De coopérer avec d'autres organisations internationales sur le sujet afin d'harmoniser les méthodes et d'éviter la duplication du travail.

E. Le programme IPCC/OECD/IEA sur l'effet de serre

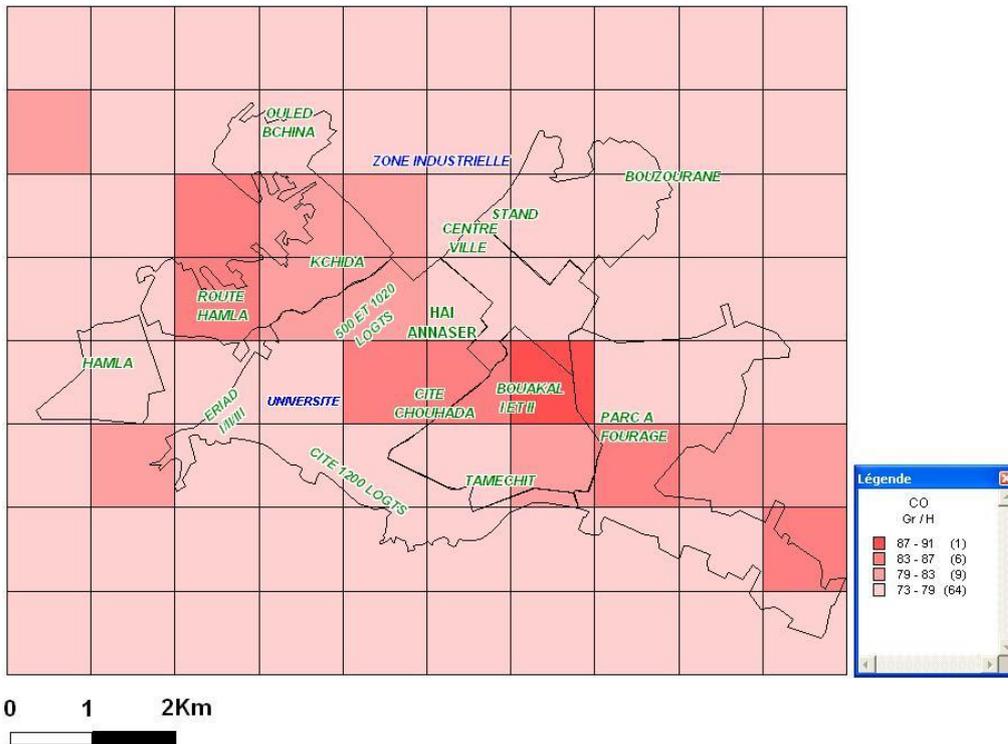
Ce plan de travail a été adopté par l'IPCC, en hiver 1991, son objectif est la mise à disposition des meilleures données scientifiques disponibles et leur actualisation, l'élaboration d'une méthodologie simple pour tous. Ce programme a conduit à l'élaboration d'un rapport provisoire sur la méthodologie d'inventaire des gaz à effet de serre, publié officiellement en 1994. Depuis il a eu plusieurs révisions.

Annexe 3

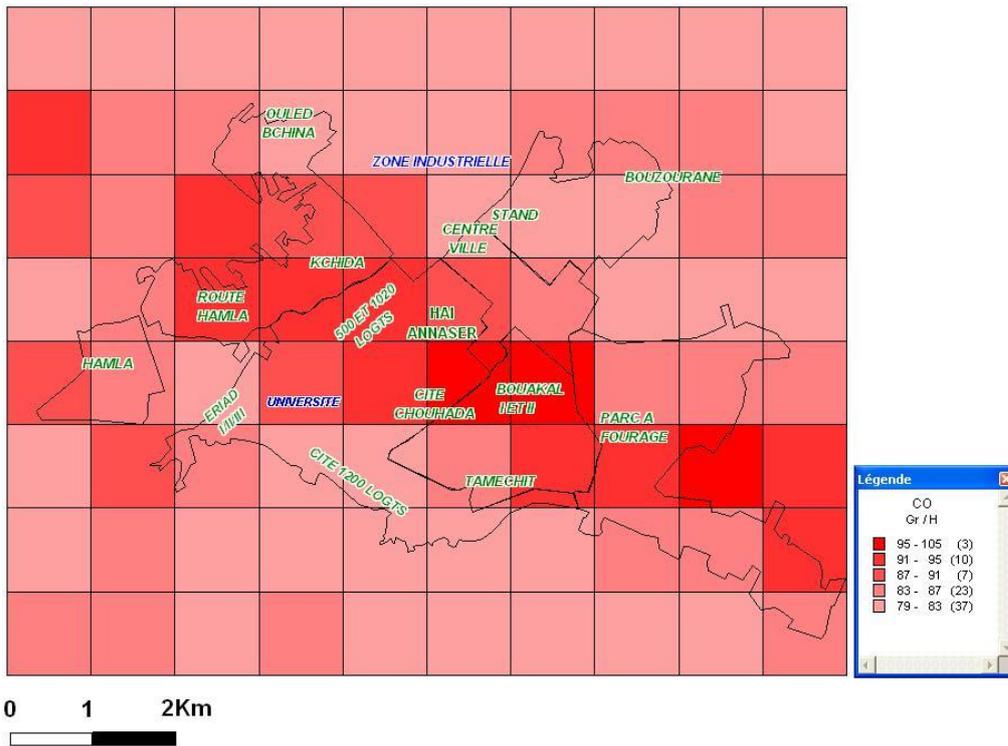
Cadastres d'émissions du CO pour l'année 2005 (15-16h)



Cadastres d'émissions du CO pour l'année 2008 (15-14h)



Cadastres d'émissions du CO pour l'année 2008 (15-14h)



Cadastres d'émissions du CO pour l'année 2011 (15-14h)

