

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Amar Téliidji Laghouat
Faculté de Médecine



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de docteur en médecine

**Fréquence des véhicules à moteurs à
combustion non conformes aux normes
d'émissions gazeuses au niveau d'un centre de
contrôle à Laghouat**

Présentée par :

REBHI Wail Amine

CHETTOUH Mohamed Abdenour

GHRIB Salmane

Devant le jury :

Président : *Pr Ag. BENYAGOUB.M*

Encadrant : *Pr Ag. BENAZZOUZ.R*

Examineur : *Dr. LEBOUABI.I*

Année 2023/2024

DEDICACE

Nous exprimons notre gratitude à

Allah Tout-Puissant qui nous a éclairés, nous a guidés sur le droit chemin et à qui nous devons ce que nous sommes devenus. Nous louons et remercions Sa clémence et Sa miséricorde infinie.

À nos chers parents,

Aucune expression ne saurait véritablement témoigner de toute notre reconnaissance et notre gratitude. Vous avez lutté pour nous assurer une vie meilleure. Tout ce que nous avons accompli jusqu'à présent est le fruit de vos sacrifices pour notre éducation et notre développement. Votre force, votre détermination et votre courage sont une source d'inspiration constante pour nous. Nous sommes ce que nous sommes aujourd'hui grâce à vous, car sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible. Nous espérons que ce travail vous remplira de fierté.

À nos sœurs et frères,

Nous vous remercions d'exister dans nos vies et d'être toujours présents comme des épaules sur lesquelles nous pouvons nous appuyer. Merci pour votre écoute et vos conseils avisés. Vous avez toujours été nos amis et nos confidents, à qui nous

pouvons nous confier en toute confiance. Que Dieu vous protège. Nous vous souhaitons tout le bonheur et le succès que vous méritez.

À nos chers membres de la famille et, amis

Votre présence dans nos vies est une bénédiction que nous chérissons chaque jour. Vous êtes nos piliers, nos confident·e·s et nos compagnons de route. Votre soutien inconditionnel et votre amour sincère nous inspirent à aller de l'avant dans les moments difficiles. Nous sommes reconnaissants pour les précieux souvenirs que nous partageons et pour les moments de joie que nous vivons ensemble. Que notre lien continue de se renforcer avec le temps, et que nos chemins se croisent toujours dans la paix, l'amour et la camaraderie. Que Dieu vous comble de bénédictions et vous garde sous Sa protection aimante.

REBHI WAIL AMINE

CHETTOUH MOHAMED ABENOUR

GHRIB SALMANE

Remerciements

À la conclusion de cet humble travail, nous exprimons notre gratitude envers le Tout-Puissant et le Tout-Miséricordieux pour nous avoir octroyé le courage, le dévouement, la santé et la patience nécessaires pour mener à bien ce projet de recherche. Nous tenons également à adresser nos sincères remerciements :

- À notre encadrant, le Professeur **BENAZZOUZ. R**, qui nous a confié cette tâche enrichissante et nous a guidés à chaque étape de sa réalisation. Vos précieux conseils lors de nos échanges ont toujours porté leurs fruits, et nous vous sommes reconnaissants pour votre soutien constant. Nous saisissons cette opportunité pour vous exprimer notre profonde gratitude et notre respect sincère.

- Aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

- À Monsieur le Professeur **BENYAGOUB. M** pour avoir présidé le jury lors de la soutenance.

- À Monsieur le Docteur **LEBOUABI. I** pour avoir examiné attentivement le contenu de notre travail.

Nous remercions également le corps enseignant et administratif de la faculté de médecine de Laghouat ainsi que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

REBHI WAIL AMINE

CHETTOUH MOHAMED ABENOUR

GHRIB SALMANE

Table des matières

I.	Introduction	8
II.	Problématique	10
III.	Objectifs	11
IV.	Revue de la littérature.....	12
A.	Principaux polluants atmosphériques.....	12
1.	Particules fines :.....	12
2.	Sulfure dioxyde (SO ₂) :	14
3.	Ozone.....	15
4.	Dioxyde d'azote:	18
5.	Monoxyde de carbone (CO) :.....	19
6.	Les composants organiques volatiles :	22
V.	Matériel et méthode.....	25
A.	Type d'étude.....	25
B.	Population d'étude.....	25
C.	Critères de jugement.....	25
1.	Critères de jugements principal.....	25
2.	Critères de jugements secondaires	25
D.	Variables étudiées	25
1.	Variables générales liées au véhicule	25
2.	Variables liées aux véhicules essence :	26
3.	Variables liées aux véhicules diesel :	26
4.	Variables liées à l'analyse par TC-700 :	26
E.	Déroulement de l'examen.....	26
F.	Moyens de mesure :	27
1.	Fiche de recueil :	27
2.	ACTIGOXP.....	27
3.	TC-700.....	27
G.	Plan et déroulement de l'étude :	28
H.	Considération éthique :	28
I.	Plan d'analyse statistique :	28
1.	Estimation de la prévalence de la non-conformité	29

2.	Description de la population	29
VI.	Résultats et analyses :	29
A.	Résultat de l'objectif principal de l'étude :	29
B.	Caractères descriptifs des véhicules à essence.....	32
C.	Variables liées aux véhicules à essence	33
D.	Caractères descriptifs des véhicules diesel	34
E.	Variables liées aux véhicules diesel.....	35
VII.	Discussion	37
A.	Forces et faiblesses	37
B.	Prévalence des véhicules non conformes	38
C.	Facteurs associés avec les véhicules à moteurs à essence non conformes.....	40
D.	Facteurs associés avec les véhicules à moteurs à diesel non conformes	40
VIII.	Conclusion	43
IX.	Perspectives et recommandations.....	44
X.	Annexe	45
XI.	Bibliographie	46
XII.	Résumé.....	54

Liste des tableaux

Tableau I: Comparaison des propriétés de bases des PM10 et PM2.5.....	12
Tableau II: Les sources d'émission des particules fines	12
Tableau III: Revue de littérature sur les effets des PM sur l'appareil respiratoire et cardiovasculaire.....	14
Tableau IV: les propriétés physiques de l'ozone	16
Tableau V: Symptomatologies cliniques en fonction du Degré de COHb	21
Tableau VI: Tendances de l'écart à la conformité de la procédure d'examen des véhicules ...	31
Tableau VII: Variables liées à l'écart de conformité de la procédure d'examen des véhicules diesel	31
Tableau VIII: Principaux caractères administratifs des véhicules à essence.....	32
Tableau IX: Comparaison des caractéristiques de base liées aux véhicules à essence	34
Tableau X: Principaux caractères administratifs et géographiques des véhicules à diesel	35
Tableau XI: Principaux caractères administratifs des véhicules à diesel	36

Liste des figures

Figure I : Représentation de Lewis des formes mésomères de la molécule de dioxyde d'azote	18
Figure II : prévalence des véhicules non conforme aux normes ISO 3929	30
Figure III: Tendances de l'écart à la conformité de la procédure d'examen des véhicules	30

I. Introduction

L'être humain inhale quotidiennement entre 10 000 et 20 000 litres d'air (1), principalement composé d'oxygène (O₂) et d'azote (N₂). Cependant, en raison des activités humaines, cet air est susceptible d'être contaminé par de nouveaux composants, contribuant ainsi à sa pollution. Ces polluants comprennent principalement le monoxyde de carbone (CO), les particules fines, les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂), l'ozone (O₃), les composés organiques volatils (COV) et les métaux lourds (2). La pollution d'air représente un problème de santé publique engendrant des coûts des dépenses importantes avec des chiffres significatifs de morbi-mortalité (3). En 2017 la commission de pollution et santé du journal The Lancet a retrouvé que 9 millions de décès annuels ont été attribués aux événements de pollution atmosphérique (4). L'imputabilité de cette pollution a été bien établie dans la survenue et l'aggravation de divers pathologies médicales notamment les maladies respiratoires telles que l'asthme et le BPCO et le cancer bronchique, ainsi que les maladies coronaires, le diabète type 2 et les accidents néonataux (3).

Le secteur de transport est le deuxième secteur contribuant à la pollution atmosphérique (5,6). Dans les milieux urbains les véhicules à moteur à combustion influencent largement la qualité de l'air par leurs émissions gazeuses qualifiées de nocives à l'environnement et à la santé humaine incriminées dans de nombreux états pathologiques (7).

Face à la pollution de l'air d'origine véhiculaire, des progrès réglementaires ont été réalisés grâce à des normes telles que les normes EURO en Europe, l'EPA (Environmental Protection Agency) aux États-Unis, l'ISO (Organisation internationale de normalisation) et d'autres. Ces normes ont été mises en place pour contrôler et limiter l'expansion de ce phénomène en imposant des limites strictes sur les émissions de polluants provenant des véhicules automobiles, notamment en ce qui concerne les émissions de CO₂, de CO, de NO_x, de particules fines et d'autres composés nocifs. Ces réglementations visent à réduire l'impact négatif de la pollution de l'air sur la santé publique et sur l'environnement dans son ensemble.

D'autre part, les dispositifs anti-pollution des voitures contribuent significativement à la réduction des taux de polluants émis. Citons entre autres, les pots catalyseurs qui avec des réactions chimiques de réduction/oxydation contribuent à la réduction de l'émission des polluants du gaz d'échappement et favorisent une combustion uniforme. Les catalyseurs composés de métaux rares tels que le chrome, le platine, le palladium, et le rhodium ont un coût important (8). Ainsi qu'une durée de vie limitée ce qui rend leur maintenance et remplacement aussi délicat.

L'image mondiale de l'industrie automobile a été entachée par de nombreux scandales, impliquant des constructeurs renommés qui ont développé des logiciels pour manipuler les émissions de gaz des véhicules afin de les rendre conformes aux normes réglementaires. Ces pratiques frauduleuses, mises en lumière dans des affaires telles que le Dieselgate, ont mis en évidence des violations graves des normes environnementales et ont terni la réputation de l'industrie automobile. Ces scandales ont suscité des enquêtes approfondies, des amendes importantes et ont incité à une réévaluation des procédures de certification et de surveillance des émissions des véhicules à l'échelle mondiale. Effectivement, le scandale le plus récent et le plus médiatisé est celui du Dieselgate, survenu en 2015. Ce scandale a impliqué plusieurs

grands constructeurs automobiles, notamment le groupe Volkswagen, qui ont été accusés d'avoir manipulé les logiciels de contrôle des émissions de leurs véhicules diesel afin de tromper les tests d'émissions et de faire paraître leurs voitures plus respectueuses de l'environnement qu'elles ne l'étaient en réalité (9). Le Dieseldate a eu un impact majeur sur l'industrie automobile mondiale, entraînant des enquêtes approfondies, des amendes considérables et des répercussions importantes sur la réputation des entreprises impliquées.

II. Problématique

La pollution est de nos jours l'un des problèmes majeurs que rencontre l'humanité. Les chiffres de pollution atmosphérique ne cessent pas de proliférer et par conséquent ses complications deviennent de plus en plus graves. La pollution est universellement reconnue comme étant un problème de santé publique, avec une morbi-mortalité significative traduisant des coûts et des dépenses sanitaires rapidement croissants (3).

La contribution de la pollution atmosphérique dans la pathologie humaine a été largement étudiée, et maintenant on arrive à établir des liens cohérents avec des progrès physiopathologiques dans la compréhension de la pathologie d'origine environnementale.

De nombreuses études incriminent la pollution atmosphérique dans la survenue et l'aggravation de différentes maladies: Les individus souffrants de pathologies respiratoires chroniques, telles que la maladie pulmonaire obstructive chronique (BPCO) et l'asthme, présentent une vulnérabilité accrue aux conséquences préjudiciables des agents polluants présents dans l'atmosphère. La pollution de l'air peut entraîner une exacerbation aiguë de la BPCO ainsi que l'apparition de crises d'asthme, contribuant ainsi à accroître la morbi-mortalité liée aux affections respiratoires (10–12).

En Algérie, le secteur de transport représente environ un tiers de la consommation totale d'énergie, avec un sous-secteur du transport routier dominant, constituant 95% de cette part. Principalement alimenté par des combustibles fossiles tels que l'essence et le diesel, le transport routier est un contributeur majeur aux émissions polluantes (13,14). Ainsi, le coût réduit du carburant dans ce pays fait de sorte que le secteur de transport sera un secteur facilement accessible. Cependant, il s'agit d'un secteur vieux avec en 2019 des véhicules âgés de plus de 10 ans représentant plus de 75% de l'ensemble du parc automobile selon l'ONS. L'absence de données statistiques fiables obscurcit la situation, bien que des études limitées suggèrent des niveaux de pollution plus élevés que ce qui est généralement admis. De plus, il est largement observé sur le terrain en Algérie une pratique répandue de décatayage des véhicules, ce qui aggrave le problème de la pollution d'origine automobile mais sans possibilité d'apporter des chiffres concrets pour mesurer l'ampleur de ce phénomène.

En examinant la politique de contrôle technique en Algérie, il apparaît que les normes d'émissions gazeuses sont fixées par un décret datant de 2003 (15). Ce qui ne reflète pas les progrès réalisés dans la lutte mondiale contre la pollution, ces normes équivalentes aux normes EURO 3 ne comportent pas un protocole standardisé ce qui rend par conséquent leur application difficile et non performante (16). De plus, une négligence dans les tests de pollution dans plusieurs centres de contrôle a été constatée.

De ces faits, nous avons conduit cette étude pour fournir des données factuelles sur la pollution provenant des véhicules. Nous avons examiné la conformité des véhicules aux normes d'émission gazeuse dans un centre de contrôle dans la wilaya de Laghouat.

III. Objectifs

A. Objectif principal :

Estimer la prévalence des véhicules à moteurs à combustion non conformes aux normes d'émissions gazeuses au niveau d'un centre de contrôle à Laghouat.

B. Objectifs secondaires :

1. Identifier les facteurs associés avec les véhicules à moteurs à essence non conformes aux normes d'émissions gazeuses au niveau d'un centre de contrôle à Laghouat.
2. Identifier les facteurs associés avec les véhicules à moteurs à diesel non conformes aux normes d'émissions gazeuses au niveau d'un centre de contrôle à Laghouat.
3. Evaluer la conformité de la procédure d'examen des émissions gazeuses réalisées par les techniciens du centre de contrôle.

IV. Revue de la littérature

A. Principaux polluants atmosphériques

1. Particules fines :

a. Propriétés physico-chimiques :

Particules fines ou plus précisément les aérosols atmosphériques, ce sont une suspension de particules liquides ou solides dans l'air, dont le diamètre est de l'ordre de $10^{-9} - 10^{-4}$ m (17).

Les particules fines peuvent être classifiées selon différentes manières, les plus utilisées et les plus significatives en matière d'effet pathologique sont celles en fonction du diamètre aérodynamique et la capacité de pénétration pulmonaire. Il existe deux type de particules fines : (i) Avec un diamètre aérodynamique de $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) et (ii) Avec un diamètre aérodynamique de $2.5\mu\text{m}$ ($PM_{2.5}$) (17,18).

Kim et al. ont réalisé une revue de la littérature en 2015 comparant les propriétés physico-chimiques de base entre PM_{10} et $PM_{2.5}$ (18). Nous avons tentés de résumer leurs résultats dans le Tableau I.

Tableau I: Comparaison des propriétés de bases des PM10 et PM2.5

Propriétés	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Diamètre	Inférieur à $2.5\mu\text{m}$	Inférieur à $10\mu\text{m}$
Composition	Sulfate; Nitrate, Ammonium, H^+ , Carbone, Composé organiques, Métaux: Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn. Particules liées à l'eau.	Moisissures, Poussière de rues, Pollen, Charbon, Métaux oxydé : Si, Fe, Al, Mg, CaCo_3 , Ti, Sel marin. Resuspension à partir des sols perturbés.
Durée de vie	Jours – semaines	Minutes - heures
Distance de Projection(Km)	100 à 1000	1 - 10

Pb, Plomb. Cd, Cadmium. V, Vanadium. Ni, Nickel. Cu, Cuivre. Zn, Zinc. Si, Silicon. Fe, Fer. Al, Aluminium. Mg, Magnésium. CaCo_3 , Carbonate de calcium. Ti, Titanium.

b. Sources :

Les sources des aérosols sont multiples, elles peuvent être d'origine naturelle ou anthropogénique. Leur émission peut être direct (aérosols primaires) ou indirect par transformation du précurseur tels que le SO_2 , NO . (Aérosol secondaires) (19). Dans le Tableau II une liste non exhaustive des diverses sources des PM.

Tableau II: Les sources d'émission des particules fines. (17–21)

Sources anthropogéniques	Sources naturelles
Combustion du produit énergétique solides	Eruptions volcaniques
Eruptions volcaniques	Vents de sables
Les activités industrielles et agricoles	Vapeurs marines
Erosion des structures de voies publique	Incendies de forêts
Abrasion des plaques de frein et des pneumatiques des véhicules	Microorganismes, pollen...

c. Effets sur la santé :

Il est reconnu que la pénétration des particules fines dans l'organisme se fait par les voies respiratoires. La quantité et la profondeur de cette inhalation est fonction du mode de respiration et des conditions locales (Saison, météo, sources ...). Mais le facteur principal déterminant reste la taille des particules. Les particules dont la diamètre est inférieurs à 2.5 micromètres peuvent pénétré jusqu'aux alvéoles, alors que celles dont le diamètre est de 10 micromètres ne dépassent pas la partie naso-pharyngée (22).

L'exposition aux particules fines est incriminée dans de nombreuses pathologies, notamment des complications cardio-respiratoires. Les chapitres ci-dessous détaillent les conséquences les plus étudiés des particules fines sur l'organisme.

Effets respiratoires :

Différentes études ont traité l'impact des particules fine sur le système respiratoire en se basant sur la physiopathologie, les symptômes respiratoires, les médications utilisées, la fonction respiratoire, la mortalité...

Les particules fines vont engendrer au niveau pulmonaire des réactions oxydatives et inflammatoires. Les cellules épithéliale respiratoire exposé aux PM expriment des cytokines inflammatoires (23).

Il a été démontré que l'incidence et la sévérité des crises d'asthme et de BPCO, ainsi que le recours aux bronchodilatateur inhalés augmentent avec l'augmentation des taux atmosphériques des particules fines (24–26).

La petite taille des PM_{2.5} en fait les particules les plus incriminées dans la pathologie respiratoire et nottamment le développement du cancer du poumon. Dans une étude chinoise de Zhenyu Zhang et al, le risque relative du cancer du poumon a été estimé à 1.12 (95% CI 1.00 à 1.26) associé avec l'exposition à des taux progressifs de 10 µg/m³ aux PM_{2.5} sur 3 ans (27). La même exposition a été responsable chez Pope et al de d'augmenter la mortalité par cancer bronchique de 8% (28).

Effets cardio-vasculaires:

De nombreuse études démontrent les conséquences cardiovasculaires significatives des particules fines, et cela sur le court-terme et le long-terme. Il existe une relation entre l'exposition aux particules fines et le développement d'athérosclérose, cet effet est médié par les cytokines inflammatoires et la protéine réactive C (CRP). L'augmentation des IL-6 et CRP ont été associés avec le développement de l'infarctus du myocarde, cependant certaines études n'ont pas retrouvées de liaison significative entre les PM et les marqueurs d'inflammation. L'exposition aux particules fine a été également incriminée d'être un facteur thrombogène. A long terme l'exposition chronique aux PM augmente la mortalité cardio-pulmonaire, le risque d'accidents cardio-vasculaires et le risque d'insuffisances cardiaques et des arythmies (23).

A court terme l'exposition aux PM est associée à une augmentation d'admission aux urgences pour des cardiopathies ischémiques et pour décompensation d'insuffisance cardiaque (29).

Effets sur et la grossesse :

L'exposition aux PM durant la grossesse est associée à un risque de complications gravidiques telles que l'avortement, ainsi qu'un faible poids de naissance et la prématurité (30).

Dans Tableau III on résume les effets saillants cardio-pulmonaires attribués à l'exposition aux PM.

Tableau III: Revue de littérature sur les effets des PM sur l'appareil respiratoire et cardiovasculaire.

Auteur	Effets sur la santé décrit
Effets sur l'appareil respiratoire.	
Anderson (23)	<ul style="list-style-type: none">▪ Réactions inflammations et oxydatives.▪ Cellules épithéliales pulmonaires exposées aux PM ont une expression accrue de cytokines inflammatoires.
Rabinovitch (24) McConnell (25) Desqueyroux (26)	<ul style="list-style-type: none">▪ L'augmentation des taux atmosphériques de PM, est associée à la recrudescence et la sévérité des exacerbations de BPCO et d'asthme, ainsi que le recours aux bronchodilatateurs inhalés.
Zhenyu Zhang(27) Pope (28)	<ul style="list-style-type: none">▪ L'augmentation du risque de développement du cancer bronchique.▪ Augmentation de la mortalité par cancer bronchique de 8%.
Effets sur l'appareil cardiovasculaire	
Morris (29)	<ul style="list-style-type: none">▪ L'exposition aux PM a été associée à court-terme à une augmentation des admissions aux urgences des maladies coronaires, et des décompensations d'insuffisance cardiaque.
Anderson (23)	<ul style="list-style-type: none">▪ L'exposition aux PM est un facteur d'athérosclérose▪ L'exposition aux PM est un facteur thrombogène▪ L'exposition aux PM est associée à l'augmentation des taux d'IL6 et de CRP, qui sont incriminés dans la survenue d'infarctus de myocarde.▪ Augmentation à long-terme du risque cardiovasculaire, et de l'incidence des arrhythmies.

2. Sulfure dioxyde (SO₂) :

a. *Propriétés physico-chimique :*

C'est un gaz incolore avec une grande hygroscopie et une odeur suffocante, sa température d'ébullition est de -10°C, plus lourd que l'air, très toxique si inhalé et irritant des muqueuses (31).

La forme chimique avec l'impact significatif sur la pathologie n'est pas encore déterminée, les produits contenant du sulfure qui ont été incriminés sont : SO₂, Acide sulfurique, Sulfate inorganique (32).

b. *Sources :*

La majeure partie du SO₂ atmosphérique vient de la combustion des combustibles fossile, et les activités industrielle, minoritairement des sources naturelle telles que les éruptions

volcanique, ainsi que les locomotives, les équipements qui utilisent des combustibles riches en soufre.

c. Effets sur la santé :

Plusieurs études ont démontré l'association entre les taux élevés de SO₂ dans l'atmosphère et la mortalité.

Effets sur le système respiratoire :

Le SO₂ est bien reconnu d'être responsable d'irritation bronchique et de bronchoconstriction, de ce fait il est incriminé dans les exacerbations d'asthme et de BPCO (33).

Une étude a comparé la réponse bronchique d'une exposition croissante au SO₂ chez des athlètes asthmatiques et a retrouvé que le degré de réactivité bronchique est proportionnel aux concentrations du SO₂ (34). Ce mécanisme est dû au fait que le SO₂ subit une conversion en bisulfite et entre en interaction avec les récepteurs sensitifs bronchiques (22).

Une étude a démontré une association entre les taux de SO₂ et l'augmentation des admissions en urgence pour des exacerbations d'asthme avec une augmentation de 1% avec chaque augmentation de 10 µg/m³ de SO₂ (35).

Le SO₂ peut subir une transformation en acide sulfurique et conduit vers les voies aériennes distales et altère les fonctions pulmonaires chez l'enfant (36).

Effets sur le système cardio-vasculaire :

Il a été observé que l'exposition au SO₂ contribue à la décompensation des affections cardiaques préexistantes (37).

Une étude suggère que les taux urbains atmosphériques de SO₂ peuvent jouer un rôle indépendant dans le déclenchement des accidents ischémiques cardiaques (38).

Dans une étude une association entre l'augmentation de fréquence cardiaque et l'exposition au SO₂ (200 ppb pour une heure) (39).

Effets cutanés et muqueux :

Les composés sulfurés sont des agents irritants, responsables de lésions cutanées (érythèmes, brûlures) et des muqueuses notamment de la muqueuse oculaire (22).

3. Ozone

a. Propriétés physiques

À température ambiante et pression atmosphérique, l'ozone est un gaz incolore ou bleu lorsqu'il est observé à une épaisseur suffisante. Son odeur piquante caractéristique est détectable à des concentrations de 0,01 ppm, mais avec une adaptation rapide. (40)

L'ozone est légèrement soluble dans l'eau (49,4 cm³ /100 cm³ d'eau à 0 °C et 101 kPa ; la solubilité diminue avec l'augmentation de la température) et avec certains solvants organiques, en particulier l'acétate d'éthyle et les chlorofluorocarbures. (40)

Tableau IV: les propriétés physiques de l'ozone

Nom Substance	Détails	
Ozone	N° CAS	10028-15-6
	Etat Physique	Gaz
	Masse molaire	48
	Point de fusion	- 192 °C
	Point d'ébullition	- 111,9 °C
	Densité gaz / vapeur	1,66 à 25 °C 2,144 à 20°C
	Point critique	- 12,1 °C à 5 460 kPa

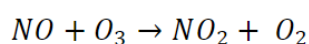
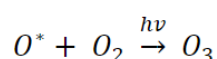
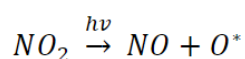
b. Propriétés chimiques:

L'ozone est un gaz très instable qui se décompose rapidement en oxygène, sa décomposition est influencée par la température, l'humidité, la présence de catalyseurs et le contact avec des surfaces solides. À l'état liquide ou solide, l'ozone est extrêmement instable et peut exploser facilement. Il agit comme un puissant agent d'oxydation et peut réagir violemment avec de nombreux composés minéraux ou organiques. L'ozone n'a pas d'effet sur les métaux courants, mais il peut oxyder les métaux en présence d'humidité, à l'exception de l'or, du platine, de l'acier inoxydable et de l'aluminium, qui y résistent assez bien.(41)

Certains matériaux synthétiques, comme le Téflon, le Viton et l'Hypalon, résistent à l'ozone, contrairement à la plupart des élastomères et autres matériaux synthétiques.(41)

c. Sources:

L'ozone est naturellement présent dans l'atmosphère, Il s'agit d'un important polluant secondaire qui résulte de la réaction photochimique de différentes espèces les réactions suivants expliquent comment l'ozone se forme à partir du dioxyde d'azote :



Les réactions expliquent pourquoi l'ozone est présent en concentration limitée près des sources directes de NO, car il est consommé dans une réaction avec le NO pour former du NO2 et de l'O2. Ces réactions expliquent également les concentrations élevées de NO2 en zones urbaines (en raison de la proximité des sources d'émissions directes de NO), tandis que l'ozone est principalement présent en zone rurale (en raison de la faible quantité de NO). (41)

On doit distinguer deux types d'ozone :

L'ozone stratosphérique, également connu sous le nom de "bon ozone", se trouve à une altitude de 15 à 20 km dans la stratosphère terrestre. Il absorbe une grande partie du rayonnement solaire et est essentiel pour les organismes vivants.

Le mauvais ozone, ou l'ozone troposphérique, se trouve à la surface de notre planète. (41)

Les concentrations normales de l'ozone varient saisonnièrement entre 0,005 et 0,05 ppm au niveau du sol. Ces concentrations peuvent augmenter en raison de la pollution et de l'altitude. L'ozone peut également être produit artificiellement par des générateurs utilisant des rayonnements ultraviolets ou des décharges à haute tension.

L'ozone peut se former par transformation de l'oxygène de l'air sous l'influence d'un rayonnement ultraviolet ou laser, d'une haute tension électrique, de décharges électrostatiques ou de réactions chimiques.

Le soudage à l'arc avec gaz inerte, l'utilisation d'appareils à rayonnement UV, l'utilisation d'équipements électriques à haute tension, les opérations utilisant des radiations laser

d. Effets sur la santé

L'ozone peut causer des dommages irritants aux muqueuses respiratoires et oculaires. Il peut également avoir des effets rares sur les reins et le système nerveux. On ne dispose pas de données concluantes concernant son potentiel cancérigène ou ses effets sur la reproduction. La toxicité de l'ozone dépend de plusieurs facteurs tels que la concentration, la température, l'humidité, la durée d'exposition, l'activité physique et la susceptibilité individuelle. Les voies respiratoires sont les plus touchées, mais d'autres organes peuvent également être affectés, bien que de manière moins évidente.

Toxicité aiguë :

Atteintes respiratoires

Les symptômes varient en fonction de la concentration d'exposition. Ils peuvent aller d'une simple perte transitoire de l'odorat (à partir de 0,01 ppm) à des lésions pulmonaires graves, telles qu'un œdème pulmonaire aigu à une concentration de 9 ppm. Les symptômes courants comprennent une irritation des voies respiratoires, une sécheresse buccale, une toux, une production excessive de mucus, une difficulté respiratoire, une douleur thoracique et des anomalies du rythme respiratoire. Les tests spirométriques révèlent généralement une obstruction des voies respiratoires, avec une réduction de la capacité vitale et parfois une altération de la capacité de transfert du CO. Ces anomalies dépendent de la concentration et de la durée de l'exposition. Des études ont montré que des expositions de plus de 6 heures à une concentration supérieure à 0,4 mg/m peuvent entraîner des altérations des fonctions respiratoires, qui sont le plus souvent réversibles.(42)

Atteintes oculaires

Des problèmes de vision, tels qu'une diminution de l'acuité visuelle nocturne et de l'adaptation à la lumière, une augmentation de la vision périphérique et des changements dans les mouvements oculaires, ont été observés pour des concentrations de 0,2 à 0,5 ppm, accompagnés d'une irritation oculaire.(43)

Atteintes rénales :

La néphrite aiguë présente des symptômes tels que la présence de protéines, de globules rouges et de globules blancs dans l'urine.(44)

Atteintes neurologiques :

Les effets après une exposition à des concentrations de 1 ppm à 2 ppm peuvent inclure des symptômes subjectifs tels que des céphalées, des vertiges, une asthénie et une altération du goût, ainsi que des symptômes objectifs tels que des troubles de la coordination des mouvements, des troubles de la parole et une baisse de la vigilance.(43)

Toxicité chronique :

Les effets à long terme de l'ozone sur la santé humaine sont mal compris et peuvent être confondus avec d'autres expositions. Des études ont montré un phénomène de "tolérance" résultant de réactions de reconstruction après une exposition répétée, mais cela ne confère pas de protection à long terme. On soupçonne que ce phénomène est responsable des effets chroniques, notamment respiratoires.

Les effets pulmonaires se divisent en trois catégories :

Les bronchopathies, l'emphysème lié à la fibrose caractérisée par une atrophie des parois alvéolaires la fibrose, qui résulte de l'inflammation.

Des expositions répétées à de faibles concentrations d'ozone (0,04 ppm) peuvent entraîner des symptômes asthmatiformes, tandis que des expositions prolongées à des concentrations plus élevées e 0,25 à 0,4 ppm peuvent causer des maux de tête, une faiblesse musculaire, une excitabilité accrue et des problèmes de mémoire.(45)

4. Dioxyde d'azote:

a. *Propriétés physico-chimique :*

Dioxyde d'azote est une molécule formée de deux atomes d'oxygène et un atome d'azote, avec une liaison simple et un double entre eux. Cette configuration génère une instabilité structurelle, à mi-chemin entre les deux représentations possibles. C'est ce qu'on appelle la mésomérie (Concept en chimie organique qui décrit la distribution des électrons dans les molécules, en particulier dans les systèmes à liaisons multiples (doubles ou triples), où les liaisons simples et doubles (ou triples) peuvent être délocalisées dans toute la molécule. Il en résulte de nombreuses structures de résonance possibles pour une molécule donnée).(46)

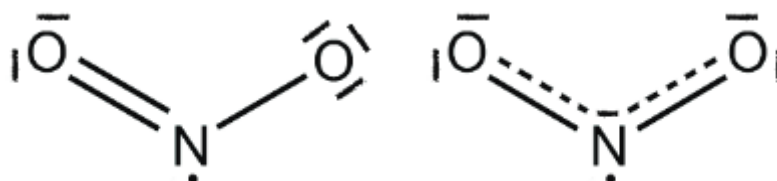


Figure I : Représentation de Lewis des formes mésomères de la molécule de dioxyde d'azote

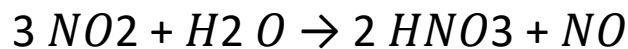
Les concentrations de NO₂ et de NO ont diminué d'environ 25% dans les agglomérations grâce aux améliorations technologiques des véhicules. Cependant, l'augmentation actuelle de ces polluants en milieu urbain est due à l'intensification du trafic routier aux heures de pointe, ce qui explique les niveaux plus élevés en milieu urbain par rapport aux zones rurales.(46)

b. Sources :

Parmi toutes les molécules gazeuses présentes dans l'atmosphère, le dioxyde d'azote est un polluant brun rougeâtre caractérisé par une odeur spéciale il est difficile à contrôler qui se forme dans l'air à partir du monoxyde d'azote (NO) qui se résulte essentiellement lors de la combustion de carburants fossiles (trafic routier, chauffage individuel, industrie), la réaction d'oxydation du NO est la suivante (46):



Le dioxyde d'azote réagit avec l'eau pour former de l'acide nitrique, contribuant ainsi à la formation de pluies acides, Cette réaction peut être décrite par l'équation suivante(46) :



c. Effets sur la santé :

Effets sur le système respiratoire :

Altération de la fonction pulmonaire peuvent causer retard développement chez l'enfant et diminution chez l'adulte, en particulier chez les femmes exposées(47), Le dioxyde d'azote a été associé à une augmentation des infections respiratoires aiguës pour une exposition supérieure à la valeur médiane et des symptômes respiratoires pour une augmentation de 28 µg/m³.(48)

5. Monoxyde de carbone (CO) :

a. Propriétés physico-chimique

La structure chimique du monoxyde de carbone (CO) est représentée par l'atome de carbone (C) relié à l'atome d'oxygène (O) par une liaison triple.

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz toxique, invisible, inodore, insidieux et insipide, qui est plus léger que l'air (49). Il est produit par la combustion incomplète des hydrocarbures(49).

b. Sources

Les principales sources de ce gaz comprennent les véhicules à moteur à combustion et d'autres appareils de combustion tels que les unités de chauffage, où la combustion partielle des huiles, du charbon, du bois, du kérosène et d'autres combustibles génère irrégulièrement du CO (50). Des problèmes de pression, de cheminée défectueuse ou d'équipement peuvent entraîner un reflux de ce gaz toxique, que ce soit dans les environnements résidentiels, professionnels ou institutionnels (51,52).

c. Effets sur la santé

L'absorption du monoxyde de carbone (CO) se fait exclusivement par voie pulmonaire (50). Il se diffuse de manière extrêmement rapide à travers la barrière alvéo-capillaire (50). Le CO se lie à différentes protéines héminiques, dont principalement l'hémoglobine à hauteur de 85%, ainsi que la myoglobine à hauteur de 15%. Il se lie également à d'autres enzymes telles que les oxydases à fonctions mixtes (comme le cytochrome P-450) qui inhibent le transport des

électrons. Il se lie pareillement à l'enzyme du cytochrome oxydase(50). L'ensemble de ces phénomènes est à l'origine d'une perturbation de la respiration intracellulaire.

Le CO présente une affinité 200 à 300 fois plus élevée pour l'hémoglobine que l'oxygène. Il déplace l'oxygène de sa combinaison avec hémoglobine, formant ainsi un composé relativement stable appelé carboxyhémoglobine (COHb) (50,53). Cette liaison réduit la capacité du sang à transporter l'oxygène, entraînant ainsi une diminution de l'apport en oxygène des tissus. La liaison du monoxyde de carbone à la molécule d'hémoglobine réduit directement la capacité du sang à transporter l'oxygène, et la présence de carboxyhémoglobine altère les caractéristiques de dissociation de l'oxyhémoglobine restante (HbO₂), ce qui entraîne une disponibilité réduite d'oxygène pour les tissus. Les symptômes toxiques de l'inhalation de CO semblent être dus à la combinaison du CO et de l'Hb. Le CO agit comme un puissant agent asphyxiant chimique, pouvant entraîner la mort par anoxie.

Environ 10 à 15% du monoxyde de carbone se trouve dans le milieu extravasculaire et se lie à des molécules telles que la myoglobine, présente principalement dans le myocarde et les muscles squelettiques(50,53). L'affinité du CO pour la myoglobine est d'environ 40 fois supérieure à celle de l'oxygène, ce qui peut entraîner une dépression myocardique directe(54,55). Le CO se lie également aux cytochromes et à la NADPH réductase, provoquant ainsi une altération de la phosphorylation oxydative au niveau mitochondrial. La demi-vie du CO lié à ces molécules est plus longue que celle du COHb (50,53). L'importance de ces effets non liés à l'hémoglobine a été mieux documentée dans le cœur, où le dysfonctionnement mitochondrial dû au CO peut entraîner une insuffisance cardiaque malgré un apport adéquat en oxygène(54,55).

En raison de leur métabolisme élevé, le cerveau et le cœur sont particulièrement sensibles à la toxicité du monoxyde de carbone (51,52). Les symptômes d'intoxication au CO sont souvent non spécifiques et peuvent imiter divers troubles courants (51,52). La gravité varie, allant d'un léger syndrome grippal à un coma et à la mort. Environ 50% des personnes exposées peuvent présenter de la fatigue, des nausées et de la confusion(51,52) . Moins fréquemment, des douleurs abdominales, une vision floue, des douleurs thoraciques et une perte de conscience peuvent survenir(51,52) . Une tachycardie et une tachypnée se développent en réponse à l'hypoxie cellulaire, tandis que le débit cardiaque augmente initialement. Les réactions à l'hypoxie cellulaire varient en fonction de l'état de santé préexistant des individus ; ceux ayant des affections pulmonaires ou cardiaques sous-jacentes auront une faible tolérance à même une légère hypoxie (51,52). L'hypoxie entraîne une augmentation de la pression intracrânienne et de l'œdème cérébral, ce qui contribue en partie à la diminution du niveau de conscience, aux convulsions et au coma (51,52). Les décolorations cutanées classiques de couleur rouge cerise et la cyanose sont rarement observées (51,52).

Cependant l'exposition au CO la plus courante se fait par exposition atmosphérique avec des doses plus basses.

Tableau V Classe les différentes symptomatologies aiguës secondaires au CO en fonction du degré d'exposition. Il est important de noter que ces pourcentages sont donnés à titre indicatif

et que les symptômes peuvent varier d'une personne à l'autre en fonction de divers facteurs individuels tels que la durée de l'exposition, la santé générale, l'âge...

Tableau V: Symptomatologies cliniques en fonction du Degré de COHb

Degré de COHb	Symptomatologies
0-10% COHb	Généralement asymptomatique chez les personnes en bonne santé.
10-20% COHb	Légers maux de tête, fatigue, léthargie, légers troubles de la concentration.
20-30% COHb	Maux de tête plus intenses, sensation de fatigue accrue, essoufflement à l'effort, irritabilité.
30-40% COHb	Maux de tête sévères, confusion, nausées, vomissements, vertiges, faiblesse musculaire.
40-50% COHb	Confusion prononcée, vision floue, syncope (perte de connaissance), augmentation de la fréquence cardiaque, risque accru de problèmes cardiaques chez les personnes atteintes de maladies cardiaques préexistantes.
50-60% COHb	Risque élevé de coma, convulsions, arrêt cardiaque, détresse respiratoire.
Au-dessus de 60% COHb	Risque élevé de décès.

Les patients atteints de cardiopathie sous-jacente sont exposés à un risque accru de décès en raison d'arythmies et de syndrome coronarien aigu (52,56). Cependant, il est important de noter que la douleur thoracique, en tant que symptôme d'ischémie myocardique, peut survenir même en l'absence de maladie coronarienne sous-jacente, en raison de la capacité du myocarde à se lier davantage au monoxyde de carbone par rapport au muscle squelettique(52,56). Ce phénomène a été étudié par l'équipe de Henz et al. lors d'une étude portant sur un groupe de soldats suisses exposés accidentellement au CO, 34% des sujets ont présenté des douleurs thoraciques deux semaines après l'exposition (57).

Un syndrome neuropsychiatrique retardé peut survenir chez les patients de 3 jours à environ 240 jours après une exposition aiguë au monoxyde de carbone(58,59). Même les victimes qui ne présentent pas immédiatement de symptômes neurologiques ou psychiatriques peuvent développer des caractéristiques de déficience retardée(58,59). Parmi les complications étudiées il existe des changements subtils tels que des altérations de la personnalité ou des déficits cognitifs, jusqu'à des cas plus sérieux de démence, de psychose, de parkinsonisme, d'incontinence ou d'autres affection (58,59).

Le monoxyde de carbone traverse facilement la barrière placentaire et se lie à l'hémoglobine fœtale. Il est important de noter que l'hémoglobine fœtale a une affinité plus élevée pour le CO par rapport à l'hémoglobine maternelle(60). Cependant, les conséquences de cette exposition sur le fœtus ne sont pas directement corrélées à la sévérité observée chez la mère. Les conséquences pour le fœtus peuvent varier et nécessitent une évaluation et une prise en charge appropriées (60).

6. Les composants organiques volatiles :

a. *Propriétés physico-chimiques*

Les composés organiques volatils (COV), sont des composés organiques réactifs photochimiques et qui ont la particularité de s'évaporer facilement dans l'atmosphère terrestre en raison de leur haute pression de vapeur ; c'est-à-dire la capacité d'une substance à s'évaporer rapidement sous forme de vapeur dans l'atmosphère à une température donnée ; cette catégorie de composés englobe un large éventail de substances, parmi lesquelles on retrouve les carbonyles, les acides organiques, les alcools, les alcanes, les alcènes, les aldéhydes, les esters, et bien d'autres. (61)

En outre, parmi les COV, on retrouve également les hydrocarbures aromatiques et les hydrocarbures cétones. Les hydrocarbures aromatiques désignent des composés organiques qui présentent un cycle d'atomes de carbone liés de manière particulière, à l'exemple du benzène. D'autre part, les hydrocarbures cétones constituent une classe de composés organiques caractérisés par la présence d'un groupe carbonyle (C=O) lié à deux autres groupes carbonés, souvent sous la forme d'une chaîne carbonée.(61)

Les Composés Organiques Volatils (COV) jouent un rôle crucial dans la chimie atmosphérique car ils agissent en tant que précurseurs puissants de l'ozone (O₃) (32). Ils fournissent également des radicaux OH essentiels dans l'air ambiant, ce qui favorise la formation d'ozone troposphérique; ozone de basse altitude. En outre, des COV ont été identifiés comme étant impliqués dans la formation de substances photochimiques, telles que le smog, l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, et la création d'acides organiques. Ces derniers contribuent à l'acidification de l'environnement en abaissant le pH de l'eau de pluie.(62,63)

b. *Sources d'émission des COV*

COV présents dans l'atmosphère proviennent à la fois de sources biogéniques et anthropogènes.

Les composés organiques volatils biogéniques (COVB) sont synthétisés par différentes parties des plantes, notamment les feuilles et les fleurs(64). Ces COVB, émis sous forme d'odeurs florales et fruitées, jouent un rôle crucial dans la reproduction des plantes en attirant respectivement les pollinisateurs et les vecteurs de dispersion des graines (64). Ces composés peuvent être produits de manière régulée ou en tant que sous-produits du processus de photosynthèse, et ils sont temporairement stockés dans les tissus végétaux.(64)

Les émissions mondiales de Composés Organiques Volatils (COV) urbains sont principalement anthropiques. Les principales sources de ces COV urbains sont les gaz d'échappement des véhicules, l'évaporation de l'essence, l'utilisation de solvants, le raffinage du pétrole, le

nettoyage à sec, les déchets solides municipaux, la biodégradation des déchets dans les sites d'enfouissement et les activités industrielles à proximité. Il est important de noter que la composition des COV, notamment le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène (BTEX), a été observée comme étant plus élevée dans les zones suburbaines en raison de la combustion des carburants fossiles et des émissions de déchets. D'autre part, dans les grandes villes (zones fortement urbanisées), les émissions de COV sont principalement dues aux sources mobiles telles que les véhicules en circulation.(65)

La variabilité et l'hétérogénéité des composés organiques volatils (COV) résultant des émissions post-combustion sont significatives (64,66,67). Les COV agissent en tant que précurseurs dans la formation de l'ozone dans l'air ambiant lorsqu'ils sont présents en conjonction avec des oxydes d'azote et exposés à la lumière du soleil(67). L'ozone est un oxydant hautement réactif qui peut être nocif pour la santé humaine et peut également réduire le rendement des cultures.(68)

En conséquence, les COV jouent un rôle crucial dans la qualité de l'air, non seulement en raison de leur impact direct sur l'environnement, mais également en raison de leur contribution à la formation d'autres polluants dans la troposphère, tels que l'ozone.

L'évaluation de la contribution relative des composés organiques volatils (COV) à la formation d'ozone peut être accomplie en calculant leur potentiel de formation d'ozone. Cette analyse peut être effectuée en utilisant deux échelles distinctes : la réactivité et le potentiel photochimique de création d'ozone (68). Ces méthodes permettent d'approfondir la compréhension de l'impact des COV sur la formation d'ozone et de mettre en place des mesures pour réguler leurs émissions, ainsi que pour préserver la qualité de l'air.

Les COV pertinents dans l'appauvrissement de l'ozone (O₃) dans la stratosphère sont les gaz halogénés, qui sont des composés carbonés contenant des halogènes tels que le fluor, le chlore, le brome et l'iode(68). Ces gaz halogénés sont principalement émis par des activités humaines, notamment les émissions industrielles (par exemple, réfrigérants, solvants de nettoyage, agents d'expansion pour la mousse plastique), mais aussi par des sources naturelles telles que les écosystèmes océaniques et terrestres(62).

Après leur émission, ces gaz halogénés peuvent s'accumuler dans la troposphère en fonction de leur durée de vie(68). Par la suite, ils sont transportés dans la stratosphère par les mouvements atmosphériques naturels(68). Dans la stratosphère, ces gaz halogénés ne réagissent pas directement avec l'ozone, mais se dissocient sous l'effet de la photolyse (exposés aux courtes ondes solaires) (68). Cette dissociation libère des quantités importantes d'halogènes stables. (68)

Ces halogènes stables participent alors à des réactions chimiques en chaîne qui détruisent des milliers de molécules d'ozone, contribuant ainsi à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique(64,66,67). Ces processus continuent jusqu'à ce que ces halogènes stables soient finalement éliminés de la stratosphère(64,66,67). Ces réactions ont un impact significatif sur la couche d'ozone et soulèvent des préoccupations majeures concernant l'environnement et la santé humaine(35,37).

c. Effets sur la santé des COV

Les caractéristiques de volatilité des COV leur permettent de pénétrer dans l'organisme par inhalation, contact cutané et ingestion, par ordre d'importance(69). Des études toxicocinétiques ont montré qu'ils se distribuent dans les tissus riches en lipides, tels que le cerveau, la moelle osseuse et la graisse corporelle. Les enfants et les personnes âgées sont considérés comme des groupes vulnérables en raison de leur taux métabolique plus élevé (chez les enfants) et de la faiblesse de leur système immunitaire.(69)

Les COV se distinguent par leurs hétérogénéités chimiques et par la variabilité très importante de leurs effets sur la santé.

Les composés carbonyliques, en tant que polluants atmosphériques toxiques, ont des effets néfastes sur la santé, même à faible concentration, en affectant différents organes cibles tels que le système nerveux central, le système respiratoire, le foie, les reins et le système reproducteur(70). Par exemple, le benzène peut être absorbé par divers tissus tels que ceux du cerveau, des cellules de la moelle osseuse, ainsi que des tissus contenant des quantités élevées de lipides, entraînant aussi des effets mutagènes(71,72).

Une exposition prolongée au benzène peut entraîner des effets néfastes sur la santé, notamment des troubles neurologiques, immunologiques, endocriniens et sanguins tels que l'aplasie médullaire et la leucémie myéloïde(41). En raison de ses effets cancérigènes avérés sur la santé humaine, le benzène est classé dans le « groupe 1, cancérogène pour les humains » par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC)(73). En conséquence, le benzène est l'une des substances les plus réglementées dans le monde, avec des normes strictes visant à minimiser l'exposition à cette substance dangereuse (74).

Après ingestion, le toluène est rapidement absorbé par l'appareil gastro-intestinal, les tissus adipeux, les reins, le foie et le cerveau (75). Les principaux effets du toluène se concentrent principalement sur le cerveau et le système nerveux central. En plus de sa neurotoxicité, le toluène a été associé à une dyschromatopsie (75).

L'éthylbenzène est également rapidement absorbé par le tube digestif chez l'homme. À des doses élevées de 400 mg par kg de poids corporel par jour, l'éthylbenzène a provoqué une hépatomégalie (70). Des concentrations élevées d'éthylbenzène dans l'air peuvent provoquer une irritation des yeux et des voies respiratoires (70). Une exposition à de faibles concentrations d'éthylbenzène pendant plusieurs jours ou semaines peut entraîner une hypoacousie permanente par son effet ototoxique (70).

V. Matériel et méthode

A. Type d'étude

Il s'agit d'une étude observationnelle transversale prospective qui a été menée au niveau d'un centre de contrôle de Laghouat, sur une période de 3 mois allant du 01/11/2023 jusqu'à 31/01/2024.

B. Population d'étude

Notre étude a concerné l'ensemble des véhicules se présentant au centre de contrôle de Laghouat concerné par notre étude durant la période de collecte. Cette collecte des données a été réalisée pendant 10 journées sélectionnées de manière aléatoire.

C. Critères de jugement

1. Critères de jugements principal

Calculer la proportion des véhicules non conforme à la norme ISO 3929 au niveau d'un centre de contrôle à Laghouat.

2. Critères de jugements secondaires

Comparer la distribution des facteurs associés avec les véhicules à moteurs à essence non conformes aux normes d'émissions gazeuses au niveau d'un centre de contrôle à Laghouat.

Comparer la distribution des facteurs associés avec les véhicules à moteurs à diesel non conformes aux normes d'émissions gazeuses au niveau d'un centre de contrôle à Laghouat.

Décrire la distribution des effectifs selon le niveau de conformité de la méthodologie employée par les techniciens du centre de contrôle pour l'examen des émissions gazeuses, en utilisant une échelle Likert à trois points (Procédure correcte, Procédure douteuse, Procédure incorrecte).

D. Variables étudiées

1. Variables générales liées au véhicule

MARQUE : Variable ouverte correspondant à la marque commercial du véhicule tel que rapporté sur la carte grise officielle du véhicule

ENERGIE : Variable fermée à trois choix (essence, diesel, essence et GPL) tel que rapporté sur la carte grise officielle du véhicule

PUISSANCE : Variable ouverte continue correspond à la puissance fiscale tel que rapporté sur la carte grise officielle du véhicule. Cette unité est calculée en fonction de la puissance mécanique du moteur et des émissions polluantes d'une voiture (77)

ANNEE : Année de première mise en circulation du véhicule tel que rapporté sur la carte grise officielle du véhicule

KILOMTRAGE : Distance totale parcourue par le véhicule en kilomètres tel qu'affiché sur l'odomètre du tableau de bord du véhicule

TURBO : variable fermée retenue si le technicien du centre de control saisi sur le logiciel

2. Variables liées aux véhicules essence :

CO % : Variable ouverte continue saisie avec deux décimales tel que rapportée par le logiciel de l'appareil d'analyse ACTIGOXP. Le pourcentage volumique de monoxyde de carbone (CO) représente la concentration de monoxyde de carbone dans un mélange gazeux, exprimé en pourcentage de volume émis par les gaz d'échappement mesuré par l'appareil d'analyse

$$Pv(A) = \frac{V(A) \times 100}{V_{tot}}$$

HC ppm : Variable ouverte continue saisie avec deux décimales tel que rapportée par le logiciel de l'appareil d'analyse ACTIGOXP. Cette variable correspond a la concentration des hydrocarbures exprimés en parties par million mesurée par l'appareil au niveau des gaz émis par les véhicules essences

CO2 % : Variable ouverte continue saisie avec une seule décimale tel que rapportée par le logiciel de l'appareil d'analyse ACTIGOXP. Elle correspond au pourcentage volumique de dioxyde de carbone émis par les gaz d'échappement mesuré par l'appareil au niveau des gaz émis par les véhicules essences

RESULTAT ESSENCE : variable fermée à deux choix (conforme et non conforme) tel que rapporté sur l'appareil ACTIGOXP

3. Variables liées aux véhicules diesel :

OPACITE % variable ouverte, Détecter et mesurer le pourcentage de lumière absorbée par la fumée émanant des moteurs diesel

OPACITE m -1 variable ouverte, la quantité de lumière absorbée par la fumée émanant des moteurs diesel

RESULTAT : variable fermée à deux choix (acceptable et non acceptable) tel que rapporté sur l'appareil ACTIGOXP

4. Variables liées à l'analyse par TC-700 :

CO2 ppm : variable ouverte, la quantité de CO2 détectée par l'appareil TC-700

TVOC mg/m3 : variable ouverte, la quantité de TVOC détectée par l'appareil TC-700

HCHO mg/m3 : variable ouverte, la quantité de HCHO détectée par l'appareil TC-700

PM2.5 µg/m3 : variable ouverte, la quantité de PM2.5 détectée par l'appareil TC-700

PM10 µg/m3 : variable ouverte, la quantité de PM10 détectée par l'appareil TC-700

E. Déroulement de l'examen

Interférence sonde : Interférence humaine sur la sonde d'examen

Altération des données : Altération des données saisies sur le logiciel ACTIGOXP

Rotation moteur insuffisante : Non-respect des consignes de rotation du moteur par minute lors de l'examen du véhicule

Conformité de l'examen : variable fermée, précisant le degré de conformité de la méthodologie employée par les techniciens du centre de contrôle pour l'examen des émissions gazeuses, en utilisant une échelle Likert à trois points (Correct, Douteux, Incorrect). Cette évaluation est réalisée par l'investigateur présent sur les lieux en se référant aux techniques d'utilisation de l'appareil ACTIGOXP.

F. Moyens de mesure :

1. Fiche de recueil :

La fiche de recueil inclus les différentes variables étudiées sur une page. La durée d'administration du test et son éventuelle interférence sur le déroulement de la procédure d'examen des véhicules a été testée sur une population de cinq véhicules. ([Annexe](#))

2. ACTIGOXP

L'ACTIGOXP, est l'appareil analyseur des émissions gazeuses des échappements utilisé par le centre de contrôle impliqué dans l'étude.

Composé de deux parties :

ACTIGAS : L'appareil de base est un analyseur de gaz d'échappement à quatre (éventuellement cinq) composants, spécifiquement conçu pour la mesure et le réglage des moteurs à essence, au GPL ou au GNC, ainsi que pour la réalisation de contrôles des émissions produites par ces moteurs conformément à la législation nationale en vigueur. Il permet la mesure des concentrations en HC, CO, CO₂, O₂ (NOX), et à partir de ces paramètres, calcule le COcor et le coefficient d'excès d'air .De plus, il est capable de mesurer la vitesse du moteur et la température de l'huile, ainsi que potentiellement l'avance à l'allumage et l'angle de fermeture des contacts.

Opacimètre : Cet appareil est utilisé pour déterminer les émissions de fumée en ayant recours à une méthode de mesure de l'opacité basée sur la mesure de l'atténuation optique de la lumière traversant une colonne de fumée située dans la cuvette de mesure de l'appareil.

Les données mesurées des deux composantes peuvent être imprimées via une imprimante connectée à un PC, que ce soit sous forme de résultats de mesures partielles ou de protocoles d'émission complets.

3. TC-700

Il s'agit d'un appareil qui mesure la qualité d'air, sur sept paramètres : CO₂, TVOC, HCHO, PM_{2.5}, PM₁₀, Température, Humidité relative.

G. Plan et déroulement de l'étude :

Cette étude a été conduite selon un cadre méthodologique précis. En premier lieu, une revue de littérature élargie nous a permis de définir les objectifs de cette recherche et d'élaborer la partie théorique. Subséquemment, une pré-étude sur différents centres de contrôles techniques a été menée, nous permettant de reconnaître les bases contextuelles et d'établir le protocole de travail. Après la validation de ce protocole par le comité de lecture de la faculté de médecine et l'obtention des autorisations nécessaires auprès du centre de contrôle impliqué. La collecte des données a été effectuée à l'aide d'un questionnaire élaboré spécifiquement ([Annexe](#)), puis consignées par les investigateurs sur le logiciel **Microsoft Excel 2021**. L'analyse statistique des données s'est déroulée sous la supervision du directeur de mémoire, garantissant la cohérence méthodologique de ce travail. La rédaction de la partie pratique a suivi, conduisant à la publication des résultats issus de l'analyse, accompagnée de l'envoi d'un abstract à l'European Respiratory Society (ERS), soulignant ainsi l'impact de cette étude sur la santé respiratoire.

H. Considération éthique :

Suite à l'approbation des responsables du centre de contrôle, nous avons poursuivi notre travail en nous assurant de respecter les principes éthiques fondamentaux. La confidentialité des données a été maintenue à tout moment, avec une attention particulière portée à la protection de l'identité des participants. Toutes les informations recueillies ont été traitées de manière anonyme et sécurisée, conformément aux normes en vigueur dans le domaine de la recherche.

En outre, nous avons pris des mesures pour minimiser tout impact potentiellement négatif de notre étude sur les participants et sur le centre de contrôle lui-même. Nous avons été attentifs à ne pas perturber les opérations normales du centre et à limiter au maximum toute interférence avec leur fonctionnement quotidien.

Enfin, nous nous engageons à utiliser les résultats de notre étude de manière responsable et éthique, en veillant à ce qu'ils contribuent de manière positive à la compréhension et à l'amélioration des pratiques de contrôle dans le contexte concerné.

I. Plan d'analyse statistique :

La saisie des données a été réalisée, à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2021. L'analyse statistique a été réalisée sous la supervision de l'encadrant en utilisant le langage de programmation R, version 4.2.2. Le seuil de significativité pour les tests statistiques a été défini à $p < 0,05$.

1. Estimation de la prévalence de la non-conformité

La non-conformité des véhicules à moteurs à combustion a été exprimée en pourcentage par rapport à la population étudiée, avec un intervalle de confiance de 95%. Cet intervalle de confiance a été calculé selon la méthode de Wilson, sans correction de continuité.

2. Description de la population

On a effectué une analyse descriptive des diverses caractéristiques en présentant les effectifs et les pourcentages selon les catégories des variables qualitatives; les variables quantitatives ont été exprimées à l'aide de leurs médianes (avec l'écart interquartile).

De plus une description de distribution de ces caractères selon la conformité de la procédure a été réalisée. Des tests statistiques formels ont été effectués afin de comparer les distributions des variables, avec la valeur p rapportée pour chaque variable.

La comparaison de deux ou plusieurs groupes selon les variables qualitatives a été effectuée à l'aide du test du chi-2 ou bien du test exact de **Fischer**, en cas où les conditions requises pour l'application du test du Chi2 n'étaient pas remplies.

VI. Résultats et analyses :

A. Résultat de l'objectif principal de l'étude :

Cette étude a été réalisée sur un échantillon de 241 véhicules comprenant 146 véhicules à essence et 95 véhicules diesel sur la période s'étendant du 01/11/2023 au 31/01/2024, tous se présentant au sein d'un centre de contrôle situé à Laghouat, Algérie.

La prévalence des véhicules non conforme à la norme ISO 3929 est estimée chez notre population d'étude à 47.30% (IC : 54.41 à 66,75) Figure II.

Si on s'intéresse à cette prévalence concernant les véhicules à essence ce pourcentage s'élève à 78.08% Figure III. Concernant le déroulement de la procédure, nous avons observé que 31.25% des procédures relatif aux véhicules conformes était incorrecte. Additionnement 65.62% de ces procédures étaient classées par les investigateurs de l'étude comme douteuses.

Aucun des véhicules diesel n'a été signalé comme non conforme aux normes ISO 3929. Cependant, 32,98 % des procédures concernant ces véhicules ont été jugées incorrectes, tandis que 67,02 % étaient jugées douteuses. Nous avons ainsi, rapporté qu'aucune des procédures avec les véhicules diesel n'était correcte.

Figure II : prévalence des véhicules non conforme aux normes ISO 3929

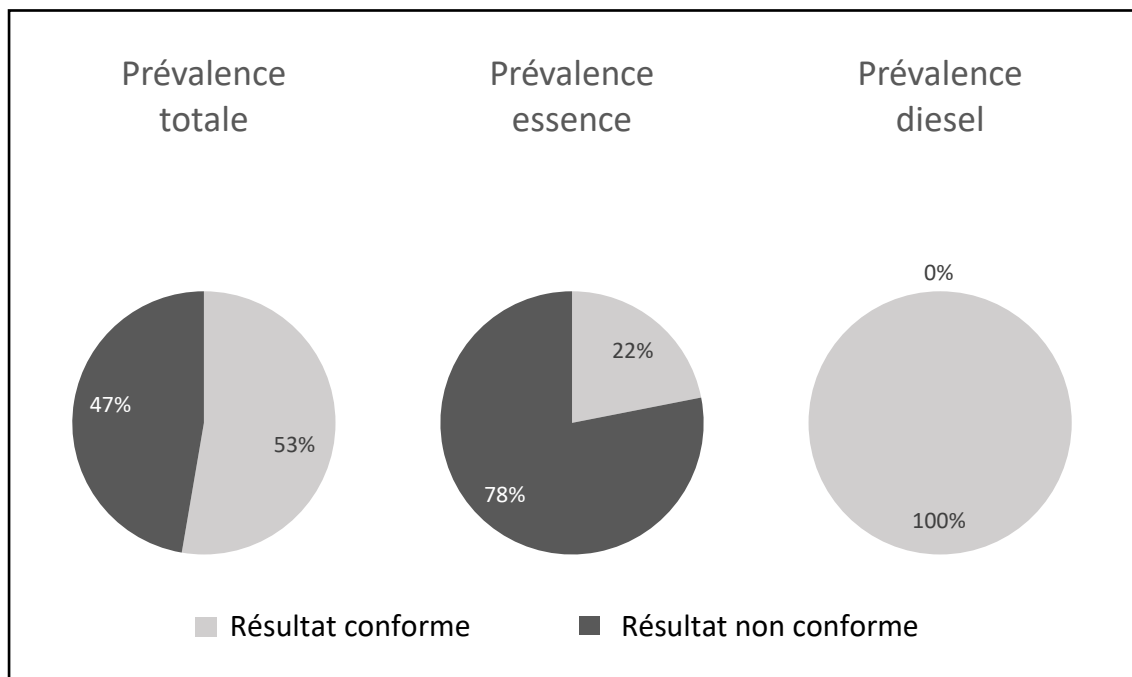
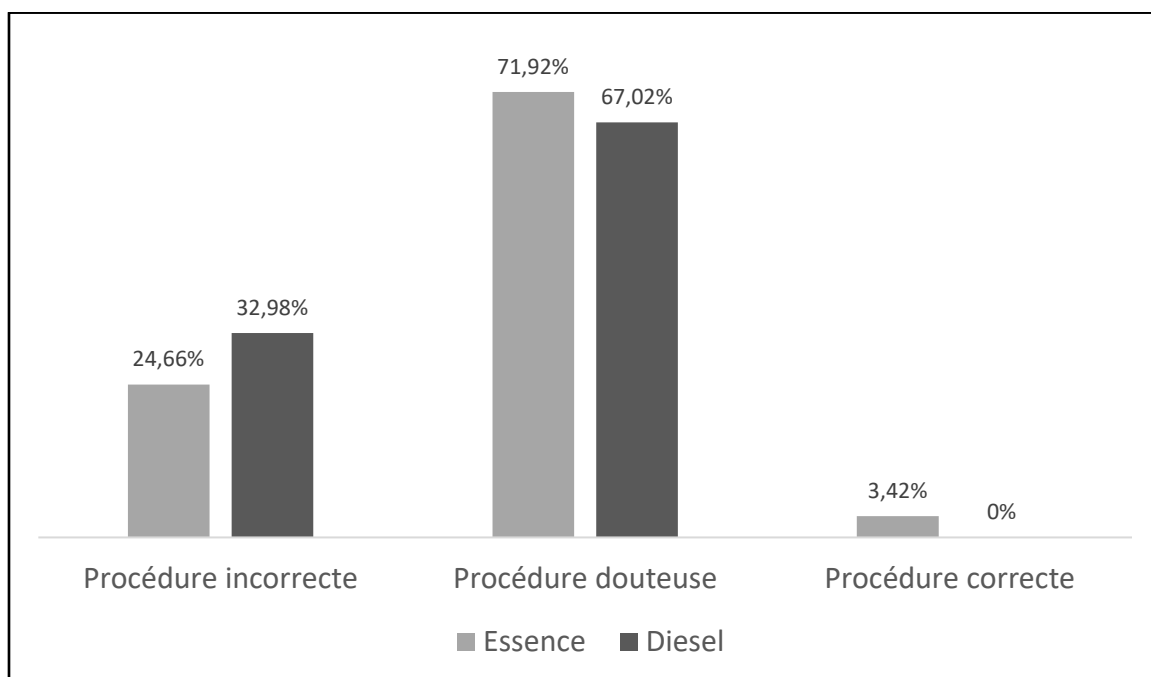


Figure III: Tendence de l'écart à la conformité de la procédure d'examen des véhicules



Concernant les variables liées à l'écart de conformité des véhicules à essence, une interférence avec la sonde a été observée chez 75.34% véhicules à essence, la répartition de cet évènement entre véhicules conformes et non conformes est rapporté dans le Tableau VI.

28.08% des véhicules à essence ont subi une altération des données. Cet incident a concerné 26.32% des véhicules à essence non conformes et 34.38 des conformes.

Enfin, 24.66% des procédures concernant les véhicules à essence ont inclus une rotation insuffisante du moteur. 22.81% pour les véhicules à essence non conformes, et 31.25% des conformes.

L'analyse de distribution de ces variables selon la conformité des résultats n'a pas été concluante Tableau VI

À propos des variables liées à l'écart de conformité lors des 94 procédures concernant les véhicules à diesel, l'interférence de sonde a été observée chez 67.02 % des véhicules. On note aussi que 32.98% des procédures diesel ont subi une altération des données. De même, une rotation insuffisante du moteur à diesel a été rapportée lors de 32.98% des procédures Tableau VII.

L'analyse de distribution de ces variables en fonction de la conformité des résultats n'a pas abouti à des conclusions définitives.

Tableau VI: Tendance de l'écart à la conformité de la procédure d'examen des véhicules

	Population d'étude	Résultat Conforme	Résultat Non conforme	<i>p</i>
Effectif (%)	146 (100.0)	32 (21.92)	114 (78.08)	
Interférence sonde (%)	110 (75.34)	22 (68.75)	88 (77.19)	0.455
Altération des données (%)	41 (28.08)	11 (34.38)	30 (26.32)	0.500
Rotation moteur insuffisante (%)	36 (24.66)	10 (31.25)	26 (22.81)	0.455

Tableau VII: Variables liées à l'écart de conformité de la procédure d'examen des véhicules diesel

	Population d'étude	Résultat Conforme	Résultat Non conforme	<i>p</i>
Effectif (%)	94 (100.0)	94 (100.0)	0 (0.0)	
Interférence sonde (%)	63 (67.02)	63 (67.02)	0 (0.0)	NA
Altération des données (%)	31 (32.98)	31 (32.98)	0 (0.0)	NA
Rotation moteur insuffisante (%)	31 (32.98)	31 (32.98)	0 (0.0)	NA

B. Caractères descriptifs des véhicules à essence

La médiane de la puissance fiscale des véhicules à essence a été de 6 chevaux fiscaux. Les véhicules à essence conformes sont plus puissants sur le plan administratif que les véhicules non conformes avec une médiane de 6.00 [Ecart interquartile : 5.00, 7.00] contre 6.00 [Ecart interquartile : 5.00, 6.00] mais avec une valeur p borderline de 0.047 Tableau VIII.

Une proportion de 37.67 % des véhicules à essence utilisent un kit GPL. Cette caractéristique a été rapportée chez 40.62 % des véhicules non conformes, et 36.84 % des conformes. L'analyse de distribution de cette variable entre les groupes conformes et non conformes n'a pas été concluante ($p = 0.854$).

La médiane de l'année de fabrication des véhicules est 2012 avec écart interquartile [2010, 2014]. La valeur de p est de 0.366, suggérant qu'il n'y a pas de différence significative dans l'année de fabrication entre les groupes conformes et non conformes.

Le kilométrage médian est de 240563.50 km avec écart interquartile [164066.50, 373108.00]. La valeur de p est de 0.363, indiquant qu'il n'y a pas de différence significative dans le kilométrage entre les groupes conformes et non conformes.

Parmi les véhicules, 22,60 % sont d'origine américaine, ce pourcentage s'est élevé à 26.32 % parmi les véhicules non conformes. Les véhicules sud-coréens représentent 19,86 % de l'échantillon. Les véhicules français 17,12 % de la population et les véhicules chinois représentent 16,44 % de l'échantillon. Cependant, l'analyse de la distribution des véhicules non conformes selon le pays d'origine de la marque n'a pas été concluante ($p = 0.110$).

Tableau VIII: Principaux caractères administratifs des véhicules à essence

	Tout véhicule essence	Résultat Conforme	Résultat Non conforme	<i>p</i>
Effectif (%)	146 (100.0)	32 (21.92)	114 (78.08)	
GPL (%)	55 (37.67)	13 (40.62)	42 (36.84)	0.854
Puissance ^a	6.00 [5.00, 7.00]	6.00 [5.00, 7.00]	6.00 [5.00, 6.00]	0.047
Kilométrage ^a	240563.50 [164066.50, 373108.00]	210259.00 [161311.00, 310807.00]	250215.00 [166603.50, 374823.00]	0.363

Année ^a	2012 [2010, 2014]	2012 [2011, 2014]	2012 [2009, 2014]	0.366
Pays (%)				0.110
États unis	33 (22.60)	3 (9.38)	30 (26.32)	
Corée du sud	29 (19.86)	6 (18.75)	23 (20.18)	
France	25 (17.12)	6 (18.75)	19 (16.67)	
Chine	24 (16.44)	4 (12.50)	20 (17.54)	
Japon	16 (10.96)	7 (21.88)	9 (7.89)	
Tchéquie	3 (2.05)	2 (6.25)	1 (0.88)	
Allemagne	2 (1.37)	0 (0.00)	2 (1.75)	
Italie	1 (0.68)	0 (0.00)	1 (0.88)	
Autre	13 (8.90)	4 (12.50)	9 (7.89)	

^aRésultat exprimé en médiane [Écart interquartile].

C. Variables liées aux véhicules à essence

L'étude a inclus 146 véhicules essence, parmi lesquels 32 (21,92%) étaient conformes aux normes établies, tandis que 114 (78,08%) étaient non conformes.

En analysant les variables, il a été constaté que la médiane du pourcentage de monoxyde de carbone (CO) était significativement plus basse chez les véhicules conformes (0,08 [0,04, 0,16]) par rapport aux non conformes (0,68 [0,25, 2,55]), avec une valeur de $p < 0,001$ Tableau IX

Aucune différence significative n'a été observée entre les groupes pour les hydrocarbures (HC) ($p = 0,069$) ni pour les niveaux de dioxyde de carbone (CO₂) (vol%) ($p = 0,080$).

Concernant Lambda, une différence significative a été relevée, suggérant une combustion plus optimale chez les véhicules conformes (1,00 [1,00, 1,02]) par rapport aux non conformes (1,09 [1,02, 1,25]), avec $p < 0,001$. De même, la concentration en oxygène (O₂) était significativement plus basse chez les véhicules conformes (0,42 [0,17, 0,68]) comparée aux non conformes (2,38 [1,06, 4,26]), avec $p < 0,001$.

À propos de la concentration totale de composés organiques volatils (TVOC) est significativement plus basse chez les véhicules conformes (1.68 [0.28, 1.99]) que chez les non conformes (1.99 [1.99, 1.99]), avec $p < 0.001$.

La médiane des particules fines PM 2.5 est significativement plus basse chez les véhicules conformes (11.50 [9.00, 18.25]) que chez les non conformes (26.00 [11.00, 54.50]), avec $p = 0.005$. De même, la médiane des particules PM 10 est significativement plus basse chez les véhicules conformes (15.00 [10.75, 23.25]) que chez les non conformes (33.00 [15.00, 69.75]), avec $p = 0.002$.

Regardant les autres variables, telles que les niveaux de CO₂ (ppm) et HCHO, aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes ($p > 0,05$).

Tableau IX: Comparaison des caractéristiques de base liées aux véhicules à essence

	Tout véhicule essence	Résultat Conforme	Résultat Non conforme	<i>p</i>
Nombre d'effectif	146 (100.0)	32 (21.92)	114 (78.08)	
<u>ACTICOXP</u>				
CO (% vol)	0.46 [0.13, 1.73]	0.08 [0.04, 0.16]	0.68 [0.25, 2.55]	<0.001
HC (ppm vol)	187.50 [117.50, 341.75]	143.00 [78, 306.50]	191.00 [134, 371.50]	0.069
CO₂ (% vol)	11.80 [9.50, 13.10]	13.00 [8.77, 14.70]	11.65 [9.53, 12.97]	0.080
Lambda	1.06 [1.00, 1.18]	1.00 [1.00, 1.02]	1.09 [1.02, 1.25]	<0.001
O₂	1.86 [0.78, 3.62]	0.42 [0.17, 0.68]	2.38 [1.06, 4.26]	<0.001
<u>TC-700</u>				
CO₂ (ppm)	6954 [3202, 6954]	5192.50 [1319, 6954]	6954 [3692.25, 6954]	0.068
HCHO (mg/m³)	0.65 [0.46, 0.65]	0.51 [0.02, 0.65]	0.65 [0.47, 0.65]	0.203
TVOC (mg/m³)	1.99 [1.90, 1.99]	1.68 [0.28, 1.99]	1.99 [1.99, 1.99]	<0.001
PM 2.5 (µg/m³)	22.00 [10.00, 46.00]	11.50 [9.00, 18.25]	26.00 [11.00, 54.50]	0.005
PM 10 (µg/m³)	26.50 [13.75, 58.00]	15.00 [10.75, 23.25]	33.00 [15.00, 69.75]	0.002

D. Caractères descriptifs des véhicules diesel

L'analyse des données liées aux principaux caractères administratifs des véhicules à diesel retrouve que la médiane de puissance fiscale du véhicule diesel est de 8 [7.00, 11.75] chevaux fiscaux. La médiane de l'année de fabrication des véhicules est 2011 avec écart interquartile [2010, 2014] Tableau X. La valeur de p est de 0.366, suggérant qu'il n'y a pas de différence significative dans l'année de fabrication entre les groupes conformes et non conformes.

Le kilométrage moyen est de 324015.00 km avec un écart interquartile [193262.00, 405184.00]. Quant aux véhicules avec turbo elles représentent 54.84% de l'échantillon. Il est à noter que l'origine japonaise constituait la partie majeure des véhicules diesel de notre population d'étude avec un pourcentage de 50 %, suivie par les véhicules français dont la proportion était de 22.34%.

Tableau X: Principaux caractères administratifs et géographiques des véhicules à diesel

	Population d'étude	Acceptable	Non-Acceptable	<i>p</i>
Effectif (%)	94	94 (100.00)	0 (0.00)	
Pays d'origine (%)				NA
Algérie	1 (1.06)	1 (1.06)	0 (0.00)	
Allemagne	5 (5.32)	5 (5.32)	0 (0.00)	
Chine	7 (7.45)	7 (7.45)	0 (0.00)	
Corée du sud	5 (5.32)	5 (5.32)	0 (0.00)	
Espagne	1 (1.06)	1 (1.06)	0 (0.00)	
État unis	1 (1.06)	1 (1.06)	0 (0.00)	
France	21 (22.34)	21 (22.34)	0 (0.00)	
Grande bretagne	1 (1.06)	1 (1.06)	0 (0.00)	
Inde	1 (1.06)	1 (1.06)	0 (0.00)	
Italie	3 (3.19)	3 (3.19)	0 (0.00)	
Japan	47 (50.00)	47 (50.00)	0 (0.00)	
Roumanie	1 (1.06)	1 (1.06)	0 (0.00)	
Puissance fiscale	8.00	8.00	0	NA
(median [IQR])	[7.00, 11.75]	[7.00, 11.75]	(0.00)	
Année circulation	2011.00	2011.00	0 (0.00)	NA
Kilometrage (km)	324015.00	324015.00	0 (0.00)	NA
Présence turbo (%)	51 (54.84)	51 (54.84)	0 (0.00)	NA

E. Variables liées aux véhicules diesel

L'étude a inclus 94 véhicules diesel, tous conformes aux normes de pollution avec un résultat ne dépassant pas la valeur de l'opacité/m limitée à 3.00.

En analysant les variables, il a été observé que la médiane de la valeur Opacité/m pour l'ensemble des véhicules était de 0.82, avec une fourchette interquartile de [0.65, 0.97].
Tableau XI

Le pourcentage moyen d'opacité est de 29.40%, avec une fourchette interquartile de [24.40%, 34.70%].

Étant donné le caractère exclusivement conforme de notre population d'étude, la valeur p n'a pas pu être estimée pour l'ensemble des variables.

Tableau XI: Principaux caractères administratifs des véhicules à diesel

	Population d'étude	Acceptable	Non-Acceptable	<i>p</i>
Nombre d'effectif	94	94	0	
Opacité% (median [IQR])	29.40 [24.40, 34.70]	29.40 [24.40, 34.70]	0 (0.00)	NA
Opacité/m (median [IQR])	0.82 [0.65, 0.97]	0.82 [0.65, 0.97]	0 (0.00)	NA

VII. Discussion

A. Forces et faiblesses

Cette étude descriptive et prospective a suivi une méthodologie rigoureuse en plusieurs étapes. Après une revue de littérature détaillée, une pré-étude approfondie a été menée sur divers centres de contrôles techniques, établissant ainsi un protocole de travail et une fiche de recueil des données. Cette fiche a été testée en Aout 2023 puis optimisée pour application sans entrave à la dynamique de travail au sein du centre de control ([Annexe](#)).

L'initiation de la collecte de données a été en suspend pendant plusieurs semaines jusqu'à approbation du comité de lecture de la faculté de médecine puis consentement du centre de contrôle concerné par notre étude durant la fin du mois d'Octobre 2023.

La collecte des données, a été réalisée entre le 01 Novembre 2023 et le 31 Janvier 2024 à l'aide de la fiche de recueil, puis les données ont été saisies et analysées sous la supervision du directeur de mémoire. Les résultats ont été publiés, et un abstract sur une partie de notre résultat a été soumis en Février 2024 à l'European Respiratory Society (ERS).

Le choix de cette thématique découle d'une convergence de facteurs, dont le scandale du DIESELGATE survenu en 2015, qui a exposé au grand jour la manipulation des émissions de gaz par les grands constructeurs automobiles. Ce scandale rappelle étrangement les problèmes éthiques mis en lumière dans les années 1970. Qui ont concerné le risque sur la santé des carburants au plomb. Pour rappel, au milieu du XXe siècle, une collusion préoccupante entre scientifiques et les sociétés pétrolières a émergée concernant la question des carburants au plomb. Pendant plus de 30 ans, la société Ethyl Corporate et General Motors ont eu le monopole des études sur l'empoisonnement au plomb et ont fourni des estimations excessivement optimistes sur la quantité de ce métal que le corps humain peut supporter en toute sécurité. (78) De nombreuses recherches parallèles ont été menées pour dénoncer les données fournies par des scientifiques frauduleux et critiquer la collaboration des agences de santé publique avec les mêmes entreprises concernées par le problème. Ces résultats décisifs ont joué un rôle crucial dans le changement de cap et le début de l'interdiction des carburants au plomb. Les politiques concernant les normes d'émissions des véhicules au plomb ont été régulièrement révisées. Ces normes ont été conçues de manière progressive, avec des échéances de changement variant généralement entre 5 et 10 ans. À partir des années 1975, le déclin des taux atmosphériques de plomb a commencé, marquant ainsi un tournant dans la réduction de la pollution au plomb dans l'atmosphère (79–81). L'Algérie était la dernière dans le monde à rejoindre ces recommandations, et ce n'est qu'en 2021 que l'interdiction de l'utilisation des carburants au plomb avait lieux dans le pays.(82)

Cependant, devant l'optimisme croissant qui a dépassé les capacités technologiques des constructeurs automobiles, des moyens de tromperie ont été développés pour subvenir à ces réglementations fortement exigeantes. En 2015, une équipe de chercheurs de Virginie aux États-Unis a mis en lumière la présence d'un logiciel malveillant intégré dans les véhicules diesel de plusieurs marques non affiliées entre elles. Ce logiciel pouvait détecter les tests

d'émissions et modifier les performances des véhicules pour améliorer les résultats. Lors des tests en laboratoire, le dispositif activait le mode sécurité du moteur, limitant sa puissance. Cependant, sur la route, les moteurs dépassaient ce mode, produisant des émissions d'oxyde d'azote jusqu'à 40 fois supérieures à la limite autorisée aux États-Unis. Ce scandale, connu sous le nom de DIESELGATE, et a déclenché le plus grand rappel de véhicules dans l'histoire, avec plus de 11 millions de véhicules rappelés et indemnisés à travers le monde(83). Les effets délétères des émissions gazeuses des véhicules sur la santé humaine ont été bien documentés, avec des polluants tels que les particules fines, le CO, le NO et les composés organiques volatiles liées à l'incidence de certaines maladies respiratoires, cardiovasculaires, et d'autres conséquences néfastes sur la santé.

Dans le contexte algérien, on constate une considérable pauvreté de données compréhensibles relatives au contrôle de la qualité d'air, mettant le point sur d'importantes lacunes dans la compréhension de l'ampleur et la nature de la pollution atmosphérique dans la région. L'absence de donnée robuste en Algérie requière des investigations approfondies pour apprécier l'implication des émissions véhiculaires sur la qualité d'air et la santé publique. Il convient de noter qu'aucune procédure de rappel des véhicules impliqué dans le scandale DIESELGATE n'a été documentée en Algérie. De ce fait, tout porte à croire qu'une partie de ces véhicules sont toujours en circulation.

Une limite importante de cette étude réside la disponibilité limitée de données provenant d'autres études réalisées dans des conditions similaires ou comparables. Cette recherche vise à apporter une perspective précieuse à propos de la dynamique du contrôle de la qualité d'air, offrant ainsi une base à la prise de décisions ultérieures.

Cette étude a rencontré des limites inhérentes, comme toute recherche. Notamment pour les interventions et les interférences humaines sur la procédure du contrôle. Particulièrement, les véhicules à diesel ont été soumis à un nombre important de biais de procédures. La fiabilité des résultats était compromise par les variations induites par la manipulation des techniciens, mais ce constat est un résultat probant de notre travail à lui tout seul. Nous avons aussi noté des résultats et des constats non mesurables comme l'absence de protocoles standardisés au niveau des centres de contrôle, ce qui complique l'interprétation des analyses. Mais la limitation majeure de notre travaille sur le terrain a été une découverte d'une manipulation à grande échelle des données et des analyses. Nous avons classé ces tromperies en trois catégories à savoir Interférence sonde, altération des données sur le logiciel, rotation moteur insuffisante lors de la procédure.

B. Prévalence des véhicules non conformes

Pendant la période d'étude nous avons inclus 241 véhicules à moteur à combustion se présentant au niveau d'un centre de contrôle situé à Laghouat, Algérie. La prévalence des véhicules non conforme à la norme ISO 3929 a été estimé à 47.30% (IC : 54.41 à 66,75) de la population étudiée. L'absence d'études internationales sur la prévalence des véhicules non conformes aux normes d'émission ISO 3929 limite notre capacité à les comparer avec d'autres populations.

L'exposition prolongée à la pollution atmosphérique entraîne des conséquences néfastes sur la santé (84). Elle peut entraîner des maladies locales ou systémiques de gravité variable(85). Ces affections touchent les voies respiratoires, le système cardiovasculaire et d'autres organes. En conséquence, l'exposition prolongée à la pollution de l'air peut réduire l'espérance de vie de 1 an et 8 mois en moyenne à l'échelle mondiale(86).

L'étude a été entravée par des interférences humaines dans la procédure lors de la mesure des émissions gazeuses. Plus spécifiquement, les véhicules diesel ont été exposés à de nombreux biais procéduraux.

De plus l'émission de gaz au niveau du centre ne correspond pas à celle observée en temps réel au niveau de la route lors d'une accélération maximale. Les valeurs mesurées sont supérieures à celles trouvées (87). En outre, il est important de noter que l'accélération entraîne une augmentation proportionnelle des émissions de polluants, principalement en raison de la consommation accrue de carburant (88).

La comparaison de ce résultat avec des études nationales et internationale a été limitée par un manque de littérature comparable consultable, Les études disponibles portent sur la mesure in situ des émissions gazeuses dans des environnements confinés ou ouverts tels que les tunnels, les vallées ou les zones urbaines en bord de route(88–91).

L'absence de recherches comparables semble renforcer la portée de nos résultats tout en soulignant une problématique de santé publique latente. La question de la pollution ne semble pas figurer en tête des préoccupations des organismes de contrôle technique, des autorités publiques en Algérie, ni de la population en général. L'ensemble de ces éléments ont participé à une conjoncture particulière.

Ainsi notre étude a révélé que la médiane de l'année de première mise en circulation pour les véhicules à essence est l'année 2012 Tableau VIII alors que pour les véhicules diesel, elle est de 2011 Tableau X . La politique restrictive concernant l'importation de véhicules en Algérie a entraîné un vieillissement du parc automobile (92). De plus, nos observations ont démontré que la médiane du kilométrage pour notre parc automobile est de 324 015 km pour les véhicules diesel Tableau X et de 240 563 km pour les véhicules essence Tableau IX. Cette situation a des répercussions importantes sur la qualité de l'air (93,94) Une corrélation significative a été mise en évidence entre la concentration des polluants émis et la durée de fonctionnement des véhicules(88).

Les résultats de notre travail sont susceptibles d'être généralisés à l'ensemble de l'Algérie, étant donné que notre processus de recrutement a été mené à Laghouat. Nos observations dans d'autres wilayas ont également mis en évidence des attitudes et des résultats similaires, renforçant ainsi la validité de nos conclusions à une échelle nationale.

On souhaite avoir plus d'études qu'estime la prévalence de l'épidémie de suppression de catalyseur du véhicule en Algérie vise à comprendre l'ampleur de cette pratique et à identifier les facteurs qui y sont associés.

C. Facteurs associés avec les véhicules à moteurs à essence non conformes

La médiane de la puissance fiscale des véhicules à essence était de 6 chevaux fiscaux. Les véhicules à essence conformes présentent une médiane administrative plus élevée que les véhicules non conformes, avec des valeurs respectives de 6.00 [5.00, 7.00] contre 6.00 [5.00, 6.00]. Cependant, l'analyse de la différence entre ces deux médianes a une valeur p borderline de 0,047 Tableau VIII.

Une revue élargie de la littérature, confirme un lien clair entre le degré de pollution des véhicules et les facteurs de l'ancienneté du véhicule, le kilométrage et la puissance du moteur (93,94). Les véhicules plus anciens ou avec un kilométrage élevé peuvent avoir des émissions plus élevées en raison de l'usure des composants du moteur et du système d'échappement. Cependant, contrairement à nos résultats borderline, la majorité des études retrouvent que la puissance élevée du moteur augmente la quantité des polluants émis. (93,94)

Nos résultats, en contradiction avec la littérature existante concernant l'analyse de la relation entre la puissance des véhicules et les niveaux de pollution, suggèrent que cette discordance pourrait être due à une sous-estimation de la puissance réelle des moteurs. Il semble que la complexité du système fiscal et les lacunes dans les contrôles pourraient favoriser la manipulation des données en vue de bénéficier de tarifs de taxation réduits.

Notre analyse complémentaire par l'appareille TC 700 a été concordante avec les résultats de l'ACTIGOXP. Ainsi l'analyse des particules fine par le TC700 a retrouvé la médiane des PM 2.5 émise par les véhicules non conformes est significativement plus élevée que les véhicules conformes, avec $p = 0.005$. Également, la médiane des particules PM 10 est significativement plus élevée dans les émissions des véhicules non conformes, avec $p = 0.002$. Il

Cette observation est intéressante mais il est important de noter que le TC 700 n'est pas un appareille adapter pour l'analyse et l'évaluation des gaz semis par les véhicules. D'ailleurs la majorité des évaluations faites au niveau des centres de contrôle ne mesure pas directement les émissions des microparticules. Même si on retrouve ces paramètres au centre des législations nationales et internationales. Cependant la législation fixe des seuils en se basant sur des unités en Gramme par kilomètre (15). Toutefois le cout élevé de telle mesure explique qu'on se base sur des paramètres indirects notamment l'opacimétrie. Néanmoins la mesure de l'opacimétrie est plus performante avec les véhicules diesel et principalement les véhicules diesel d'ancienne génération (95).

Pour assurer une gestion fiscale plus efficace et équitable, il est impératif de renforcer la cohérence dans l'attribution des puissances fiscales. Parallèlement, il est crucial de développer des moyens plus précis pour mesurer les différentes formes de pollution. En outre, pour garantir la conformité aux normes il faut limiter le facteur humain dans l'analyse et le contrôle des véhicules et impliquer des contrôleurs indépendants au niveau des centres de contrôle

D. Facteurs associés avec les véhicules à moteurs à diesel non conformes

Les résultats n'ont retrouvés aucun véhicule à diesel non conforme aux normes de l'émission gazeuse, cela est dû aux conditions non optimales du déroulement de ces tests. On constate

que l'interférence sur la sonde avait lieu pour 67.02% des voitures, ainsi que l'altération des données sur le logiciel pour 67.02% des véhicules, et 67.02% des voitures n'ont pas eues des rotations de moteurs suffisantes. Est de ce fait, tout l'échantillon de cette étude sur diesel à subit une tromperie de test.

Cette étude révèle une année médiane de mise en circulation de 2011 pour les véhicules diesel de notre population d'étude, ce qui correspond à un âge moyen de 12 ans. Cette donnée souligne significativement le vieillissement du parc automobile Algérien.

Plusieurs paramètres peuvent expliquer le vieillissement du Parc automobile algérien. Mais le paramètre principal est lié à la politique de restriction de l'importation de voitures (92). Cette politique a eu pour effet de limiter la supplémentation en nouveaux modèles pour le marché domestique, ce qui a entraîné une diminution de la disponibilité des voitures neuves. En conséquence, les consommateurs se sont tournés vers le marché des voitures d'occasion, ce qui a prolongé la durée de vie des véhicules déjà en circulation. Selon l'ONS, vers la fin de l'année 2019, les véhicules automobiles âgés de plus de 10 ans représentaient plus de 75% de l'ensemble du parc automobile algérien.

L'impact de l'âge véhiculaire sur les émissions polluantes a été établi dans une étude menée sur Les minibus, les bus de taille moyenne et les grands bus dans la ville d'Addis ababa a retrouvé que les anciens minibus (fabriqués entre 1960 et 1990) polluent l'environnement quatre fois plus que les anciens grands bus (fabriqués entre 1980 et 1990) et vingt-deux fois plus que les nouveaux modèles de grands bus (fabriqués entre 2011 et 2017) (96). Dans la lumière de ces observations on suggère que le parc automobile algérien maintient en circulation des voitures anciennes, qui peuvent être moins sûres et moins respectueuses de l'environnement que les modèles plus récents.

En plus, le scandale Dieselgate, révélé en 2015 par des chercheurs en Virginie, a ébranlé l'industrie automobile et suscité un débat mondial sur les pratiques éthiques et les conséquences pour la santé publique et l'environnement. Avec plus de 11 millions de voitures vendues dans le monde équipées d'un logiciel manipulant les émissions de NOx lors des tests, cette affaire a mis en lumière des failles majeures dans la réglementation et la surveillance des émissions des véhicules diesel. En réponse à ce scandale, l'agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) a ordonné à Volkswagen de rappeler des millions de véhicules affectés pour effectuer des réparations visant à corriger les émissions excessives. Ces rappels comprenaient des modifications logicielles ainsi que des réparations matérielles pour s'assurer que les véhicules respectent les normes d'émissions environnementales. Ce rappel a concerné 600.000 véhicules dans les Etats-Unis, et d'environ 11 millions véhicule dans tout le monde (83). Néanmoins, ces voitures ont été stockées dans des espaces désertiques en Californie, et plusieurs d'entre elles attendaient encore leur destin en 2018 (97). En outre, Volkswagen a été soumis à des amendes importantes et à d'autres sanctions légales pour son rôle dans cette affaire de fraude aux émissions (83).

En Algérie, l'absence de rapports sur ce rappel peut soulever plusieurs questions et préoccupations sur l'impact environnemental de ces véhicules qui sont probablement en permanente circulation. Selon l'ONS, vers la fin de 2019 les véhicules du groupe VOLKSWAGEN

représentaient environ 10.5% du parc automobile algérien total soit 33463 voitures entre véhicules touristique et camionnette. Une partie de cette tranche est probablement impliquée dans ce scandale et reste toujours non retirée du parc actif.

La méthode employée pour évaluer les véhicules à moteur diesel au sein du centre de contrôle concerné est l'opacimétrie, une technique visant à mesurer l'opacité des gaz émis par le véhicule en fonction de la quantité de rayonnement lumineux absorbé par ces gaz. Bien que cette méthode présente des avantages en termes de simplicité, d'accessibilité et de coût relativement bas, sa fiabilité est limitée en raison de sa faible sensibilité aux petites molécules, de sa résolution insuffisante pour répondre aux normes antipollution actuelles, ainsi que de ses interférences avec le dioxyde d'azote (NO₂) (95).

Une étude a été menée pour mesurer les émissions réelles de bus de transport en commun équipés de moteurs diesel et de biodiesel. Les données d'opacité de fumée ont été confrontées aux taux d'émission de masse de particules totales obtenus lors d'essais transitoires. Malgré des tendances observées, aucune relation cohérente n'a pu être établie entre l'opacité de fumée et les émissions de particules (98), mettant ainsi en évidence son manque de spécificité dans la corrélation avec les niveaux de certaines substances polluantes, notamment les particules fines.

VIII. Conclusion

La dépendance aux combustibles fossiles et les pratiques de décatalsage des véhicules en Algérie font du secteur des transports l'un des principaux contributeurs à la pollution atmosphérique du pays. Cette étude visait à estimer la prévalence des véhicules non conformes aux normes d'émission gazeuse sur une période allant du 01/11/2023 au 31/01/2024 dans un centre de contrôle technique situé à Laghouat, en Algérie. Nous avons observé une prévalence de 47,30% de véhicules non conformes, et 78,08% dans le groupe des véhicules à essence. Les procédures étaient trompeuses ont concerné 100% des véhicules diesel et 96,58% des véhicules à essence. Ces résultats soulignent l'urgence de mesures visant à réduire les émissions polluantes du secteur des transports, ainsi que l'importance de l'investissement dans la recherche et la collecte de données pour mieux comprendre et aborder ce problème de santé publique critique.

IX. Perspectives et recommandations

L'importance et la gravité des résultats de notre travail nous poussent à lancer un appel à plusieurs acteurs influents.

A l'intention de l'autorité concernée nous appelons à créer des protections pour minimiser les interférences humaines. Nous préconisons l'utilisation d'un agent indépendant mandaté par l'État pour garantir l'objectivité et la fiabilité des données. Il est aussi nécessaire de renforcer et moderniser les réseaux de transports en commun afin de favoriser l'adoption des transports publics et de diminuer la dépendance à l'usage des véhicules individuels. Mais aussi de promouvoir l'adoption de modes de déplacement alternatifs tels que le covoiturage, le vélo et la marche, en investissant dans des infrastructures appropriées et adaptées à ces modes de transport.

Il est urgent de mettre en place un vaste réseau de capteurs de détection de la pollution constitue une démarche essentielle pour surveiller la qualité de l'air à grande échelle. Ces dispositifs, judicieusement positionnés dans les zones urbaines et industrielles, permettraient une surveillance continue et en temps réel des conditions environnementales. Les données collectées seraient ensuite utilisées pour identifier les sources de pollution, évaluer les niveaux de pollution dans différentes zones et suivre l'efficacité des mesures de réduction de la pollution mises en œuvre.

A l'intention des médias et des acteurs associatifs, nous appelons à renforcer les campagnes de sensibilisations afin d'éduquer le public sur les origines et les impacts de la pollution atmosphérique, tout en mettant en lumière les mesures qu'il peut prendre à l'échelle individuelle et collective pour contribuer à la résolution de ce problème environnemental. Tout en encourageant des initiatives individuelles visant à atténuer cette problématique.

Enfin nous encourageons la recherche et l'innovation dans le domaine des technologies propres, des solutions de transport durables et de la surveillance de la pollution pour développer des solutions efficaces et adaptées aux besoins locaux.

X. Annexe

FICHE DE RECUEIL DE L'ETUDE PVNC III

		Numéro				
		Identification				
		Date				
Variables générales		Genre				
		Marque				
		Type				
		Type commercial				
		Energie				
		Puissance				
		Année				
		Kilométrage au compteur				
		Turbo				
				Déroulement /3		
Essence		CO %				
		HC ppm				
		CO2 %				
	Si CTL « ON »	λ				
		O2 %				
		Résultat				
Diesel		LIMITE				
		OPACITE %				
		OPACITE m ⁻¹				
		Résultat				
TC-700		CO2 ppm				
		TVOC mg/m ³				
		HCHO mg/m ³				
		PM2.5 µg/m ³				
		PM10 µg/m ³				

XI. Bibliographie

1. Morman SA, Plumlee GS. The role of airborne mineral dusts in human disease. *Aeolian Res.* 1 juin 2013;9:203- 12.
2. Caillaud D, Annesi-Maesano I, Bourin A, Chinnet T, Colette A, De Blay F, et al. La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire en France. Document d'experts du Groupe Pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF). *Rev Mal Respir.* 1 déc 2019;36(10):1150-83.
3. World Bank. The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021 [Internet]. The World Bank; 2022 [cité 4 avr 2024]. Disponible sur: <http://elibrary.worldbank.org/doi/book/10.1596/978-1-4648-1816-5>
4. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, Bathan G, Bose-O'Reilly S, Brauer M, et al. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planet Health.* 1 juin 2022;6(6):e535-47.
5. Reşitoğlu İA, Altinişik K, Keskin A. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technol Environ Policy.* janv 2015;17(1):15-27.
6. Colvile RN, Hutchinson EJ, Mindell JS, Warren RF. The transport sector as a source of air pollution. *Atmos Environ.* mars 2001;35(9):1537-65.
7. Steiner S, Bisig C, Petri-Fink A, Rothen-Rutishauser B. Diesel exhaust: current knowledge of adverse effects and underlying cellular mechanisms. *Arch Toxicol.* 2016;90:1541-53.
8. Chemistry | Free Full-Text | Catalytic Converters for Vehicle Exhaust: Fundamental Aspects and Technology Overview for Newcomers to the Field [Internet]. [cité 4 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.mdpi.com/2624-8549/3/2/44>
9. Kaunas University of Technology, Mačaitytė I, Virbašiūtė G, Kaunas University of Technology. Volkswagen Emission Scandal and Corporate Social Responsibility – A Case Study. *Bus Ethics Leadersh.* mars 2018;2(1):6-13.
10. Faustini A, Stafoggia M, Colais P, Berti G, Bisanti L, Cadum E, et al. Air pollution and multiple acute respiratory outcomes. *Eur Respir J.* août 2013;42(2):304-13.
11. Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and airway disease: Air pollution and airway disease. *Clin Exp Allergy.* août 2011;41(8):1059-71.
12. Karakatsani A, Analitis A, Perifanou D, Ayres JG, Harrison RM, Kotronarou A, et al. Particulate matter air pollution and respiratory symptoms in individuals having either asthma or chronic obstructive pulmonary disease: a European multicentre panel study. *Environ Health.* déc 2012;11(1):75.
13. Estimation and measurement of the automobile pollution : application to Bejaia case. *Glob NEST J.* 29 avr 2013;8(3):277-81.

14. Slimane M. L’empreinte carbone du transport routier en Algérie: analyse des déterminants par le modèle ARDL Carbon footprint of road transport in Algeria: analysis of the determinants by the ARDL model. *Rev Algér D’Economie Gest* Vol. 2022;16(02).
15. Decret-executif-°03-410.pdf [Internet]. [cité 14 avr 2024]. Disponible sur: <https://and.dz/site/wp-content/uploads/Decret-executif-%C2%B003-410.pdf>
16. Chikhi S, Boughedaoui M, Kerbachi R, Joumard R. On-board measurement of emissions from liquefied petroleum gas, gasoline and diesel powered passenger cars in Algeria. *J Environ Sci*. 1 août 2014;26(8):1651-9.
17. Pöschl U. Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects. *Angew Chem Int Ed*. 25 nov 2005;44(46):7520-40.
18. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int*. janv 2015;74:136-43.
19. Fuzzi S, Baltensperger U, Carslaw K, Decesari S, Denier Van Der Gon H, Facchini MC, et al. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmospheric Chem Phys*. 24 juill 2015;15(14):8217-99.
20. Srimuruganandam B, Shiva Nagendra SM. Source characterization of PM10 and PM2.5 mass using a chemical mass balance model at urban roadside. *Sci Total Environ*. sept 2012;433:8-19.
21. Piscitello A, Bianco C, Casasso A, Sethi R. Non-exhaust traffic emissions: Sources, characterization, and mitigation measures. *Sci Total Environ*. avr 2021;766:144440.
22. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front Public Health*. 20 févr 2020;8:14.
23. Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. *J Med Toxicol*. juin 2012;8(2):166-75.
24. Rabinovitch N, Strand M, Gelfand EW. Particulate Levels Are Associated with Early Asthma Worsening in Children with Persistent Disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 mai 2006;173(10):1098-105.
25. McConnell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Vora H, Avol E, et al. Air pollution and bronchitic symptoms in Southern California children with asthma. *Environ Health Perspect*. sept 1999;107(9):757-60.
26. Desqueyroux H, Pujet JC, Prosper M, Squinazi F, Momas I. Short-Term Effects of Low-Level Air Pollution on Respiratory Health of Adults Suffering from Moderate to Severe Asthma. *Environ Res*. 1 mai 2002;89(1):29-37.
27. Zhang Z, Zhu D, Cui B, Ding R, Shi X, He P. Association between particulate matter air pollution and lung cancer. *Thorax*. janv 2020;75(1):85-7.

28. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA J Am Med Assoc.* 6 mars 2002;287(9):1132-41.
29. Morris RD. Airborne particulates and hospital admissions for cardiovascular disease: a quantitative review of the evidence. *Environ Health Perspect.* août 2001;109(suppl 4):495-500.
30. Schraufnagel DE, Balmes JR, Cowl CT, Matteis SD, Jung SH, Mortimer K, et al. Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *CHEST.* 1 févr 2019;155(2):409-16.
31. PubChem. Sulfur Dioxide [Internet]. [cité 23 juill 2023]. Disponible sur: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1119>
32. Rall DP. Review of the Health Effects of Sulfur Oxides. *Environ Health Perspect.* août 1974;8:97-121.
33. Kan H, Wong CM, Vichit-Vadakan N, Qian Z. Short-term association between sulfur dioxide and daily mortality: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) study. *Environ Res.* 1 avr 2010;110(3):258-64.
34. Linn WS, Venet TG, Shamoo DA, Valencia LM, Anzar UT, Spier CE, et al. Respiratory Effects of Sulfur Dioxide in Heavily Exercising Asthmatics. *Am Rev Respir Dis.* mars 1983;127(3):278-83.
35. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Internet]. World Health Organization; 2021 [cité 14 juill 2023]. xxi, 273 p. Disponible sur: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
36. Dockery DW, Cunningham J, Damokosh AI, Neas LM, Spengler JD, Koutrakis P, et al. Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms. *Environ Health Perspect.* mai 1996;104(5):500-5.
37. Chen TM, Kuschner WG, Gokhale J, Shofer S. Outdoor Air Pollution: Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide, and Carbon Monoxide Health Effects. *Am J Med Sci.* 1 avr 2007;333(4):249-56.
38. Sunyer J, Ballester F, Tertre AL, Atkinson R, Ayres JG, Forastiere F, et al. The association of daily sulfur dioxide air pollution levels with hospital admissions for cardiovascular diseases in Europe (The Aphea-II study). *Eur Heart J.* 1 avr 2003;24(8):752-60.
39. Tunnicliffe WS, Hilton MF, Harrison RM, Ayres JG. The effect of sulphur dioxide exposure on indices of heart rate variability in normal and asthmatic adults. *Eur Respir J.* 1 avr 2001;17(4):604-8.

40. Chappuis J. Étude spectroscopique sur l'ozone. *Ann Sci L'École Norm Supér.* 1882;11:137-86.
41. L'ozone et ses applications industrielles - Henri Marie Antoine Joseph de La Coux des Roseaux - Google Livres [Internet]. [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=aWVZAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA266&dq=L%27ozone+est+un+gaz+tr%C3%A8s+instable+qui+se+d%C3%A9compose+rapidement+en+oxyg%C3%A8ne&ots=HK8ZQAFX5m&sig=YHYbXleKEvJXGhgfgBo5GWRjahc&redir_esc=y
42. Castillejos M, Gold DR, Dockery D, Tosteson T, Baum T, Speizer FE. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in Mexico City schoolchildren. *Am J Respir Crit Care Med.* 1992;145(2):276-82.
43. Gérin M, Gosselin P, Cordier S, Viau C, Quénel P, Dewailly É. *Environnement et santé publique: Fondements et pratiques.* Édisem/Tec & Doc; 2003.
44. Ruaux N. *Santé et pollution atmosphérique.* 2016;
45. Gebbersa JO, Schläpferb A. Pneumopathies environnementales. In: *Forum Med Suisse.* 2001. p. 1147-53.
46. Physico-chemical-treatment-of-nitrogen-oxides-in-static-mixers-by-ozonisation-and-sulfur-reduction.pdf [Internet]. [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/profile/S-Taha/publication/289034217_Physico-chemical_treatment_of_nitrogen_oxides_in_static_mixers_by_ozonisation_and_sulfur_reduction/links/56b64c4c08ae3c1b79ad475d/Physico-chemical-treatment-of-nitrogen-oxides-in-static-mixers-by-ozonisation-and-sulfur-reduction.pdf
47. Effets du Dioxyde D'azote et de L'ozone Sur les Maladies Respiratoires à Montréal - ProQuest [Internet]. [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.proquest.com/openview/05553f0ac76cb4262763cd979a03d95d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
48. Retentissement de la pollution atmosphérique sur la santé: Le Programme de Surveillance Air et Santé 9 villes - ScienceDirect [Internet]. [cité 13 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0755498204989178>
49. Horner J. Carbon Monoxide: The Invisible Killer. *J R Soc Promot Health.* juin 1998;118(3):141-5.
50. Prockop LD, Chichkova RI. Carbon monoxide intoxication: An updated review. *J Neurol Sci.* 15 nov 2007;262(1):122-30.
51. Lapresle J, Fardeau M. The central nervous system and carbon monoxide poisoning. II. Anatomical study of brain lesions following intoxication with carbon monoxide (22 cases). *Prog Brain Res.* 1967;24:31-74.

52. Allred EN, Bleecker ER, Chaitman BR, Dahms TE, Gottlieb SO, Hackney JD, et al. Effects of carbon monoxide on myocardial ischemia. *Environ Health Perspect.* févr 1991;91:89-132.
53. Ganong WF. *Review of Medical Physiology.* Norwalk Ct: Appleton & Lange, 1995.
54. Niel J, Descatha A, Deguigne M. Intoxication aiguë professionnelle au monoxyde de carbone. Mise au point pour le médecin du travail. *Arch Mal Prof Environ.* oct 2022;83(5):527-35.
55. Wittenberg BA, Wittenberg JB. Effects of carbon monoxide on isolated heart muscle cells. *Res Rep Health Eff Inst.* déc 1993;(62):1-12; discussion 13-21.
56. Somogyi E, Balogh I, Rubányi G, Sótonyi P, Szegedi L. New findings concerning the pathogenesis of acute carbon monoxide (CO) poisoning: *Am J Forensic Med Pathol.* mars 1981;2(1):31-9.
57. Henz S, Maeder M. Prospective study of accidental carbon monoxide poisoning in 38 Swiss soldiers. *Swiss Med Wkly.* 9 juill 2005;135(27-28):398-408.
58. Choi IS. Delayed neurologic sequelae in carbon monoxide intoxication. *Arch Neurol.* juill 1983;40(7):433-5.
59. Seger D, Welch L. Carbon Monoxide Controversies: Neuropsychologic Testing, Mechanism of Toxicity, and Hyperbaric Oxygen. *Ann Emerg Med.* 1 août 1994;24(2):242-8.
60. Weiler G, Riße M, Klöppel A. Zur Bewertung der kindlichen Schädigung bei akuter CO-Vergiftung der graviden Frau. *Geburtshilfe Frauenheilkd.* nov 1984;44(11):744-8.
61. Mohd Hanif N, Limi Hawari NSS, Othman M, Abd Hamid HH, Ahamad F, Uning R, et al. Ambient volatile organic compounds in tropical environments: Potential sources, composition and impacts – A review. *Chemosphere.* déc 2021;285:131355.
62. Liao KJ, Hou X, Baker DR. Impacts of interstate transport of pollutants on high ozone events over the Mid-Atlantic United States. *Atmos Environ.* févr 2014;84:100-12.
63. Zhang J (Jim), Wei Y, Fang Z. Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide. *Front Immunol.* 31 oct 2019;10:2518.
64. Wu K, Yang X, Chen D, Gu S, Lu Y, Jiang Q, et al. Estimation of biogenic VOC emissions and their corresponding impact on ozone and secondary organic aerosol formation in China. *Atmospheric Res.* janv 2020;231:104656.
65. Kim YM, Harrad S, Harrison RM. Concentrations and Sources of VOCs in Urban Domestic and Public Microenvironments. *Environ Sci Technol.* 1 mars 2001;35(6):997-1004.
66. Mozaffar A, Zhang YL. Atmospheric Volatile Organic Compounds (VOCs) in China: a Review. *Curr Pollut Rep.* sept 2020;6(3):250-63.

67. Wu W, Zhao B, Wang S, Hao J. Ozone and secondary organic aerosol formation potential from anthropogenic volatile organic compounds emissions in China. *J Environ Sci.* mars 2017;53:224-37.
68. Peng J, Shang B, Xu Y, Feng Z, Calatayud V. Effects of ozone on maize (*Zea mays* L.) photosynthetic physiology, biomass and yield components based on exposure- and flux-response relationships. *Environ Pollut.* janv 2020;256:113466.
69. Bruinen De Bruin Y, Koistinen K, Kephelopoulos S, Geiss O, Tirendi S, Kotzias D. Characterisation of urban inhalation exposures to benzene, formaldehyde and acetaldehyde in the European Union: Comparison of measured and modelled exposure data. *Environ Sci Pollut Res.* juill 2008;15(5):417-30.
70. Masekamani M, Moolla R, Gulumian M, Brouwer D. Risk Assessment of Benzene, Toluene, Ethyl Benzene, and Xylene Concentrations from the Combustion of Coal in a Controlled Laboratory Environment. *Int J Environ Res Public Health.* 31 déc 2018;16(1):95.
71. Leberknight CE. The Infrared Absorption of Benzene in the Liquid, Solid and Vapor States. *Phys Rev.* 15 juin 1933;43(12):967-72.
72. Whysner J, Reddy MV, Ross PM, Mohan M, Lax EA. Genotoxicity of benzene and its metabolites. *Mutat Res Mutat Res.* 2004;566(2):99-130.
73. Classification du CIRC par localisations cancéreuses • Cancer Environnement [Internet]. Cancer Environnement. [cité 3 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/publications-du-circ/classification-du-circ-par-localisations-cancereuses/>
74. Dedoussi IC, Eastham SD, Monier E, Barrett SRH. Premature mortality related to United States cross-state air pollution. *Nature.* 13 févr 2020;578(7794):261-5.
75. Liu N, Bu Z, Liu W, Kan H, Zhao Z, Deng F, et al. Health effects of exposure to indoor volatile organic compounds from 1980 to 2017: A systematic review and meta-analysis. *Indoor Air* [Internet]. mai 2022 [cité 20 juill 2023];32(5). Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.13038>
76. Montero-Montoya R, López-Vargas R, Arellano-Aguilar O. Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children. *Ann Glob Health.* 27 juill 2018;84(2):225-38.
77. Calculez la Puissance Fiscale de votre Véhicule [Internet]. [cité 3 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.guide-carte-grise.info/demarches-carte-grise/calculer-puissance-fiscale.php>
78. Rosen C, Markowitz G, Rosner D. Deceit and Denial: The Deadly Politics of Industrial Pollution. *Environ Hist - Env HIST.* 1 janv 2004;9.
79. Seyferth D. The Rise and Fall of Tetraethyllead. 1. Discovery and Slow Development in European Universities, 1853–1920. *Organometallics.* 1 juin 2003;22(12):2346-57.

80. Ethyl.Controversy.
81. Robert T. Environmental health and democracy. The example of lead in gasoline through a case study (1921-1970) [Internet]. 2023 [cité 16 mars 2024]. Disponible sur: <https://hal.science/hal-03924698>
82. A century of tragedy: Leaded gasoline [Internet]. Environmental history. 2021 [cité 16 mars 2024]. Disponible sur: <https://environmentalhistory.org/2021/12/09/a-century-of-tragedy-leaded-gasolines-centennial/>
83. He H, Jin L. A historical review of the U.S. vehicle emission compliance program and emission recall cases.
84. Niu Y, Chen R, Kan H. Air Pollution, Disease Burden, and Health Economic Loss in China. In: Dong GH, éditeur. Ambient Air Pollution and Health Impact in China [Internet]. Singapore: Springer Singapore; 2017 [cité 27 févr 2024]. p. 233-42. (Advances in Experimental Medicine and Biology; vol. 1017). Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-5657-4_10
85. Guerreiro CBB, Foltescu V, De Leeuw F. Air quality status and trends in Europe. Atmos Environ. déc 2014;98:376-84.
86. State of Global Air. Impact of air pollution on life expectancy.<https://www.stateofglobalair.org/health/life-expectancy> (accessed mar 15, 2024).
87. Chikhi S, Boughedaoui M, Kerbachi R, Joumard R. On-board measurement of emissions from liquefied petroleum gas, gasoline and diesel powered passenger cars in Algeria. J Environ Sci. 1 août 2014;26(8):1651-9.
88. Alkama R, Ait-Idir F, Slimani Z. Estimation and measurement of the automobile pollution: application to Bejaia case. Glob NEST J. 2006;8(3):277-81.
89. Kerbachi R, Oucher N, Bitouche A, Berkouki N, Demri B, Boughédaoui M, et al. Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger. In ENP Alger; 2009. p. 31-40.
90. Hazenkamp-von Arx ME, Schindler C, Ragettli MS, Künzli N, Braun-Fahrlander C, Liu LJS. Impacts of highway traffic exhaust in alpine valleys on the respiratory health in adults: a cross-sectional study. Environ Health. 2011;10:1-9.
91. Colberg CA, Tona B, Catone G, Sangiorgio C, Stahel WA, Sturm P, et al. Statistical analysis of the vehicle pollutant emissions derived from several European road tunnel studies. Atmos Environ. 2005;39(13):2499-511.
92. Putting the Brakes on Algeria's Imported Car Ban [Internet]. [cité 2 avr 2024]. Disponible sur: <https://airshare.air-inc.com/putting-the-brakes-on-algerias-imported-car-ban>

93. Caserini S, Pastorello C, Gaifami P, Ntziachristos L. Impact of the dropping activity with vehicle age on air pollutant emissions. *Atmospheric Pollut Res.* juill 2013;4(3):282-9.
94. Al-Rawi YA, Imlus MH, Yusup Y, Yahya SB. Factors affecting vehicle exhaust emissions, driver motivations as a mediator. *Environ Econ Policy Stud.* avr 2021;23(2):361-407.
95. 2002_Jones_PR.pdf [Internet]. [cité 3 avr 2024]. Disponible sur: https://nanoparticles.ch/archive/2002_Jones_PR.pdf
96. Kebede L, Tulu GS, Lisinge RT. Diesel-fueled public transport vehicles and air pollution in Addis Ababa, Ethiopia: Effects of vehicle size, age and kilometers travelled. *Atmospheric Environ X.* 1 janv 2022;13:100144.
97. Mind-blowing video shows Volkswagen dieselgate « graveyard » of cars [Internet]. *Driving.co.uk* from *The Sunday Times*. 2018 [cité 2 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.driving.co.uk/news/mind-blowing-video-shows-volkswagen-dieselgate-graveyard-cars/>
98. Gautam M, Byrd RL, Carder DK, Banks PD, Lyons DW. Particulate matter emissions and smoke opacity from in-use heavy-duty vehicles. *J Environ Sci Health Part A.* avr 2000;35(4):557-73.

XII. Résumé

La pollution est un problème de santé publique, entraînant des coûts et des dépenses importants en raison de son implication dans différentes maladies respiratoires telles que l'asthme, la BPCO et le cancer bronchique. En Algérie, le parc automobile vieillissant et les pratiques de décataylage font du secteur des transports un facteur important contribuant à la pollution atmosphérique. La pénurie de chiffres mesurant l'ampleur de la pollution automobile en Algérie a conduit à la réalisation de cette étude. Notre objectif est d'estimer la prévalence des voitures non conformes aux normes d'émission de gaz ISO 3929 sur un échantillon de 241 véhicules, comprenant 146 véhicules à essence et 95 véhicules diesel, sur la période allant du 01/11/2023 au 31/01/2024. Les véhicules ont été recrutés au sein d'un centre de contrôle situé à Laghouat, en Algérie. L'étude a révélé une prévalence de 47,30 % de véhicules non conformes à la norme ISO 3929 dans notre population d'étude. Cette prévalence monte à 78,08 % dans l'échantillon des véhicules à essence. Pour les véhicules diesel, 100 % des procédures ont été jugées incorrectes et douteuses, si bien qu'aucun véhicule diesel n'a été déclaré non conforme. Pour les véhicules à essence, on a constaté 24,66 % de procédures incorrectes et 71,99 % de procédures douteuses. En ce qui concerne le vieillissement du parc automobile, l'âge moyen de notre population étudiée a été estimé à 13 ans. Notre résultat soulève un problème significatif en matière de mesures anti-pollution des véhicules en Algérie, tant en ce qui concerne les réglementations des normes d'émission que les procédures de contrôle technique.

Pollution atmosphérique – Maladies respiratoires – Contrôle technique antipollution - Normes ISO 3929 – Vieillissement du parc automobile – Décataylage.

Abstract

Pollution is a public health issue, resulting in significant costs and expenses due to its involvement in various respiratory diseases such as asthma, COPD, and bronchial cancer. In Algeria, the aging vehicle fleet and decatalyzing practices make the transportation sector a significant contributor to air pollution. The lack of data measuring the extent of automotive pollution in Algeria led to the realization of this study. Our objective is to estimate the prevalence of non-compliant vehicles with ISO 3929 gas emission standards in a sample of 241 vehicles, including 146 gasoline vehicles and 95 diesel vehicles, over the period from 01/11/2023 to 31/01/2024. The vehicles were recruited from a control center located in Laghouat, Algeria. The study revealed a prevalence of 47.30% of non-compliant vehicles with ISO 3929 standard in our study population. This prevalence rises to 78.08% in the sample of gasoline vehicles. For diesel vehicles, 100% of the procedures were deemed incorrect and dubious, so no diesel vehicle was declared non-compliant. For gasoline vehicles, 24.66% of procedures were found incorrect and 71.99% were found dubious. Regarding the aging of the vehicle fleet, the average age of our study population was estimated at 13 years. Our result highlights a significant issue regarding vehicle pollution control measures in Algeria, both in terms of emission standard regulations and technical inspection procedures

Atmospheric pollution - Respiratory diseases – Pollution test for vehicles - ISO 3929 standards – Aging of vehicle fleet – Catalytic converter removal.

ملخص

يعد تلوث الجو من المشاكل الصحية المعاصرة، تنتج عنه مصاريف وتكاليف صحية معتبرة، نظرا لارتباطه بالعديد من الأمراض التنفسية كالربو والتهابات الشعب الهوائية المزمنة وسرطان الرئة. في الجزائر، شيخوخة حظيرة السيارات الذي تحوزه البلاد بالإضافة إلى ممارسات خلع المحوّل الحافز للسيارات تجعل من قطاع النقل واحد من أهم المساهمين في مشكلة التلوث الجوّي. في ظل النقص الواضح في البيانات والاحصائيات في شأن التلوث الصادر عن السيارات تمّ تصميم هذه الدراسة، والتي تهدف لتقدير نسبة السيارات غير المطابقة لمعايير ISO 3929 في مجموعة من 241 سيارّة، من بينها 146 سيارة جازولين و95 سيارة ديزل. في الفترة المنحصرة بين 2023/11/01 و 2024/01/31 في مركزٍ للمراقبة التقنية بولاية الأغواط الواقعة بدولة الجزائر. قُدرت نسبة السيارات غير المطابقة للمعايير بـ 47.30%، وترتفع هذه النسبة إلى 78.08% في مجموعة سيارات الجازولين. في مجموعة الديزل، 100% من منهجية الاختبارات تم تصنيفها كغير صحيحة أو مشكوك فيها وهذا ما جعل كل السيارات بالمجموعة مطابقة للمعايير. أمّا بالنسبة لسيارات الجازولين فوجد أنّ 24.66% من الاختبارات كانت ذات منهجية غير صحيحة وأنّ 71.99% منها ذات منهجية مشكوك فيها. بخصوص شيخوخة حظيرة السيارات فوجد أنّ متوسط عمر السيارات بالمجموعة المدروسة قد قيّر بـ 13 سنة. نتائج هذه الدراسة تسلط الضوء عن مشاكل ملحّة بخصوص استراتيجيات مكافحة التلوث الجوّي الناتج عن السيارات في الجزائر، سواءً بالنسبة إلى المعايير المتبعة أو منهجية الاختبارات المعتمد عليها في مراكز المراقبة التقنية للسيارات.

التلوث الجوّي – أمراض الجهاز التنفّسي – المراقبة التقنية للسيارات – معايير ISO 3929 – شيخوخة حظيرة السيارات – خلع المحوّل الحافز.