

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB - BLIDA

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE CHIMIE INDUSTRIELLE

MEMOIRE DE MAGISTER

En Chimie Industrielle

Spécialité : Génie des Procédés

THEME

Contribution à la détermination des facteurs d'émissions unitaires de polluants de véhicules utilitaires légers

Présenté par :

Naoual BERROUANE

Ingénieur en génie de l'environnement

Devant le jury composé de :

A. Aouabed	Professeur, U. de Blida	Président
N. Ait Messaoudène	Professeur, U. de Blida	Examineur
M.W Naceur	Professeur, U. de Blida	Examineur
R. Kerbachi	Professeur, ENP, Alger	Rapporteur
M. Boughedaoui	Maitre de conférences, U. de Blida	Rapporteur

Février 2010

يهدف هذا البحث لدراسة انبعاث التلوث الحاصل عن حركة السيارات في الجزائر. تمت دراسة حظيرة السيارات لتقييم الحظيرة الثابتة و المتنقلة، انتشار حسب السن، تركيبة حركة السير معتمدين على معطيات الديوان الوطني للإحصائيات و نتائج التحقيقات المنفذة في عدة مدن خلال المدة 1994 – 2005. تم تقييم عوامل سير المركبات حسب النوعية و الطاقة مثل المسافة السنوية، مدة الحياة، السرعة حسب نوعية الطريق. تم تطوير منهجية القياس التجريبي للانبعاث كجهاز لأخذ العينات الغازية مع miniCVS الوحدوي للمركبات في حالة السير الحقيقي التي تعتمد على استعمال سلسلة من الأجهزة قياس الغازات، أدوات قياس السرعة، الحرارة، الضغط و الرطوبة، تخزين المعطيات و تحويلها، مما مكننا من تكوين قاعدة معطيات استعمال المركبات حسب النوعية. تم قياس عنصر الانبعاث الوحدوي للمركبات و التي تستعمل بكثرة في الجزائر مما مكننا من تطوير قاعدة المعطيات الخاصة بـ 50% التجارية الخفيفة بحمولة بعناصر الانبعاث الوحدوي.

Abstract

This work aims to study the pollutant emission from road transportation in Algeria. The study of the vehicle fleet allowed the determination of the part of the static fleet and running one, distribution according to age, traffic composition based on data of ONS and those collected by survey conducted in different cities in Algeria during the period 1994 – 2005. The vehicle use parameters per vehicle category and fuel type are determined as annual mileage, survival factor, and speed per road type. The experimental measurement methodology of unit emission of vehicles in real circulation is developed and I based on the use of the Mini-CVS for gas sampling and a battery of gas analysers, and adequate instrumentation to measure kinematics, gas temperature, pressure, moisture. The apparatus is also equipped with data logging and data transfer instruments. A database related to the vehicle fleet per kind of use and category of vehicle is set up. The measurement of emission unit of light duty vehicles loaded over 50% which are largely used in Algeria allowed the development of a database of emission unit factors of vehicles. Moreover The treatment and analysis of the data of mesure of BTEX in the station of SAMASAFIA of BEN AKNOUN allowed putting in evidence the influence of emissions on the quality of air.

Résumé

Ce travail a pour objectif d'étudier un système embarqué pour la mesure du facteur d'émission unitaire de polluants issues du trafic routier en Algérie. L'étude du parc de véhicule a permis la détermination de la part du parc statique et roulant, les distributions

d'âges, composition du trafic à partir des données de l'ONS et des données d'enquête réalisées en plusieurs villes au cours de la période de 1994 - 2005. Les paramètres d'usage des véhicules par catégorie et carburation sont évalués dont le kilométrage annuel, la vitesse par type de voie. La méthodologie de mesure expérimentale des émissions unitaires de véhicules en circulation réelle est mise au point et est basé sur l'utilisation du Mini-CVS comme système de prélèvement de gaz avec une batterie d'analyseurs, une instrumentation de mesure de la cinématique, température des gaz, pression et humidité d'air. Le montage est aussi équipé pour l'enregistrement et leur transfert. Une base de données relative au parc selon l'usage et la catégorie de véhicule est ainsi élaborée. La mesure des facteurs d'émission unitaires de véhicules utilitaires légers avec une charge utile de plus de 50% qui sont largement utilisés en Algérie a permis de développer une base de données de facteurs d'émission unitaires des véhicules. Par ailleurs le traitement et l'analyse des données de mesure des BTEX de la station SAMASAFIA de Ben Aknoun a permis de mettre en évidence l'influence des émissions sur la qualité de l'air.

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur Menouer BOUGHEDAOU, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs les membres du jury qui ont accepté de lire et corriger ce travail malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Je n'oublie pas ma famille ma belle famille pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Surtout a mon ange ANY

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Mon mari pour son soutien et son encouragement.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.
Merci à tous et à toutes.

TABLE DES MATIERES

RESUME	2
REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIERES	5
Liste des abréviations et symboles.....	7
Liste des tableaux.....	9
Liste des figures	10
INTRODUCTION	12
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA POLLUTION AUTOMOBILE.....	13
1.1 INTRODUCTION	13
1.2 TYPES DE MOTEURS	14
1.3 CATEGORIES DE VEHICULES	14
1.4 TYPES DE CARBURANTS	15
1.4.1 Essence	15
1.4.2 Gasoil	15
1.4.3 Gaz de pétrole liquéfié GPL	16
1.4.4 Gaz naturel pour véhicule GNV.....	18
1.4.5 L'hydrogène.....	19
1.5 FORMATION DE POLLUANTS.....	20
- Les composés carbonés (CO ₂ , CO)	21
- Les oxydes d'Azote (NO, NO ₂)	21
- L'oxyde de soufre	22
- Les hydrocarbures	22
- Les particules	22
- Le plomb	22
CHAPITRE II : CARACTERISTIQUE DU PARC VEHICULES NATIONAL	25
2.1 TYPOLOGIE	25
2.2 COMPOSITION DU PARC AUTOMOBILE	25
2.3 AGE DU PARC	27
2.4 KILOMETRAGE DU PARC.....	30
2.5 EVOLUTION DES VENTES DE CARBURANT.....	34
2.6 EVOLUTION DES SPECIFICATIONS DES ESSENCES	35
CHAPITRE III : LES EMISSIONS POLLUANTES.....	37
3.1. FACTEURS D'EMISSIONS UNITAIRES	37
3.2. FACTEURS INFLUENÇANT LES EMISSIONS.....	38
3.3. MOYENS REGLEMENTAIRES ET TECHNIQUES DE REDUCTION DES EMISSIONS.....	42
3.3.1 Normes d'émissions.....	42
3.3.2 CONTROLE TECHNIQUE ET MAINTENANCE	44
CHAPITRE IV: TECHNIQUES DE MESURE DES EMISSIONS UNITAIRES.....	46
4.1. INTRODUCTION	46
4.2. METHODE DE MESURES DES EMISSIONS POLLUANTES	46
4.2.1 Mesures au laboratoire	46
4.2.1.1 Définition d'un cycle de conduite	48
4.2.1.2 Description d'un banc à rouleaux.....	49
4.2.1.3 Description des essais.....	49
4.2.2 Mesures avec des systèmes embarqués.....	50
4.2.2.1 Méthode VOLKSWAGEN.....	50
4.2.2.2 Méthode VITO.....	54

4.2.2.3 Mini - CVS.....	55
CHAPITRE 5 : METHODOLOGIE EXPERIMENTALE DE MESURE	60
5.1 INTRODUCTION	60
5.2 PRINCIPE DU MINI CVS MODIFIE	60
5.2.1 Prélèvement	61
5.2.2 Analyseurs	64
5.2.3 Cinématique.....	64
5.2.4 Tests de validation	65
5.2.5 Méthode de calcul de l'émission.....	65
5.3 DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE	69
5.4 Résultats.....	71
5.5 EMISSIONS A CHAUD	75
5.5.1 Véhicules essence	80
5.5.2 Véhicules diesel.....	80
5.5.3 Rapports CO/CO2 et HCT/CO2.....	81
5.6 EMISSIONS A FROID	82
5.7. CONSOMMATION DE CARBURANT	82
CHAPITRE 6 : EVOLUTION DES BTX DANS L'AIR A ALGER.....	84
6.1 INTRODUCTION	84
6.2 METHODOLOGIE DE MESURE.....	84
6.2.1 Etalonnage des appareils de mesure.....	84
6.2.2 ARCHIVAGE ET TRANSMISSION DES DONNEES.....	84
6.2.3 COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNEES	85
6.3 Conditions météorologiques	86
6.3.1 Variation de la température.....	86
6.3.2 Variation du vent.....	88
6.4 RESULTATS ET DISCUSSIONS :	90
6.5 Niveaux de pollution par BTX à Alger	90
6.5.1 Profil journalier et hebdomadaire.....	90
6.5.2 Variation en fonction de la temperature	94
6.6 Analyse en composantes principales.....	94
6.6.1 INTRODUCTION	
6.6.2 RELATION ENTRE LES POLLUANTS	94
6.6.3 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES CONCENTRATIONS DES POLLUANTS...	94
6.6.4 EVOLUTION DU RAPPORT T :B EN FONCTION DE LA TEMPERATURE	94
CONCLUSION	99
BIBLIOGRAPHIE.....	101

APPENDICE A

Liste des abréviations et symboles

ARTEMIS: Assessment and Reliability of Transport Emission Modelling and inventory systems

°C: degré Celsius

CO: Monoxyde de carbone

CO₂: Dioxyde de carbone

COPERT: Computer programme to calculate emissions from road transport

CORINAIR: CORE INventory of AIR emissions (European Emission Inventory methodology)

CVS: Constant Volume Sampling

ENACTA :

Euro III Norme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 2000

Euro IV Norme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 2005

Euro V Norme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 2009

Euro VI Norme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 2014

Euro zéro : Normes européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur avant 1992

Euro I: Norme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 1992

Euro II Norme européenne d'émission de polluant de véhicule entrée en vigueur en 1996

FID: Flame Ionization Detector

g: gramme

GES: Gas à effet de serre

GHz: Giga Hertz

Hab. : habitant

HCT: Hydrocarbures totaux

Inhab : in habitant

INRETS: Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, France

Km: kilometre

KVA: kilo volt ampère

l : litre

Mini-CVS : Constant volume sampler réduit

Naftal: Société nationale de commercialisation de carburant

NO: :Oxydes d'azote

ONS: Office National de Statistiques

PDAU: Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

PED: Pays en développement

PIB: Produit Intérieur brut

SNTR: Société Nationale de Transport Routier

t : temps

TRL: Transport Research Laboratory

UE: Union Européenne

UNCCC: United nations climate change convention

V: Volt

VP: véhicule particulier

VU : Véhicules utilitaires

VUL: véhicule utilitaire léger

PL : Poids Lourds

TR : Les tracteurs

APPENDICE B

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Contribution du trafic Routier à la pollution de l'air en France en 1988

Tableau 1.2 : Part de responsabilité de la pollution automobile en milieu urbain

Tableau 1.3 : Norme algérienne de la composition chimique du GPL

Tableau 1.4 : Caractéristiques physico-chimiques des carburants

Tableau 1.5 : Analyse de la composition du GPL de 1991 et de 1995

Tableau 2.1 : Age du parc par catégories et type de voie

Tableau 3.1 : Comparaison entre les émissions unitaires moyennes des VP à moteur essence et moteur diesel pour un trajet urbain.

Tableau 3.2 : Caractéristiques des trajets - vitesses et émissions de polluants en fonction du type de voie

Tableau 3.3 : Emissions polluantes par passager transporté (g / passager / km)

Tableau 3.4 : Normes européennes d'émissions des véhicules diesels

Tableau 3.5 : Normes européennes d'émissions des véhicules essences

Tableau 3.6 : périodicité des visites pour contrôle technique

Tableau 4.1 : Evolution du mélange

Tableau 5.1 : Données cinématiques des circuits urbains

Tableau 5.2 : Caractéristiques de l'échantillon des véhicules testés quant aux émissions

Tableau 5.3 : Moyenne et écart type des émissions de l'échantillon de véhicules

Tableau 5.4 : Comparaison des rapports d'émissions entre polluants mesurés et Artemis (%)

Tableau 5.5 : Moyennes des émissions sur trajet urbain, à froid (g/essai), à chaud (g/km), et des distances équivalentes (km). L'équivalent à chaud est la distance correspondant au rapport de la surémission absolue à froid (g) par l'émission unitaire à chaud (g/km).

Tableau 6.1 : Codification des variables

Tableau 6.2 : matrice de corrélation du secteur 16

Tableau 6.3 : matrice de corrélation divers secteurs

APPENDICE C

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.1: Evolution annuelle des concentrations en monoxyde de Carbone dans l'agglomération d'Alger
- Figure 1.2 : Evolution annuelle des concentrations en dioxyde d'azote dans l'agglomération d'Alger
- Figure 1.3 : Teneurs en plomb dans les glaces du Groenland (Nature, 1991)
- Figure 2.1 : Evolution du parc automobile Algérie
- Figure 2.2 : Age du parc véhicules selon l'O.N.S et l'observé
- Figure 2.3 : Age observé par type de voie et catégorie
- Figure 2.4 : Age observé par type de voie et catégorie pour les poids lourds
- Figure 2.5 : Evolution du kilométrage annuel par catégorie
- Figure 2.6 : Evolution du kilométrage annuel des VP par type de carburant
- Figure 2.7 : Evolution des ventes de carburant (1995-2002)
- Figure 3.1 : Formation des polluants dans un moteur et par type de mélange
- Figure 3.2 : Particules, d'hydrocarbure, d'oxydes d'azote pour divers combustibles en (mg/ Mj)
- Figure 4.1 : Schéma de la méthode CVS
- Figure 4.2 : Photos du système embarqué VOLKSWAGEN
- Figure 4.3 : Schéma de la méthode VOLKSVAGEN
- Figure 4.4 : Photos du système embarqué VITO
- Figure 4.5 : Schéma de la méthode MINI CVS
- Figure 5.1 : Schéma du montage expérimental de prélèvement et d'analyses embarqué
- Figure 5.2 : Photos du montage expérimental de mesure embarqué en circulation réelle
- Figure 5.3 : Schéma du circuit des gaz prélevés par mini CVS
- Figure 5.4 : Emissions unitaires de polluants des VUL diesel comparées à Euro I et II
- Figure 5.5 : Emissions unitaires de polluants des VUL essence comparées à Euro zéro
- Figure 5.6 : Emissions unitaires de CO₂ des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.
- Figure 5.7 : Émissions unitaires de CO des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

- Figure 5.8 : Émissions unitaires de HCT des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.
- Figure 5.9 : Émissions unitaires de NO_x des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.
- Figure 5.10 : Émissions unitaires de CO₂ des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.
- Figure 5.11 : émissions unitaires de CO des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.
- Figure 5.12 : Émissions unitaires de HCT des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.
- Figure 5.13 : Émissions unitaires de NO_x des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.
- Figure 6.1 : Variation moyenne de la température au cours d'une journée à Ben Aknoun.
- Figure 6.2 : Variation mensuelle moyenne de la température à la station de BEN AKNOUN.
- Figure 6.3 : Variation mensuelle du vent à la station de BEN AKNOUN
- Figure 6.4 : concentration horaire moyenne pour les jours de semaine
- Figure 6.5 : concentration horaire moyenne pour les jours de semaine (JOUR)
- Figure 6.6 : concentration horaire moyenne pour les jours de semaine (NUIT)
- Figure 6.7 : Variation horaire moyenne de la concentration du benzène et toluène en ppb au cours d'une journée de week-end
- Figure 6.8 : Variation hebdomadaire de la concentration du benzène en ppb
- Figure 6.9 : Variation hebdomadaire de la concentration du toluène en ppb
- Figure 6.10 : Corrélation entre le benzène et le toluène
- Figure 6.11 : Influence de température sur le rapport (B / T)

Introduction

Les émissions polluantes issues des transports routiers sont doublement responsables de la dégradation de la qualité de l'air dans les zones urbanisées et de l'effet de serre additionnel dû à l'accumulation dans l'atmosphère de gaz émis directement comme les gaz carbonique CO₂, méthane, protoxyde d'azote, monoxyde de carbone CO ou de polluants secondaires comme l'ozone formé à partir des hydrocarbures HCT et des oxydes d'azote NO_x émis par les véhicules. Les émissions polluantes dépendent certes des technologies des moteurs mais aussi pour une bonne part de l'usage qu'est fait du véhicule ainsi que de l'environnement dans lequel il évolue. Le secteur des transports, en particulier le transport routier, est en Algérie un important facteur de développement social et économique. Le transport routier 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. Devant l'offre très attractive des concessionnaires automobiles, en particulier pour les véhicules de gammes inférieures, et la possibilité d'achat à crédit qui connaît un très grand succès en Algérie, de nombreux citoyens de la classe moyenne ont accès à un véhicule neuf. Cet acquis leur permet non seulement de gagner en garantie et liberté de déplacement mais aussi en qualité, confort et sécurité. En contrepartie, ceci génère un accroissement rapide du parc automobile, une croissance de la mobilité motorisée provoquant une saturation du réseau routier, et une demande croissante en carburant. On est ainsi confronté à une situation où la motorisation ainsi que le trafic sont en perpétuelle croissance ce qui génère des émissions polluantes continuellement croissantes.

C'est dans ce contexte global que s'inscrit ce travail dont les objectifs consistent à étudier le parc véhicule roulant algérien et à développer une méthodologie expérimentale de mesure des émissions unitaires de polluants des véhicules en circulation réelle. La détermination du parc roulant est primordiale pour le transport mais aussi pour l'estimation des émissions polluantes, car seul le parc roulant est opérationnel pour le transport et qui est responsable des émissions polluantes.

La connaissance des facteurs d'émission unitaires et les données du parc roulant tel que le nombre de véhicules, le kilométrage annuel parcouru et les vitesses pratiquées des véhicules dans le contexte de l'Algérie permet d'établir l'inventaire global des émissions de polluants issus du trafic routier à l'échelle nationale ou locale et d'étudier la qualité de l'air.

Chapitre 1 : Généralités sur la pollution automobile

1.1 Introduction

Le véhicule est devenu une nécessité et un moyen de locomotion indispensable pour les déplacements des personnes et des marchandises. Cependant son utilisation engendre plusieurs problèmes environnementaux, notamment ceux liés à la qualité de l'air à différentes échelles (locale, régionale, continentale) et à l'atmosphère globale avec l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et de polluants. Les émissions polluantes automobiles contribuent pour une grande part à la pollution de l'air particulièrement urbain. Les concentrations des polluants dans l'atmosphère sont toujours faibles, bien inférieures aux millièmes de gramme par mètre cube d'air en général, mais bien suffisantes pour présenter des risques aux personnes exposées, notamment au voisinage des sources de rejets et plus encore dans les conditions météorologiques particulièrement défavorables à la dispersion des polluants.

Le trafic routier est considéré comme la plus importante source d'émissions polluantes, ceci est dû à l'importance du parc roulant qui ne cesse de croître. La part d'émission de polluants attribuable au secteur des transports est en constante évolution particulièrement dans les pays en voie de développement. Des mesures effectuées à Alger ont montré que le trafic routier est responsable de plus de 80 % de la pollution de l'air [1].

Le Tableau 1.1 compare les émissions attribuées au trafic routier automobile et les émissions globales en France en 1988

Tableau 1.1 : Contribution du trafic Routier à la pollution de l'air en France en 1988
[2]

Polluant	Emissions trafic routier (kt)	Emissions totales (kt)	Part de l'automobile (%)
Monoxyde de carbone CO	8900	10800	80
Hydrocarbures HC	1500	2500	60
Oxydes d'azote NOx	950	1300	70
Oxydes de soufre SO2	130	1200	10
Particules	80	280	30
Plomb	4500	5300	85

En moyenne, dans les rues des grandes villes le trafic routier est responsable des taux d'émissions suivants (tableau 1.2):

Tableau 1.2 : Part de responsabilité de la pollution automobile en milieu urbain [3]

Polluants	Taux (%)
CO	90
NOx	60-70
HC	50-60
SO ₂	10-20
PARTICULES	10-20
PLOMB	90
BENZENE	90
CO ₂	30-40

1.2 Types de moteurs

Deux types de moteurs sont actuellement utilisés : moteur essence appelé aussi moteur à allumage commandé qui utilise l'essence ou le gaz, et le moteur diesel ou le moteur à autoallumage qui utilise le gasoil, ils fonctionnent en excès d'air pour réaliser une bonne combustion et à fort taux de compression, bénéficie d'un rendement énergétique élevé.

L'équipement des moteurs par des calculateurs permettant le contrôle et l'optimisation de la combustion a permis une nette amélioration du rendement des moteurs.

1.3 Catégories de véhicules

Les véhicules peuvent être classés selon leur utilisation, leurs poids ou selon la source d'énergie.

- a- **Véhicules particuliers VP** : Ce sont essentiellement des voitures de tourisme, utilisées pour le transport des personnes. Ils se distinguent par leur dimension, le nombre de portière et de place, leur cylindrée, la puissance du moteur, et le type de transmission.
- b- **Véhicules utilitaires VU** : classé eux même en deux catégories en fonction de leurs poids :

- **Véhicules utilitaires légers VUL** : ce sont les petits véhicules de livraison, les fourgonnettes, et les véhicules particuliers adaptés à une utilisation commerciale, leur poids n'excède pas 3.5 tonnes.
- **Véhicules poids lourds PL** : ce sont les véhicules dont le poids total en charge compris entre 3.5 et 5 tonnes, ils sont destinés au transport de marchandise ou au transport en commun des personnes comme les camions qui peuvent contenir une charge, et assurent leur propre traction ou celle d'une remorque, les tracteurs destinés à tracter une semi-remorque ou d'autres véhicules routiers non automobiles et les Autocars et les Autobus qui servent de transport de voyageurs pour un nombre de places assises y compris celle du conducteur supérieur à neuf, les minibus sont aussi inclus.

Les tracteurs agricoles qui sont conçus pour des utilisations agricoles qu'il soit autorisé ou non à emprunter les routes à la circulation publique et les véhicules spéciaux, conçus pour d'autres usages que le transport de voyageurs ou de marchandises comme les véhicules de lutte contre les incendies, les ambulances, les véhicules remorqueurs.

- c- **Les deux roues** : Composées de motocycles, de vélomoteurs, et de bicyclette.

1.4 Types de carburants

1.4.1 Essence :

L'essence est un liquide léger extrait du pétrole raffiné, incolore ou artificiellement coloré, à odeur caractéristique, distillant entre 40 et 210 °C environ, il est commercialisé en trois types à savoir :

- L'essence normale.
- L'essence super.
- L'essence sans plomb.

L'essence normale et le super diffèrent par leur indice d'octane (un nombre qui définit la résistance à la détonation, des carburants utilisés dans les moteurs à allumage commandé).

1.4.2 Gasoil :

Un indice important pour le diesel est le cétane. L'indice de cétane mesure l'aptitude du diesel à s'enflammer dans la chambre de combustion des moteurs à allumage par combustion. Cet indice doit être à 40. [10 e]

1.4.3 Gaz de pétrole liquéfié GPL :

C'est un mélange gazeux de propane (C_3H_8) et de Butane (C_4H_{10}) liquéfié par la mise sous pression de 8 à 10 bars. La composition de ce mélange (GPL carburant) est régie par la norme européenne EN589 qui spécifie notamment un indice d'octane minimal de 89 dont les proportions varient selon les pays (50 / 50 en France), (95 / 5 aux états unis), en Algérie les limites minimales et maximales de la composition du gaz de pétrole liquéfié à usage de carburant pour véhicules automobiles sont (voir Tableau 1.3) :

Tableau 1.3 : Norme algérienne de la composition chimique du GPL

COMPOSES	LIMITES (EN % MOLLAIRE)	
	Minimales	Maximales
Méthane et éthane	Traces	3
Propane	50	96 % du 1er septembre au 30 avril 80 % du 1er mai au 31 août
Butane	2	45
Pentane	Traces	1,80

Arrêté du 11 Safar 1427 correspondant au 11 mars 2006

Un véhicule équipé au GPL a une consommation supplémentaire par rapport à l'essence de 10 à 20 % (11 litres de GPL équivalent 10 litres de super). La puissance maximale du moteur utilisant le GPL diminue d'environ 8%.

Nous présentons dans le tableau 2 les caractéristiques et la composition globale des carburants classiques et du G.P.L [13].

Tableau 1.4 : Caractéristiques physico-chimiques des carburants

Carburant	Densité	Nombre d'atomes de carbone	Rapport H/C	Composition par famille chimique (% volumique)			
				Paraffine	Naphtène	Oléfine	Aromatique
G.N.V	0.187	1 et 2	3.5 à 3.9	100	0	0	0
G.P.L.	0.510 - 0.580	3 et 4	2.0 à 2.67	60 - 100	-----	0 - 40	-----
Essence	0.720 - 0.770	4 à 10	1.7 à 1.9	40 - 65	0 - 5	0 - 20	15 - 45
Diesel	0.820 - 0.860	10 à 20	1.9 à 2.1	50 - 65	20 - 30	0	10 - 30

Ainsi le G.P.L. ne contient ni les composés aromatiques ni le plomb; la teneur en Soufre est à l'état de trace. Actuellement à travers le monde, on compte 4 millions de véhicules équipés en bicarburation G.P.L. L'Italie, à elle seule compte plus d'un million de véhicules (environ 3 % du parc total), suivie de la Hollande avec 470 000 véhicules [14].

La reformulation de la composition de certains carburants pour obéir à de nouvelles normes plus strictes, peut permettre des améliorations de la qualité de l'air et de la diminution des concentrations des polluants émis, la reformulation du GPL a fait augmenter le taux de propane et a réduit celui du butane et iso-butane pour diminuer la réactivité dans l'atmosphère comme le montre le tableau suivant :

Tableau 1.5 : Analyse de la composition du GPL de 1991 et de 1995[3^e, 12]

composé	COMPOSITION VOLUMETRIQUE (%)	
	1991	1995
Méthane	0.02	0.01
Ethane	0.43	2.14
Propylène	0.05	0.00
Propane	45.32	69.28
Iso butane	14.40	9.91
n-Butane	37.02	17.27
1 butène	0.20	0.31
Iso butène	0.01	0.00
2 trans-butène	0.20	0.42
2 Cis-butène	0.00	0.28
iso-pentane	1.90	–
n-pentane	1991	–

1.4.4 Gaz naturel pour véhicule GNV

Le gaz naturel est constitué principalement de méthane (CH₄), et peut être utilisé comme carburant dans les moteurs à essences. Toutefois, comme il exige des équipements de stockage et d'injection spéciaux. Le gaz naturel véhicule (GNV) présente, dans les sites urbains une alternative intéressante aux carburants traditionnels pour diminuer les émissions atmosphériques et réduire la dépendance énergétiques des transports terrestres vis-à-vis du pétrole, et plus particulièrement dans les autobus urbains.

Son constituant essentiel est le méthane CH₄ à plus de 90 %, et possède un indice d'octane très élevé de l'ordre de 130, ce qui rend le moteur très performant et compense donc la perte de puissance due à l'injection gazeuse, il améliore aussi la souplesse de la conduite et supprime les problèmes de fonctionnement à chaud et à froid, en terme de pollution on retrouve principalement le méthane CH₄ [15].

La technologie est totalement au point et éprouvée. En Italie, 300000 véhicules roulent déjà au gaz naturel fournis par un réseau de 300 stations services.

Le gaz naturel présente un potentiel considérable en tant que carburant de substitution, bon marché à indice d'octane élevé, pour respecter les normes d'émissions existantes et futures. Il permet la réduction de 20 à 25 % émissions de CO₂ par rapport à une quantité énergiquement équivalente d'essence, mais aucun avantage appréciable par rapport au moteur diesel plus efficace. Utilisé dans les autobus, le gaz naturel permet une réduction du bruit dans les villes. Ce carburant est utilisé en Algérie par les flottes de SONEGAS et l'ETUSA.

1.4.5 L'hydrogène

L'hydrogène en tant que combustible pour les véhicules a fait l'objet d'intenses activités de recherches au cours des dernières années. Cet intérêt est principalement dû aux exigences de la législation américaine qui impose aux constructeurs automobiles de commencer à introduire sur le marché des véhicules à émission zéro. Seul l'hydrogène ou le seul produit de combustion est l'eau offre une telle possibilité.

Transposée à l'automobile, la technologie des piles à combustible présente de vrais avantages : pas de gaz polluant, grande longévité des moteurs, grâce à l'absence de pièces d'usure.

La pile à combustible est donc la seule énergie alternative qui possède le potentiel nécessaire pour combiner mobilité et impératifs écologiques.

Il convient aussi de souligner cependant que l'hydrogène n'est pas une source d'énergie mais un vecteur énergétique. Même s'il est vrai que l'hydrogène peut être obtenu à partir de l'eau, cette affirmation est d'un point de vue purement chimique totalement hors de propos. La production d'hydrogène exige des sources d'énergie, tout comme dans le cas de l'autre grand vecteur énergétique qu'est l'électricité.

En tant que futur vecteur énergétique à grande échelle, l'hydrogène présente l'avantage de permettre une production à partir de n'importe quelle source d'énergie et de pouvoir être stocké pendant de longues périodes, mais le grand problème que pose son utilisation est sa dangerosité, car pour être utilisé dans une pile à combustible l'hydrogène doit être stocké à l'état gazeux à bord du véhicule dans des réservoirs spéciaux sous une pression de 700 bars.

Pour les constructeurs français, le programme pile à combustible s'inscrit dans la continuité des efforts déjà réalisés dans le cadre des programmes européens Fever et Hydrogen. Démarré en 1994 par Renault et cinq partenaires européens, le projet Fever a

donné naissance à un démonstrateur expérimental « zéro émission » à grande autonomie réalisée sur base d'une Renault Laguna Nevada.

1.5. Formation de polluants

Les polluants émis par les véhicules diffèrent suivant la motorisation, la composition ou la nature du carburant utilisé et la richesse du mélange carburé. [2°]

Parmi ces polluants on distingue :

- Les composés carbonés (CO₂, CO) :

Le monoxyde de carbone provient de la combustion incomplète des combustibles, il est dû à une trop faible quantité d'air admis pour brûler l'essence injectée dans le cylindre avant l'explosion. Les moteurs modernes ne produisent que d'infimes quantités de CO par kilomètre parcouru. C'est un poison sanguin qui provoque la mort lors des respirations intenses de gaz d'échappement.

Les teneurs du monoxyde de carbone rencontrées à Blida oscillent en moyenne entre 1 et 25 ppm, les maxima sont relevés surtout dans les milieux confinés à faible dispersion car ce dernier est un polluant qui se dilue rapidement une fois dans l'air.

La figure 1.1 montre les niveaux de CO mesuré à Alger

(Réf) AJOT. Niveaux de samasafia à Alger.

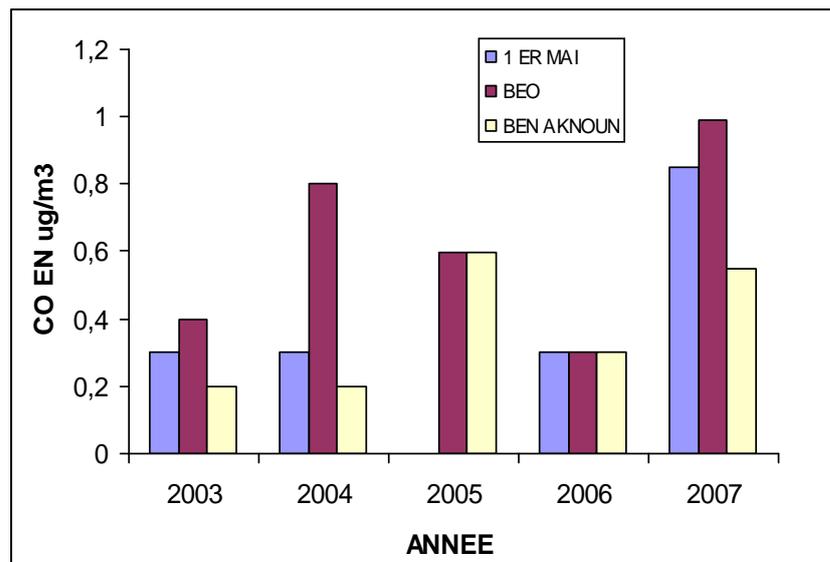


Figure 1.1: Evolution annuelle des concentrations en monoxyde de Carbone dans l'agglomération d'Alger (Rapport SAMASAFIA, 2007)

Le dioxyde de carbone est un gaz à effet de serre, il participe au réchauffement planétaire. Ce danger a motivé l'engagement de la plupart des pays du monde à maîtriser leur production de CO₂ dans l'avenir (Protocole de Kyoto, 1997) ; cependant à l'heure actuelle les émissions de CO₂ à l'échappement ne sont pas réglementées [7].

- Les oxydes d'Azote (NO, NO₂):

Ils proviennent de l'oxydation thermique de l'azote de l'air lors de la combustion du carburant, leur production devient très importante, ce qui provoque divers problèmes de santé et d'environnement.

Environ 70% des NO_x émis dans l'atmosphère des grandes villes sont imputables au trafic routier [16]. Avec les hydrocarbures, ces NO_x constituent les principaux précurseurs de l'ozone photochimique. De part leurs réactivités, ils subissent des transformations complexes qui induisent dans la basse troposphère des teneurs élevées en oxydant O₃ (BUTLER, 1979; TOUPANCE, 1988), Ils contribuent également au phénomène des pluies acides.

L'étude faite à Alger indique que le trafic routier est à l'origine de presque la totalité des NO_x émis dans l'atmosphère. La figure 1.2 montre les niveaux de NO₂ mesuré à Alger

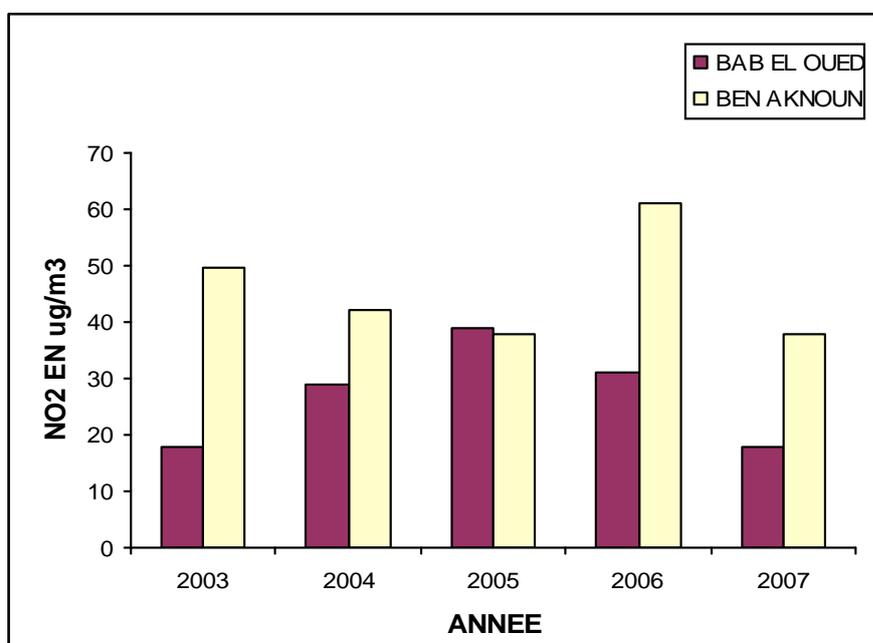


Figure 1.2 : Evolution annuelle des concentrations en dioxyde d'azote dans l'agglomération d'Alger (Rapport SAMASAFIA, 2007)

- L'oxyde de soufre :

Principalement le dioxyde de soufre provient de la combustion de carburants fossiles contenant du soufre (fioul lourd, gazole....). Les concentrations ambiantes ont diminué de plus de 50% au cours des 15 dernières années, en liaison notamment avec l'utilisation de combustibles moins chargés en soufre. En présence d'humidité, il forme des composés sulfuriques qui contribuent aux pluies acides, le SO_2 est un bon indicateur d'un mélange complexe de pollution dite « pollution acido-particulaire ».

Les émissions SO_2 restent faibles en Algérie en raison de la faible teneur de soufre dans le pétrole algérien et aussi de l'utilisation en général du gaz naturel ou le soufre se trouve à l'état de trace seulement .

- Les hydrocarbures :

Une fraction de carburant est émise sans avoir été oxydé ou partiellement oxydé admis dans le moteur est émise imbrûlés. Parmi eux, on distingue les hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP et les hydrocarbures aromatiques monocycliques HAM, considérés comme cancérigènes.

Les dérivés alkyles des HAP sont les premiers précurseurs de la formation des suies par polymérisation ionique ou radicalaire des espèces.

- Les particules :

Elles constituent un complexe de substances organiques ou minérales, résultent particulièrement des composés solides du carbone, des hydrocarbures imbrûlés, et des métaux lourds dus à l'usure.

Les véhicules à carburant diesel sont la principale source d'émission de particules due au trafic routier. Le filtre à particule installé sur des véhicules récents permet de réduire à plus de 95% les émissions de particules.

- Le plomb :

Le plomb est émis par les véhicules utilisant l'essence plombée. Les archives glaciers de l'arctique Groenland, ont permis de reconstituer la variation de la concentration du plomb dans l'atmosphère jusqu' à avant l'air industrielle (Figure 1.3).

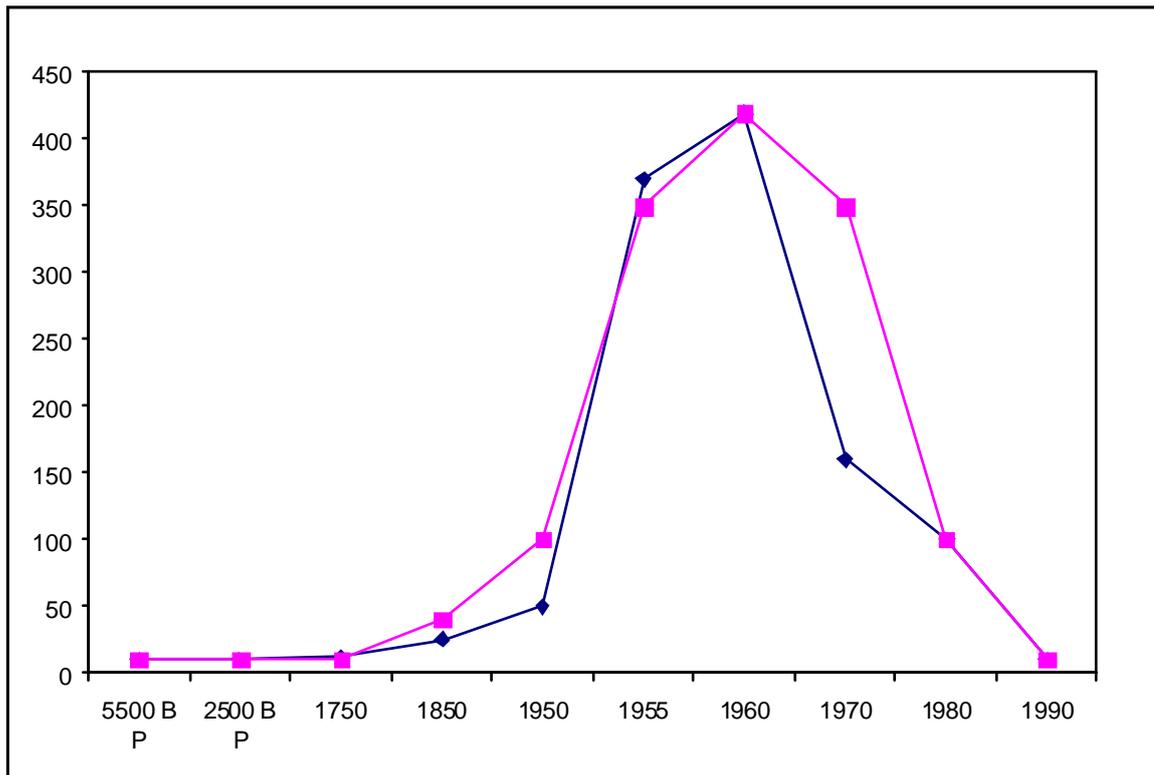


Figure 1.3 : Teneurs en plomb dans les glaces du Groenland [17]

On remarque une croissance des teneurs en plomb au début de l'ère industrielle et s'accroissant avec l'utilisation du plomb comme additif dans l'essence depuis 1945 à cause de sa qualité détonante. L'introduction de l'essence sans plomb a permis de réduire considérablement la teneur de plomb dans l'air polaire ou on remarque que la tendance est vers des niveaux d'avant l'air industriel [17]. A Alger le trafic routier est à l'origine de l'émission de plus de 170 tonnes de plomb annuellement, il en résulte en milieu urbain des teneurs excessives en plomb qui s'élèvent en moyenne à plus de $0.6 \mu\text{g m}^{-3}$, la valeur guide de l'OMS est fréquemment dépassée (moyenne annuelle de $0.5 \mu\text{g m}^{-3}$).

La commercialisation de l'essence sans plomb a commencé en Algérie le 12 décembre 1998. Ce produit est fabriqué exclusivement par la raffinerie de Skikda et transféré vers le Centre Naftal Skikda. Ce dernier alimente tout le marché national par camions citernes. Caractérisé par un prix de vente uniforme à travers tout le marché national, la consommation de l'essence sans plomb demeure en croissance continue du fait de la très forte demande.

Les autres polluants se trouvent à l'état de trace comme les Aldéhydes qui apparaissent essentiellement en mélange pauvre par suite d'oxydation incomplète des hydrocarbures, se

forment surtout dans la détente lors du mélange avec l'air chaud des imbrûlés présent sur les parois.

Aussi l'usure de différents organes du moteur provoque l'émission de certains métaux lourds dans l'air comme l'arsenic, le béryllium, le nickel, le manganèse, le cadmium, et l'amiante des systèmes de freinage.

Chapitre II : Caractéristique du parc véhicules national

2.1. Typologie

Le parc automobile correspond au nombre de véhicules routiers mis en circulation sur le territoire. [18] . Deux notions importantes doivent être distinguées : le parc statique et le parc roulant. Le parc statique correspond au nombre de véhicules en service abstraction faite de l'usage qui en est fait. Ce parc est évalué en nombre de véhicules et ne tient pas compte du kilométrage parcouru par chacun d'entre eux. Le parc roulant au contraire constitue une évaluation de la circulation effective des véhicules. Même au sein d'une catégorie identique, les véhicules particuliers par exemple, l'usage des véhicules peut être très différent en fonction de certaines de leurs caractéristiques (carburant, cylindrée...). L'évaluation du parc roulant est nécessaire pour apprécier la pollution associée au transport.

2.2. Composition du parc automobile

La distribution d'âge des véhicules observés dans les différentes enquêtes en Algérie révèle un important décalage avec les données ONS. On constate que pour les véhicules d'âge supérieur à 14 ans il y a une surestimation du nombre puisqu'il est difficile de recenser les véhicules qui tombent dans le rebut, mis en ferraille et déclassés. Tandis que pour les véhicules d'âge inférieur à 14 ans, on relève une sous-estimation dû au décalage qui existe entre la diffusion des données statistiques et l'immatriculation des nouveaux véhicules importés au niveau des services d'immatriculation.

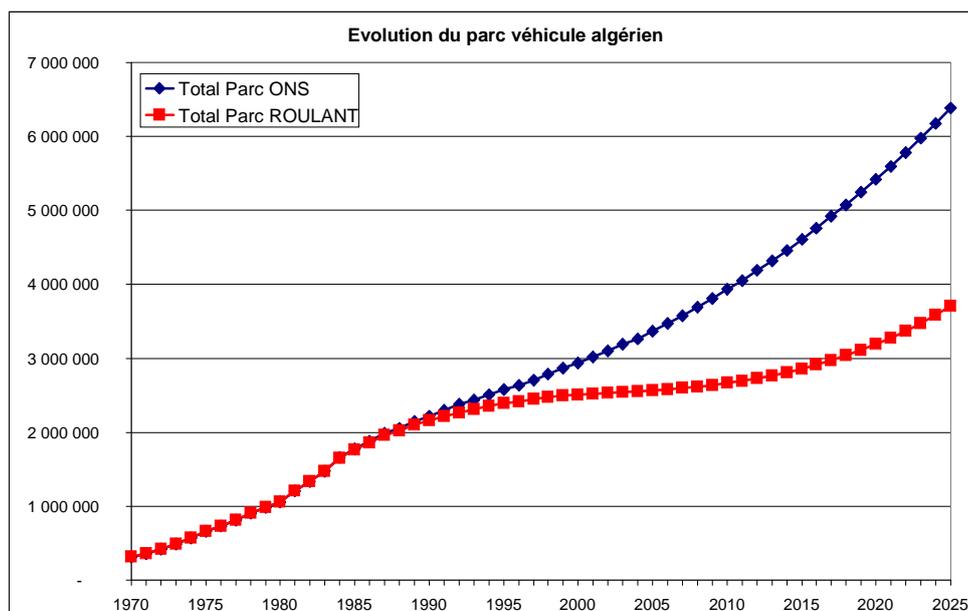


Figure 2.1 : Evolution du parc automobile Algérie

Les résultats d'enquêtes permettent d'estimer le parc roulant à environ 2.3 millions de véhicules au lieu de 2,9 millions de véhicules annoncé par l'O.N.S, soit 20 % de moins (figure 2.1). Cet écart important entre le taux de véhicules observé et celui de l'O.N.S, est certainement dû à:

- l'inexistence physique d'une partie de ces véhicules, essentiellement les véhicules trop âgés,
- la différence entre parc roulant et statique. En effet, tout véhicule existant et en état de rouler, ne roule pas forcément, et peut donc échapper à ce genre d'enquêtes.

Les observations effectuées depuis plus de trois ans montrent aussi que les véhicules d'âge supérieur à 36 ans (datant d'avant 1962) sont des plus rares. Lorsque ceux-ci existent, ils se trouvent dans un état de dégradation avancée et n'effectuent qu'un faible kilométrage.

Le parc est nettement plus jeune que ne laisse croire le parc ONS dont la moyenne d'âge des véhicules roulant est de 14.4 ans. Il est composé à plus de 61% de véhicules particuliers et de 20% de véhicules utilitaires légers.

Le nombre de véhicules importés annuellement renseigne bien sur le taux de croissance du parc en Algérie dès lors que la production locale ne concerne que les camions, bus et quelques engins.

Le taux de croissance du parc est estimé à 2.5%. La composante principale de ce parc étant les véhicules particuliers, les camionnettes et les fourgons. D'autres part, plus de 75% du parc total roule à l'essence. Le taux de diésélisation des véhicules particuliers est de l'ordre de 5% seulement.

2.3. Age du parc

Nous avons pour but lors de cette étude de relever les différences existantes entre les données fournies par l'O.N.S et celles de l'échantillon observé sur le terrain (Enquête 2000-2001).

Une fois qu'un véhicule neuf est immatriculé, il vieillit jusqu'au moment où il disparaît de la circulation pour des raisons diverses: accidents, vols ou mise en réforme. A partir d'un certain âge, le nombre de véhicules encore en circulation devient négligeable; nous le considérerons alors comme âge maximum. Une autre notion pratique à introduire dans notre étude concerne l'âge moyen applicable à chaque catégorie de véhicule et qui nous permet d'avoir une image de la qualité du parc véhicules national, par région, par type de voie, etc ... On obtient l'âge moyen de l'échantillon observé de 9,7 ans et l'âge moyen de l'O.N.S de 10,4 ans. Cet écart montre une surestimation de l'âge moyen du parc national attribué à l'O.N.S par rapport au parc réel existant.

Les résultats indiqués sur la figure 2.2, montrent que pour toutes les catégories de véhicules, les âges moyens observés sont inférieurs à ceux fournis par l'O.N.S. L'âge le plus bas est enregistré pour les véhicules de transport en commun dont le nombre a beaucoup augmenté ces dernières années.

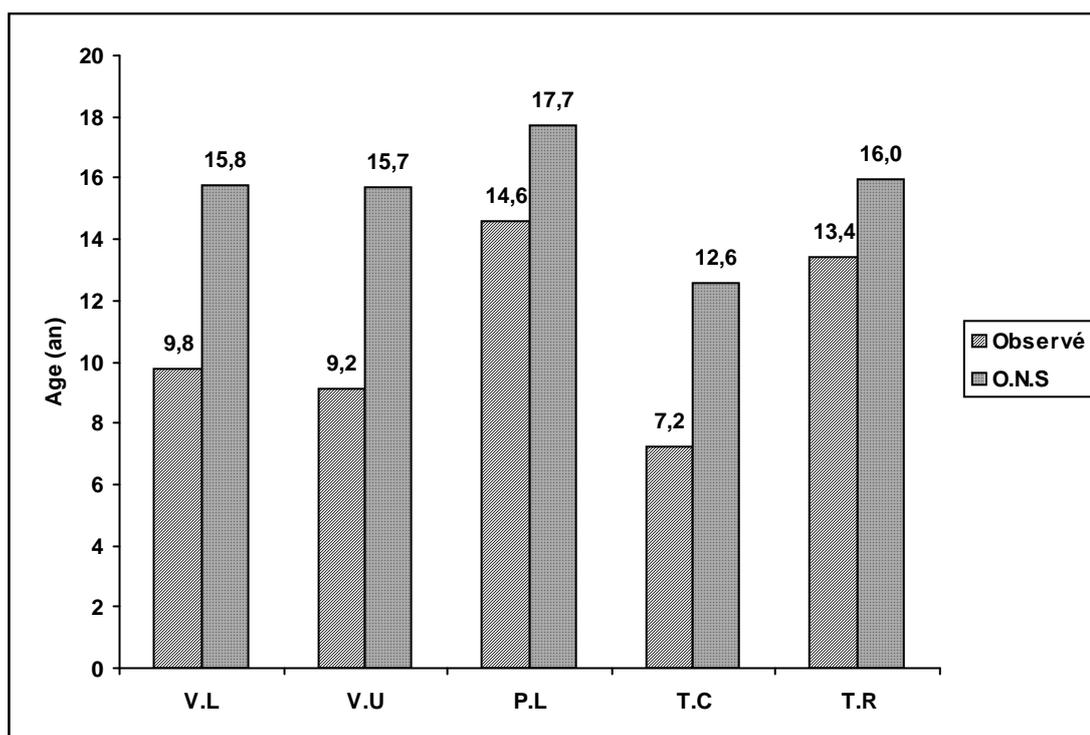


Figure 2.2 : Age du parc véhicules selon l'O.N.S et l'observé

Les résultats obtenus et résumés dans le tableau 2.1 sont très révélateurs où l'on confirme que les véhicules circulant sur le réseau autoroutier sont les plus récents, suivi de ceux circulant sur circuit urbain puis sur route nationale et pour les plus vieux en milieu rural.

Tableau 2.1 : Age du parc par catégories et type de voie

Types de Voie	Age moyen (ans)				
	VL	PL	VU	TC	TR
Autoroute	9.5	14.6	9.8	4.8	14.7
Urbaine	10.3	13.9	9.6	4.9	16.2
Nationale	11,0	14.1	11.3	6.9	14.0
Rurale	14.4	16.9	15.6	9.1	15.7

La connaissance des âges moyens par catégorie étant nécessaire à la connaissance de la structure détaillée du parc national, nous représentons dans la figure 2.3 les résultats des âges par catégorie de véhicule et type de voies. On peut dire que pour les types de voies,

les véhicule de transport en commun présentent le plus bas âge, suivi des véhicules légers et utilitaires avec pratiquement le même âge moyen toutes voies confondues.

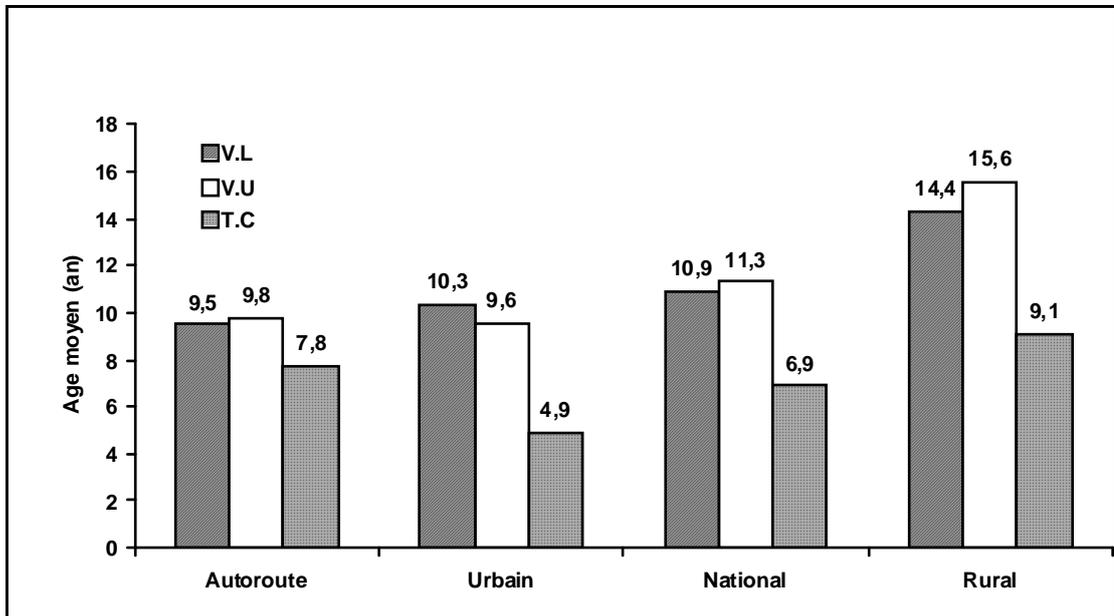


Figure 2.3 : Age observé par type de voie et catégorie

Pour ce qui est des poids lourds et tracteurs routiers (figure 2.4), ces derniers ont pratiquement le même âge moyen quelque soit le type de voie prévue pour leur circulation.

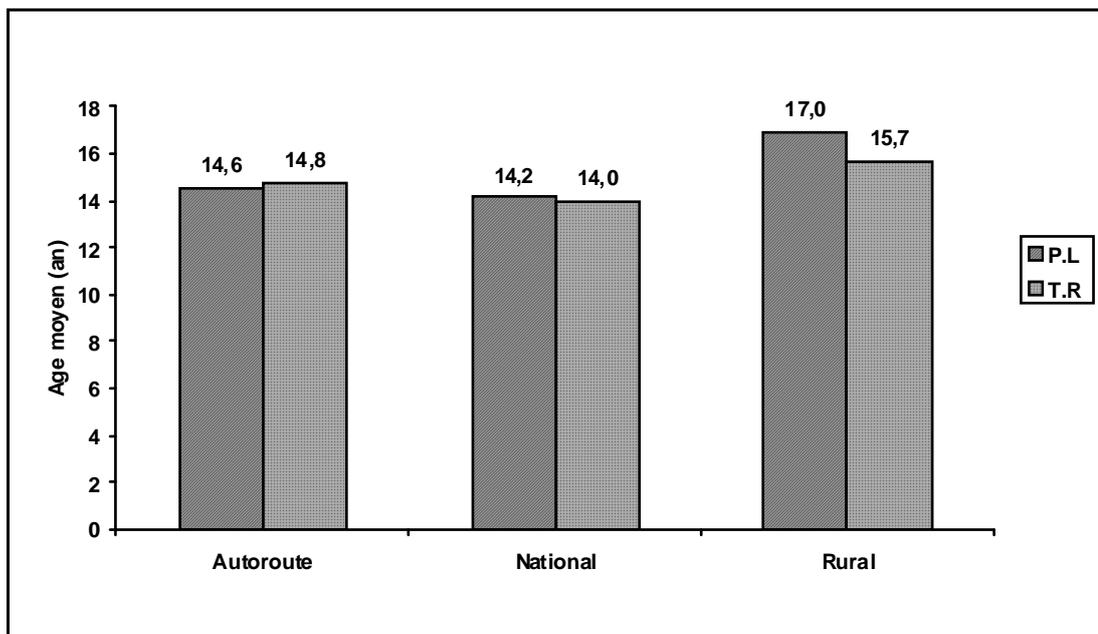


Figure 2.4 : Age observé par type de voie et catégorie pour les poids lourds

Cette étude met en évidence le manque de concordance des données de l'O.N.S concernant la composition du parc véhicules avec la réalité constatée sur le terrain. La raison principale est que le fichier de l'O.N.S est purement administratif, c'est à dire qu'il se contente d'actualiser ses données uniquement avec les nouvelles immatriculations auprès des Wilayas sans pour autant défalquer les véhicules réformés.

Pour cela une réactualisation où un renouvellement des cartes grises des véhicules toutes catégories confondues permettrait une mise à jour très bénéfique du parc roulant national existant. La conséquence première d'une telle action contribuerait à une meilleure estimation de l'inventaire des émissions des gaz à effet de serre (G.E.S).

Les résultats les plus importants à relever de cette étude sont que l'âge moyen de toutes les catégories de véhicules déterminés à partir de l'échantillon sont inférieurs à ceux fournis par l'O.N.S, les écarts d'âge moyen enregistrés sont de 6 ans pour les véhicules légers, 6,5 ans pour les utilitaires, 5,4 ans pour les transports en commun, 3,1 ans pour les poids lourds et 2,6 ans d'âge pour les tracteurs routiers. De l'ensemble des catégories de véhicules, le Transports en Commun présente l'âge moyen le plus bas (7.2 ans) suivie des Utilitaires (9,2 ans), des Légers (9,8ans), des tracteurs routiers (13,4 ans) et des Poids Lourds (14,6 ans).

2.4. Kilométrage du parc

Le travail consiste à évaluer le kilométrage pour chaque catégorie de véhicule, selon l'âge et le type de carburant. La méthodologie suivie consiste à effectuer des sondages sur terrain pour avoir des données réelles et non pas par calcul afin de limiter les incertitudes.

Une synthèse récapitulative est présentée en figure 2.5, l'étude a porté essentiellement sur cinq catégories de véhicules existant en Algérie à savoir : les véhicules particuliers, les camions, les véhicules utilitaires, les transports en commun et les tracteurs routiers. Les quatre catégories restantes n'ont pas fait l'objet de cette étude pour des raisons pratiques. En effet, il est difficile de relever le kilométrage des tracteurs agricoles, des motos, des engins spéciaux et des remorqueurs.

Pour les cinq premières catégories concernées, la différence de kilométrage d'une catégorie à l'autre est assez sensible. En effet, les véhicules particuliers roulent le moins avec en moyenne 30000 km/an, suivi des véhicules utilitaires légers qui parcourent annuellement 41000 km et des camions avec 42000 km/an. Les tracteurs routiers effectuent près de 44000 km/an. Ce sont les transports en commun qui roulent le plus avec 63000 km/an.

Ces résultats de terrain, renseignent sur l'état de trajets parcourus par les différentes catégories de véhicules en 2001 en Algérie. On observe trois groupes d'utilisateurs de véhicules d'importance : les transports en commun, les utilitaires légers et lourds (camionnettes, camions et tracteurs) et les particuliers. Il existe une nette différence de kilométrage entre ces trois groupes due à l'usage qu'est fait de chaque catégorie de véhicule.

Les transports en commun sont destinés à transporter les personnes donc à faire plusieurs rotations par jour, d'où l'important kilométrage de cette catégorie. Les véhicules utilitaires légers, lourds ainsi que les tracteurs routiers effectuent annuellement des kilométrages assez proches, de par leurs activités commerciales et industrielles.

Cette étude a mis en évidence que quelque soit la catégorie de véhicule ou le type de carburant utilisé, l'âge a une influence considérable sur le kilométrage parcouru. Cependant il est à noter que les véhicules roulants en Algérie effectuent des kilométrages plus importants et avec des véhicules plus vieux, l'âge moyen étant de 10 ans toute catégorie de véhicules confondues, comparés à ceux roulant en France où le kilométrage moyen est de 26450 km/an avec un âge moyen de 8 ans en 1998 pour les véhicules particuliers.

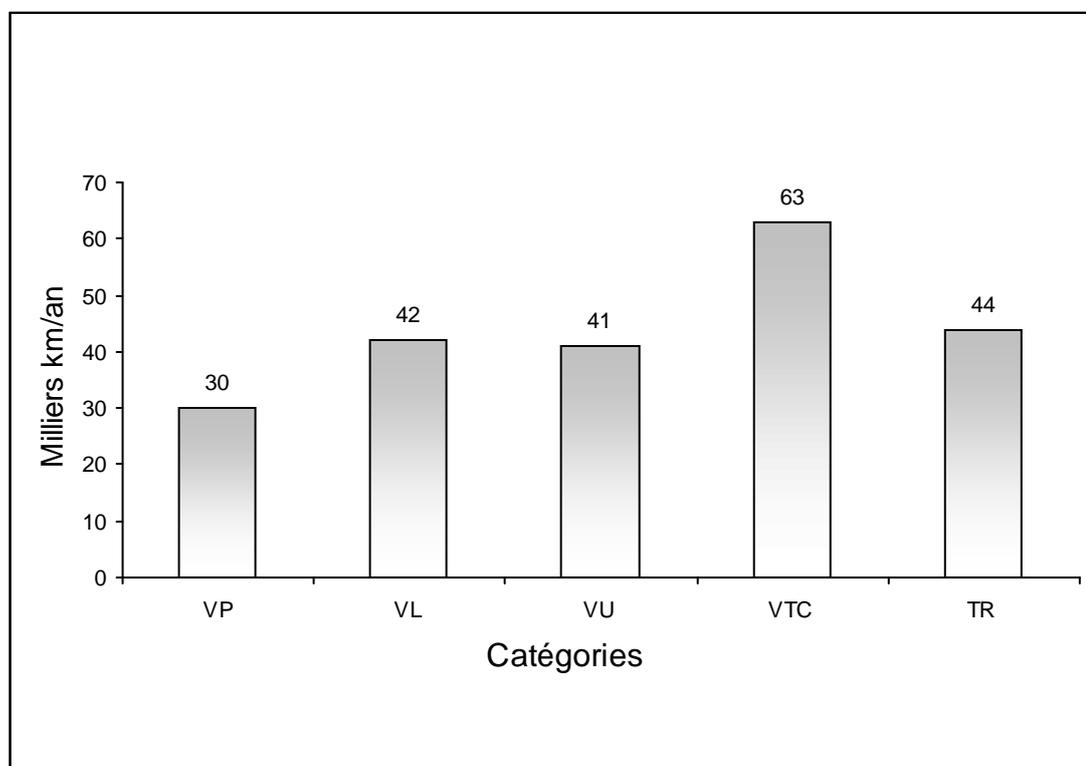


Figure 2.5 : Evolution du kilométrage annuel par catégorie

Le parc algérien étant constitué d'environ 60% de véhicules particuliers, c'est à l'évolution de leur kilométrage que l'on s'intéressera en premier. L'évolution concerne les véhicules d'âge égal ou moins de cinq ans. Les véhicules de moins de un an parcourent en moyenne 24602 km/an, un kilométrage relativement faible comparé à celui des véhicules d'un an qui réalisent 29663 km/an. A partir de cet âge on remarque une certaine stabilité où les véhicules semblent réaliser le même kilométrage. En effet, les véhicules d'âge compris entre un et cinq ans réalisent des kilométrages très voisins. A deux ans, les véhicules roulent 30946 km/an, une légère diminution est constatée pour les véhicules de 3ans, le kilométrage est de 28507 km/an.

Il est toutefois utile de signaler que le kilométrage annuel des véhicules de moins de 1 an est faible, cela provient du fait que beaucoup d'entre eux, immatriculés en cours d'année, ne roulent pas une année entière, leur kilométrage est donc nettement réduit par rapport aux années suivantes.

Ce sont les véhicules de 4 ans qui effectuent le plus grand kilométrage avec 31554 km/an, les véhicules de 5 ans semblent rouler moins, puisqu'ils parcourent 28519 km/an. Dans ce cas, l'âge ne paraît pas avoir une grande influence, les kilométrages sont relativement stables. Bien que la tranche d'âge représentée soit celle de véhicules jeunes, la tendance notée est à la diminution du kilométrage avec l'âge.

Le kilométrage des véhicules particuliers a connu quelques variations au cours des années 90, il s'agit dans ce cas de comparer les kilométrages annuels réalisés au cours des années 1994, 1998 et 2001 représentés sur la figure 9. En 1994, la moyenne annuelle était de 25352 km/an, une diminution considérable est constatée 4 ans plus tard en 1998 où le kilométrage atteint 17805 km/an, alors qu'en 2001, on observe une augmentation assez sensible et remarquée avec une moyenne de 28965 km/an.

En utilisant les moyennes pondérées par l'âge des véhicules, on remarque l'effet de ce dernier. Avec l'âge il y'a une réduction nette du kilométrage parcouru.

Pour différentes raisons la variation du kilométrage est bien présente. En 1994 il apparaît que le véhicule particulier est fortement utilisé étant donné l'importance du kilométrage réalisé. On préférerait se déplacer avec son propre véhicule au lieu d'utiliser d'autres moyens de transports qui étaient assez réduits en nombre durant cette période.

En 1998, la mobilité des personnes est réduite au maximum pour des raisons socio-économiques et sécuritaires. Par ailleurs, l'offre des transports en communs a considérablement augmenté incitant les gens à laisser leurs véhicules pour emprunter ce

moyen de transport nettement plus pratique et plus économique, d'où la chute enregistrée durant cette année.

Un renversement de situation est constaté en 2001, malgré l'offre grandissante des transports en commun, le véhicule semble être utilisé bien plus qu'en 1994. Ceci s'explique certainement par la croissance que connaît l'économie du pays dans les différents secteurs. En plus du fait de l'abondance de l'offre des véhicules avec l'arrivée des concessionnaires automobiles permettant ainsi aux gens dont le niveau de vie a évolué de pouvoir s'offrir un véhicule particulier.

Selon le type de carburant et la catégorie de véhicules, les kilométrages annuels évoluent différemment. C'est en calculant les moyennes de kilométrage des véhicules particuliers tout âge confondu pour chaque type de carburant que nous avons obtenu l'évolution représentée sur la figure 2.6. Le plus grand kilométrage est effectué par les véhicules GPL, avec 42553 km/an.

Les VP diesel roulent moins, ils réalisent 29876 km/an. Les VP essence semblent être les véhicules qui roulent le moins avec 28934 km/an.

Cette évolution qui classe les VP GPL en première position suivis des VP diesel et les VP essence en troisième position, a pour principale raison la différence de prix des carburants. En effet, Ce sont les carburants les moins chers qui effectuent les plus grands kilométrages.

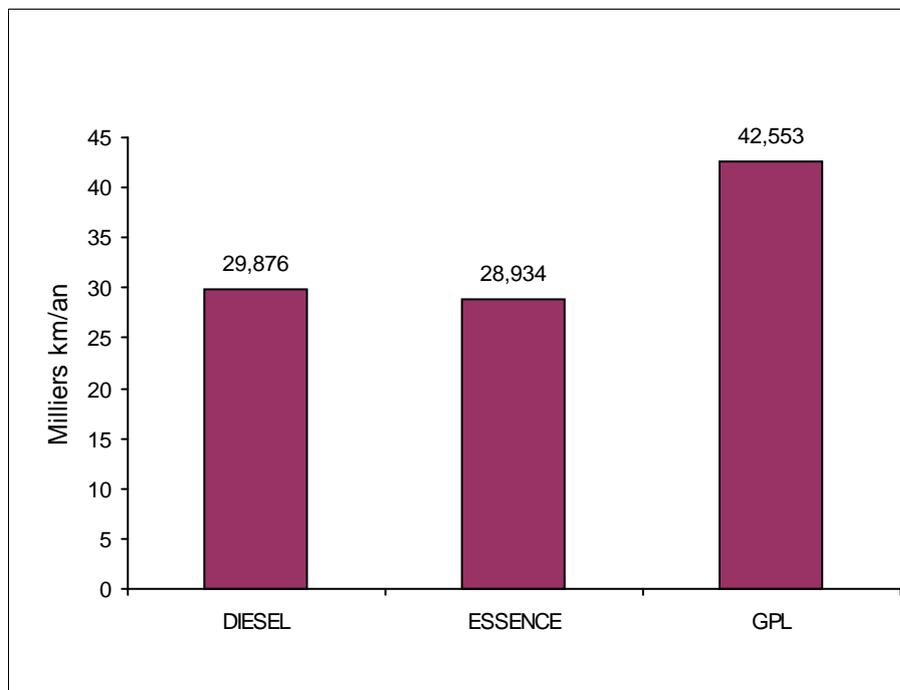


Figure 2.6 : Evolution du kilométrage annuel des VP par type de carburant

2.5. Evolution des ventes de carburant

Le marché des essences a connu une évolution constante jusqu'en 1985, le taux moyen de croissance était d'environ 10% chaque année. Ceci s'explique par le rythme de développement qu'a connu le pays et par des niveaux de prix incitatifs à la consommation. La croissance a commencé à diminuer à compter de 1985 à cause de la récession économique et à l'augmentation constante des prix. A partir de 1994 et jusqu'à l'année 2000 la demande n'a cessé de décroître (Figure 2.7).

L'évolution du marché gas-oil est identique à celui des essences avec une croissance de la consommation jusqu'au 1986 où le taux moyen de croissance était de 9% par an, date à laquelle a été noté une stabilisation de la demande jusqu'à 1990.

Après un pic en 1991 la demande n'a cessé de diminuer jusqu'en 1996. Une légère reprise de la croissance a été notée en 1997, reprise qui s'est vérifiée pour l'année 1998 et le 1^{er} trimestre 1999.

L'annexe 1 reprend l'évolution de la consommation des essences et du gas-oil de 1971 à 1998.

L'analyse des données relatives à l'évolution de la consommation des différents types de carburant durant la période allant de 1995 à 2001 montrent deux périodes caractéristiques :

Période 1995 – 1997 : période caractérisée par une régression à raison d'un taux moyen annuel de -2 % due à une conjoncture économique très difficile alliée à une situation sécuritaire à travers tout le pays, lié aussi à la détérioration du pouvoir d'achat des consommateurs, à l'augmentations des prix à la consommation et à l'introduction du GPL/C sur le marché des carburants.

Période 1998 – 2001 : période marquée par progression annuelle moyenne de + 4 %, cette croissance est appelée à être plus forte suite aux perspectives économiques à court terme et le rythme de développement dans tous les secteurs d'activité, notamment le transport, l'agriculture et le secteur énergétique.

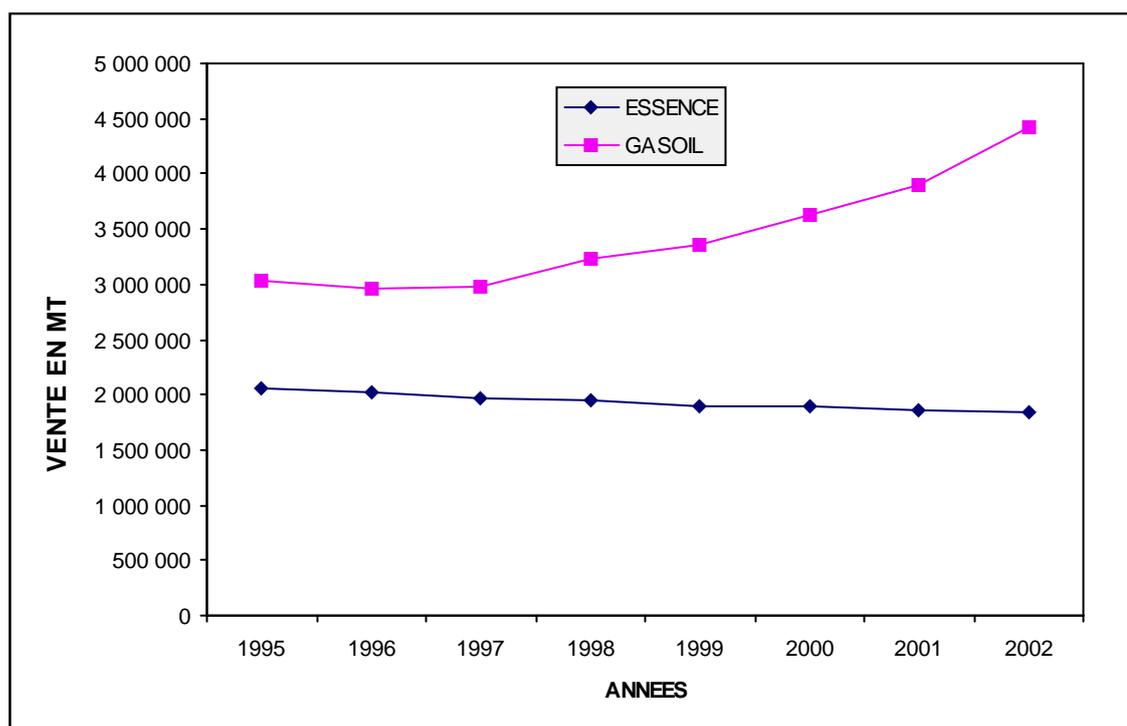


Figure 2.7 : Evolution des ventes de carburant (1995-2002)

2.6. Evolution des spécifications des essences

En raison des contraintes environnementales les spécifications internationales des essences ont beaucoup évolué ces dernières années et seront dans les prochaines années encore plus restrictives.

Ainsi en Europe la directive C.E.E a fixé les spécifications suivantes des essences à compter de l'an 2000 :

- Teneur en plomb : 0.005 g/l maxi.
- Teneur en benzène: 1 % maxi.
- Aromatiques: 42 % maxi (35% en 2005).
- T.V.R été : 60 kpa maxi.
- Teneur en oléfines: 18 % maxi.
- Teneur en soufre: 150 ppm maxi (150 ppm en 2005).

Cette directive a pour but essentiel de supprimer complètement le plomb (qui est aussi un poison du catalyseur qui équipe tous les véhicules essences européens à partir de 1993) et également vise à réduire les teneurs en benzène, aromatique, soufre (et diminuer par la même occasion les émissions en CO, NOx...).

En Algérie les spécifications des essences n'ont pas beaucoup évolué si ce n'est la tendance à la diminution de la teneur en plomb (à 0,40 g/l puis à 0,15 g/l dans le court terme) pour diminuer la pollution due au plomb et notamment dans les grandes villes. Il faut signaler la mise sur le marché en 1998 de l'essence sans plomb pour répondre à une demande (véhicule munis de pots catalytique).

Les spécifications nationales des essences ne sont pas aujourd'hui conformes aux spécifications internationales et notamment pour ce qui concerne le respect des teneurs en plomb, aromatique, benzène et le soufre. Aussi une mise à niveau de l'outil de raffinage s'avère nécessaire pour se conformer aux spécifications internationales.

Chapitre 3 : Les émissions polluantes

3.1. Facteurs d'émissions unitaires

Les émissions polluantes sont générées par la combustion des carburants utilisés avec l'oxygène de l'air présent dans le moteur, ou aux pertes par évaporation à cause des effets thermiques du moteurs ou lors du remplissage du réservoir carburant. [9]

Dans le domaine de la pollution de l'air, le facteur d'émission est un coefficient utilisés pour déterminer ou estimer les flux de polluants atmosphériques liés à un trafic automobile dont on connaît les caractéristiques et le trafic pour une route donnée ; le flux total émis sera déterminé par la somme des produits des différents F.E., multipliés par les trafics respectifs de chaque type de véhicule.

Jusqu'à présent, la détermination des facteur d'émission des véhicules légers repose sur les mesures effectuées pour différents modes de conduite « synthétiques », ces derniers simulaient schématiquement des conditions de circulations bien définies en faisant reproduire ces cycles de conduite aux véhicules sur banc d'essai à rouleaux, on peut leur attribuer les quantités d'émissions ainsi reproduites et relier celles-ci à la vitesse moyenne considérée comme paramètre unique pour caractériser la cinématique. Les coefficients d'émissions ainsi déterminés, n'ont de valeur au sens strict du terme qu'à condition que la cinématique en conditions réelles correspond avec une précision suffisante a celle reproduite dans les cycles de conduites. Cette méthode simplifiée ne répond plus aux exigences actuelles, car la cinématique exerce une influence significative sur le niveau des émissions. Cela requiert donc de nouvelles méthodes de calcul des coefficients d'émissions. Parallèlement, les nouveaux instruments de mesure et d'analyse ont une plus grande résolution, laquelle offre de nouvelles possibilités. On mesurait généralement les émissions en déviant - suivant la méthode – une partie ou la totalité des gaz d'échappement produits pendant un cycle de conduite dans un sac de prélèvement avant de les analyser. Ces valeurs appelées valeurs de mesures intégrales pouvaient ensuite être attribuées au cycle de conduite considéré. Les équipements plus récents permettent d'analyser les émissions en continu, ces émissions sont analysées par intervalles d'une seconde, en même temps que les paramètres cinématique (vitesse, accélération). Cette procédure permet de déterminer les fonctions d'émissions et de consommations qui décrivent le niveau des

émissions en fonction des paramètres cinématiques précités. Grâce à elle, on peut donc calculer les émissions et la consommation pour une séquence cinématique quelconque. Parallèlement, elle permet de mieux prendre en compte les conditions de fonctionnement qui jouent un rôle important dans les véhicules de conception plus moderne, équipés d'un catalyseur et d'un dispositif de réglage du mélange (influence du départ à froid). En outre, la méthode permet de dissocier les études cinématique des mesures d'émissions.

3.2. Facteurs influençant les émissions

Plusieurs paramètres exerçant une influence sur la quantité et la qualité des polluants émis, ces paramètres peuvent être liés au véhicule lui-même, tel que la conception des moteurs. Les résultats des études faites par Général Motors montrent que le réglage des moteurs permet de diminuer les émissions de CO et HC de 45.7 et 35.5 % respectivement, mais augmente les émissions des NOx de 22.2%. Le réglage de la carburation et du point d'allumage minimise le risque de la pollution car l'excès d'environ 5% de l'air permet d'améliorer la combustion. Aussi, le rapport air-carburant qui exprime la richesse du mélange influe sur la quantité des émissions polluantes.

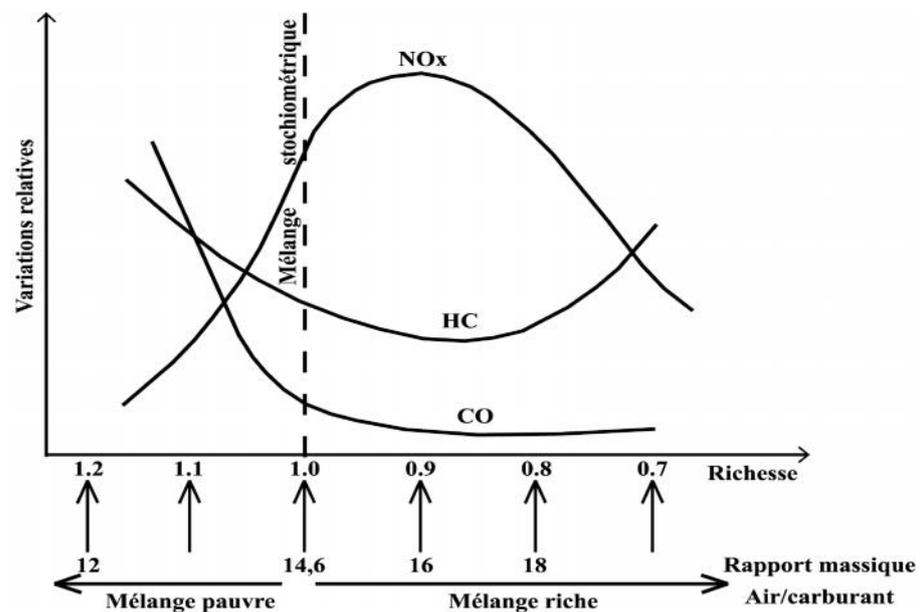


Figure 3.1 : Formation des polluants dans un moteur et par type de mélange [11]

On parle de mélange riche quand la quantité d'oxygène est faible par rapport à celle du carburant, tandis que le mélange est dit pauvre quand la quantité d'oxygène est en excès.

La température du moteur et la vitesse de circulation influent directement sur la qualité et la quantité des polluants émis. A faible vitesse, les véhicules à moteur essence ou diesel génèrent des taux élevés de monoxyde de carbone (CO), des hydrocarbures (HC) et des gaz carbonés, ces taux diminuent pour atteindre une valeur minimale quand le moteur atteint sa vitesse de croisière qui est de 90 km/h. Ces émissions unitaires sont nettement plus faibles pour les véhicules diesel que celle des véhicules à essence à cause expliquée, à la conception un peu particulière des moteurs diesel, mais par contre favorise les émissions des particules fines contenant des HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) lorsque la vitesse augmente. La nature ou la qualité du carburant a un effet considérable sur la quantité des polluants émis comme le montre le tableau 3.1 [10]:

Tableau 3.1 : Comparaison entre les émissions unitaires moyennes des VP à moteur essence et moteur diesel pour un trajet urbain

Rejets en Kg	Moteur essence		Moteur diesel
	Sans catalyseur	Avec catalyseur	
CO ₂	475	625	560
CO	73	8,5	2,6
NO _x	4,5	0,9	0,9
COV	8,8	0,6	0,7
Particules	0	0	37,5

La figure 3.2 montre aussi la quantité de chaque polluant émis, en fonction du type du carburant utilisé.

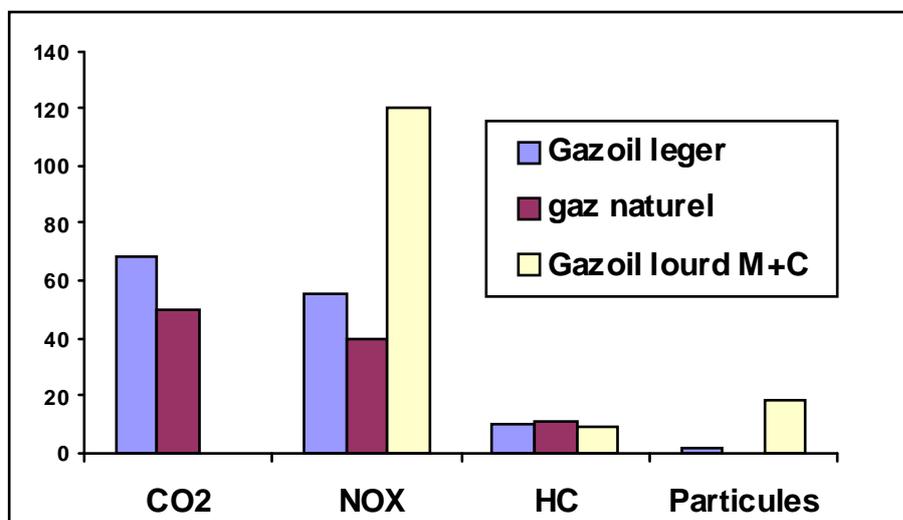


Figure 3.2 : Particules, d'hydrocarbure, d'oxydes d'azote pour divers combustibles en (mg/ Mj) [3^e]

Pour un moteur diesel, les émissions ne proviennent que des gaz d'échappements, et comme ce dernier aspire un volume d'air supérieur au volume théorique de combustion à l'inverse du moteur à essence qui est au contraire appauvri en air pour obtenir sa puissance maximale, on aboutit au résultat évident que la quantité de polluants émise par le moteur diesel est très sensiblement inférieure à celle du moteur essence. Aussi, l'augmentation de la vitesse moyenne provoque l'augmentation de la température des moteurs essence ce qui favorise la formation des NO_x et stabilise celle des moteurs diesel ce qui explique la stabilité de la formation des NO_x.

L'usure et la dégradation due au vieillissement et au manque d'entretien, les normes moins strictes admises lors de leur immatriculation engendrent des émissions très importantes par rapport à celle des nouveaux véhicules. Parmi les paramètres influençant la qualité et la quantité des émissions, il y a le type de trajet, car les trajets sont effectués sur des voies différentes (urbain, agglomération, route ou autoroute), c'est ce qui entraîne une variation notable de la dynamique de trafic, fluidité du trafic, vitesse moyenne pratiquée par type de trajet ce qui influe directement et considérablement sur les émissions polluantes.

Les concentrations les plus élevées des polluants émis sont signalées dans les milieux urbains à cause des embouteillages et arrêt prolongés devant les signaux lumineux, comme le montre le tableau 3.2 :

Tableau 3.2 : Caractéristiques des trajets - vitesses et émissions de polluants en fonction du type de voie [4]

Type de trajet	vitesse moyenne Km/h	CO g / k m	NO _x * g / k m	HC * g / k m
Urbain : voies secondaires	13.9	6.9	1.78	1.09
Urbain : voies principales	27.2	6.3	2.22	1.08
Périphérique + Routier	64.8	3.21	2.45	0.62
Autoroutier	124.6	2.1	3.4	0.03

* : convertisseur catalytique à trois voies.

L'ampleur des émissions produites par les véhicules routiers ne dépend pas seulement de leurs équipements techniques, mais aussi de la manière dont ils fonctionnent et dont ils

sont conduits (vitesse, accélération et décélération). Les études de comportement du conducteur, consistent essentiellement à l'étude des vitesses qu'il pratique sur les routes, ces dernières varient selon les heures de pointe et elles résultent d'un grand nombre d'influences tels que le motif du déplacement, la visibilité, le débit, la capacité de la route et ces caractéristiques géométriques, les conditions météorologiques et les dispositifs de régulation existants, les types ou classe des véhicules, les vitesses dans leurs ensembles. La contribution par passager à la pollution est très importante, un autobus qui circule vide est trop polluant par rapport au service rendu, le tableau 3.3 nous montre l'effet du nombre des passagers sur la quantité des émissions :

Tableau 3. 3 : Emissions polluantes par passager transporté [7^e]

Type de véhicule	Polluant émis (g / passager / km)		
	NO _x	HC	CO
Véhicules particuliers sans catalyseur	1.00	4.47	45.20
Véhicules particuliers avec catalyseur	0.40*	0.47	4.70
Taxi sans catalyseur	2.14	9.57	86.85
Taxi avec catalyseur	0.86*	1.00	10.00
Microbus à essence	0.16	0.09	0.79
Microbus au GPL	0.0725	0.06	0.907
Autobus urbain	0.60	0.20	0.70

* : convertisseur catalytique à trois voies.

D'autres paramètres externes présentent une influence sur les émissions tels que :

- Les conditions climatiques : pluie, vent.
- Les conditions géographiques : montagne, plaine, littoral.
- L'infrastructure routière : type de revêtement et de voirie, intersections, sinuosité, système de régulation du trafic.

3.3. Moyens réglementaires et techniques de réduction des émissions

L'ampleur des émissions produites par le trafic routier et leur effets néfastes sur la santé, la nature et la qualité de l'air ont poussé les gouvernements à mettre des réglementations de prévention pour la diminution des nuisances générées vis à vis de l'environnement.

3.3.1 Normes d'émissions

Les préoccupations vis à vis de la dégradation de la qualité de l'air ont poussé les autorités américaines et plus tardivement les instances européennes [19], à adopter une réglementation stricte quant aux émissions de polluants par les véhicules. La croissance incessante du parc mondial de véhicules routiers, et l'amélioration des connaissances, concernant les effets de la pollution atmosphérique sur les êtres vivants et l'environnement justifient la sévèrification progressive de cette normalisation.

Les véhicules neufs doivent répondre à des normes plus strictes d'émissions en fonction de leur taille et du type de carburant qu'ils consomment. Les normes de la qualité de l'air exprimées en concentrations fixées par différents règlements de prévention, sont établies selon le protocole expérimental précis qui servira pour les mesures nécessaires à l'acceptation des véhicules. Ces derniers sont testés au laboratoire, en suivant des conditions de conduite similaire aux conditions de leurs usages réels grâce aux cycles de conduite. Ces normes sont des valeurs limites, à ne pas dépasser ou des valeurs guides, à considérer comme des objectifs de qualité à atteindre, sont de plus en plus stricte et varient selon le type et la taille du véhicule ainsi que le type de carburant consommé (Annexe 2).

La législation européenne est de plus en plus sévère sur les rejets des moteurs diesels. Les normes d'émissions « Euro » se succèdent. La mise en œuvre se fait dans des délais légèrement décalés pour les moteurs diesel et essence

Euro 0 : véhicules mis en service après 1988 ;

Euro I : véhicules mis en service après 1993 ;

Euro II : véhicules mis en service après 1996 ;

Euro III : véhicules mis en service après 2000 ;

Euro IV : véhicules mis en service après 2005 ;

Euro V : après septembre 2009 pour la réception et janvier 2011 pour l'immatriculation de véhicules neufs ;

Euro VI : après janvier 2013 pour la réception et janvier 2012 pour l'immatriculation de véhicules neufs.

Les tableaux 3.4 et 3.5 présentent normes européennes d'émissions de chaque polluant.

Tableau 3.4 : Normes européennes d'émissions des véhicules diesels

Norme (mg/km)	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V
Oxydes d'azote (NOx)	-	700	500	250	180
Monoxyde de carbone (CO)	2720	1000	640	500	500
Hydrocarbures (HC) + NOx	970	900	560	300	230
Particules (PM)	140	100	50	25	5*

* : réduction de 80% par rapport à Euro IV

Tableau 3.5 : Normes européennes d'émissions des véhicules essences

Norme (mg/km)	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V
Oxydes d'azote (NOx)	1000	500	150	80	65
Monoxyde de carbone (CO)	2800	2200	2200	1000	1000
Hydrocarbures (HC)	1000	500	200	100	100
Particules (PM)	-	-	-	-	5*

* : uniquement pour les voitures à essence à injection directe en mélange pauvre

Les normes Euros demeurent des mesures calculées sur des véhicules dépourvus d'options, suivant des cycles standardisés qui ne sont pas une image représentative de l'usage réelle des véhicules sur route. Les moteurs sont en outre réglés pour respecter la norme dans le cadre légal. Les valeurs s'envolent très rapidement quand les véhicules dépassent les 130km/h, vitesse maximale autorisée en France. Il n'en demeure pas moins que ces moteurs produisent, à puissance égale, moins de rejets polluants que des moteurs d'ancienne génération. En Algérie le décret exécutif n° 03-410 du 05 Novembre 2003 du le journal officiel de la république fixe les seuils limite des émissions polluantes des véhicules (Annexe 3).

3.3.2 Contrôle technique et maintenance

L'état de maintenance et de réglage du véhicule sont des paramètres non négligeables vu l'influence sur la quantité des émissions d'où l'obligation du contrôle antipollution des véhicules [8]. Ces contrôles techniques réguliers obligent l'automobiliste à réviser le véhicule et le maintenir en bon état, comme ils encouragent les fabricants à construire des véhicules plus durables et plus faciles à entretenir. Un véhicule poids lourd mal entretenu peut produire de 10 à 15 fois plus de particules et d'hydrocarbures HC qu'un autre correctement entretenu, tandis que la réduction des émissions peut atteindre 25% de HC et CO, et 10% NO_x pour les véhicules légers bien entretenus selon des statistiques américaines. Les véhicules mal entretenus présentent des problèmes d'émission aigus, une perte de puissance et une consommation supplémentaire en carburant. Les dispositifs de post traitement des gaz d'émissions sont très efficaces pour réduire les émissions des moteurs, aussi bien pour les polluants réglementés que pour les polluants non réglementés. Leur utilisation a augmenté à mesure que les normes d'émissions ont été renforcées. Algérie l'établissement national de contrôle technique automobile algérien ENACTA assure depuis sa création en 1998 la mise en œuvre de la réglementation nationale pour le contrôle technique des véhicules. Les visites réglementaires doivent être effectuées conformément aux périodicités spécifiées dans le tableau 3.6.

Tableau 3.6 : périodicité des visites pour contrôle technique [11^e]

Catégorie de véhicules	Périodicité
Transport en commun de personnes/ Taxis/Auto-écoles/Ambulances/Transport des matières dangereuses.	Chaque 06 mois
Transport de marchandises (PTAC supérieur à 3.5 Tonnes)	Chaque année
Transport de marchandises (PTAC inférieur ou égal à 3.5 Tonnes)	- Tous les 02 ans pour les véhicules de moins de 04 ans d'âge, - Tous les ans pour les véhicules de plus de 04 ans d'âge.
Véhicules de dépannage/ Véhicules de location	- Chaque année
Autres catégories de véhicules	-Tous les 02 ans pour les véhicules de moins de 06 ans d'âge, Tous les ans pour les véhicules de plus de 06 ans d'âge.
Toutes les catégories de véhicules	- A chaque changement de propriétaire,

	<ul style="list-style-type: none">- A chaque réimmatriculation du véhicule,- A chaque transformation notable.
--	--

Chapitre 4 : Techniques de mesure des émissions unitaires

4.1. Introduction

Le but de la mesure est de contrôler les émissions polluantes d'un véhicule par rapport à des limites légales (normes), c'est à dire de vérifier qu'un moteur ancien ou neuf satisfait les niveaux de pollution, par rapport à des niveaux admissibles fixés par la réglementation. Ces niveaux varient d'un pays à un autre et dépendent de la masse du véhicule et du type de carburant.

Ces normes ou limites admissibles de pollution ont tendance à diminuer avec le développement technologique, la croissance incessante du parc automobiles mondial et l'évolution des connaissances concernant les effets de la dégradation de la qualité de l'air sur l'environnement et la santé.

Le but de ces mesures est de quantifier les émissions polluantes pour :

- Evaluer les masses totales des polluants émis à différentes échelles.
- Déterminer les facteurs influençant la formation des polluants.
- Evaluer l'impact des solutions technologiques et des réglementations qui visent la diminution des émissions et de la consommation.

4.2. Méthode de mesures des émissions polluantes

4.2.1 Mesures au laboratoire

Dans cette méthode les gaz d'échappement sont collectés et analysés grâce à la méthode CVS (prélèvement à volume constant), cette méthode consiste à placer le véhicule sur un banc d'essai à rouleaux et de reproduire au laboratoire les conditions de fonctionnement de ce véhicule (Figure 4.1), en lui opposant l'ensemble des forces de résistances à l'avancement rencontrées sur la route : principalement les forces liées à l'aérodynamique (pénétration du véhicule dans l'air), au roulement liée à la vitesse du véhicule (contact pneu-chaussée) et au profil de la route (pente), accélération – décélération liée à la masse du véhicule (force d'inertie) [4,6].

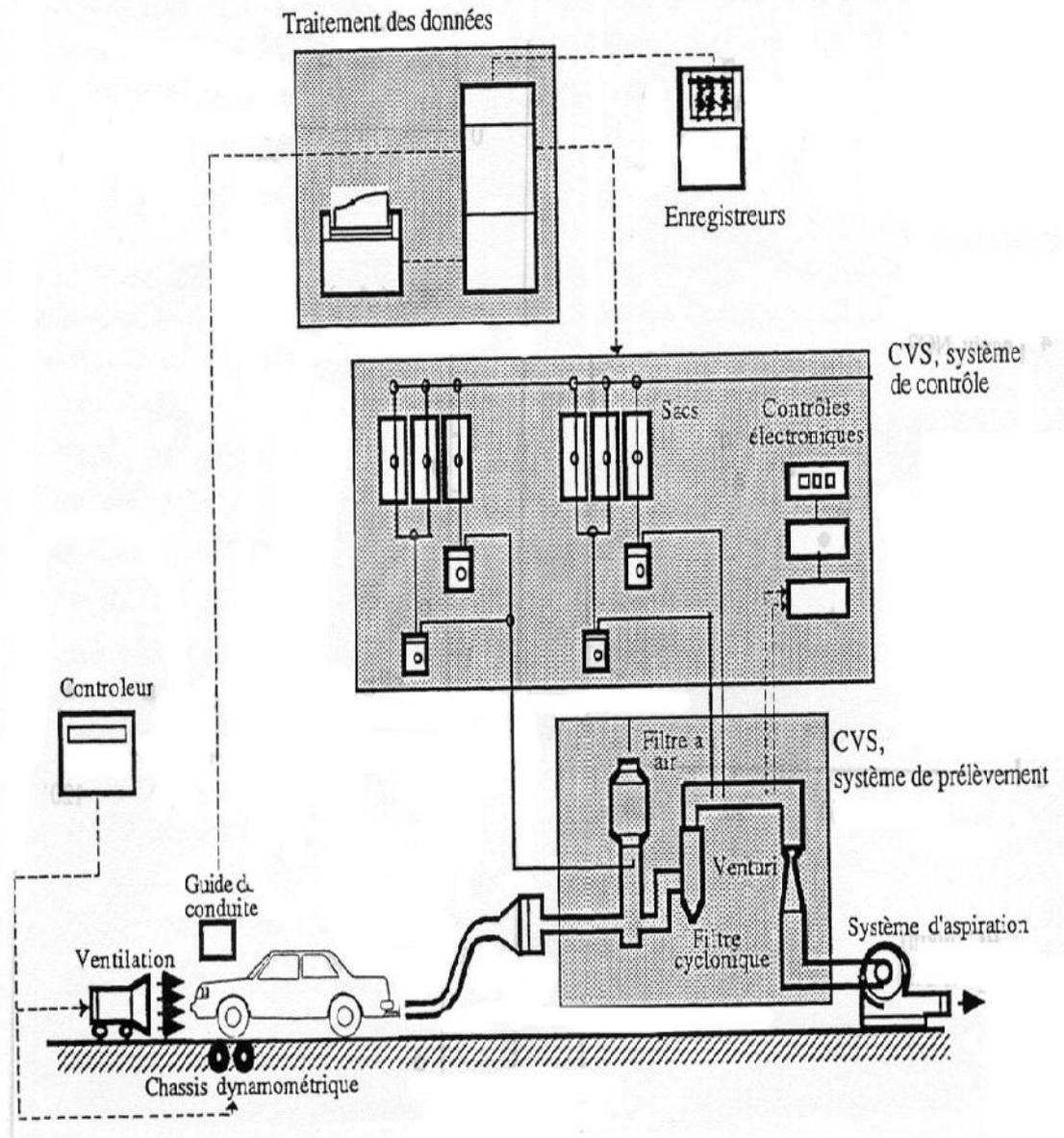


Figure 4.1 : Schéma de la méthode CVS

L'objectif de représentativité implique de définir des conditions « représentatives » de test, c'est à dire essentiellement : la courbe de vitesse en fonction du temps à reproduire et les conditions de fonctionnement du moteur.

La définition des conditions de test passe par le recueil des informations des conditions d'usage et de fonctionnement des véhicules, en particulier les courbes de vitesse-temps, les

charges et régimes de rotation du moteur, l'usage de boîte de vitesse, les températures extérieures et la température du moteur.

Les gaz d'échappement sont collectés durant l'exécution de cette procédure de test et sont mélangés à un volume complémentaire d'air ambiant filtré (rapport de dilution de l'ordre de 1/8), afin d'obtenir un débit d'air - gaz constant. Des échantillons de ces mélanges à débit contrôlés sont recueillis dans des sacs de collecte des gaz, ainsi qu'un échantillon d'air ambiant qui a servi à la dilution des gaz (échantillon témoin) et sont ensuite analysés. La teneur de chaque polluant émis durant l'essai est égale à la différence de la concentration du gaz dilué et celle de l'échantillon de l'air qui a servi à la dilution [4] .

4.2.1.1 Définition d'un cycle de conduite

Le cycle de conduite est une courbe de vitesse en fonction du temps représentative, qui doit être reproduite par le conducteur du véhicule lors de l'essai.

C'est le cycle qui détermine les conditions de fonctionnement du véhicule (accélération, freinages, changements des rapports de boîte de vitesse.....), son rôle est donc capital par rapport aux résultats des mesures d'émissions de polluants effectuées en sortie du pot d'échappement du véhicule [6] .

La plupart du temps, l'élaboration de cycles de conduites repose sur des données de fonctionnement des véhicules en circulation réelle ; et prétend à une certaine représentativité par rapport aux conditions de circulation rencontrées dans le pays ou la région considérée.

- Il existe un très grand nombre de cycles associés aux réglementations des différents pays. Ces cycles sont utilisés à de multiples fins : comme de quantifier les émissions de polluants et la consommation ; certifier, homologuer des véhicules ou des modèles ; évaluer des technologies, voire l'incidence de modifications de la régulation du trafic.
- Un cycle repose principalement sur des conditions de conduite « types » pour une zone géographique et une période données et inclut les principaux modes de conduites : accélérations, décélérations, arrêts et période de roulage.
- La construction des cycles d'essai nécessite de disposer de données détaillées de fonctionnement ; en particulier, les courbes de vitesse du véhicule en fonction du temps.
- Pour construire un cycle de conduite, seule la mesure de la vitesse en circulation serait nécessaire. Si l'on s'intéresse aux conditions de fonctionnement, on doit considérer également le régime de rotation du moteur.

4.2.1.2 Description d'un banc à rouleaux

La mesure des émissions et la consommation de carburant, se fait grâce à un banc d'essai de véhicules (banc à rouleaux), pour subvenir à la complexité des systèmes de prélèvement et de mesure des concentrations des polluants émis par les pots d'échappements des véhicules.

Un banc d'essai se compose essentiellement de deux à quatre rouleaux (celui de l'INRETS-LEN contient deux rouleaux de 364 mm de diamètre) sur lesquels les roues motrices du véhicule sont maintenues : plus le diamètre des rouleaux est important, meilleure sera la simulation du contact roue (pneu-chaussée), et d'un dispositif de freinage de Foucault (INRETS) ou hydraulique, et un ensemble de masses ou volants d'inertie couvrant la gamme de 680 à 2495 kg par pas de 113 kg afin d'approcher au mieux la masse du véhicule. Il contient aussi un système de ventilation du matériel de contrôle et de régulation de l'ensemble, qui permet de gérer la sécurité et de répéter les conditions réelles de conduite surtout au niveau du refroidissement de l'eau, de l'huile du moteur et l'alimentation en carburant. L'utilisation du banc à rouleaux pour un véhicule donné nécessite un calibrage tenant compte des caractéristiques propres de résistance à l'avancement du véhicule, cette résistance aérodynamique (pénétration du véhicule dans l'air) est simulée par une loi proportionnelle au carré de la vitesse

$$R_a = a \cdot V^2 \text{ pour le courant Foucault.}$$

4.2.1.3 Description des essais

Les essais sur un banc se déroulent dans un laboratoire équipé d'un banc à rouleaux, sur un véhicule choisi, de la manière suivante :

- Préparer en premier lieu des sacs de prélèvement de gaz dilués et d'air de dilution les rincer et les prés remplir de 20 litres d'azote, on calibre les analyseurs par les gaz étalons.
- Sélectionner les volants d'inertie correspondant à la masse équivalente du véhicule et on choisit le cycle de conduite à exécuter : Le véhicule est conduit par un conducteur qui vérifie à tout moment que sa vitesse réelle coïncide avec le profil à suivre grâce au suiveur de cycle du banc à rouleaux, ou bien par transfert directe des cycles de conduites et des changement de rapport de boîte d'un ordinateur vers le guide de conduite du banc d'essai.

- Ajuster le potentiomètre du frein en fonction des essais effectués réellement sur piste.
- Réchauffer le moteur de la voiture en réalisant deux cycles sans faire les prélèvements.
- Vérifier la température du moteur et des paramètres climatiques.
- Réaliser un premier prélèvement avec le CVS.
- Refroidir légèrement le moteur du véhicule sans l'arrêter, par enclenchement du système de ventilation pendant une minute.
- Quand le moteur atteint la température normale de fonctionnement, on réalise d'autres prélèvements pour le même cycle, puis pour d'autres cycles de conduites représentatifs des conditions réelles de circulations.
- Finalement, on analyse les échantillons de gaz dilués et d'air de dilution qu'on a prélevés.

4.2.2 Mesures avec des systèmes embarqués

La méthode classique et la plus connue pour la mesure des émissions polluantes unitaires d'un véhicule est le CVS, utilisé pour l'homologation des véhicules neufs. Son utilisation en vue d'obtenir une estimation réelle exige une étude préalable des modes de conduites (cycles de conduites), mais malgré ces performances elle s'avère lourde à mettre en œuvre et nécessite des coûts d'investissement et de fonctionnement très élevés.

Actuellement, on s'oriente vers des méthodes alternatives de mesures facilement applicables, plus légères et moins coûteuses pour satisfaire les besoins de connaissances en matière d'émissions automobile comme les mesures au moyen de systèmes embarqués, qui permettent de connaître la masse des polluants émis lors de parcours dans les villes, éliminant ainsi les incertitudes liées à la non représentativité des cycles de conduite adoptés.

Plusieurs systèmes ont été mis au point pour permettre la mesure des émissions polluantes à bord des véhicules.

4.2.2.1 Méthode VOLKSWAGEN

C'est un système de mesure de gaz d'échappement, embarqué dans n'importe quel véhicule (figures 4.2 et 4.5). Il mesure en conduite réelle sur route, les émissions massiques des constituants du gaz d'échappement sévèrement réglementé, ainsi que les dégagements de CO₂.

L'échantillon de gaz est prélevé directement du pot d'échappement du véhicule testé, grâce à la conduite de prélèvement montée à l'extérieur pour permettre son refroidissement. Les fractions de gaz représentatifs prélevés sont ensuite analysés in - situ [XX] .

Ces analyses permettent de :

- Calculer les concentrations des différents constituants en temps réel.
- Corriger les valeurs de concentration en fonction de la pression atmosphérique instantanée.
- Calculer le coefficient air/carburant (A/F) à partir des concentrations instantanées de CO₂, CO et HC.

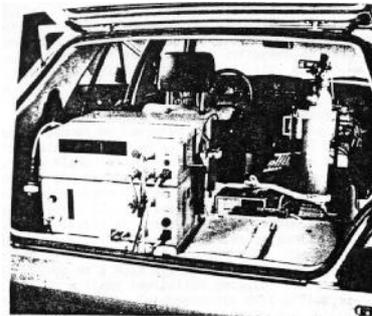


Figure 4.2 : Photos du système embarqué VOLKSWAGEN

Le système de mesure de gaz d'échappement embarqué VOLKSWAGEN, a fait ses preuves lors de nombreux essais en ville, sur route et autoroute, sur différents véhicules, dans des conditions atmosphériques défavorables, et des parcours d'essai comportant tous les régimes de marche intervenant en circulation réelle. Parmi ces avantages :

- Mesure des émissions dans des conditions réelles de circulation.
- Permet l'étude des effets de l'arrêt du moteur aux feux rouges.
- Permet de sentir l'influence des mesures de réglementation de la circulation.

- Permet de sentir l'effet du comportement du conducteur sur le comportement polluant du véhicule

Calcul des émissions polluantes massiques

Le calcul des émissions polluantes massiques des constituants du gaz d'échappement retenue pour le système de mesure embarqué VOLKSWAGEN nécessite de connaître en outre la concentration de chaque constituant, le débit volumique des échappements ou même le volume des gaz d'échappement ; Calculer à partir du coefficient air / carburant (A/F) et du débit de carburant.

Le coefficient air / carburant (A/F) est calculé à partir de l'équation ci-dessus applicable aux moteurs à essence et diesel, en fonction des concentrations des HC, CO et CO₂ :

$$A/F = 2.088 * \frac{100 + 0.448 CO_2 - .0608 CO - HC}{CO_2 + CO + HC} \quad (1)$$

Où

HC, CO et CO₂ en pourcentage volumique.

La concentration de HC est rapportée à la somme des équivalents carbonés.

Le volume d'air admissible V₀ est évalué à partir du coefficient air / carburant (A/F), de la masse du carburant m_k et la densité normale ρ de l'air.

$$V_0 N = \frac{m_k ; (A/F)}{\rho_{air}} \quad (2)$$

Où

V₀ : volume de l'air admissible ;

A/F : coefficient air / carburant ;

m_k : masse du carburant ;

ρ_{air} : densité normale de l'air.

$$m_k = V_k * \rho_k \quad (3)$$

Où

V_k : volume du carburant.

ρ_k : densité normale du carburant.

$$m_i = 0.95 * V_0 * C_i * \dots \rho_{0i} \quad (4)$$

Où

V_0 : volume de l'air admissible ;

m_i : émissions massiques instantanées du constituant i;

C_i : concentration du constituant i;

ρ_{0i} : densité normale du constituant i.

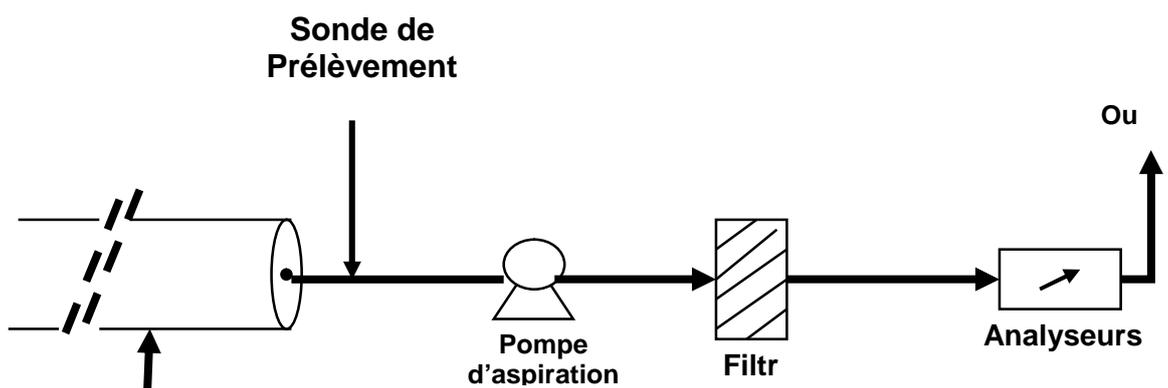
Sur un parcours ou une durée d'essai déterminé, les émissions massiques globales M_i représentent la somme des valeurs instantanées m_{ij} calculées pendant cette période :

$$M_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (5)$$

Où

M_i : les émissions massiques globales sur un parcours ou une durée d'essai déterminés ;

m_{ij} : émissions massiques du constituant i à l'instant j.



Tuyau d'échappement

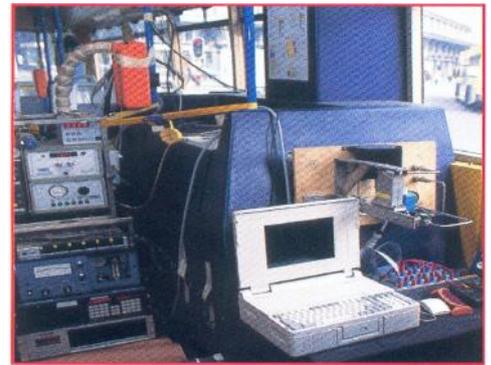
Figure 4.3 : Schéma de la méthode VOLKSVAGEN [XX]

4.2.2.2 Méthode VITO

Le système de mesure embarqué VITO est dédié aux mesures des émissions polluantes sur route (figures 4.4 et 4.5). C'est une méthode spécifique, bien différente des méthodes existantes, basé sur un système développé qui nécessite de connaître la moyenne de la masse moléculaire des gaz d'échappement [XX].



Système VITO à bord d'un véhicule léger



Système VITO à bord d'un bus

Figure 4.4 : Photos du système embarqué VITO

Calcul des émissions polluantes massiques

Cette méthode est applicable à tous les types de carburant et capable de déterminer les valeurs d'émissions du CO, des hydrocarbures totaux HC, des NO_x et du CO₂ en g/s et en g/km. La base de leur détermination est la formule de la balance du flux massique dans le moteur, et la formule de calcul des masses des polluants émis lourdement affectée par d'importants paramètres comme le taux d'humidité contenu dans l'air de combustion.

Les formules sont :

$$\mathbf{m}_{\text{tot.in}} = \mathbf{m}_f + \mathbf{m}_g = \mathbf{m}_{\text{tot.out}} \quad (6)$$

Où

$\mathbf{m}_{\text{tot.in}}$: Masse totale entrante dans le moteur en g/s ;

\mathbf{m}_f : Masse du carburant en g/s ;

\mathbf{m}_g : Masse de l'air en g/s ;

$m_{tot.out}$: Masse totale sortante du moteur en g/s .

Et

$$m_p = m_{tot.in} * C_p * MW_p / MW_{ea} \quad (7)$$

Où

m_p : Masse du polluant émis en en g/s ;

C_p : Concentration volumique du polluant dans le gaz d'échappement ;

MW_p : masse moléculaire du polluant émis;

MW_{ea} : masse moléculaire moyenne du gaz d'échappement.

La masse moléculaire moyenne des gaz d'échappement est invariable pour les carburants, pour l'essence par exemple elle est de 28,82.

La combinaison du m_p avec la vitesse du véhicule donne :

$$E_p = m_p / V_v \quad (8)$$

Où

m_p : Masse du polluant émis en en g/s ;

E_p : émission du polluant en g/km ;

V_v : vitesse du véhicule en km/s.

Cette méthode présente deux importants avantages, elle est universelle et peut être utilisé pour tous les carburants liquides et gazeux qui contiennent du carbone et qui produisent des émissions polluantes gazeuses en g/km ou en g/s [XX].

4.2.2.3 Mini - CVS (TRL / INRETS)

Le mini-CVS est relativement similaire au système CVS mais simplifié, il ne permet pas d'obtenir une précisions équivalente à celle obtenue sur un banc d'essai .Ce système d'utilisation facile et à coût limité, permet de mesurer directement les émissions d'un véhicule en circulation, en s'affranchissant des étapes de construction de cycles de conduites respectifs.

Le système est embarqué à bord du véhicule, et est relié au tuyau d'échappement. Les gaz d'échappement rejetés par les véhicules passent dans un embout sous forme de cône

attaché au pot d'échappement, l'embout est formé de petits tubes parallèles (55 ou 112 tubes) et seuls les gaz d'un tube qui sont amenés à la chambre de dilution, les autres faisceaux sont rejetés à l'extérieur. La fraction de gaz ramenée est donc inversement proportionnelle au nombre de tubes.

Il est quasi impossible d'estimer les variations de pression dues au mouvement de la voiture ou la composante transversale du vent et leurs impacts quand le véhicule circule.

Cette méthode permet d'obtenir les données d'émissions polluantes d'un véhicule en des lieux dont les conditions spécifiques sont difficilement reproductibles en laboratoire, il élimine aussi les problèmes et les incertitudes posés par la reproduction des conditions réelles de conduite aux laboratoires comme l'étalonnage du banc, le refroidissement du moteur et surtout la représentativité des cycles de conduite.

Le système permet de conduire le véhicule par un échantillon de conducteurs, ce qui permet d'intégrer au mieux la composante « comportement du conducteur » chose pas possible à faire par un CVS, tant les conditions de conduite diffèrent de celles rencontrées sur route.

Ce système utilisé sur tous sites géographiques ou climatiques permet d'étudier l'influence de facteurs très particuliers tels que l'altitude, la pente de la route et la sinuosité sur les émissions polluantes [4].

A. Système de prélèvement

Une fraction de l'échantillon de gaz dilué est aspiré avec un débit constant (85 à 95 l / min) est stockée dans un sac de Téflon (70 l), en plus d'un échantillon de gaz de dilution collecté près de la prise d'air (Figure 4.6) [4].

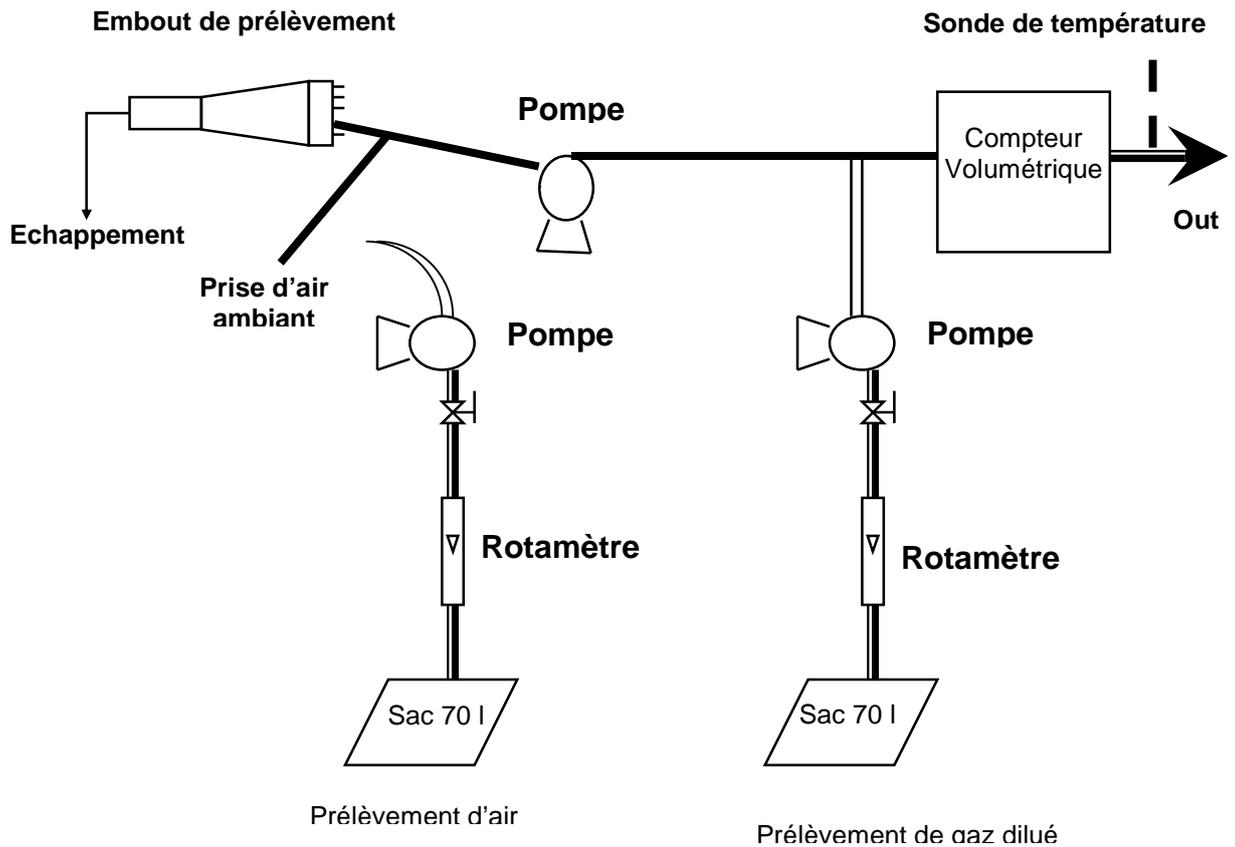


Figure 4.5 : Schéma de la méthode Mini CVS

B. Air de dilution

La prise d'air extérieur qui sert à la dilution est presque toujours adjacente à l'embout, mais ceci provoque l'élévation des concentrations des polluants à cause des phénomènes d'auto pollution. Pour améliorer la qualité du gaz de dilution, on a procédé à la modification de l'embout du mini-CVS afin de positionner la prise d'air symétriquement du pot d'échappement, mais à la même distance du véhicule que le faisceau de tubes [4].

C. Sacs de stockage

Ils sont fabriqués en Téflon, équipés d'un squelette qui assure l'homogénéité du mélange gazeux, le Téflon a peu d'interaction avec les gaz stockés, après chaque essai les sacs sont vidés et rincés trois fois avec de l'air ambiant pour pouvoir les réutiliser. Pour vérifier la non contamination des sacs par les composants des gaz d'échappement, après utilisation fréquente, trois sacs ont été testé : Le premier sac était neuf, les deux autres avaient déjà servi et étaient rincés avec de l'air, les résultats ont montré qu'il n'y avait pas d'influence

sur les concentrations mesurées par rapport à leur usage habituel et à la précision du matériel d'analyse [4].

D. Evolution du mélange

Pour suivre l'évolution du mélange il faut effectuer plusieurs prélèvements dans des conditions similaires, et les analyser après une demi-heure, une, deux et trois heures.

L'analyse de ces échantillons permet de constater que les concentrations des polluants diffèrent selon leur nature et leur concentration initiale comme le montre le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Evolution du mélange [4] .

Composés	Concentration	
	CO	Constante
HC	Constante	/
NO	40 à 70 % se transforment	80 à 90 % se transforment
NO _x	10 à 30 % se transforment	40 à 60 % se transforment

Pour éviter ce problème deux critères sont respectés :

- Un temps limite d'une heure après le prélèvement a été fixé pour analyser le contenu des sacs.
- Un pré-remplissage des sacs avec de l'azote se fait, c'est ce qui provoque l'élimination de la variation de la concentration du monoxyde de carbone CO et des hydrocarbures HC, et diminue celle des NO_x d'environ 5% et celle des NO de 30 à 40 %.

E. Calcul des émissions polluantes massiques

$$M_i = N V r_i K_H (C_i - C_{oi}) 10^{-6} \quad (9)$$

M_i: émissions massiques du polluant i en g/ essai

N: nombre de tubes

V: volume du gaz dilués en litre/essai

r_i : masse volumique du polluant i en g/l

K_H : facteur de correction d'humidité

C_i : concentration du polluant i dans les gaz d'échappement

C_{oi} : concentration du polluant i dans l'air de dilution

Chapitre 5 : Méthodologie expérimentale de mesure

5.1 Introduction

Les mesures en embarqué des émissions sont effectuées avec le mini CVS sur un échantillon de huit véhicules avec l'enregistrement de la cinématique et l'analyse des quatre polluants : CO₂, CO, HCT, NO_x. Des tests préliminaires ont précédé la campagne de mesure.

5.2 Principe du Mini CVS modifié

Le mini-CVS est un système de mesure similaire au système CVS, mais réduit et simplifié, qui permet de mesurer directement les émissions d'un véhicule en circulation. Il a été développé par le Transport Research Laboratory (TRL, UK) [20]. Et fut testé par l'INRETS (France) (Van Ruymbeke, 1991). Pour être utilisé dans cette étude, le dispositif a été modifié par l'intégration des analyseurs embarqués et l'enregistrement en instantané des mesures d'émissions et de la cinématique du véhicule [21].

Le système de prélèvement est embarqué à bord du véhicule et est relié au tuyau d'échappement. Les gaz d'échappement rejetés par le véhicule passent dans un embout sous forme de cône attaché au pot d'échappement ; l'embout est formé de 112 petits tubes parallèles. Seuls les gaz de l'un des tubes sont amenés à la chambre de dilution, les autres faisceaux étant rejetés à l'extérieur. La fraction de gaz prélevée est inversement proportionnelle au nombre de tubes. On admet comme hypothèse qu'à ce stade, le débit primaire est divisé en 112 débits égaux. Le principe d'échantillonnage et le montage expérimental embarqué sur véhicule sont représentés en figures 5.1 et 5.2.

Le montage réalisé nécessite une autonomie électrique suffisante afin d'effectuer les mesures d'émissions sur des trajets éloignés du laboratoire. Aucun branchement électrique n'est effectué sur la batterie du véhicule afin d'éviter toute influence sur la charge du moteur.

L'énergie électrique est fournie par un groupe électrogène d'une puissance de 2,2 kVA pour alimenter les analyseurs, la centrale d'acquisition et l'ordinateur portable. Il est monté sur le toit du véhicule dont les émissions sont évacuées en altitude afin d'éviter toute influence sur l'air de dilution pris à proximité. Le courant est stabilisé par un onduleur d'une puissance de 1 kVA. En plus, une batterie 12 V de forte puissance (200 Ah) est

utilisée pour alimenter les huit pompes du mini-CVS fonctionnant en tension continue avec une intensité totale maximale de 32 A.

5.2.1 Prélèvement

Le prélèvement de l'air de dilution est effectué à la même élévation du sol que l'embout de prélèvement mais à l'opposé de la position du tuyau d'échappement, symétriquement à l'axe du véhicule, afin d'éviter l'air fortement pollué et toute perturbation due à la différence de pression ou de turbulence de l'air à l'arrière du véhicule. Le débit de l'air de dilution est variable et n'est pas mesuré, seul le débit du mélange gazeux dilué est mesuré et est maintenu constant à 300 l/min. Grâce à une série de six pompes montées en parallèle, l'échantillon de gaz prélevé est ensuite dilué dans une chambre de mélange. Une fraction du mélange dilué est prélevée par une septième pompe indépendante à débit réglable et est répartie en trois débits équivalents (de 85 l/min chacun) par un répartiteur à trois voies, qui sont dirigés vers les trois analyseurs de polluants (CO/CO₂, HCT et NO_x). Une huitième pompe indépendante est utilisée pour le prélèvement dans un sac Tedlar d'une capacité de 70 litres d'un échantillon de l'air de dilution avec un débit de 1 l/min, pour être analysé ultérieurement.

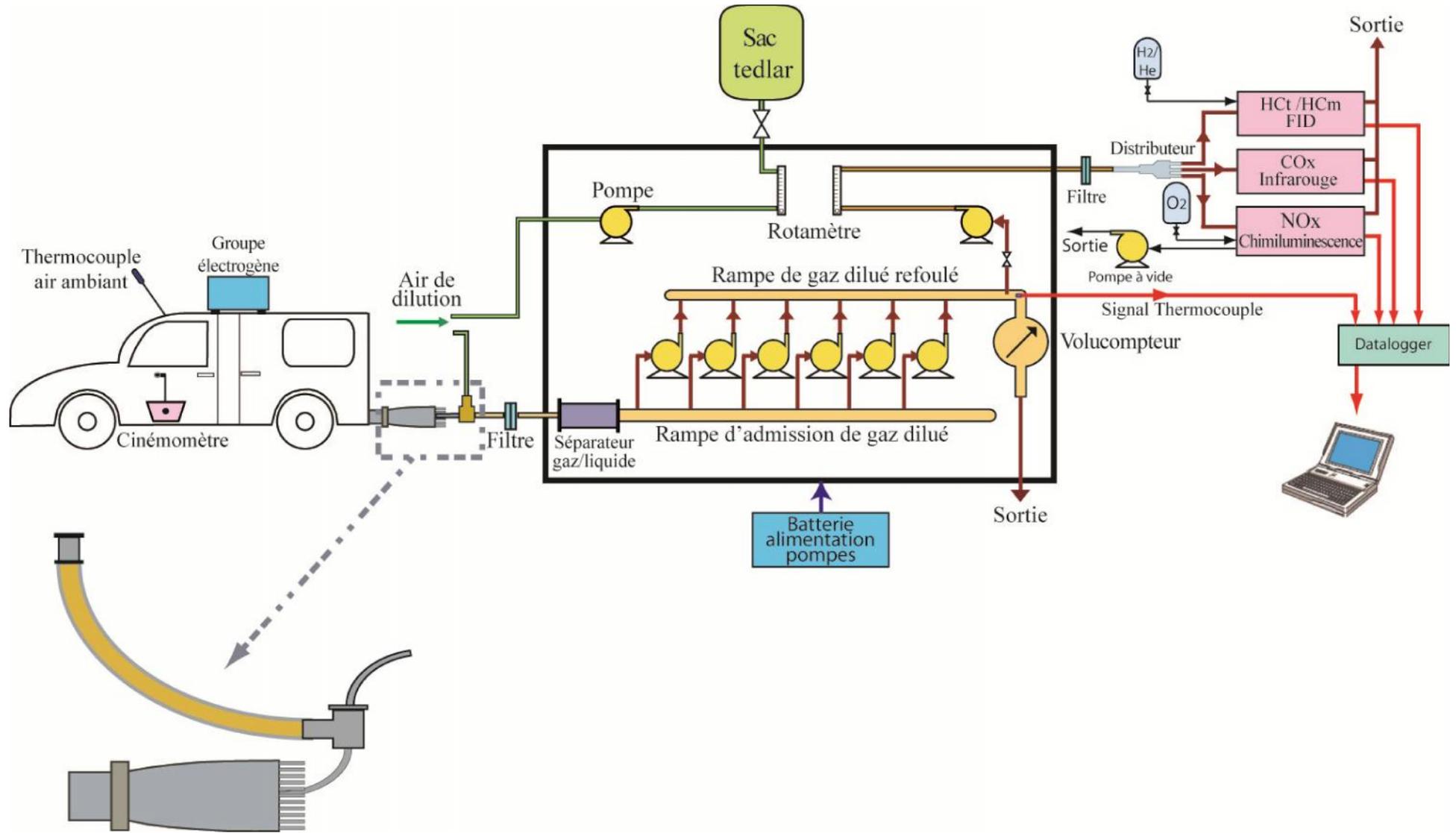


Figure 5.1 : Schéma du montage expérimental de prélèvement et d'analyses embarqué



Figure 5.2 : Photos du montage expérimental de mesure embarqué en circulation réelle

5.2.2 Analyseurs

L'analyse du monoxyde et de dioxyde de carbone (CO/CO₂) est réalisée par absorption de rayonnement infrarouge, avec un appareil de marque COSMA - Environnement SA, type Cristal 300 dont la précision est de 1,5 % sur la pleine échelle avec un temps de réponse de 1s. L'analyse des oxydes d'azote (NO_x) est effectuée par chimiluminescence avec un appareil de marque COSMA - Environnement SA, type Topaze 3010 mono chambre avec 1% de précision de l'étendue de mesure et un temps de réponse de 5s. L'analyse des hydrocarbures totaux (HCT) est effectuée par détection à ionisation de flamme (FID), avec un appareil de marque Cosma - Environnement SA, type Graphite 750. Les appareils sont étalonnés chaque jour au début de l'expérimentation avec des gaz étalons de la société Air Liquide avec une pureté de 99,5%. Les températures du gaz et de l'air ambiant sont aussi mesurées.

5.2.3 Cinématique

Un cinémomètre étalonné DRS-6/1aa de marque BS2 Multidata GmbH à effet Doppler est utilisé pour enregistrer la vitesse du véhicule le long du circuit emprunté avec une gamme de mesure de 0 à 200 km/h. La résolution est de 3,8829 mm par pulsation fonctionnant à une fréquence de 24,125 GHz. La précision du cinémomètre est de 0,1 km/h. Une centrale d'acquisition de données munie de trois cartes d'acquisition de données assure l'enregistrement des résultats de mesure de la cinématique et des analyses de polluants ainsi que des températures mesurées des gaz d'émissions et de l'air ambiant.

Les vitesses moyennes caractérisant le circuit emprunté lors de la campagne de sure est donné au tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Données cinématiques des circuits urbains

	Vmoy (km/h)	V max (km/h)	Temps d'arrêt (s)	Nombre d'arrêts	Accél. positive moyenne (m/s-2)	Durée parcours (s)	Longueur Moyenne de parcours (m)
Moyenne	16.1	50.5	268	20.5	0.60	1339	6370
(écart type)	(3.5)	(6.4)	(131)	(15.3)	(0.04)	(233)	(0.17)

5.2.4 Tests de validation

L'ensemble du montage est testé avec un moteur à combustion interne fixe au laboratoire pour vérifier les différents débits, la réponse des analyseurs avec l'injection des gaz étalons sur le circuit gazeux, et la durée d'autonomie des deux sources d'énergie que sont la batterie et le groupe électrogène. Les tests effectués montrent que la batterie a une autonomie de 7 heures de fonctionnement du mini CVS avec un débit de gaz constant de 38 l/h. Au delà de 7 heures d'utilisation, la tension de la batterie chute en deçà de 11,5 volts, entraînant une instabilité du débit des pompes du mini CVS. Pour cette contrainte d'approvisionnement en électricité, la durée des essais est fixée au maximum à 7 heures par jour avant de regagner le laboratoire et de recharger la batterie pendant toute la nuit pour le jour suivant. Les trois débits de gaz dilué du répartiteur sont mesurés pour déterminer la répartition du gaz à analyser, sachant que les trois analyseurs disposent de pompes internes aspirant le débit utile. Le répartiteur assure la distribution équitable du gaz échantillonné et dilué aux trois analyseurs. La mesure des trois débits a permis de vérifier leur stabilité autour de 85 l/min.

Le test de mesure réel avec tout le montage expérimental embarqué sur un véhicule utilitaire de type Renault Express est effectué afin de retrouver les gammes réelles de mesure des émissions instantanées et de calibrer les analyseurs. Par ailleurs, ces essais permettent aussi de vérifier la stabilité des débits du circuit des gaz en circulation réelle tenant compte des perturbations mécaniques et des turbulences aérodynamiques et de vérifier et d'affiner tous les réglages techniques. La stabilité des analyseurs est aussi vérifiée par l'injection de gaz étalons. La charge globale des équipements et accessoires à bord du véhicule est de 460 kg.

5.2.5 Méthode de calcul de l'émission

La masse de polluant émise par le véhicule reste invariable contrairement à la concentration qui varie en fonction du volume sous l'influence de la pression et de la température. On admet que la division du volume de gaz émis par le véhicule est homogène pour tous les polluants.

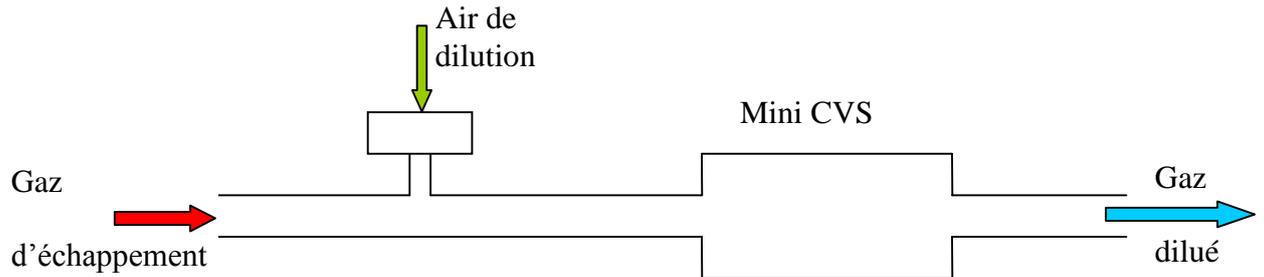


Figure 5.3 : Schéma du circuit des gaz prélevés par mini CVS

On a :

$$m_i = m_i^e + m_i^a \quad \text{ou} \quad m_i^e = m_i - m_i^a$$

avec :

m_i^e : masse de polluant i émise par le véhicule à l'échappement

m_i^a : masse de polluant i introduite par l'adjonction d'air

m_i : masse de polluant i contenue dans le mélange

Nomenclature :

i : gaz polluant i

T : température

a : air dilution

P : pression

e : échappement

ρ_i : masse volumique du polluant i

V_i : volume gaz polluant i

M_i : masse molaire du polluant i

V_e : volume gaz d'échappement

V_a : volume air de dilution

V : volume total de mélange

c_i^a : Concentration volumique du polluant i dans l'air

c_i : concentration volumique du polluant i dans le mélange

Indice :

o : Conditions normales de température et de pression ($T_o=273,15K$ et $P_o=101,3$ kPa)

1 : Conditions de T et P dans gaz d'échappement

2 : Conditions de T et P dans air de dilution

3 : Conditions de T et P dans mélange après prélèvement.

Par ailleurs on a :

$$m_i^a = \rho_i(T_2, P_2) \cdot V_i(T_2, P_2) = \rho_i(T_2, P_2) \cdot \frac{V_i(T_2, P_2)}{V_a(T_2, P_2)} \cdot V_a(T_2, P_2) = \rho_i(T_2, P_2) \cdot c_i^a \cdot V_a(T_2, P_2)$$

La concentration volumique du polluant i, est indépendante des conditions de température et de pression.

Le gaz polluant i étant très dilué aussi bien dans le mélange que dans l'air de dilution, on peut l'assimiler à un gaz parfait, soit :

$$\rho_i(P, T) = M_i \frac{P}{RT} \quad \text{d'où} \quad \rho_i(P_2, T_2) = \rho_i(P_o, T_o) \frac{T_o}{T_2} \frac{P_2}{P_o} = \rho_i(P_o, T_o) \frac{T_o}{T_2} \quad \text{avec } (P_2 \approx$$

$P_o)$

Finalement on obtient:

$$m_i^a = \rho_i(T_o, P_o) \frac{T_o}{T_2} \cdot c_i^a \cdot V_a(T_2, P_2)$$

De la même manière on trouve pour masse totale contenue dans le mélange:

$$m_i = \rho_i(T_o, P_o) \frac{T_o}{T_3} \cdot c_i \cdot V(T_3, P_3)$$

En considérant que :

$$P_3 \approx P_2 \approx P_o \quad \text{et} \quad T_3 \approx T_2$$

Alors la masse de polluant émise à l'échappement devient :

$$m_i^e = \rho_i(T_o, P_o) \frac{T_o}{T_3} \cdot [c_i \cdot V(T_3) - c_i^a \cdot V_a(T_2)]$$

En posant :

$$K = \rho_i(T_o, P_o) \frac{T_o}{T_3} \quad \text{et sachant que } V_a(T_3) = V_a(T_2) \text{ puisque } T_3 = T_2 \text{ et } P_3 = P_2$$

Il vient que :

$$m_i^e = K.V(T_3) \left[c_i - c_i^a \cdot \frac{V_a(T_3)}{V(T_3)} \right]$$

Le rapport $\frac{V_a}{V}$ (à même T et P) correspond à la relation de dilution entre les gaz d'échappement et l'air ambiant. Cette relation de dilution est déterminée à partir des concentrations de polluants mesurées, par l'intermédiaire d'un facteur de dilution moyen DF :

$$DF = \frac{V(T_3)}{V_e(T_3)} = \frac{13,4}{[c_{CO_2} + (c_{HC} + c_{CO}) \cdot 10^{-4}]} \quad \text{Avec } [CO_2] \text{ en } \% ; [HC] \text{ et } [CO] \text{ en ppmv}$$

L'indice **i** représentant les polluants CO₂, CO et HC.

D'où :

$$\frac{V_a(T_3)}{V(T_3)} = \frac{V(T_3) - V_e(T_3)}{V(T_3)} = 1 - \frac{1}{DF}$$

Et finalement, la masse de polluant émise par le véhicule au cours d'un essai devient:

$$m_i^e = K.V(T_3) \left[c_i - c_i^a \cdot \left(1 - \frac{1}{DF} \right) \right]$$

Où pratiquement :

- $V(T_3)$ représente le volume total de gaz d'échappement dilué comprenant celui mesuré par le volucompteur au cours de l'essai auquel il faudra ajouter le volume du gaz échantillon analysé (multiplication du débit de l'échantillon par le temps).
- c_i représente la concentration volumique du polluant **i** mesurée par l'analyseur correspondant exprimée en valeur absolue pour tous les polluants, exemple :

Valeur Y en % correspond à $Y \times 10^{-2}$

Et valeur Z en ppm correspond à $Z \times 10^{-6}$

à l'exception du calcul du facteur de dilution DF où il faut exprimer les concentration en % pour CO₂ et en ppm pour HC et CO.

- c_i^a représente la concentration du polluant i mesurée dans l'air de dilution (air ambiant).
- DF : facteur de dilution calculé à l'aide des concentrations volumiques c_i par la formule ci-dessus.

La quantité de polluant émise ainsi calculée devra être à nouveau multipliée par les 112 tubes de l'embout, soit une masse totale de :

$$m_i^e \text{ (totale)} = 112 * m_i^e$$

5.3 Description de la campagne de mesure

Un échantillon de huit véhicules utilitaires de moins de 1,2 t et donc de catégorie NI-1 est sélectionné au sein du parc roulant algérien privé, comprenant 2 véhicules essence de 1,4 l de cylindrée et 6 véhicules diesel de cylindrée entre 1,6 et 1,9 l. Le tableau 5.2 résume les caractéristiques de cet échantillon. Ces fourgonnettes sont très utilisées en Algérie compte tenu de leur souplesse et de leur faible encombrement. Tous ces véhicules appartiennent à des particuliers et constituent leurs biens propres, et sont utilisés aussi bien pour un usage professionnel que personnel. Les deux véhicules d'année 1993 et 1996 ont subi des réparations de leur moteur par leur propriétaire juste avant la campagne de mesure. Les deux véhicules à essence sont assez âgés car les VUL à essence neufs sont très rares, en raison de la forte tendance vers la diésélisation des VUL ces dernières années. Ceci est dû au très faible coût du gazole comparé à l'essence et au kilométrage élevé parcouru par ce type de véhicule. La taille de nos deux échantillons essence et gazole est tout à fait comparable à la taille des échantillons de la base de données Artemis, qui regroupe les essais des laboratoires européens. Globalement l'ensemble des mesures d'émissions issues de la base Artemis ne concerne que 30 véhicules de catégorie NI-1. Nous avons délibérément choisi des véhicules de même marque (Renault) afin d'éviter les effets de marque, mais ils seront diversifiés lors des prochaines campagnes de mesure. Dans leur utilisation quotidienne, les véhicules testés portent très souvent des charges très variables allant de deux à trois personnes en plus du chauffeur, ce qui constitue une charge moyenne de l'ordre de 200 kg. Dans nos essais, la charge de 460 kg incluant le conducteur,

correspond à des charges de 43% et 60% pour des véhicules essence et gazole. Par rapport à la littérature des mesures d'émissions, ces charges sont relativement élevées.

A cette date en Algérie, il n'y a pas de norme d'homologation des véhicules neufs. Si les véhicules mis sur le marché respectent une quelconque norme, elle reste inconnue pour les utilisateurs et pour les professionnels de l'automobile en Algérie : les constructeurs automobiles ne divulguent pas cette information (plusieurs tentatives auprès d'eux et des concessionnaires locaux n'ont pas été concluantes à ce jour). Ceci pose de véritables problèmes d'évaluation des niveaux d'émission et de comparaison des données. Le seul repère est l'année de mise en circulation du véhicule qui ne peut en aucun cas renseigner sur la norme du véhicule en question car les importateurs ne sont pas contraints par la législation algérienne de respecter la norme européenne. En tout état de cause, les véhicules essence testés ne sont pas équipés de catalyseur trois voies et les véhicules diesel ne sont pas équipés de catalyseur d'oxydation ni de filtre à particules.

Les essais sont effectués à Blida de septembre à novembre 2005. L'agglomération de Blida compte environ 780 000 habitants et est située à 50 km au sud de la capitale Alger. Le parc de la wilaya de Blida est le deuxième parc après celui d'Alger, avec 6,4% du parc national 7,7% des VUL [22]. La ville constitue un important pôle agricole, commercial et industriel. La topographie de la ville présente une pente moyenne de 1,5%. Le circuit est choisi pour représenter les artères et les rues de la ville de Blida les plus fréquentées. Ce circuit, d'une longueur de 6,4 km, est sélectionné sur la base de plus de 1000 km d'enregistrements cinématiques effectués par un véhicule suiveur noyé dans le trafic de la ville [23]. Chaque véhicule effectue de 5 à 13 essais urbains à la même période de la journée, ce qui donne un nombre total de 55 essais urbains, correspondant à plus de 480 km. Chaque véhicule effectue en outre des essais sur route nationale et sur autoroute, où la vitesse maximale autorisée est de 80 km/h, sur des circuits de 10 à 15 km de longueur. La température ambiante moyenne des essais est de 22,8°C, proche de celle d'Artemis qui est de 23°C. Sans aucune maintenance ni entretien préalable, le premier test de chaque véhicule, à l'arrêt pendant toute la nuit, constitue une mesure à froid. Ces essais à froid sont effectués dans les mêmes conditions que les essais à chaud. Le véhicule est noyé dans le flux du trafic du circuit choisi et est conduit par un seul conducteur afin d'éliminer la variabilité associée au conducteur qui peut être significative selon les résultats de Holmèn et Niemeier (1998). Il a pour consigne de conduire normalement en suivant le flux tout en évitant des comportements extrêmes, afin de reproduire la conduite moyenne le plus fidèlement possible.

Tableau 5.2 : Caractéristiques de l'échantillon des véhicules testés quant aux émissions

Carburant	Marque	Modèle	Année	Norme UE véh. équiv.	Pseudo norme en Algérie	Cylindré (l)	Masse à vide (kg)	Kilométrage (Milliers km)	Nbre essais
Essence	Renault	Express	1988	Pré Euro	Pseudo Euro zéro	1,4	770	626,6	11
	Renault	Express	1989	Pré Euro	Pseudo Euro zéro	1,4	770	765,2	3
	<i>Moyenne</i>					<i>1,4</i>	<i>770</i>	<i>695,9</i>	<i>7</i>
Diesel	Renault	Express	1993	Euro I	Pseudo Euro I	1,6	770	286,9	11
	Renault	Express	1996	Euro I	Pseudo Euro I	1,9	770	242,7	7
	Renault	Kangoo	2000	Euro II	Pseudo Euro II	1,8	1060	191,1	7
	Renault	Kangoo	2001	Euro III	Pseudo Euro II	1,8	1060	98,4	9
	Renault	Kangoo	2002	Euro III	Pseudo Euro II	1,8	1060	152,1	3
	Renault	Kangoo	2004	Euro III	Pseudo Euro II	1,8	1060	9,4	4
	<i>Moyenne</i>					<i>1,8</i>	<i>963</i>	<i>163,4</i>	<i>7</i>

5.4 Résultats

Chaque véhicule ayant fait l'objet de plusieurs essais, les résultats moyens par véhicule et sous-échantillon de véhicules correspondent à la moyenne des essais effectués (tableau 5.3). La figure 5.4 montre les émissions unitaires de CO, CO₂, NO_x et HCT des véhicules diesel comparées aux émissions européennes Euro I et II (Artemis). La figure 5.5 montre les émissions unitaires de CO, CO₂, NO_x et HCT des véhicules essence comparés aux émissions européennes pré-Euro (Artemis). Les écarts types relatifs sont de l'ordre de 33% pour l'ensemble des essais et des polluants. Ces écarts types sont probablement en grande partie dûs aux différences de cinématiques entre essais. Par ailleurs, en l'absence de norme d'émission ou de données de mesure d'émissions de polluants de véhicules en Algérie, nous cherchons à comparer nos résultats avec les niveaux d'émissions des véhicules européens du modèle d'émissions Artemis pour des véhicules équivalents [24, 25, 28] :

- Véhicule essence Euro zéro de 1989 de 1,6 l,
- Véhicules diesel Euro I de 1992 de 1,8 l, et Euro II de 1997 de 1,9 l,

Pour ces mêmes véhicules, les consommations de carburant moyennes Artemis sont calculées à partir des données de consommation de la base d'Artemis.

Les émissions Artemis sont calculées en utilisant le modèle pour les mêmes conditions de vitesse que nos propres essais et des charges maximales de 25% tolérées par le modèle Artemis.

Tableau 5.3 : Moyenne et écart type des émissions de l'échantillon de véhicules

Carburant	Année véhicule	Moyenne (g/km)					Ecart type relatif (%)					
		CO ₂	CO	HCT	NO _x	Conso.	CO ₂	CO	HCT	NO _x	Moy. polluants	Conso.
Essence	1988	125,1	11,87	1,47	1,19	56,2	15	34	22	31	25	24
	1989	121,6	12,11	1,36	1,09	58,7	17	30	28	32	26	28
	<i>moyenne pseudo Euro zéro</i>	<i>123,4</i>	<i>11,99</i>	<i>1,42</i>	<i>1,14</i>	<i>57,4</i>	<i>16</i>	<i>32</i>	<i>25</i>	<i>31</i>	<i>26</i>	<i>24</i>
Diesel	1993	152,2	0,89	0,14	0,32	57,5	18	77	53	28	44	22
	1996	134,7	0,46	0,02	0,85	52,5	18	41	76	11	36	19
	2000	170,0	0,47	0,03	0,55	62,5	17	18	34	14	21	28
	2001	175,3	0,46	0,06	0,65	59,0	10	23	62	25	30	10
	2002	136,4	0,89	0,1	0,32	60,1	11	33	44	34	30	39
	2004	187,7	0,15	0,02	0,39	67,7	8	24	17	47	24	16
	<i>moyenne pseudo Euro I</i>	<i>143,5</i>	<i>0,68</i>	<i>0,08</i>	<i>0,59</i>	<i>55,0</i>	<i>18</i>	<i>59</i>	<i>65</i>	<i>19</i>	<i>40</i>	<i>21</i>
	<i>moyenne pseudo Euro II</i>	<i>167,4</i>	<i>0,49</i>	<i>0,05</i>	<i>0,48</i>	<i>62,3</i>	<i>11</i>	<i>25</i>	<i>39</i>	<i>30</i>	<i>26</i>	<i>23</i>

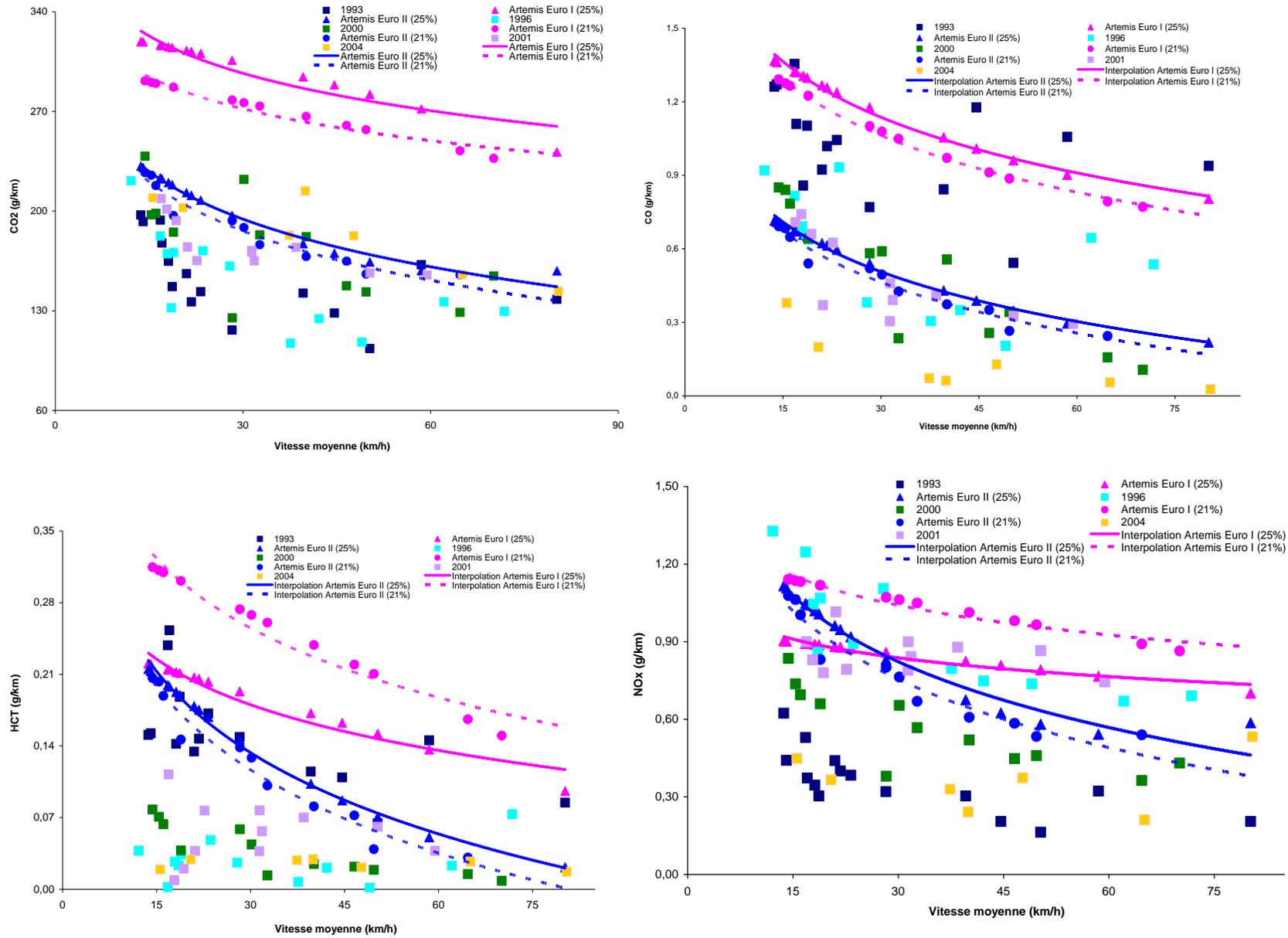


Figure 5.4 : Emissions unitaires de polluants des VUL diesel comparées à Euro I et II

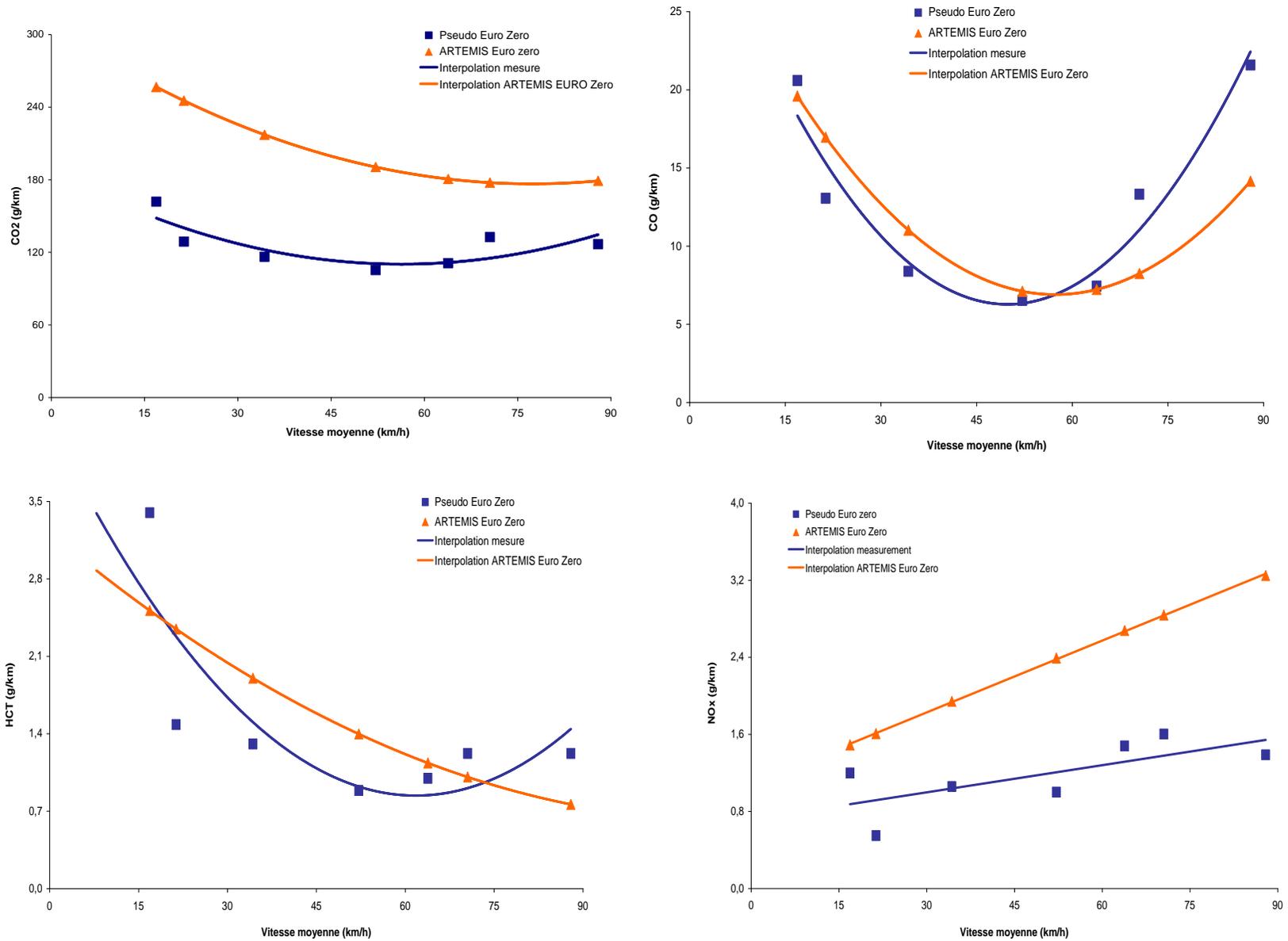


Figure 5.5 : Emissions unitaires de polluants des VUL essence comparées à Euro zéro

5.5. Emissions à chaud

La comparaison des résultats des émissions unitaires des polluants de tous les véhicules diesel en fonction de la vitesse moyenne des essais (figures 5.4, 5.5) avec les émissions du modèle Artemis met en évidence que :

- Nos véhicules essence sont proches des véhicules européens Euro zéro (figures 5.5). Nous les qualifions donc de pseudo Euro zéro.
- Les véhicules diesel des années 1993, 1996 ont des émissions proches de celles des véhicules européens répondant à la norme Euro I (figures 5.6 à 5.9); les autres véhicules diesel ont des émissions proches de la norme Euro II (cf. figures 5.10 à 5.13). Nous les qualifions donc respectivement de pseudo Euro I et pseudo Euro II, ce qui nous permet de répartir notre échantillon de véhicules diesel en deux groupes.

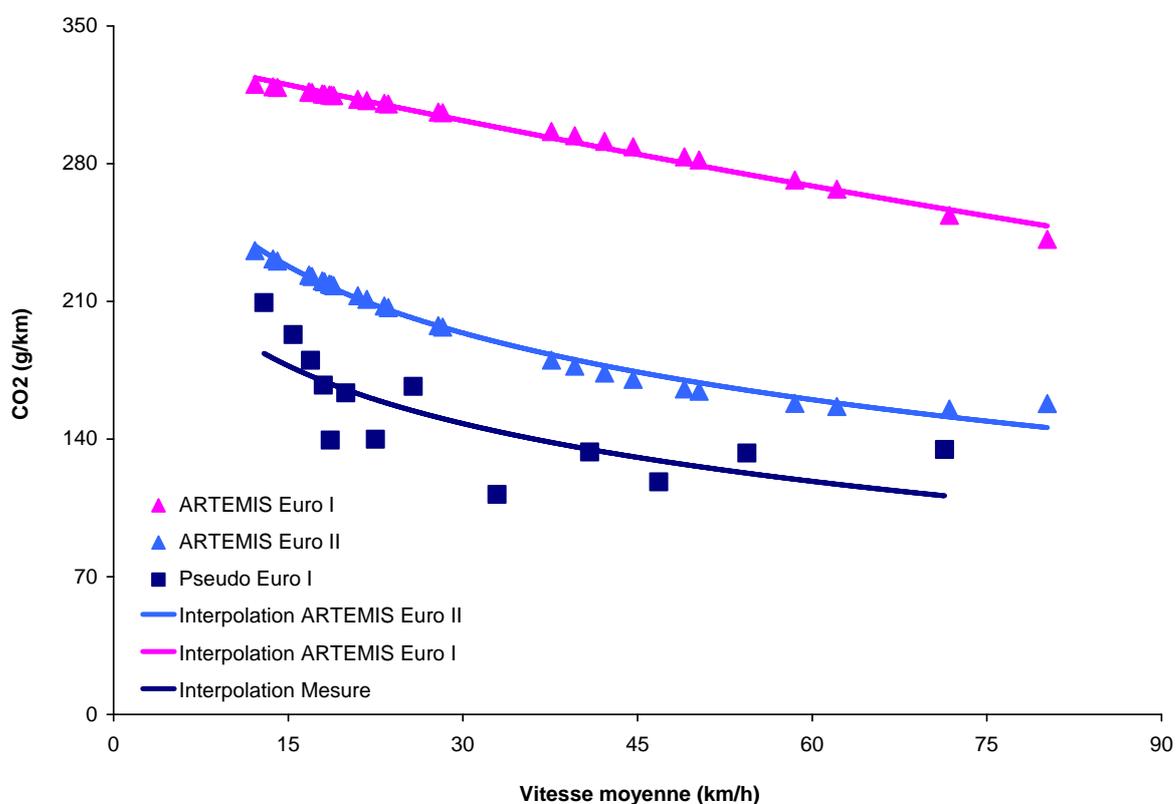


Figure 5.6 : Emissions unitaires de CO₂ des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

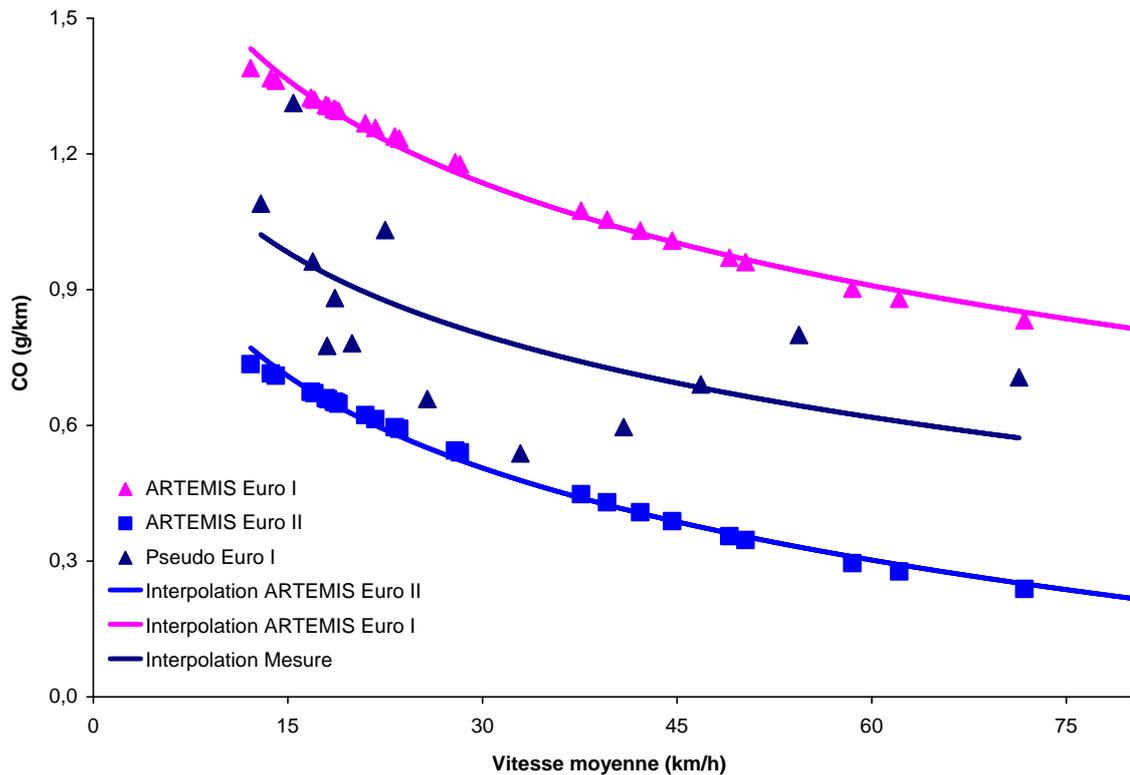


Figure 5.7 : Émissions unitaires de CO des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

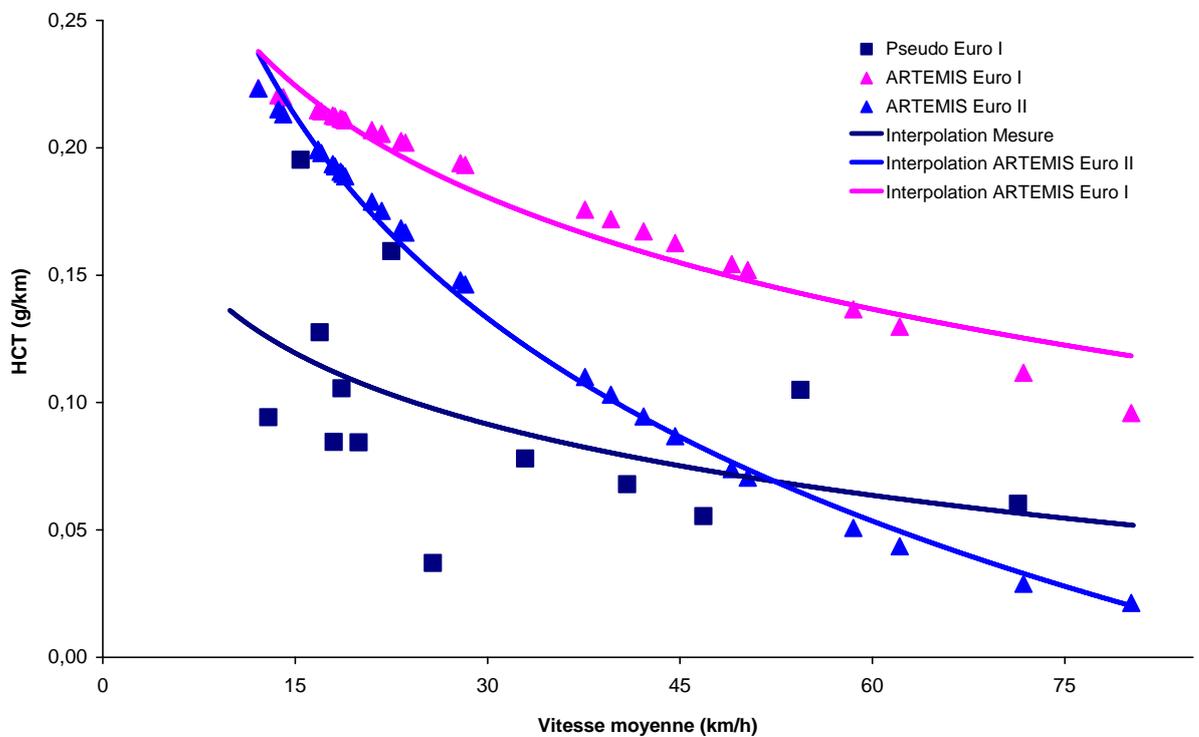


Figure 5.8 : Émissions unitaires de HCT des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

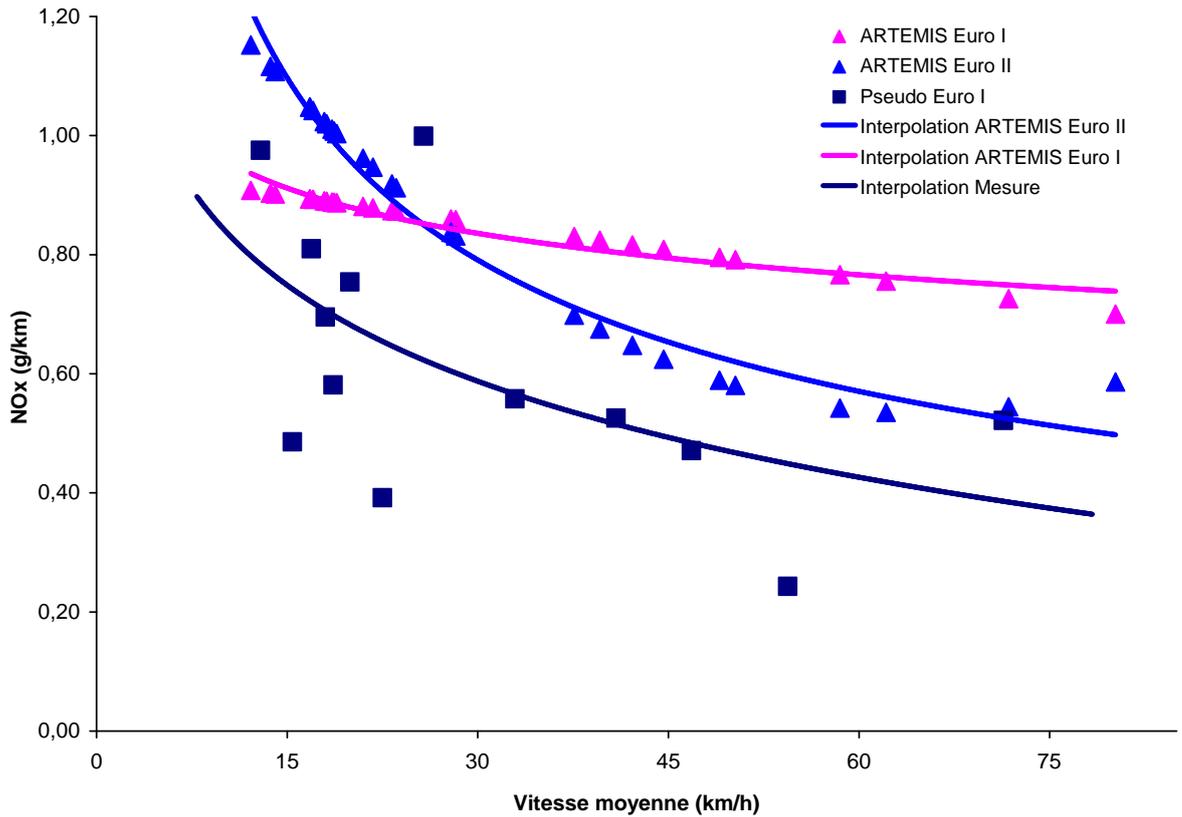


Figure 5.9 : Émissions unitaires de NO_x des VUL diesel pseudo Euro I en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

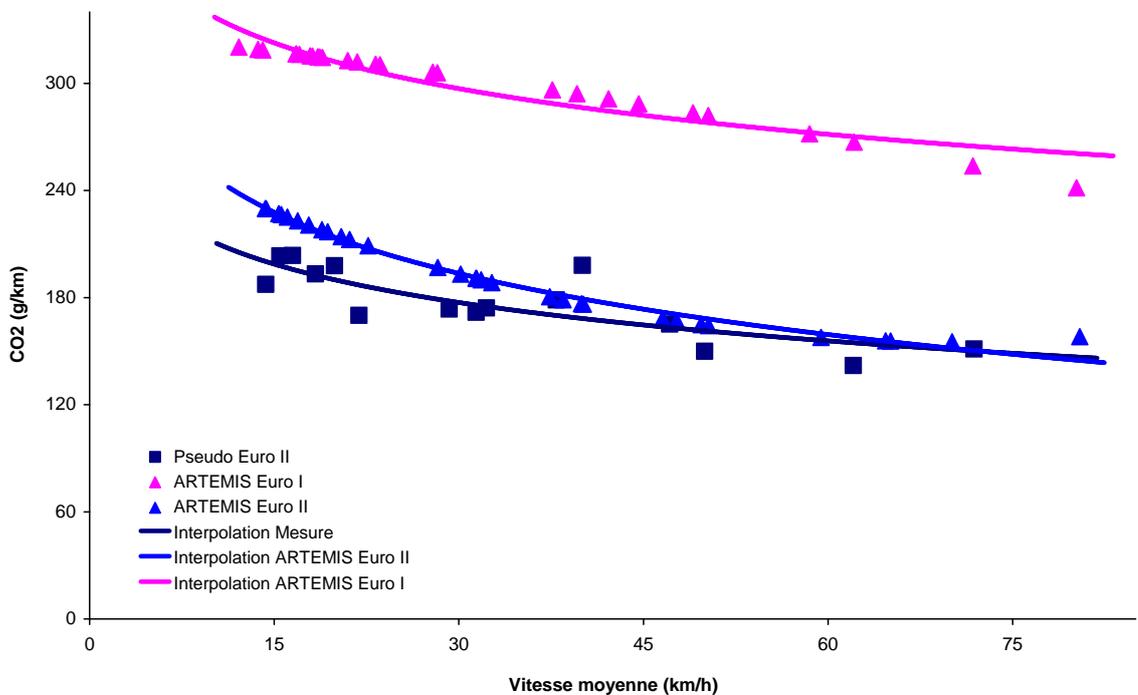


Figure 5.10 : Émissions unitaires de CO₂ des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

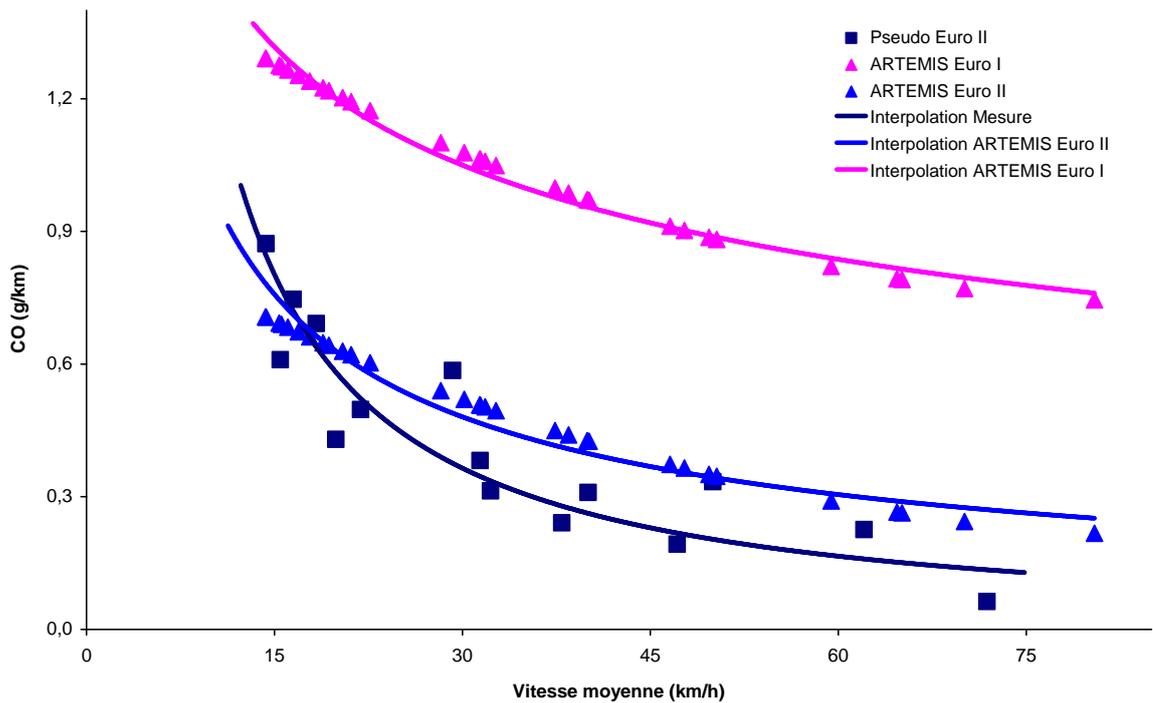


Figure 5.11 : émissions unitaires de CO des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

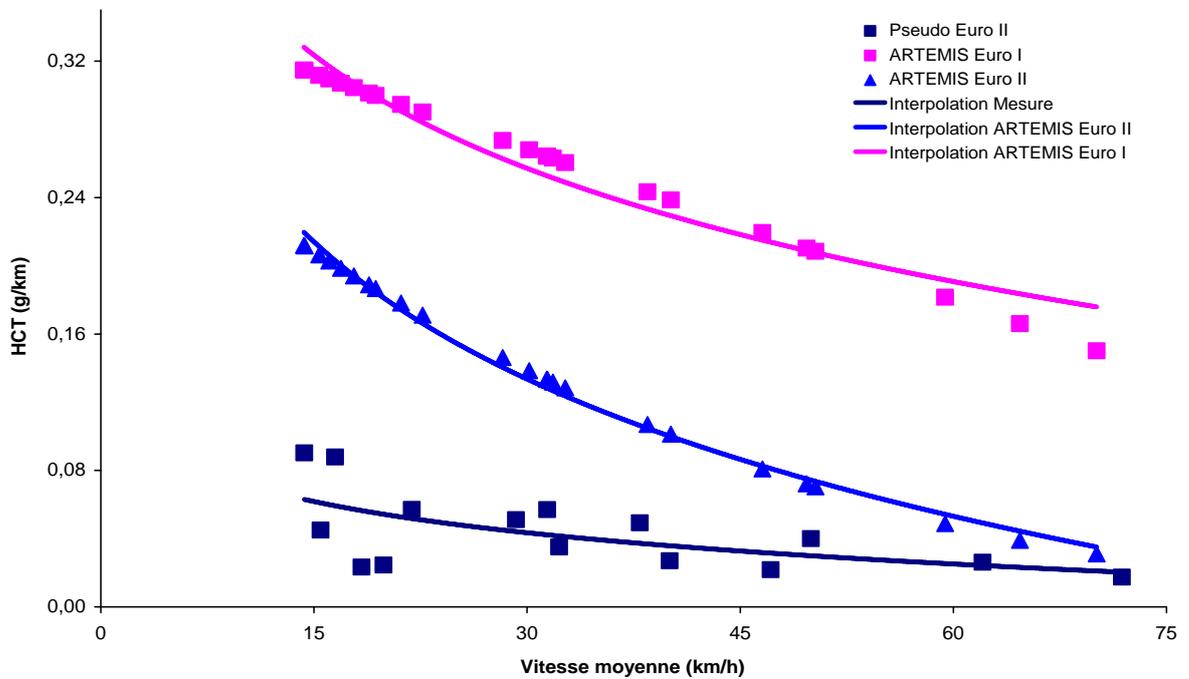


Figure 5.12 : Émissions unitaires de HCT des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

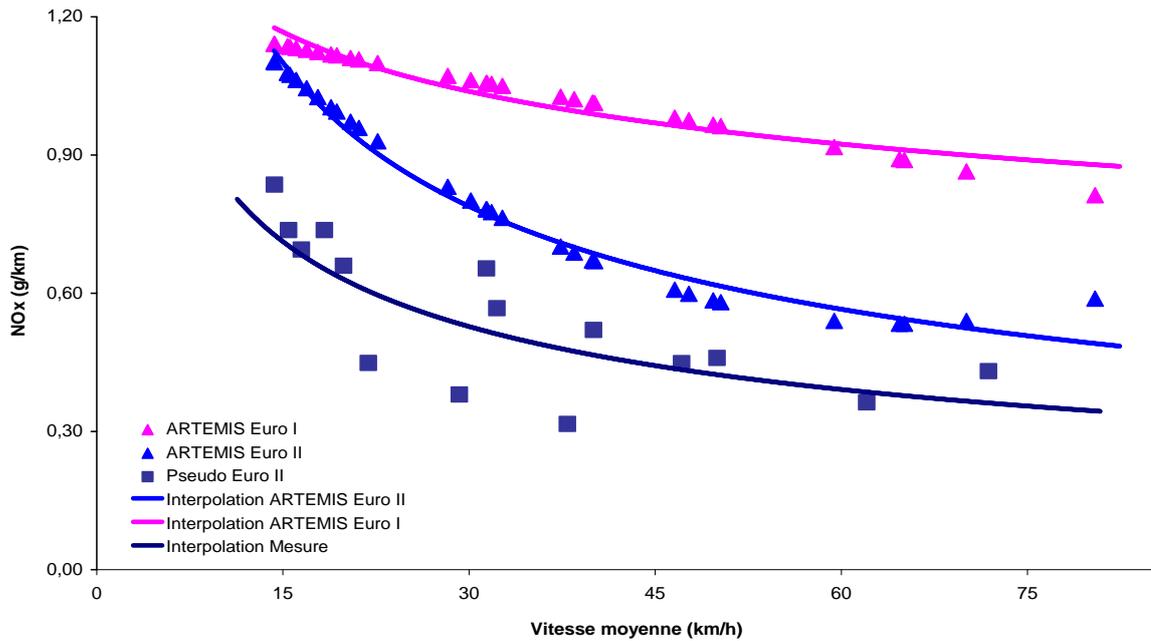


Figure 5.13 : Émissions unitaires de NO_x des VUL diesel pseudo Euro II en charge, repérés par leur année de première mise en circulation.

Notre échantillon de véhicules testés peut donc dorénavant être scindé en trois sous échantillons : 2 VUL essence pseudo Euro zéro, 2 VUL diesel pseudo Euro I et 4 VUL diesel pseudo Euro II. Les facteurs d'émission moyens s'élèvent pour ces sous-échantillons respectivement à 123,4, 143,5 et 167,4 g/km pour le CO₂, 12,0, 0,68 et 0,49 g/km pour le CO, 1,42, 0,08 et 0,05 g/km pour les HCT et de 1,14, 0,59 et 0,48 g/km pour les NO_x. Les émissions de NO_x varient de 0,19 à 1,6 g/km pour l'essentiel des véhicules essence et diesel, en restant faibles devant les émissions d'Artemis Euro I et Euro II. Ces faibles émissions sont probablement dues aux faibles accélérations constatées lors des essais à cause de l'environnement routier et de la forte charge du véhicule qui ne facilite pas les fortes accélérations. Osés (2002) [26] ont montré que les NO_x sont nettement mieux corrélés à l'accélération positive qu'à la vitesse pour des véhicules non catalysés. L'étude de précision des mesures d'émissions de polluants des VUL diesel en milieu urbain regroupant onze laboratoires européens a révélé que les émissions de NO_x et CO₂ sont très sensibles à la fréquence des accélérations et aux fortes accélérations [26].

5.5.1 Véhicules essence

Les émissions des véhicules essence présentent des émissions de CO₂ inférieures à 125 g/km avec une moyenne de 123,4 g/km qui reste inférieure aux véhicules Artemis Euro zéro qui se caractérisent par des niveaux supérieurs à 180 g/km pour toutes les vitesses. Les émissions de CO ont une moyenne de 12 g/km, décroissent rapidement avec la vitesse avec un minimum de 6,5 g/km à la vitesse de 55 km/h. La variation de ces émissions en fonction de la vitesse moyenne est similaire à celle d'Artemis qui a un niveau d'émission moyen de 10,4 g/km. La moyenne des émissions de HCT s'élèvent à 1,4 g/km et restent proche des émissions d'Artemis. Les émissions de NO_x croissent proportionnellement avec la vitesse et varient de 0,55 à 1,6 g/km avec un niveau moyen de 1,1 g/km, mais restent inférieures aux valeurs d'Artemis qui varient de 1 à 3,2 g/km selon la vitesse. Cet écart est sans doute dû aux faibles accélérations pratiquées avec un maximum en milieu urbain de 0,60 m/s². Les accélérations positives des cycles de conduite spécifiques aux véhicules utilitaires légers chargés en milieu urbain de la base Artemis sont en moyenne de 0,76 m/s² [6] et donc assez nettement supérieures. Les accélérations pratiquées sont faibles à cause non seulement de la forte charge du véhicule mais aussi de la forte densité du trafic et des conditions urbaines en général. Les facteurs d'émissions unitaires obtenus sur l'échantillon testé montrent que les émissions de CO et HCT des VUL essence sont comparables aux émissions Artemis Euro zéro, mais qu'un écart existe avec les émissions de NO_x.

5.5.2 Véhicules diesel

Les émissions de CO₂ des véhicules diesel sont de 155,4 g/km, ce qui est très inférieur aux émissions Artemis Euro I et Euro II. Les faibles niveaux d'émission du groupe de véhicules qualifiés de pseudo Euro I sont sans doute attribuables aux modifications récentes de certains organes du moteur apportées sur ces véhicules. Les émissions du groupe pseudo Euro II restent proches des valeurs Artemis Euro II. Ces derniers véhicules n'ont pas subi de modification de leur moteur. Les émissions de CO sont en moyenne de 0,58 g/km, comprises entre les valeurs Artemis Euro I et Euro II. Le groupe pseudo Euro I accuse des niveaux d'émission sensiblement inférieurs au niveau Artemis Euro I tandis que ceux du groupe pseudo Euro II coïncident avec le niveau Artemis Euro II. Les hydrocarbures sont émis avec une moyenne de 0,06 g/km pour l'ensemble de l'échantillon, qui reste comprise entre les émissions Artemis Euro I et Euro II. La moyenne du groupe

pseudo Euro I est de 0,08 g/km et celle du groupe pseudo Euro II est de 0,05 g/km. La moyenne des émissions de NO_x est de 0,53 g/km avec des tendances similaires aux variations des émissions Artemis pour les deux groupes pseudo Euro I et pseudo Euro II. Globalement, les émissions des véhicules diesel sont comparables aux émissions d'Artemis ce qui appuie l'hypothèse formulée vis-à-vis des normes des véhicules testés. Les différences existantes peuvent être dues aux conditions d'utilisation et de l'environnement dans lequel ces véhicules évoluent [28,29] .

5.5.3 Rapports CO/CO₂ et HCT/CO₂

Les rapports CO/CO₂ et HCT/CO₂ constituent un indicateur de l'état de la maintenance des véhicules [27]. Les résultats montrent que les rapports sont élevés pour des véhicules âgés essence et diesel ce qui reflète le faible niveau d'entretien et/ou de maintenance. La comparaison avec les véhicules de la base de données Artemis (tableau 5.4) montre des plages plus étendues des rapports pour les véhicules mesurés en Europe de même cylindrée. Le véhicule d'année 1996, réparé juste avant la campagne de mesure, présente un rapport HCT/CO₂ de 0,016%, proche de celui du véhicule 2004 (0,013%). Ceci met en évidence l'importance de l'entretien maintenance pour la réduction des émissions polluantes.

Tableau 5.4 : Comparaison des rapports d'émissions entre polluants mesurés et Artemis (%)

Carburants	Mesures			Artemis		
	<i>Pseudo norme</i>	<i>CO/CO₂</i>	<i>HCT/CO₂</i>	<i>CO/CO₂</i>	<i>HCT/CO₂</i>	<i>Norme UE</i>
Essence	Pseudo Euro zéro	4,7 – 17,8	0,9 - 2,6	1,7 - 20	0,28 - 1,2	Euro zéro
Diesel	Pseudo Euro I	0,28 - 1,23	0,016 - 0,302	0,14 - 0,4	0,005 - 0,087	Euro I
	Pseudo Euro II	0,04 - 2,6	0,007 - 1,195	0,10 - 0,5	0,016 - 0,2	Euro II

5.6 Emissions à froid

La différence des masses de polluant émises entre essai froid et essai chaud pour un même circuit à des vitesses moyennes proches représente la surémission absolue à froid (tableau 5.5). Rapportée à l'émission unitaire à chaud, cette surémission absolue s'exprime en distance équivalente à chaud, c'est-à-dire la distance nécessaire pour émettre à chaud la même masse de polluant que la surémission à froid. Cette distance n'a pas de lien avec la distance à froid, c'est-à-dire la distance nécessaire pour atteindre un fonctionnement à chaud. Elle exprime par contre le poids de la surémission à froid par rapport à l'émission à chaud. Cette distance équivalente est très variable selon le polluant et le véhicule : elle atteint ainsi 83 et 90 km pour la surémission de CO et de HCT d'un véhicule diesel respectivement. La surémission de CO₂ est équivalente à 6,2 km pour les véhicules essence et à 4,5 km pour les diesels. Pour le CO, elle est respectivement de 28,2 et 23,7 km, pour les HCT de 22,7 et 27,7 km, et pour NO_x de -1,7 km pour l'essence et de 4,1 km pour le diesel. Une distance négative signifie que nous sommes en présence d'une sous-émission. La surémission à froid est donc particulièrement importante pour CO et HCT, moyenne pour CO₂, et faible pour NO_x. En moyenne pour tous les polluants, la surémission à froid représente l'équivalent de 13,8 km pour les véhicules essence et 15,0 km pour les diesels. Elle est donc d'importance relative comparable pour les deux carburants.

5.7 Consommation de carburant

La consommation moyenne de carburant des véhicules est calculée à partir du bilan carbone des polluants mesurés CO₂, CO et HCT à l'émission. Dans le cas des véhicules essence, elle s'élève à 57,4 g/km. Elle est respectivement de 55 et 62,3 g/km pour les véhicules diesel pseudo Euro I et pseudo Euro II (tableau 5.5). La consommation des véhicules essence reste inférieure à celle d'Artemis qui est de 68,9 g/km. Par contre la consommation des diesels pseudo Euro I est comparable à celle de la base Artemis qui est de 54,5 g/km alors que le groupe pseudo Euro II a une consommation supérieure. Ces écarts de consommation peuvent être dus aux faibles accélérations mais aussi à la réparation des véhicules pseudo Euro I. La charge pourrait aussi jouer un rôle qui devrait être étudié ultérieurement.

Tableau 5.5 : Moyennes des émissions sur trajet urbain, à froid (g/essai), à chaud (g/km), et des distances équivalentes (km). L'équivalent à chaud est la distance correspondant au rapport de la surémission absolue à froid (g) par l'émission unitaire à chaud (g/km).

Carburant	Année	Vitesse moyenne	Ecart Type	Charge (%)	CO2			CO			HCT			NOx		
		(km/h)	(km/h)		Froid	Chaud	Equivalent à chaud	Froid	Chaud	Equivalent à chaud	Froid	Chaud	Equivalent à chaud	Froid	Chaud	Equivalent à chaud
					(g/essai)	(g/km)	(km)	(g/essai)	(g/km)	(km)	(g/essai)	(g/km)	(km)	(g/essai)	(g/km)	(km)
Essence	1988	14,18	0,61	60	1120,7	125,1	2,64	200,02	11,87	10,53	29,74	1,47	13,91	8,53	1,19	0,85
	1989	10,1	0,91	60	1943,7	121,6	9,71	630,83	12,11	45,82	51,28	1,36	31,44	2,28	1,09	-4,18
	<i>Moyenne</i>	<i>12,14</i>	<i>0,76</i>	<i>60</i>	<i>1532,2</i>	<i>123,4</i>	<i>6,18</i>	<i>415,43</i>	<i>11,99</i>	<i>28,18</i>	<i>40,51</i>	<i>1,42</i>	<i>22,67</i>	<i>5,41</i>	<i>1,14</i>	<i>-1,67</i>
Diesel	1993	13,37	0,8	60	1545,5	152,2	3,40	10,95	0,89	5,55	2,75	0,14	12,89	4,03	0,32	5,84
	1996	12,13	0,85	60	1084,4	134,7	1,68	5,91	0,46	6,48	0,30	0,02	8,63	6,09	0,85	0,79
	2000	12,9	1,44	43	1869,5	170,0	4,72	7,54	0,47	9,76	0,81	0,03	20,72	6,28	0,55	5,14
	2001	17,1	0,2	43	2723,8	175,3	9,10	41,21	0,46	83,15	5,83	0,06	90,73	10,77	0,65	10,13
	2002	12,8	1,49	43	1542,6	136,4	5,04	17,22	0,89	13,08	3,11	0,10	24,83	2,00	0,32	-0,02
	2004	14,58	0,99	43	1691,4	187,7	2,79	4,59	0,15	24,38	0,29	0,02	8,28	3,43	0,39	2,57
	<i>Moyenne</i>	<i>13,81</i>	<i>0,96</i>	<i>48,7</i>	<i>1742,9</i>	<i>159,4</i>	<i>4,46</i>	<i>14,57</i>	<i>0,55</i>	<i>23,73</i>	<i>2,18</i>	<i>0,06</i>	<i>27,68</i>	<i>5,43</i>	<i>0,51</i>	<i>4,08</i>

Chapitre 6 : Evolution des BTX dans l'air à Alger

6.1 Introduction

Le réseau Samasafia dispose d'une seule station de mesure des BENZENE –TOLUENE –XYLENE (BTX) qui sont utilisés dans cette étude. Après avoir collecté, mis en forme et comblé les données manquantes, nous avons procédé à leur exploitation pour étudier les phénomènes de variations des BTX et de la température. Dans tout ce travail nous n'avons tenu compte que de l'influence de la vitesse du vent et sa direction par rapport à la station de mesure.

6.2 Méthodologie de mesure

Fin février 2002 commença l'installation du moniteur BTX dans la station de mesure de Ben-Aknoun destiné à mesurer des hydrocarbures spécifiques Benzène, Toluène, Xylène, et l'éthyl - benzène en option d'où la désignation BTX. La station dispose aussi d'une station météorologique pour la mesure du vent et de la température. L'analyseur BTX qui équipe cette station est l'analyseur BTX 2000 G conçus pour les mesure dans l'air ambiant, il utilise comme technique de mesure la spectrométrie UV car les BTX ont des spectres d'absorptions dans l'UV. Le cycle de mesure est automatisé avec une donnée moyenne toutes les 15 ou 30 minutes en continu 24 heures sur 24, 7 jours sur 7.

6.2.1 Etalonnage des appareils de mesure

Les analyseurs sont généralement contrôlés une fois par mois pour vérifier leurs paramètres de fonctionnement, remplacer les consommables et procéder à leur étalonnage.

6.2.2 Archivage et transmission des données

Les mesures des BTX ont commencé dans cette station en 2002. Les données sont enregistrées sur un datalogger dont la capacité de stockage est de 30 jours. La mesure est automatisée avec une donnée moyenne toutes les 15 minutes.

Chaque enregistrement du fichier comporte 6 variables : la date et l'heure de la mesure, les concentrations des trois polluants (BTX) en ppb, la température ambiante, la vitesse et la direction du vent. Les données sont archivées mensuellement. A chaque fin du mois, après transfert des données, on procède à une réinitialisation de la station (remise à zéro) à l'aide d'une commande pour vider le buffer et recommencer l'acquisition pour le nouveau mois.

6.2.3 Collecte et traitement des données

6.2.3.1 Inventaire des données disponibles

Les données utilisées dans notre étude nous ont été fournies par le ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire. Les données recueillies à la station de Ben Aknoun et qui sont les :

- Les concentrations des BTX dans l'air, mesurées toutes les 15 ou 30 minutes exprimées en ppb.
- La température ambiante exprimée en degré Celsius mesurée toutes les 15 ou 30 minutes.
- La vitesse du vent mesurée toutes les 15 ou 30 minutes exprimées en m/s.
- La direction du vent par rapport à la station.

Les données collectées sont mises en forme sous forme d'une matrice pour être traitées.

6.2.3.2 Critique des données

Toutes les mesures peuvent comporter deux types d'erreurs :

- **Les erreurs systématiques :** peuvent être dues à un mauvais réglage de l'instrumentation de mesure, à une procédure incorrecte ou à l'installation inadéquate d'appareillage de mesure, donc à des causes produisant des effets constants ou légèrement variables dans le temps.
- **Les erreurs accidentelles :** surviennent inopinément et ne peuvent être évitées. Elles peuvent être dues à une erreur de manipulation ou à une instrumentation défectueuse, donc à des causes imprévues qui introduisent des déviations sensibles au sein des séries de données.

Ces erreurs de manipulation peuvent altérer les séries et si certaines précautions ne sont pas prises durant cette phase de transcription des données. Ces dernières peuvent être rendues inutilisables à cause du cumul d'irrégularités. Afin de garantir la qualité des données, on doit suivre les étapes suivantes :

- Détecter et corriger les erreurs.
- Compléter les données manquantes dans les séries d'observations.
- Vérifier en permanence l'identificateur dans le temps et dans l'espace.

6.2.3.3 Données manquantes

Le listing des données introduites sous forme de tableau (matrice) nous a permis de détecter les lacunes, des journées où une ou plusieurs données manquent. Afin d'éviter de fausser le phénomène à étudier nous avons préféré éliminer les journées au lieu de combler les lacunes, ce qui nous a permis d'obtenir une matrice de données exhaustive et non redondante.

6.3 Conditions météorologiques

6.3.1 Variation de la température

6.3.1.1 Variation journalière

La température ambiante varie pendant les heures de la journée, les nuits sont plus froides que les jours ou le soleil fait augmenter la température ambiante surtout entre 12 H et 15 H (le pic maximum est atteint vers 13 H) puis elle commence à baisser au coucher du soleil.

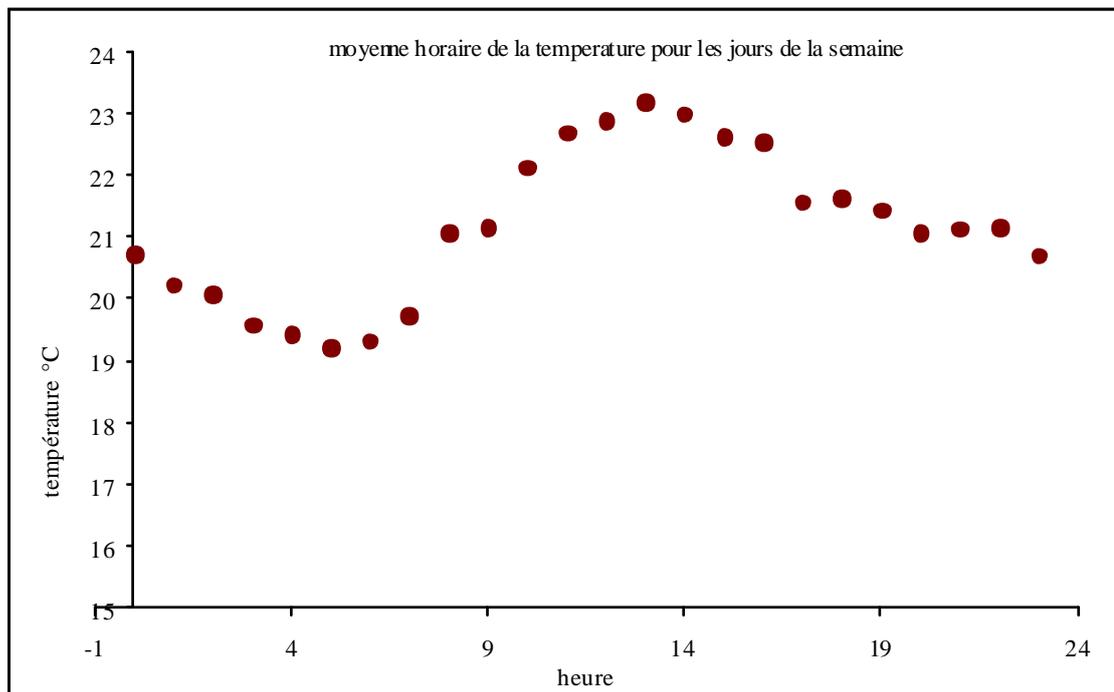


Figure 6.1 : Variation moyenne de la température au cours d'une journée à Ben Aknoun.

6.3.1.2 Variation mensuelle

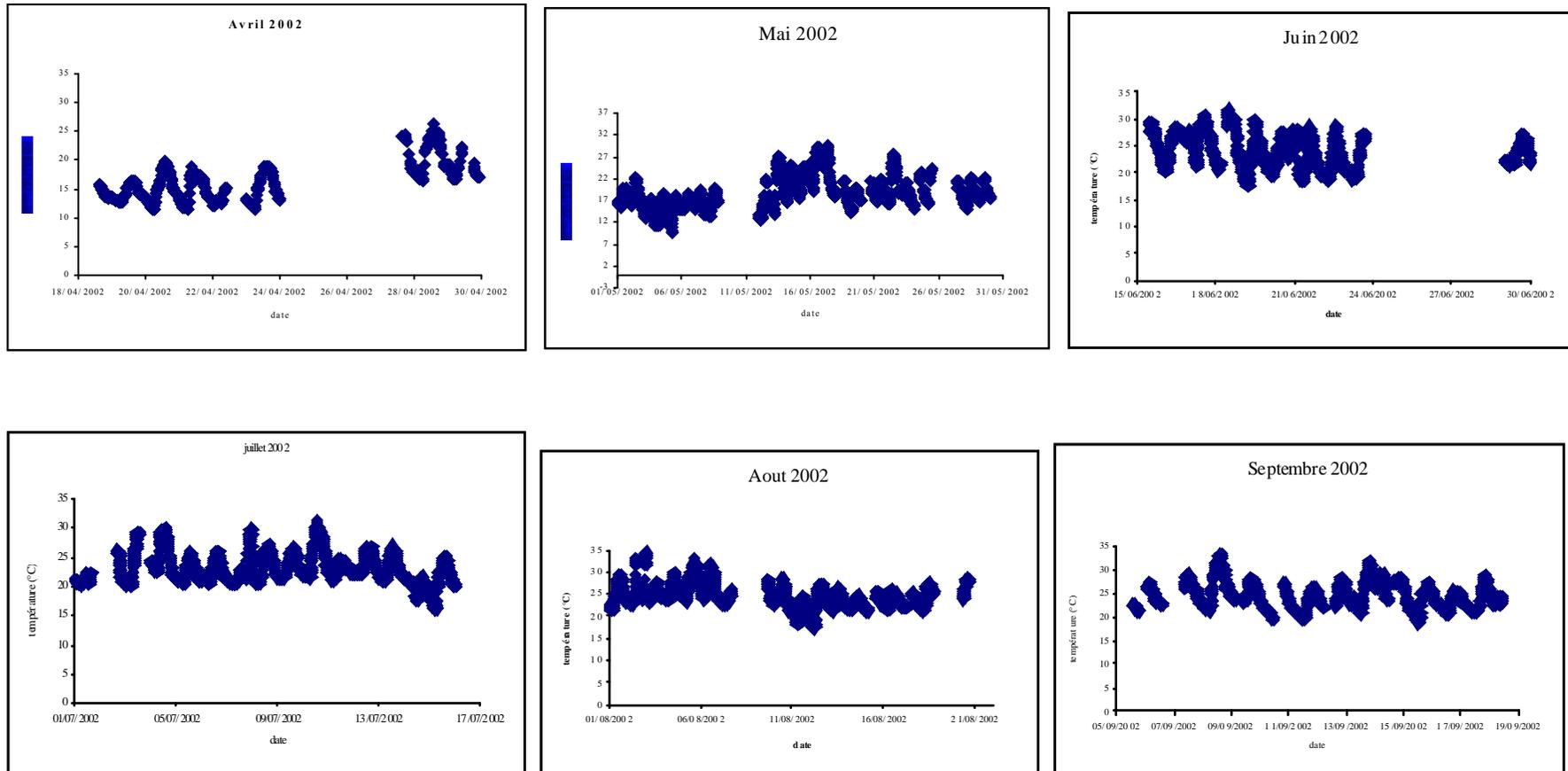
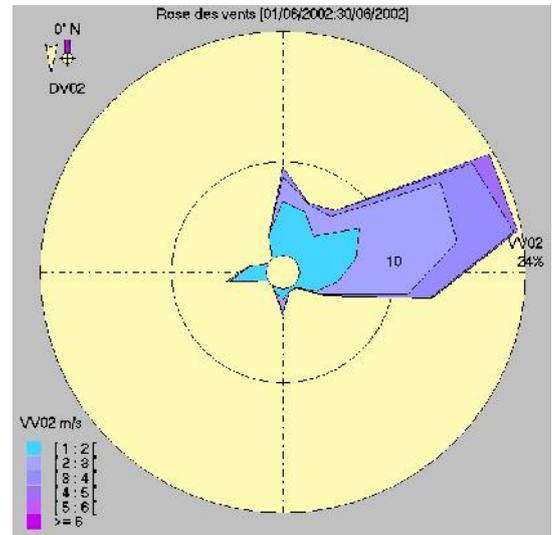
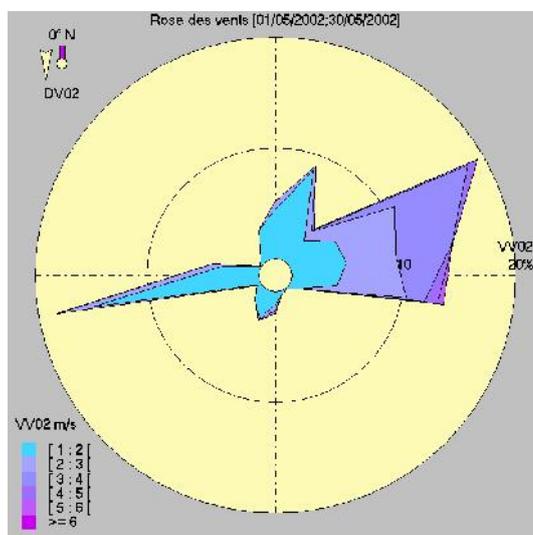
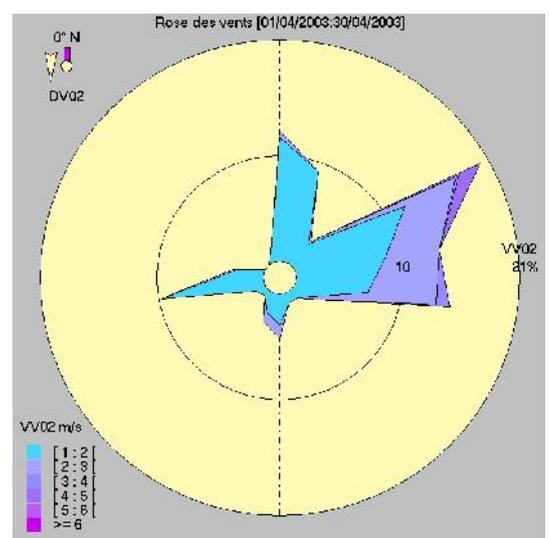
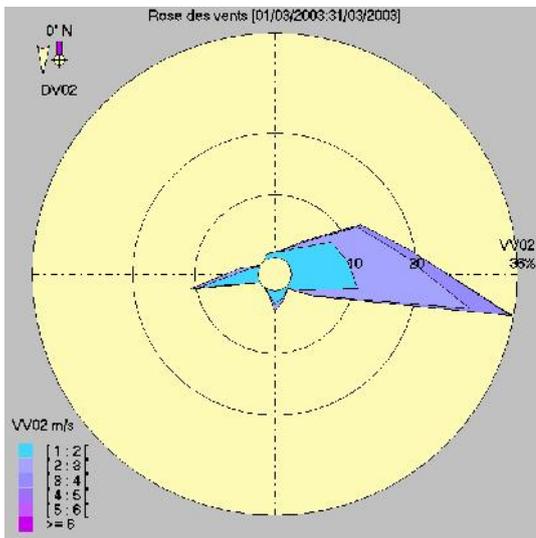
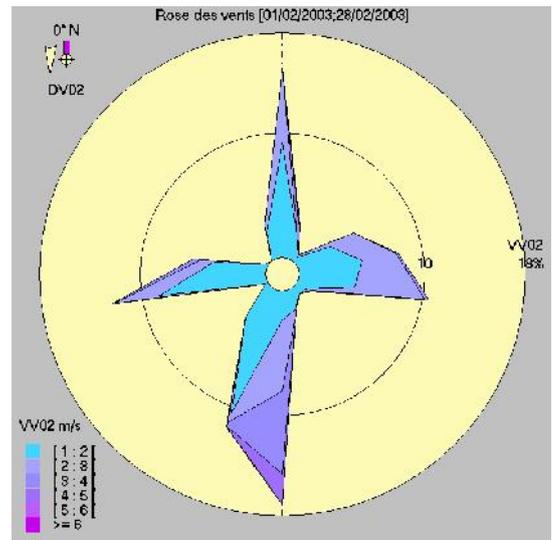
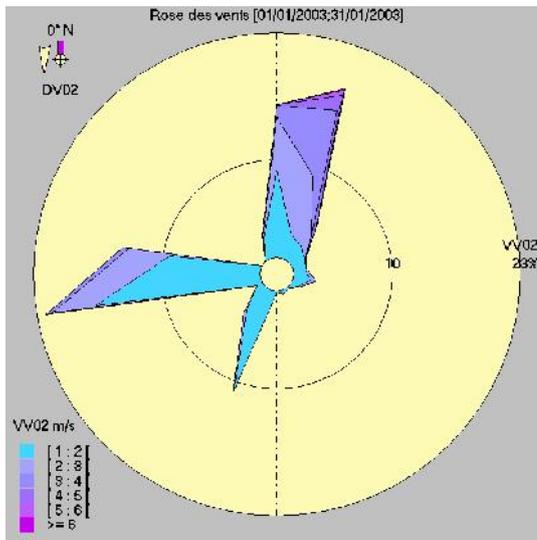


Figure 6.2 : Variation mensuelle moyenne de la température à la station de BEN AKNOUN

6.3.2 Variation du vent



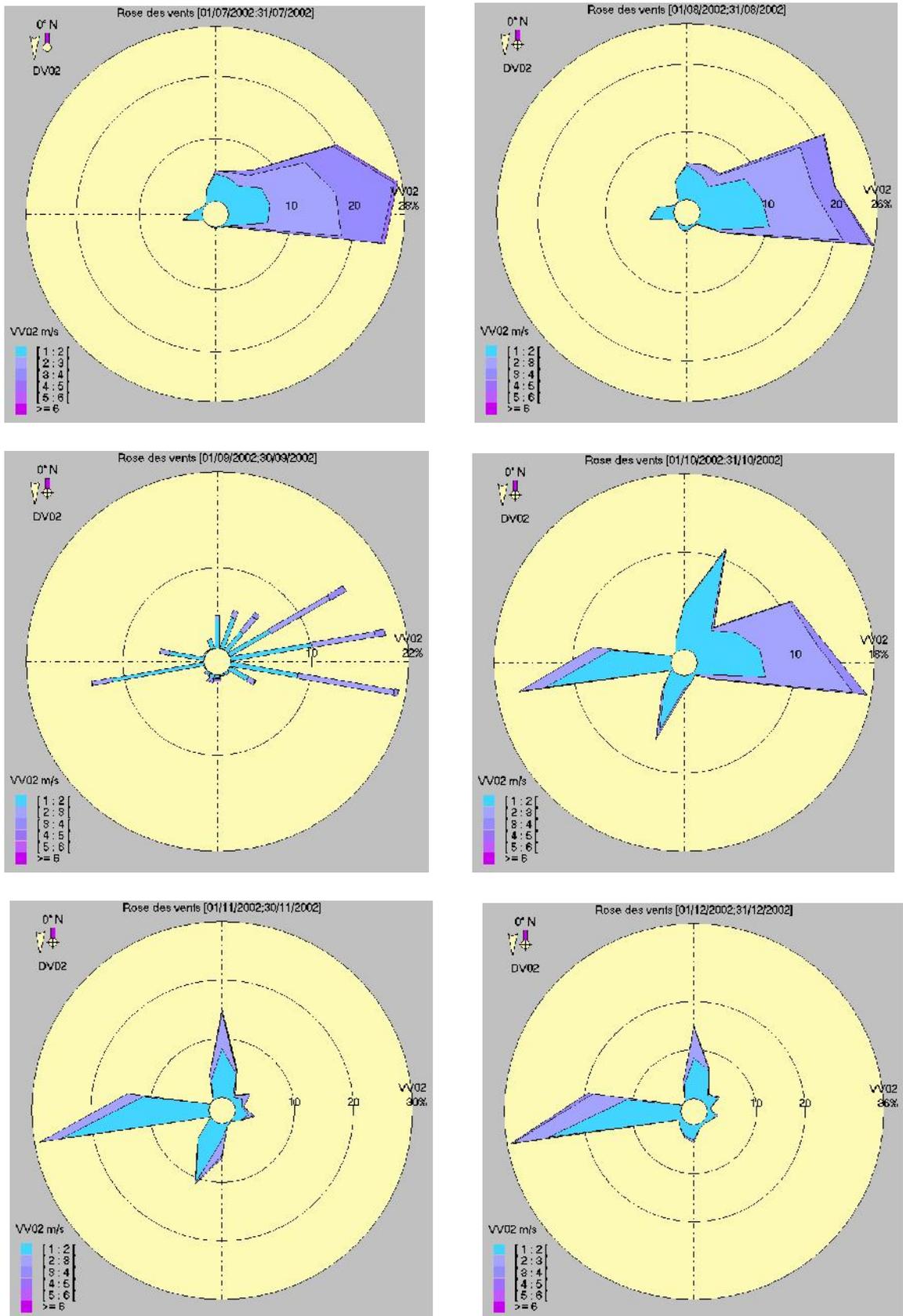


Figure 6.3 : Variation mensuelle du vent à la station de BEN AKNOUN

6.4 Résultats et discussions :

Comme la principale source des BTX est le trafic routier, nous avons pensé à diviser les données en deux parties sur la base de l'heure de la journée, on a donc eu une matrice de donnée jour ou le trafic est plus abondant, l'enregistrement commence à 7:00 du matin et se termine à 18:45, et une matrice de données nocturne qui commence à 19:00 et se termine à 6:45 minute.

On a ensuite divisé ces parties en fonction de la direction du vent par rapport à la station de mesure en 36 secteurs égaux de 10° chacun, et en fonction de quatre classes de vitesse qui sont :

- Première classe de vitesse [0 - 1 [m/s.
- Deuxième classe de vitesse [1 - 2 [m/s.
- Troisième classe de vitesse [2 -3[m/s.
- Quatrième classe de vitesse [3 - 4[m/s.

Dans tout ce travail nous avons tenu compte de l'influence de la vitesse du vent et sa direction par rapport à la station de mesure.

6.5 Niveaux de pollution par les BTX à Alger

6.5.1 Profil journalier et hebdomadaire

Pour le toluène on remarque l'existence de quatre pics maximums : à 8 heures, 12 heures, 20 heures, et 22 heures ensuite les niveaux baissent comme le montre la figure 6.4. est présentée l'évolution cyclique journalière des BTX (Benzène – Toluène - xylène) mesurée au niveau de la station de Ben-Aknoun, qui nous permet de déceler les pics les plus explicatifs des taux et des niveaux maximums atteints. Les niveaux faibles sont atteints la nuit, le minimum se situe vers 5 heures du matin avec un taux de 20 ppb. Les maximums sont observés vers 8 heures du matin et dans l'après midi à 17 heures, conséquences du trafic automobile particulièrement dense pendant les heures de pointe et se traduisant donc par des niveaux plus élevés en substances polluantes.

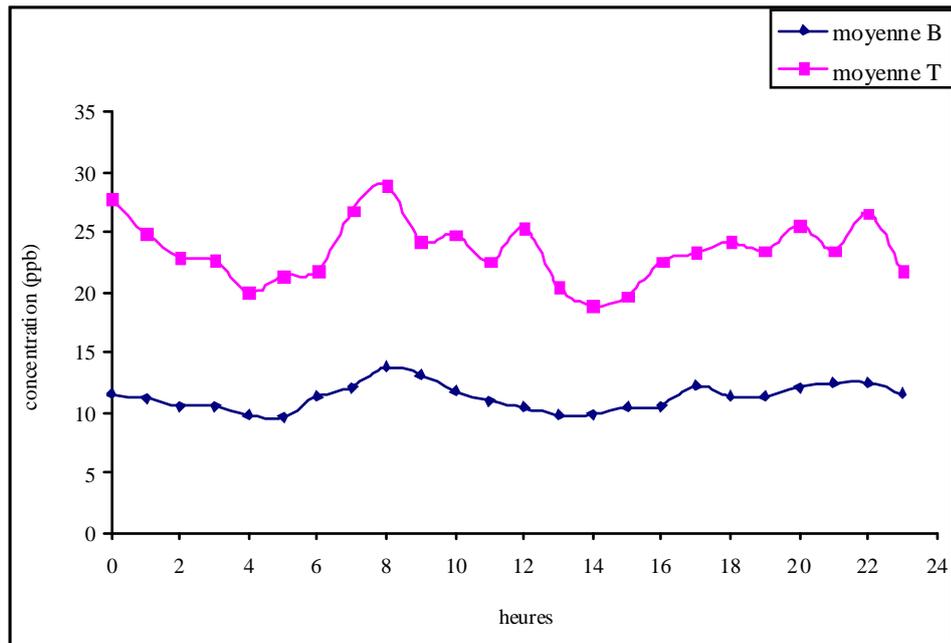


Figure 6.4 : concentration horaire moyenne pour les jours de semaine

Le jour :

Pour le benzène on remarque deux pics maximum de 15 ppb, le premier vers 8 heures du matin, qui diminue progressivement puis un autre pic maximum atteint dans l'après midi vers 17 heures (figure 6.5). Ces deux pics sont sûrement dus à la concentration de la circulation routière dans ces heures précises. Pour le toluène les mêmes remarques sont faites sauf qu'on signale un autre pic à midi.

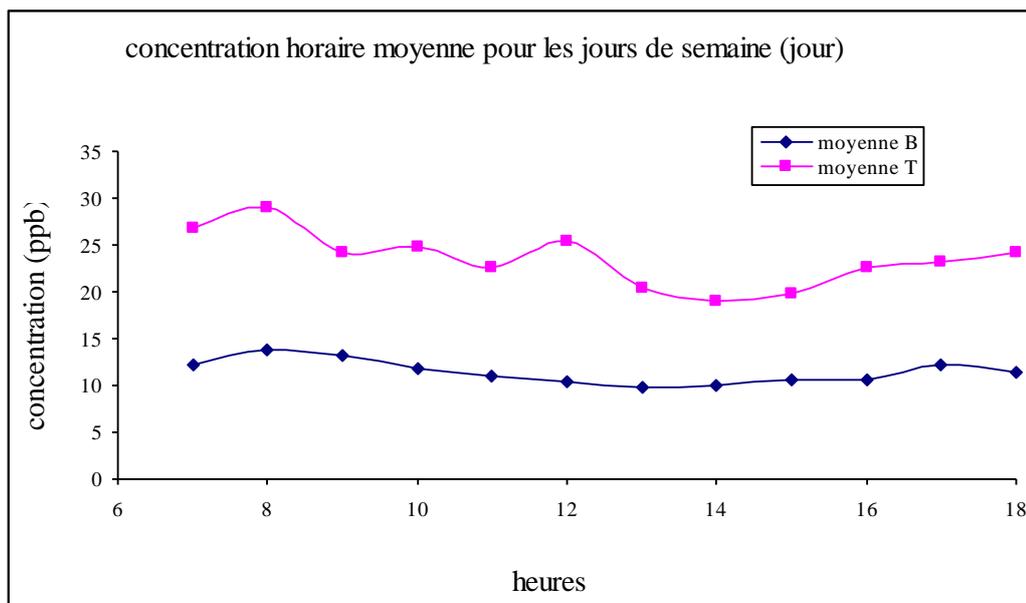


Figure 6.5 : concentration horaire moyenne pour les jours de semaine (JOUR)

La nuit :

On remarque que les niveaux de benzène diminuent la nuit puis recommencent à augmenter à partir de 5 heures du matin (figure 6.6).

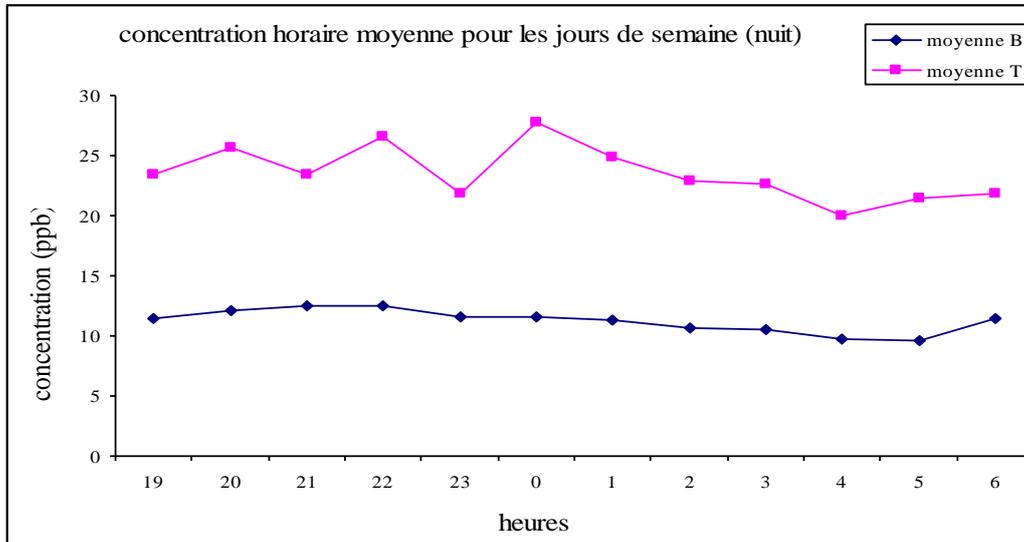


Figure 6.6 : concentration horaire moyenne pour les jours de semaine (NUIT)

Effet week-end

Les concentrations horaires moyennes en week-end sont plus faibles pour le benzène et le toluène par rapport à celles des jours de semaines de travail (figure 6.7).

Le profil de variation du benzène est presque constant, le maximum atteint est de 10 ppb, tandis qu'en jour de semaine, le taux de benzène est plus élevé atteignant 15 ppb.

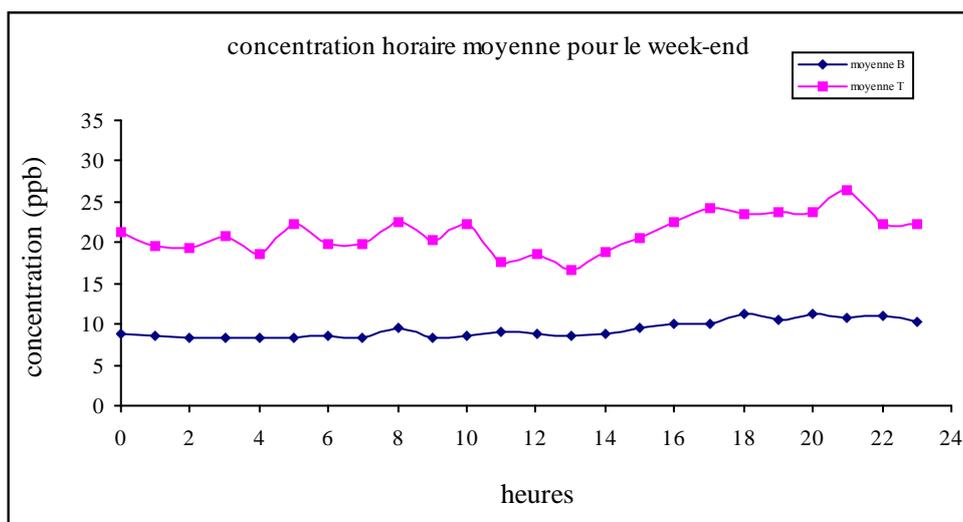


Figure 6.7 : Variation horaire moyenne de la concentration du benzène et toluène en ppb au cours d'une journée de week-end

Profil hebdomadaire

Le profil hebdomadaire du benzène et du toluène (figure 6.8 et 6.9) montrent une similitude dans la variation pour les jours de semaine de travail, où l'on observe deux pics maximum par jour. Cette variation est différente de la variation en week-end où on remarque que les niveaux sont plus faibles surtout les vendredis.

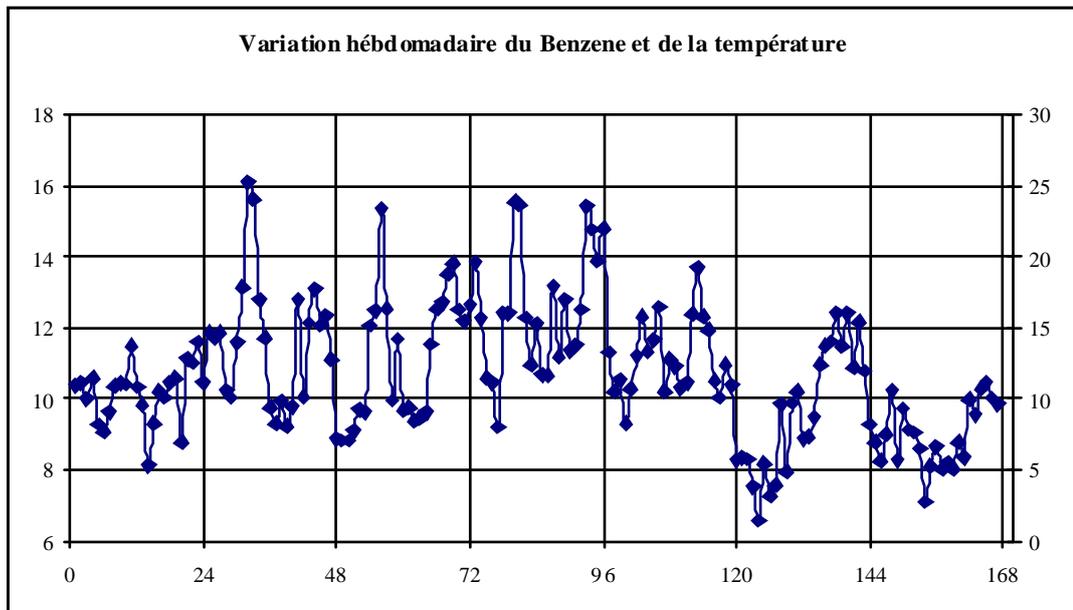


Figure 6.8 : Variation hebdomadaire de la concentration du benzène en ppb

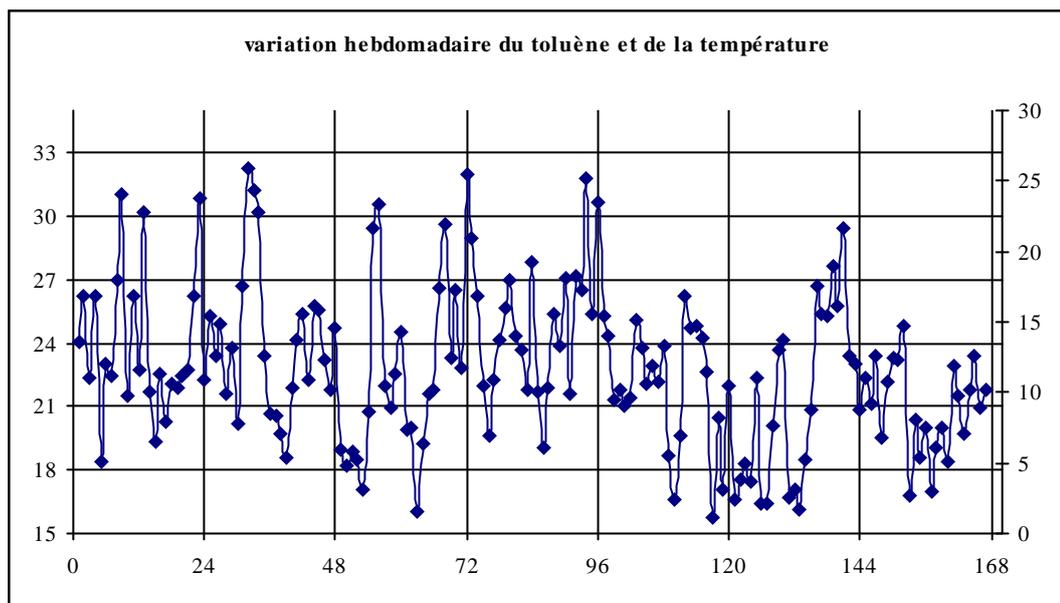


Figure 6.9 : Variation hebdomadaire de la concentration du toluène en ppb

6.5.2 Variation en fonction de la température

Pour étudier les phénomènes de variations des BTX et de la température on a tracé les variations des concentrations du benzène, toluène et la température en fonction des heures de la journée. C'est ce qui nous a permis de déceler une relation entre les niveaux maxima de la concentration des polluants et les faibles valeurs de la température pour tous les secteurs et toutes les classes de vitesse. Nous constatons que les niveaux maximums sont toujours atteints dans les jours les plus froide et sont de l'ordre de 87 ppb pour le benzène et de 213 ppb pour le toluène, ces valeurs ont été mesuré le même jour 21/04/02 à 9 :00 du matin ou la température ambiante été de l'ordre de 17,7 °C, et que les plus bas niveaux sont observés dans les jours les plus chauds est sont de l'ordre de 0.1 ppb pour les deux polluants.

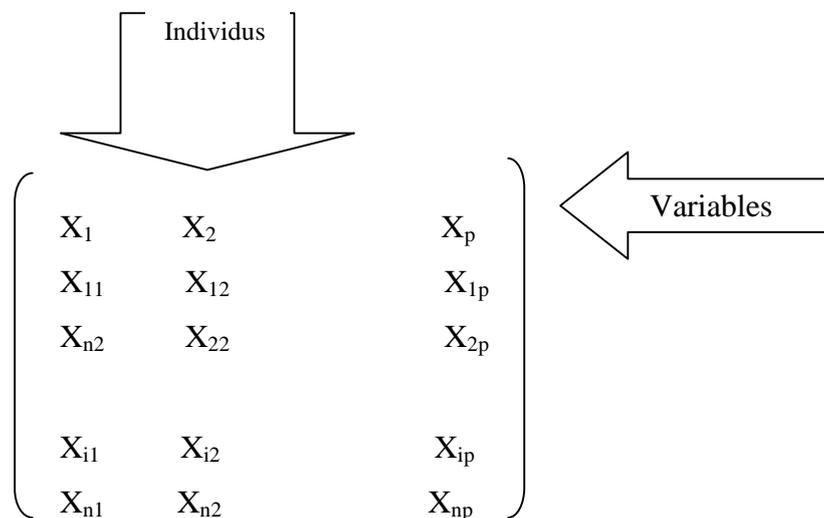
Le tracé de l'évolution quart horaire de notre matrice de donnée montre que la concentration des BTX évolue inversement à l'évolution de la température c'est à dire que quand la température diminue la concentration des BTX augmente cela est probablement due à l'inversion thermique qui favorise leur dispersion en fonction de l'altitude (effet thermique plus puissant que l'effet mécanique).

6.6 Analyse en composantes principales

6.6.1 Introduction

L'analyse en composante principale est basée sur l'étude de la variance ou de la corrélation entre variables, ses résultats sont représentés sous forme graphique (cercle de corrélation).

Soit la matrice d'observation suivante :



$X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_p$: Vecteurs colonnes de la matrice d'observation.

On a effectué une ACP sur les variables (Benzène, Toluène, xylène, température...) pour les données de 6 mois d'observations, puis on a subdivisé ces données en deux périodes :

Une période nocturne (19 heure du soir jusqu'à 7 heure du matin) et une période matinale (7 heure du matin jusqu'à 19 heures), chaque période a été subdivisé selon la direction du vent en 36 secteurs égaux de 10° .

Une codification des différentes variables a été créée pour les besoins de manipulation. La liste des variables avec les codes correspondants est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 6.1 : Codification des variables

VARIABLES	CODES AFFECTES
Benzène	BZ02
Toluène	TO02
Xylène	XY02
Température	T

Les composantes principales sont des combinaisons des variables de la matrice d'observations :

$$X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_p).$$

Pour notre cas $X = (BZ02, TO02, XY02, T)$.

Donc:

$$C_j = b_{j1} BZ02 + b_{j2} TO02 + b_{j3}$$

6.6.2 Relation entre les polluants

Le tracé du graphe qui représente la variation du toluène en fonction du benzène (figure) montre qu'il y a une relation significatif entre ces deux polluants, un exemple de matrice de corrélation est reporter dans le tableau suivant :

Tableau 6.2 : matrice de corrélation du secteur 16

	B	T1	T	X	VV2
BZ2	1.0000	-0.0434	0.9015	-0.1783	-0.2924
T1	-0.0434	1.0000	-0.0417	0.1166	-0.3653
TO2	0.9015	-0.0417	1.0000	-0.2687	-0.3557
XY2	-0.1783	0.1166	-0.2687	1.0000	-0.0037
VV2	-0.2924	-0.3653	-0.3557	-0.0037	1.0000

Les données montrent une très forte corrélation entre ces deux polluants (benzène, toluène) elle est de l'ordre de 90%.

6.6.3 Analyse en composante principale des concentrations des polluants

L'analyse en composante principale nous a permis de trouver les secteurs où il y a une bonne corrélation entre les polluants eux même.

Les facteurs de corrélation pour tous les secteurs sont résumés dans le tableau 6.3

Tableau 6.3 : matrice de corrélation divers secteurs

Secteurs	Facteur de corrélation R ² (Benzène / Toluène)	Secteurs	Facteur de corrélation R ² (Benzène / Toluène)
S1	0.6798	S19	0.7598
S2	0.6661	S20	-0.3728
S3	0.7333	S21	- 0.3518
S4	0.5551	S22	- 0.4230
S5	0.5657	S23	- 0.5872
S6	0.5627	S24	0.2282
S7	0.6251	S25	0.6027

S8	0.5923	S26	0.3983
S9	0.7083	S27	0.1892
S10	0.5750	S28	0.0827
S11	- 0.2322	S29	0.7202
S12	0.2755	S30	0.5900
S13	0.0033	S31	- 0.3523
S14	- 0.2850	S32	0.7909
S15	0.3265	S33	0.6432
S16	0.9015	S34	0.7134
S17	0.8429	S35	0.6383
S18	0.9184	S36	0.6821

En superposant ces secteurs sur la rose des vents de la même station de mesure pour la même période, on remarque que ce sont les secteurs où la vitesse du vent est faible (S12 à S18 et S21 à S24) qui présentent les meilleurs facteurs de corrélations, cela peut être dû à l'absence du phénomène de dispersion mécanique.

On remarque aussi que le secteur 15 présente la meilleure corrélation entre le benzène et l'inverse de la température dépasse les 82 %, et celle du toluène avec l'inverse de la température est plus importante dans le secteur 5 où elle dépasse les 64 %.

On remarque aussi que dans la plus part des secteurs la corrélation entre le benzène et le toluène est importante surtout dans les secteurs 16, 17, 18 où elle dépasse les 80%.

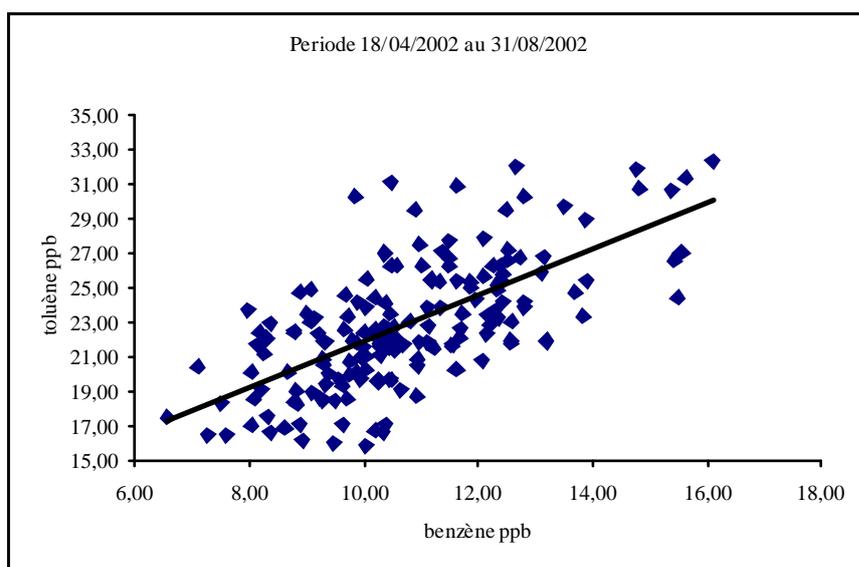


Figure 6.10 : Corrélation entre le benzène et le toluène

6.6.4 Evolution du rapport T/B en fonction de la température

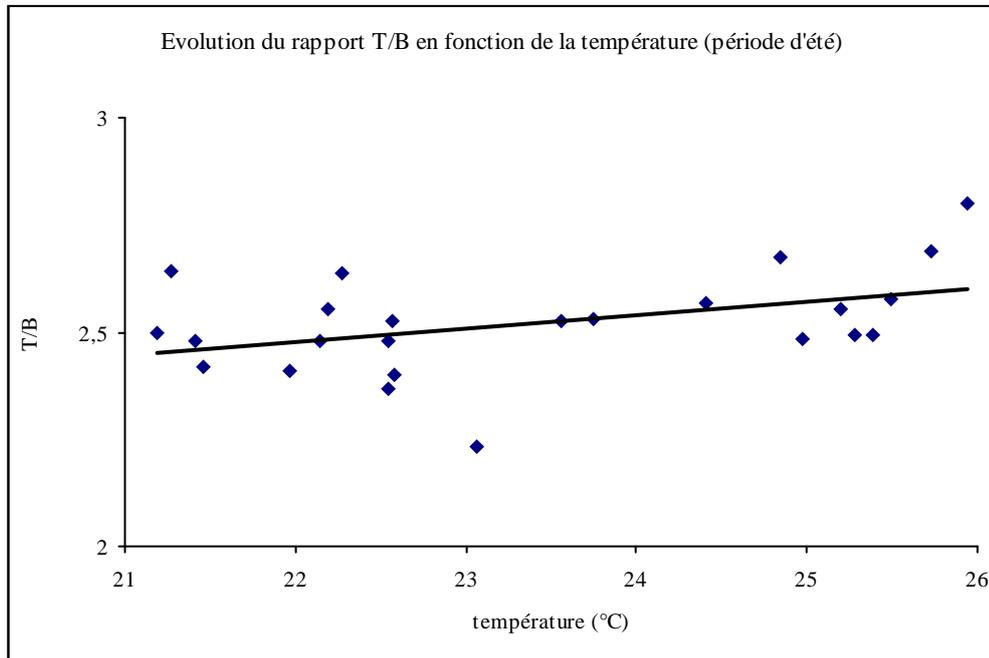


Figure 6.11 : Influence de température sur le rapport (B / T)

L'augmentation de la température fait augmenter le rapport T/B

Conclusion

Le travail a permis d'analyser le parc automobile algérien afin de déterminer la répartition par âge et classe de véhicule en circulation. Des enquêtes de terrain ont permis aussi de déterminer le kilométrage par catégorie de véhicule et âge. Les premiers résultats montrent des divergences importantes par rapport aux statistiques administratives de l'ONS.

À partir des enquêtes effectuées, on aboutit à un parc roulant d'environ 3,2 millions de véhicules pour l'année 2005 dont 60% sont des véhicules particuliers avec un âge moyen du parc de 11,4 ans et un taux de diésélisation de 25%. Le kilométrage annuel moyen tous véhicules confondus est de 26 874 km.

Les mesures d'émissions unitaires sont effectuées sur des véhicules utilitaires légers (VUL) essence et diesel en charge. Le montage expérimental embarqué est testé au laboratoire puis utilisé en circulation réelle. Les émissions unitaires à chaud obtenues sont comparées aux émissions de véhicules équivalents roulant en Europe grâce au modèle européen d'émissions Artemis. L'une des difficultés apparues lors de cette comparaison est l'absence de norme d'émission pour les véhicules mis sur le marché algérien. La comparaison nous permet d'évaluer la norme européenne à laquelle correspondent les émissions mesurées de chaque véhicule. A âge égal vis-à-vis des véhicules européens, les véhicules algériens accuseraient ainsi un retard de zéro norme pour ceux datant d'avant 2000 et d'une norme pour ceux postérieurs à 2000. Les mesures réalisées nous permettent d'évaluer les émissions unitaires à chaud, les surémissions absolues à froid, et l'influence de la vitesse moyenne. Au regard des émissions à chaud, le comportement à froid des véhicules essence ne diffère guère de celui des véhicules diesel. L'échantillon de véhicules testés est comparable aux échantillons des campagnes de mesure de laboratoires européens. L'interprétation reste assez limitée, notamment la comparaison avec les véhicules circulants en Europe, car la charge est plus importante et le kilométrage moyen des véhicules testés est élevé avec respectivement 696 et 163 000 km pour les véhicules essence et diesel. Cela correspond aux caractéristiques des VUL du parc algérien, qui réalisent des kilométrages importants dépassant 38 000 km par an et qui ont une durée de vie moyenne de 10 ans. L'effet de la charge ne peut être mis en évidence qu'avec des mesures à vide, ce que ne permet pas la charge minimale correspondant à la masse du système embarqué.

Au terme de ce travail, on a pu relever les incertitudes et les imperfections et lacunes que ce soit au niveau des techniques d'enquêtes, de l'observation des véhicules sur route, du relevé du kilométrage annuel des véhicules ainsi que sur la mesure des émissions et de l'échantillonnage des véhicules.

Bibliographie

1. Alain MORCHEOIRE, Bernard BRESS, ADEME, Jean Pierre ORIFEIL, Transport Urbain, INRETS n° 89 (Octobre – Décembre 1995)
2. Mohamed LOUCIF CIED, Contribution à l'étude de la cinématique réelle pratiquée par les véhicules en Algérie, Mémoire d'ingénieur, USTB 2001.
3. Boughedaoui M., Chikhi S., Kerbachi R., Les émissions de voitures utilisant le gaz carburant G.P.L.

Les transports et la ville (Octobre – Décembre 1995)
4. Claire VAN RUYMBEKE, Mise au point d'une méthode de mesure des émissions polluantes automobiles applicable au cas de Mexico, thèse de doctorat, Université de Savoie, 1991.
5. Béatrice BOURDEAU, Modélisation du parc automobile Français entre 1970 et 2020, Thèse de doctorat, Université de SAVOIE, CHAMBERY, 1997.
6. Michel ANDRE, Construction de cycles de conduite représentatifs pour la mesure des émissions de polluants de véhicule, Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1998.
7. Michael P. WALSH, Air Pollution: Automobile, Arlington Virginia.
8. Iman BACHA, Mémoire d'ingénieur, USTB 2001.
9. Cahier de l'environnement N° 255 Air : Emissions polluantes du trafic routier de 1950 à 2010, office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)
10. JOUMARD R., PATRUEL L., VIDON R., GUITTON JP., SABER AI., COMBET E., 1990. Émissions unitaires de polluants des véhicules. Rapport INRETS, n°116 seconde

edition, Bron, France.

11. Joumard R., Pollution de l'air: le cas des transports, tomes 1 et 2, Ecole Nationale polytechnique d'Alger, séminaire INRETS - UNESCO, Alger 7-18 novembre 1992.
12. Améliorer la qualité de l'air, une priorité pour l'UE, office des publications officielles des communautés européennes, 2000.
13. Guibet J.C., Moteur et carburant, publication de l' I.F.P., Edition Technip, Paris, 1987
14. Gaz d'aujourd'hui, Revue n°9, 1996 Gaz Carburants - Véhicules propres
15. Gabriel PLASSAT, ADEME Département Technologies des Transports, 1990 TOME 1 : Les technologies des moteurs de véhicules lourds et leurs carburants p 124,
16. 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, 81 p.
17. Nature, vol 353 sept 1991, p154
18. HUGREL, C. JOUMARD, R. Transport routier – Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025. INRETS : rapport LTE n°0420, 2004, 133 p.
19. Guibert J.C., Moteur et carburant, publication de l' I.F.P., Edition Technip, Paris, 1987
20. Potter C.J., 1987. The measurement of vehicle exhaust gas emission for national inventories and highway impact studies, Science of the Total Environment, 59, 63-76
21. Vidon R., Montorio J.L., Pruvost C., Tassel P., 1996. Coopération franco-algérienne : équipement et essais sur véhicule expérimental, Rapport Inrets, n°LEN 9614, Bron, France, 22 p.
22. ONS, 2006. Données statistiques du parc automobile, Alger. <http://ww.ons.dz>

23. Boughedaoui M., Chikhi S., Kerbach R., André M., Joumard R., 1999. Car fleet characterization and kinematics used in Algeria., 8th Intern. Symp. Transport and Air Pollution, Graz, Austria, 31 May - 2 June, 1999, poster proceedings, section IX, pp. 49-56.
24. Markewitz K., Joumard R., 2005. Émissions unitaires de polluants des petits véhicules utilitaires. Rapport Inrets, n°LTE 0508, Bron, France, 63 p.
25. Joumard R., André M., Laurikko J., Le Anh T., Geivanidis S., Samaras Z., Oláh Z., Devaux P., André J.M., Cornelis E., Rouveirolles P., Lacour S. , Prati M.V., Vermeulen R., Zallinger M., 2006. Accuracy of exhaust emissions measurements on vehicle bench - Artemis deliverable 2. Inrets report, n°LTE 0522, Bron, France, 140 p.
26. Osses M., Henríquez A., Triviño R., 2002. Positive mean acceleration for the determination of the traffic emissions, Symposium Transport and Air Pollution , 19-21 June 2002, Graz, Austria.
27. Pierson W.R., Gertler A.W., Robinson N.F., Sagebiel J.C., Zielinska B., Bishop G.A., Stedman D.H., Zweidinger R.B., Ray W.D., 1996. Real automotive emissions – Summary of studies in the Fort McHenry and Tuscarora mountain tunnels, Atmospheric Environment, 30, 12, 2233-2256
28. Markewitz K., Joumard R., 2006. Atmospheric pollutant emission factors of light duty vehicles within the Artemis model. 2nd conf. Environment & Transport, incl. 15th conf. Transport and Air Pollution, 12-14 June 2006, Reims, France, poster. Proceedings, actes Inrets, n°107, vol. 2, Arcueil, France, pp. 84-89.
29. André M., Keller M., Johansson H., Boughedaoui M., 2007. Artemis: De nouveaux outils de calcul des émissions de polluants de transports routiers, 12e Colloque international , Évaluation environnementale et transports Concepts, outils et méthodes, du 18 au 22 juin, Genève, Suisse
30. Berrouane H., Minimisation des coûts de transport de carburant pour la flotte

NAFTAL, Thèse d'ingénieur, Institut National de Planification et des Statistique INPS, Alger, 2003.

- [1e] : <http://www.ev.uqam.ca/merlin/dlc391822/voiture.html>
- [2e] : <http://www.admin.ch/cp/f/38f5ca44.0@fwsrug.bfi.admin.ch.html>
- [3e] : <http://www.caa.ca/française/bibliothequenligne/environnement/eeajuin95.html>
- [4e] : <http://lemawww.epfl.ch/solaire/comparaisons.html>
- [5e] : http://www.multimania.com/pmb/pollution_urbaine.html
- [6e] : <http://www.bp-france.fr/BP.COM/carbuinternet/propres.html>
- [7e] : <http://www.bbertholon.com/julien/mexique/partieII.htm>
- [8e] : <http://www.etcentre.org/main/f/air/airf.html>
- [9e] : <http://strategis.gc.ca>
- [10e] : <http://www.greenfuels.org/ethfrindex.html>

ANNEXE 1

ANNEXE 2

ANNEXE 3

Art. 12. — Chaque service est organisé en bureaux dont le nombre est fixé au maximum à trois (3).

Art. 13. — L'implantation et la compétence territoriale de la direction régionale du commerce sont fixées par arrêté du ministre chargé du commerce.

Art. 14. — L'organisation en bureaux des directions régionales du commerce et des directions de wilayas du commerce est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés de l'intérieur, du commerce et des finances ainsi que de l'autorité chargée de la fonction publique.

Le fonctionnement des subdivisions territoriales du commerce et des inspections de contrôle de la qualité et de la répression des fraudes aux frontières, est défini par arrêté conjoint des ministres chargés de l'intérieur, du commerce et des finances ainsi que de l'autorité chargée de la fonction publique.

Art. 15. — Le directeur régional du commerce et le directeur de wilaya du commerce sont chargés, chacun en ce qui le concerne, d'assurer l'entretien, l'hygiène, la sécurité et la sûreté interne du patrimoine mis à leur disposition.

Art. 16. — Sont transférés aux structures créées par le présent décret, suivant les procédures fixées par la réglementation en vigueur, les personnels et les moyens de toute nature précédemment utilisés par les inspections régionales des enquêtes économiques et de la répression des fraudes et les directions de wilayas de la concurrence et des prix.

Art. 17. — Les dispositions du décret exécutif n° 91-91 du 6 avril 1991, susvisé, sont abrogées.

Art. 18. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 10 Ramadhan 1424 correspondant au 5 novembre 2003.

Ahmed OUYAHIA.



Décret exécutif n° 03-410 du 10 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.

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre des transports,

Vu la Constitution, notamment ses articles 85-4° et 125 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ;

Vu la loi n° 99-09 du 15 Rabie Ethani 1420 correspondant au 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie ;

Vu la loi n° 01-14 du 29 Joumada El Oula 1422 correspondant au 19 août 2001 relative à l'organisation, la sécurité et la police de la circulation routière, notamment son article 45 ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu le décret présidentiel n° 03-208 du 3 Rabie El Aouel 1424 correspondant au 5 mai 2003 portant nomination du Chef du Gouvernement ;

Vu le décret présidentiel n° 03-215 du 7 Rabie El Aouel 1424 correspondant au 9 mai 2003, modifié, portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 90-397 du 1er décembre 1990 fixant les règles d'organisation et de fonctionnement des services des mines et de l'industrie ;

Vu le décret exécutif n° 91-538 du 25 décembre 1991 relatif au contrôle et aux vérifications de conformité des instruments de mesure ;

Vu le décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits ;

Vu le décret exécutif n° 98-69 du 24 Chaoual 1418 correspondant au 21 février 1998 portant création et statut de l'institut algérien de normalisation (IANOR) ;

Vu le décret exécutif n° 98-271 du 7 Joumada El Oula 1419 correspondant au 29 août 1998, modifié et complété, portant réaménagement des statuts du centre national pour l'étude et la recherche en inspection technique automobile (CNERITA) et modification de sa dénomination ;

Décrète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 45 de la loi n° 01-14 du 29 Joumada El Oula 1422 correspondant au 19 août 2001 susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les seuils des émissions des fumées, des gaz toxiques et des bruits par les véhicules automobiles.

CHAPITRE I

DES DEFINITIONS

Art. 2. — Il est entendu, au sens du présent décret, par :

— **Fumées** : émissions opaques rejetées à l'échappement des véhicules automobiles équipés d'un moteur à allumage par compression "moteur diesel".

— **Gaz toxiques** : monoxyde de carbone, hydrocarbures imbrûlés, oxydes d'azote ainsi que tous gaz nocifs émis à l'échappement des véhicules automobiles.

— **Bruit** : émissions sonores produites par les véhicules automobiles à l'état stationnaire ou en mouvement.

— **Catalyseur** : système de traitement des émissions à l'échappement des véhicules équipés d'un moteur à allumage commandé destiné en à réduire la concentration des gaz toxiques.

— **Opacimètre** : appareil équipé d'une cellule photo-électrique et destiné à mesurer l'opacité des fumées par le calcul du coefficient d'absorption lumineuse.

— **Particule** : matière solide et les gouttelettes se trouvant dans l'air, qu'il s'agissent de poussières ou d'impuretés.

CHAPITRE II

DES SEUILS LIMITES DE FUMÉES PAR LES VÉHICULES AUTOMOBILES

Art. 3. — Le seuil d'opacité des fumées émises, selon la catégorie, par les véhicules automobiles équipés d'un moteur à combustion interne à allumage par compression, ne doit pas excéder les limites ci-après :

CATEGORIE DE VEHICULES	CŒFFICIENT D'ABSORPTION LUMINEUSE (M ⁻¹)	
	Véhicules soumis au contrôle de conformité	Véhicules soumis au contrôle technique périodique
Véhicules particuliers	1,3	
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC ≤ 3,5 tonnes	1,5	
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC > 3,5 tonnes - P < 150 KW - P ≥ 150 KW	1,7	
Véhicules de transport de marchandises d'un PTAC ≤ 3,5 tonnes	1,5	Quelle que soit la catégorie des véhicules :
Véhicules de transport de marchandises d'un PTAC > 3,5 tonnes - P < 75 KW - 75 KW ≤ P < 150 KW - P ≥ 150 KW	1,7	<ul style="list-style-type: none"> • 2,5 dans le cas des moteurs à allumage par compression à aspiration naturelle, • 3,0 dans le cas des moteurs à allumage par compression muni d'un dispositif de suralimentation en air.
Véhicules agricoles - PTAC ≤ 1,5 tonne - PTAC > 1,5 tonne	2,3	
Véhicules spéciaux et engins de travaux publics	2,3	

PTAC : Poids total autorisé en charge

P : Puissance

KW : Kilo Watts

CHAPITRE III

DES SEUILS LIMITES DES GAZ TOXIQUES EMIS PAR LES VÉHICULES AUTOMOBILES

Art. 4. — Les gaz toxiques émis par les véhicules automobiles ne doivent pas excéder les seuils limités ci-après :

a) Lors du contrôle de conformité

CATEGORIE DE VEHICULES AUTOMOBILES	EMISSION MASSIQUE			
	CO*	HC**	NOX***	Particules
Cyclomoteurs	6 g/KM	6 g/KM
Motocycles - I < 80 cm ³ et vitesse < 75 KM - 80 cm ³ < I < 400 CM ³ et vitesse ≥ 75 Km - I ≥ 400 cm ³ • Essence - GPL - GNC : • Diesel :	7 g/KM 2 g/KM	1.5 g/KM 1 g/KM	0.4 g/KM 0.65 g/KM 1 g/KM
Véhicules particuliers • Essence - GPL - GNC : • Diesel :	2.3 g/KM 1 g/KM	0.2 g/KM	0.15 g/KM 0.5 g/KM 0.05 g/KM
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC ≤ 3,5 tonnes • Essence - GPL - GNC : • Diesel :	5.5 g/KM 1 g/KM	0.3 g/KM 1 g/KM	0.25 g/KM 0.9 g/KM 0.15 g/KM
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC 3,5 tonnes • Diesel : - P < 150 KW - P ≥ 150 KW	4 g/KM	1 g/KM	7 g/KM	0.15 g/KM
Véhicules de transport de marchandises d'un PTAC ≤ 3,5 tonnes • Essence - GPL - GNC : • Diesel :	5.5 g/KM 1 g/KM	0.31 g/KM 1 g/KM	0.25 g/KM 0.9 g/KM 0.15 g/KM

CATEGORIE DE VEHICULES AUTOMOBILES	EMISSION MASSIQUE			
	CO*	HC**	NOX***	Particules
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC $\leq 3,5$ tonnes <ul style="list-style-type: none"> • Diesel : - P < 75 KW - 75 KW \leq P < 150 KW - P \geq 150 KW 	4 g/KM	1 g/KM	7 g/KM	0.1 g/KM
Véhicules agricoles <ul style="list-style-type: none"> • Diesel : - 37 KW < P \leq 75 KW - 75 KW < P \leq 130 KW - P \geq 130 KW 	6.5 g/KM	1.3 g/KM	9.2 g/KM	0.85 g/KM
Véhicules agricoles <ul style="list-style-type: none"> - 75 KW < P \leq 130 KW - P \geq 130 KW 	5 g/KM	1.3 g/KM	9.2 g/KM	0.70 g/KM
Véhicules agricoles <ul style="list-style-type: none"> - P \geq 130 KW 	5 g/KM	1.3 g/KM	9.2 g/KM	0.54 g/KM
Véhicules spéciaux et engins de travaux publics <ul style="list-style-type: none"> • Diesel : 	6 g/KM	1.3 g/KM	9.2 g/KM	0.9 g/KM

* CO : monoxyde de carbone

I : cylindrée

** HC : Hydrocarbure imbrûlé

GPL : Gaz pétrole liquifié

*** NOX : Oxydes d'azote

GNC : Gaz naturel comprimé

b) lors du contrôle technique périodique :

CATEGORIE DE VEHICULES	TENEUR EN CO (POURCENTAGE VOLUMIQUE)
Véhicules équipés d'un système de traitement des émissions (catalyseur)	<ul style="list-style-type: none"> • 0,5% au ralenti • 0,3 % au ralenti accéléré avec une valeur de Lambda comprise entre $0,97 \leq \lambda \leq 1,03$.
Véhicules non équipés d'un système de traitement des émissions	4,5%
* λ : Lambda – rapport air/carburant	

CHAPITRE IV

DES SEUILS LIMITES DE BRUITS EMIS PAR LES VEHICULES AUTOMOBILES

Art. 5. — Le bruit émis par un véhicule automobile moteur en marche, pour les catégories intéressées, ne doit pas excéder les seuils indiqués ci-après :

CATEGORIE DE VEHICULES	NIVEAU SONORE MAXIMUM EN dB (A)	
	Véhicules soumis au contrôle de conformité	Véhicules soumis au contrôle technique périodique
Cyclomoteurs	75	75
Motocycles		
- I < 80 cm ³ et vitesse < 75 KM	75	
- 80 cm ³ < I < 400 CM ³ et vitesse ≥ 75 Km	77	80
- I ≥ 400 cm ³	80	
Véhicules particuliers	74	80
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC ≤ 3,5 tonnes	77	80
Véhicules de transport en commun de personnes d'un PTAC > 3,5 tonnes		
- P < 150 KW	78	83
- P ≥ 150 KW	80	
Véhicules de transport de marchandises d'un PTAC ≤ 3,5 tonnes	77	80
Véhicules de transport de marchandises d'un PTAC > 3,5 tonnes		
- P < 75 KW	77	
- 75 KW ≤ P < 150 KW	78	85
- P ≥ 150 KW	80	
Véhicules agricoles		
- PTAC ≤ 1,5 tonnes	85	90
- PTAC > 1,5 tonnes	89	
Véhicules spéciaux et engins de travaux publics	90	90

* **dB (A)** : Décibel, unité de mesure de bruit en pondération A.

Art. 6. — Les méthodes de mesure des émissions des fumées, des gaz toxiques et des bruits par les véhicules automobiles seront définies par arrêté conjoint du ministre chargé des transports, du ministre chargé de l'énergie et des mines et du ministre chargé de l'environnement.

Art. 7. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 10 Ramadhan 1424 correspondant au 5 novembre 2003.

Ahmed OUYAHIA.

Normes d'émission

EMISSION DE GAZ POLLUANTS : Directive 70/220/CEE

Véhicules concernés : $\leq 3,5 \text{ t}^{(1)}$, transports de personnes (M), transport de marchandises (N1) $\leq 3,5 \text{ t}^{(1)}$

(1) *masse maximale en charge techniquement admissible*

(2) *masse à vide en ordre de marche + 100 kg*

(3) *NT nouveaux types, TT tous types*

EURO 2000 (EURO 3) et EURO 2005 (EURO 4)

Informations issues de la directive CE 98/69 dans sa version du 13.10.1998

La réception communautaire, selon la directive CE 98/69, deviendra effective 9 mois après la publication au Journal Officiel des Communautés Européennes.

La directive CE 98/69 risque d'évoluer au cours de l'année 2000. Certains points sont en cours de discussion, notamment la fonction EOBD pour les véhicules alimentés au gaz (GPL, GNV) ainsi que l'enregistrement du kilométrage parcouru depuis l'allumage du voyant diagnostic.

La future norme EURO 4 applicable à partir de 01/2005, imposera des mesures encore plus sévères (exemple : cycle de mesures des polluants à basse température - 7°C).

Emissions à l'échappement sur cycle NMVEG

Nouveau début de cycle : suppression des 40 s de ralenti du cycle MVEG, mesure des émissions dès le démarrage du véhicule.

EURO 2000 (ou EURO 3)

Pays concernés : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse.

Certains pays accordent des incitations fiscales afin de répondre par anticipation à la future norme de dépollution.

La désignation est indiquée par le sigle IF accolé à celui de la norme anticipée (exemple : IF L5).

Une autre forme d'incitation fiscale s'appuie sur une réglementation qui se situe sur le plan sévérité entre la norme existante et la future :

norme allemande D3 (intermédiaire entre EURO 2 et EURO 3),

norme allemande D4 (idem EURO 4 sans EOBD).

Dates d'application pour les véhicules particuliers :

	nouveaux types	tous types
Essence	01/01/2000	01/01/2001
Diesel	01/01/2000	01/01/2001

sauf véhicules dont la masse est supérieure à 2500 kg

Annexe 3

3.1 Evolution des spécifications :

3.1.1 Les essences:

3.1.1.1 Spécification essence normale marché intérieur (norme Algérienne NA 8109-81092) :

CARACTERISTIQUES	METHODE	LIMITES
Densité à 15°C	NA 417	0.710-1.765
Distillation (°C)	NA 1445	
10% volume		
Résidu (% vol)		
Tension de vapeur reid (bar).		70 Maxi.
1/11 au 30/03		2,5Maxi.
Nombre d'octane (g/l)	NA 2654	0,800 Maxi.
Teneur en plomb (g/l)	NA 2803	89 Mini
Teneur en soufre (%pds)	NA 2810	0,65 Maxi
		0,15 Maxi

3.1.1.2 Spécification essence super(NA 8109-8192) :

CARACTERISTIQUES	METHODE	LIMITES
- Densite 15 °C	NA 417	0,730-07705
- Distillation (°C)	NA 1445	
10% Vol		
50% Vol		
95 % Vol		70 Maxi
P.F		140Maxi
Résidu (%vol)		195 Maxi
Tension vapeur reid (bar)	NA 422	205 Maxi
		2,5 Maxi
1/11 au 31/03.		0,800 Maxi
1/04 au 30/10.		0,650 Maxi
Nombre d'octan (Research)	NA 2654	96 Mini
Teneur en plomb (g/l).	NA 2803	0,65 Maxi
Teneur en soufre (% ds).	AN 2810	0,15 Maxi

3.1.1.3 Spécification essence marché extérieur (Euro super 95)(arrêté du 29/10/1987):

CARACTERISTIQUES	METHODE	LIMITES
Masse volumique	NF T 60 - 101	0730 kg/m ³ - 780g/m ³
Distillation (% vol pertes comprises) Entre 10 et 47 % 40 et 70 % 85 ou plus. 90% ou plus. Ecart 5 % -90 %. P.F Résidu	NF M 07 - 002	70°C. 100°C. 180°C. 210°C. >60°C. <=215°C. <=2% vol.
Tension de vapeur à 37,8°C Du 20.06 au 09.09 Du 10.04 au 19.06 et du 10.09 au 31.10. Teneur en soufre (% pds). Indice d'octane (research). Teneur en plomb. Teneur en benzene	NF M07-007 NF T 60- 142 NF M 07 -026 NF M 07 - 061 NF M 07 - 062	Comprise entre 450 et 790 hectopascals. Comprise entre 500 et 960 hectopascals. 1 Maxi. 95Mini. <= 0,013 g/l. <= 5% Vol.