



**HAL**  
open science

# Exposition aux particules ultrafines et au carbone suie des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire (Projet PUF-TAXI)

Mélissa Hachem

## ► To cite this version:

Mélissa Hachem. Exposition aux particules ultrafines et au carbone suie des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire (Projet PUF-TAXI). Médecine humaine et pathologie. Université Paris Cité; Université Libanaise, 2020. Français. NNT : 2020UNIP5190 . tel-04205655

**HAL Id: tel-04205655**

**<https://theses.hal.science/tel-04205655>**

Submitted on 13 Sep 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**THÈSE EN COTUTELLE**  
Pour l'obtention du grade de Doctorat délivré par  
**UNIVERSITÉ DE PARIS**  
Épidémiologie et Sciences de l'Information Biomédicale (ED 393)

**ET**

**UNIVERSITÉ LIBANAISE**  
École Doctorale en Sciences et Technologie

Spécialité : **SANTÉ PUBLIQUE/ÉPIDÉMIOLOGIE**  
Présentée et soutenue publiquement le 24 novembre 2020 par

**Mélissa HACHEM**

**Exposition aux particules ultrafines et au carbone suie des chauffeurs de taxi :  
déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire  
(Projet PUF-TAXI)**

**Jury**

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Rapporteurs                        | Monsieur le Professeur Gérard LASFARGUES<br><i>Université Paris-Est Créteil</i><br>Madame le Professeur Irina GUSEVA CANU<br><i>Université de Lausanne</i>                                    |
| Examineurs                         | Madame le Professeur Isabella ANNESI-MAESANO<br><i>Université Pierre et Marie-Curie</i><br>Monsieur le Docteur Olivier LE BIHAN<br><i>Association Air Breizh</i>                              |
| Invités                            | Madame le Docteur Hélène DESQUEYROUX<br><i>ADEME – Direction Exécutive Prospective et Recherche</i><br>Monsieur le Docteur Laurent GAGNEPAIN<br><i>ADEME – Service transports et mobilité</i> |
| Directrice de Thèse                | Madame le Professeur Isabelle MOMAS<br><i>Université de Paris</i>   |
| Co-directrice de Thèse             | Madame le Professeur Nadine SALEH<br><i>Université Libanaise</i>  |
| Membre invitée<br>(co-encadrement) | Madame le Docteur Lynda BENSEFA-COLAS<br><i>Assistance Publique – Hôpitaux de Paris</i>   |



# LABORATOIRES D'ACCUEIL



Université de Paris

Faculté de Pharmacie de Paris

Inserm UMR 1153 - CRESS - Équipe HERA (*Health Environmental Risk Assessment*)

4 avenue de l'Observatoire

75 270 Paris, France

Tél. : + 33 (0)1 53 73 97 28



Université Libanaise

Faculté de Santé Publique – Section II

CERIPH (Centre d'Études et de Recherche in Public Health)

Pierre Jmayel University Campus, Fanar

Beyrouth, Liban

Tél. : + 961 (0)1 68 63 55



# FINANCEMENTS

Ce travail a été possible grâce au soutien financier de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) (Contrat n° 1666C0006) en réponse à l'appel à projet (APR) du Programme National de Recherche Santé Environnement Travail (PNREST) de 2015.

L'Assistance publique hôpitaux de Paris (AP-HP) est le promoteur de cette recherche et par délégation le Département de la recherche Clinique et de l'Innovation (DRCI) en assure les missions, conformément à l'article L.1121-1 du code de la santé publique.

Le bilan médical d'inclusion a été effectué dans l'Unité de Consultation de pathologies professionnelles et environnementales de l'hôpital Hôtel-Dieu de Paris, AP-HP. Centre-Université de Paris.

Ma thèse a été cofinancée durant les trois années par une bourse de thèse de l'ADEME et du Centre national de la recherche scientifique - Liban (CNRS-L), puis sur les fonds de contrats de recherche de l'équipe.



Conseil National de la Recherche Scientifique



Cochin • Port-Royal • Tarnier • Broca  
La Collégiale • La Rochefoucauld • Hôtel-Dieu





# RÉSUMÉ

## Exposition aux particules ultrafines et au carbone suie des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire (projet « PUF-TAXI »)

**Contexte.** La qualité de l'air dans l'habitacle du véhicule est une préoccupation majeure des professionnels de la conduite en raison du temps considérable passé dans l'automobile et à proximité des émissions du trafic routier. Les particules ultrafines (PUF) et le carbone suie (black carbon, BC) sont de plus en plus évoqués pour leurs effets potentiels sur la santé respiratoire ; toutefois de nombreuses interrogations persistent.

**Objectifs.** (1) Quantifier les concentrations des PUF, du BC, du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et du monoxyde de carbone (CO) dans l'habitacle de taxis, au cours d'une journée de travail et par trajet en région parisienne, et des PUF et du BC dans l'habitacle de taxis à Beyrouth, au cours d'une demi-journée de travail; (2) identifier les déterminants de ces concentrations liés aux modalités d'exercice et (3) dans l'étude francilienne, étudier l'association à court terme entre l'exposition aux PUF et au BC dans l'habitacle des taxis et les symptômes d'irritation des muqueuses (nez, gorge, yeux) ainsi que la variation de la fonction respiratoire au cours d'une journée de travail des chauffeurs de taxi.

**Méthodes - volet expologique.** L'évaluation de l'exposition de 50 chauffeurs de taxi en région parisienne pendant 499 trajets s'est déroulée entre février 2019 et janvier 2020 tandis qu'une étude pilote a été menée au Liban entre mai et août 2019 auprès de 20 chauffeurs de taxi. Les concentrations des PUF, du BC complétées par celles du CO, du NO<sub>2</sub>, des paramètres d'ambiances et des données spatio-temporelles issues d'un GPS à Paris, ont été mesurées par des capteurs portatifs en continu dans l'habitacle des taxis. Les caractéristiques des véhicules et des trajets réalisés ont été recueillies par des auto-questionnaires. Les déterminants des concentrations des polluants ont été identifiés par des modèles multivariés (Generalized Estimating Equation et régressions linéaires multiples). **Volet épidémiologique** – Dans l'étude francilienne, après un examen clinique d'inclusion, les chauffeurs de taxi ont effectué, parallèlement à l'évaluation de leur exposition, deux mesures spirométriques en début et en fin de poste et relevé les symptômes ressentis et leur intensité durant la journée de travail. Des modèles multivariés de régressions linéaires et logistiques ont été utilisés pour étudier l'association entre (1) les indicateurs d'exposition (PUF, BC) et (2) l'irritation des muqueuses et les performances ventilatoires, en tenant compte des facteurs de confusion/d'interaction potentiels.

**Résultats - volet expologique.** À Paris, les concentrations dans l'habitacle des taxis étaient de l'ordre de  $29,7 \pm 18,5 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup> pour les PUF, de  $3,1 \pm 1,3$  µg/m<sup>3</sup> pour le BC, de  $231 \pm 307$  µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub> et de  $488 \pm 949$  µg/m<sup>3</sup> pour le CO. À Beyrouth, les concentrations des PUF dans l'habitacle des taxis étaient de  $35,2 \pm 17,4 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup> et du BC de  $5,2 \pm 1,9$  µg/m<sup>3</sup>. Trois grands types de déterminants des concentrations des polluants à l'intérieur des taxis ont été identifiés : (1) les facteurs ambiants (météorologie et pollution de l'air extérieur) – affectant BC, NO<sub>2</sub> et CO ; (2) les caractéristiques des véhicules - affectant tous les polluants et (3) les caractéristiques des trajets - affectant PUF, BC et CO. **Volet épidémiologique** - La concentration des PUF à l'intérieur des véhicules taxis a été associée à la fois à une augmentation de la survenue de symptômes d'irritation nasale et à une diminution des performances respiratoires des chauffeurs franciliens, au cours de leur journée de travail. Aucune association n'a été mise en évidence avec le BC. Les symptômes d'irritations de la gorge et des yeux ne sont pas reliés aux concentrations particulières à l'intérieur des véhicules, mais ils dépendent de la qualité de l'air ambiant et de l'humidité à l'intérieur du véhicule, respectivement.

**Conclusion. En termes de connaissances,** ce travail contribue à mieux comprendre l'exposition aux polluants d'origine automobile dans l'habitacle des véhicules et l'association à court terme des concentrations des PUF avec la santé respiratoire. **D'un point de vue opérationnel,** ce travail débouche sur des recommandations pratiques afin de minimiser l'exposition aux polluants dans l'habitacle des véhicules, aussi bien pour les professionnels de la conduite que pour tous les automobilistes.

**Mots clés :** chauffeurs de taxi ; exposition professionnelle ; particules ultrafines ; carbone suie ; dioxyde d'azote ; monoxyde de carbone ; déterminants ; irritation des muqueuses ; fonction respiratoire.



# ABSTRACT

## **Exposure of taxi drivers to ultrafine particles and black carbon: determinants of exposure and respiratory health impact (“PUF-TAXI” project)**

**Background.** Air quality inside vehicles is a major concern for professional drivers, given the considerable time they spend in transport close to the traffic emissions. Recently ultrafine particles (UFP) and black carbon (BC) have been subject of increasing interest due to their potential respiratory effects; however substantial uncertainties remain.

**Objectives.** (1) to measure UFP, BC, nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO) in-taxicabs during a working day and by trip in Paris area, and UFP and BC in-taxicabs for half a day in Beyrouth; (2) to identify the determinants of the pollutant concentrations and (3) to examine the short-term association between in-vehicle exposure of Parisian taxi drivers to UFP and BC during a working day and respiratory health, in particular mucosal irritation symptoms (nose, throat, and eye) and lung function.

**Methods- exposure component.** Assessment of the exposure of 50 taxi drivers during 499 trips in Paris area was carried out between February 2019 and January 2020, while the pilot study in Beyrouth was conducted between May and August 2019 in 20 taxi drivers. UFP, BC concentrations were continuously recorded in-taxicabs by portable devices and completed by CO, NO<sub>2</sub>, comfort parameters and navigational data from a GPS in Paris area. Data on vehicles and trips characteristics were collected by self-administered questionnaires. The determinants of the pollutant concentrations were identified using Generalized Estimating Equations and multiple linear regression models. **Epidemiologic component** – In Paris study, after the physical examination, on the measurement day taxi drivers underwent a spirometry test and a symptom evaluation test pre- and post-working day. Linear and logistic regression models were used to study the association between (1) the exposure indicators (UFP, BC) and (2) mucosal irritation symptoms and lung function parameters, respectively, adjusting for potential confounders.

**Results - exposure component.** In Paris area, in-taxicabs UFP, BC, NO<sub>2</sub> and CO concentrations were  $29.7 \pm 18.5 \times 10^3$  particles/cm<sup>3</sup>,  $3.1 \pm 1.3$  µg/m<sup>3</sup>,  $231 \pm 307$  µg/m<sup>3</sup> and  $488 \pm 949$  µg/m<sup>3</sup>, respectively. In Beyrouth, in-taxicabs concentrations of UFP were  $35.2 \pm 17.4 \times 10^3$  particles/cm<sup>3</sup> and of BC  $5.2 \pm 1.9$  µg/m<sup>3</sup>. Three main types of determinants of in-vehicles pollutant levels were identified: (1) ambient factors (meteorology and ambient pollution) – affecting BC, NO<sub>2</sub> and CO; (2) vehicle characteristics – affecting all the pollutants; (3) trip related driving habits - affecting UFP, BC and CO. **Epidemiologic component** - In-taxicabs UFP concentrations were associated with both acute nasal irritation symptoms and the decrease in lung function in Parisian taxi drivers, during their working day. No association was found with BC concentrations. Incident throat and eye irritation symptoms were not related to in-vehicle particles exposure; however, they were associated with outdoor air quality and in-vehicle humidity, respectively.

**Conclusion. In terms of knowledge,** this work helped to a better understanding of air pollutants exposure inside vehicles and the short-term association of UFP concentrations with respiratory health. **Regarding operational implications,** this work led to practical recommendations for all professional drivers as well as for all commuters in order to reduce air pollutant concentrations inside vehicles.

**Keywords:** taxi drivers; professional exposure; ultrafine particles; black carbon; nitrogen dioxide; carbon monoxide; determinants; mucosal irritation; lung function.

# VALORISATIONS SCIENTIFIQUES

## Publications scientifiques

- **Publiés**

**Hachem M**, Saleh N, Paunescu A-C, Momas I\*, Bensefa-Colas L\*. Exposure to traffic air pollutants in taxicabs and acute adverse respiratory effects: A systematic review. *Science of The Total Environment*. 2019; 693:133439. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.245>.

\* *Equal contribution*

**Hachem M**, Bensefa-Colas L, Lahoud N, Akel M, Momas I\*, Saleh N\*. Cross-sectional study of in-vehicle exposure to ultrafine particles and black carbon inside Lebanese taxicabs. *Indoor Air*. 2020; 30: 1308– 1316. <https://doi.org/10.1111/ina.12703>.

\* *Equal contribution*

- **En révision**

**Hachem M**, Saleh N, Bensefa-Colas L, Momas I\*. Determinants of ultrafine particles, black carbon, nitrogen dioxide and carbon monoxide concentrations inside vehicles in Paris area: PUF-TAXI study. *Indoor air*.

\* *Equal contribution*

**Hachem M**, Loizeau M, Saleh N, Momas I\*, Bensefa-Colas L\*. Short-term association of in-vehicle UFP and BC concentration with respiratory health in Parisian taxi drivers. *Environment International*.

\* *Equal contribution*

## Communications scientifiques

**Hachem M**, Saleh N, Bensefa-Colas L, Momas I. Exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (black carbon, BC) des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire. Journées des Doctorants ADEME, Valbonne, France, mars 2018 (poster). *Premier prix*

**Hachem M**, Saleh N, Bensefa-Colas L, Momas I. Exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (black carbon, BC) des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire. Journées de l'ED-393, Saint-Malo, France, octobre 2018 (poster).

**Hachem M**, Saleh N, Bensefa-Colas L, Momas I. Etude pilote : exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (Black Carbon, BC) des chauffeurs de taxi libanais. Journées de l'ED-393, Saint-Malo, France, octobre 2019 (poster).

**Hachem M**, Saleh N, Bensefa-Colas L, Momas I. Determinants of exposure to ultrafine particles (PUF) and black carbon (BC) inside Parisian taxi vehicles, the PUF-TAXI project. 32<sup>nd</sup> Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology (ISEE), Washington, États-Unis, août 2020 (e-poster).

## Vulgarisation scientifique

- **Communications orales**

**Hachem M.** Exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (black carbon, BC) des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire. Ecole de taxi Hocine Yousfi, Hotel IBIS, Paris, France, avril 2019.

**Hachem M,** Bensefa-Colas L. Exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (black carbon, BC) des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire. Salon des Taxis, Parc des expositions, Paris, France, janvier 2019.

- **Vidéo**

**Hachem M,** Saleh N, Bensefa-Colas L, Momas I. Exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (black carbon, BC) des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire. [https://www.youtube.com/watch?v=h\\_hlwhtEAH8](https://www.youtube.com/watch?v=h_hlwhtEAH8).

Concours Francosphères de la Cité Universitaire Internationale de Paris et de l'Université Montréal, mai 2018. *Prix coup du cœur.*

Les chercheurs font leur cinéma du festival courts-métrages Doc 'Up, novembre 2018. *Prix du jury.*

- **Ma thèse en 180 secondes (MT180s)**

**Hachem M.** Exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (black carbon, BC) des chauffeurs de taxi : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire.

Finale USPC du concours de « MT180s », Université de Paris Diderot, Paris, France, mars 2019.

Finale CNRS-L/AUF concours de « MT180s », Bibliothèque nationale, Liban, juin 2019. *2ème Prix du Jury et Prix du public.*



# REMERCIEMENTS

*« On ne peut applaudir d'une seule main »*

*Morgan Sportès*

Une merveilleuse aventure scientifique qui s'achève, un rêve qui devient réalité...avec un cœur en feu et des émotions dépouillées, j'espère pouvoir avec ces quelques lignes prononcer toute ma reconnaissance et rendre hommage aux personnes qui ont participé à leur manière à la réalisation de cette thèse.

Je tiens à remercier, du fond du cœur Madame le **Professeur Isabelle MOMAS**, ma directrice de thèse, sans qui, cet accouchement n'aurait jamais eu lieu. Travailler à vos côtés est un honneur et un bonheur, et avoir votre confiance est une immense fierté. Vos qualités scientifiques exceptionnelles, vos conseils avisés, m'ont permis de découvrir les fabuleux plaisirs de la recherche en épidémiologie environnementale. Merci de m'avoir toujours assuré la possibilité de travailler dans les meilleures conditions. Je n'oublierai jamais votre soutien et votre disponibilité dans les moments de doute. Aucun mot ne sera suffisant pour exprimer toute ma gratitude.

Je remercie vivement Madame le **Professeur Nadine SALEH**, ma codirectrice de thèse pour son implication enrichissante malgré la distance, pour son neuf regard scientifique et pour son optimisme. Merci également d'avoir traversé les frontières afin de travailler et merci pour vos conseils autant professionnels que personnels. Je vous suis reconnaissante pour tous les petits moments de partage qui ont agrémenté mon parcours.

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à Madame le **Docteur Lynda BENSEFA-COLAS**, ma co-encadrante de thèse pour son encadrement fructueux et son accompagnement actif dès mes premiers pas en recherche en Master et puis en thèse. Votre rigueur scientifique et votre bienveillance ont résonné en moi tout au long mon parcours. Merci pour votre soutien et vos encouragements, qui ont rendu faciles les moments les plus difficiles.

Je souhaite remercier très sincèrement les membres du jury pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture de cette thèse et à juger ce travail. Je remercie Monsieur le **Professeur Gérard LASFARGUES** et Madame le **Docteur Irina GUSEVA CANU**, pour avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse ; et le **Docteur Isabella ANNESI-MAESANO** et le **Docteur Oliver LE BIHAN** pour l'avoir examiné. Je tiens également à remercier Monsieur le **Docteur Laurent GAGNEPAIN** pour avoir accepté de participer à ce jury de thèse et pour toutes les données précieuses fournies et ces réflexions expertes du milieu de transport, qui ont été d'une grande utilité. Merci à Madame le **Docteur Hélène DESQUEYROUX** pour son aide et pour sa présence à la soutenance en tant que membre invité du jury.

Je remercie mes co-financeurs, l'**ADEME** et le **CNRS-L** qui ont cru en ce projet.

Je remercie également le promoteur du projet l'AP-HP. Merci à Monsieur **MASSON Guillaume** et à Monsieur **GOUPIL Sylvain** pour leur assistance technique dans la mise en œuvre de l'étude.

Mon travail sur le terrain a été particulièrement facilité grâce à l'aide inestimable de :

- Madame le Docteur **AUBOURG Frédérique** pour les formations sur les explorations fonctionnelles respiratoires, les essais du spiromètre et pour le regard expert vis-à-vis l'évaluation de la fonction respiratoire. Merci également à Madame le **Docteur DONNAY Carole** pour la formation sur l'asthme et pour ces conseils d'interprétation du questionnaire médical.
- Monsieur le Docteur **LOIZEAU Maxime** pour la réalisation des consultations médicales à l'Hôtel-Dieu et ses précieux éclairages sur le plan clinique. Merci pour ton intérêt, et toutes les heures que tu as consacré au projet PUF-TAXI malgré toutes tes occupations. C'était vraiment un grand plaisir de travailler avec toi. Je profite pour remercier toute l'équipe de l'unité de consultation de pathologies professionnelles et environnementales dans l'hôpital Hôtel-Dieu de Paris. Mention spéciale pour **Gisèle** et **Sophie** pour faciliter les procédures administratives ; et à **Hadrien** et tous les internes qui ont aidé Maxime dans les consultations.
- Madame le Docteur **PAUNESCU Alexandra-Cristina** qui m'as passé le flambeau et m'a armée avec « les kits cachés » pour mener ce travail à bon port. Merci pour votre aide méthodologique et vos conseils « pratico-pratiques ».
- L'équipe du laboratoire de l'école doctorale des sciences et de technologique pour son accueil chaleureux et la mise à ma disposition des équipements nécessaires pour l'entretien des appareils de mesure. Merci également à **Christine Bou Tayeh** pour son aide au recrutement de l'échantillon de chauffeurs de taxis libanais et à la réalisation de l'étude sur le terrain libanais.
- Madame **FREZZA Emmanuelle**, Madame **MANCERON Hélène** et Monsieur **HOCINE Yousfi** pour leur aide précieuse au recrutement des participants.

Je remercie tout particulièrement tous les membres de mon laboratoire d'accueil, **Nathalie, Sophie, Fanny, Céline**, qui par leur accueil et leur soutien, ont contribué à mon intégration dans ce monde de convivialité. Je remercie également **Vanessa Ghomari** pour son assistance dans les démarches administratives et auprès des fournisseurs. **Malika** merci pour ton sourire, ta gentillesse, tes petites attentions et ton soutien quand le moral était bas.

Je n'oublie évidemment pas mes camarades co-doctorants **Stéphan, Nicolas, Hélène, Mélissa B**, avec lesquels j'ai partagé tous ces moments de doute et de plaisir. Tous ces instants autour d'un repas, ont été autant de moments de détente indispensables pour une complète expression scientifique.

Un grand merci à tous mes amis au Liban pour leurs soutiens, malgré les distances. Mention spéciale à **Christine** pour l'amitié, les aller-retours à l'école doctorale qu'elle a dû faire pour régler mes papiers et son aide dans la revue systématique. MERCI à mes amis en France qui constituent « ma petite famille » **Charbel, Rindala, Maria, Zaya, Ali, Yara, Rina, Mohsen et Nassif** pour les bons moments, les belles soirées et les rires...la vie serait bien triste sans vous.

À **Charbel** d'être présent à TOUT instant. Ta créativité singulière a été la clef de voûte de la réussite de la vidéo de vulgarisation scientifique de ce projet. Ton soutien a été sans faille et tes conseils sages ont été des mains tendues. C'est avec plaisir qu'une fois de plus, je te retrouve à mes

côtés pour un moment fort de ma vie. À **Rindala, Zaya** et **Maria** pour tous ces moments heureux que nous avons passés ensemble. Tout simplement merci d'avoir été des sœurs.

Aucune formule ne serait assez forte pour remercier ma famille, écrire ces mots me donne les larmes aux yeux...Ma maman **Hilda**, qui est à l'origine de tout...Les 45 minutes passées au téléphone chaque matin en chemin au laboratoire me ressourçaient, me donnaient la force pour tirer le meilleur de chaque journée...tu es ma merveille. Mon père **Jean**, mon petit point faible... ta confiance en moi et ta tendresse m'ont été un support de réconfort et le seront toujours. Ma sœur adorée **Pia** la plus belle âme... la personne qui subit mes mauvaises humeurs et mes coups de mou ...la personne qui a su prendre soin de moi ... la personne qui était toujours là malgré la distance « *Payout, yaaa télépathie* » ... Merci pour tes encouragements et pour tous les rires « *kik* » ... « *Okhte* » je t'admire et je te souhaite de tout mon cœur beaucoup de bonheur avec **Mario**. Tout simplement merci pour votre amour et pour votre soutien inconditionnel. Sans vous je n'étais pas aujourd'hui là où je suis ! C'est avec émotion qu'à mon tour je vous dévoile le fruit de mes efforts. J'espère être à la hauteur de votre fierté. Vous me manquez énormément et je vous aime beaucoup...

Mes derniers remerciements et non les moindres, s'adressent aux chauffeurs de taxi français et libanais pour leur participation et leur engagement. Sans eux le projet PUF-TAXI n'aurait jamais vu le jour.





# TABLE DES MATIÈRES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>ÉTAT DES CONNAISSANCES.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>I. Pollution atmosphérique d'origine automobile .....</b>  | <b>8</b>  |
| I.1. Généralités.....   | 8         |
| I.2. Principaux polluants d'origine particulaires et gazeux .....   | 10        |
| I.2.1. Oxydes d'azote (NO, NO <sub>2</sub> ).....   | 10        |
| I.2.2. Oxydes de carbone (CO, CO <sub>2</sub> ).....  | 13        |
| I.2.3. Particules (PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>1.0</sub> , PUF).....                                       | 15        |
| I.2.4. Carbone suie .....   | 18        |
| <b>II. Facteurs influant sur les émissions automobiles .....</b>  | <b>20</b> |
| II.1. Valeurs limites d'émission des normes Euro.....   | 20        |
| II.2. Facteurs liés aux véhicules.....  | 21        |
| II.3. Facteurs liés aux conditions de circulation .....   | 22        |
| II.4. Facteurs climatiques .....  | 22        |
| II.5. Facteurs influant sur l'infiltration des polluants dans l'habitacle du véhicule .....                                   | 23        |
| <b>III. Parc automobile.....</b>  | <b>24</b> |
| III.1. Parc automobile francilien.....  | 24        |
| III.2. Parc automobile libanais.....  | 27        |
| <b>IV. Exposition aux polluants issus du transport routier dans l'habitacle des véhicules taxis et ses déterminants .....</b> | <b>28</b> |
| <b>V. Effets respiratoires de l'exposition à la pollution atmosphérique d'origine automobile</b>                              | <b>45</b> |
| V.1. Anatomie de l'appareil respiratoire et la ventilation pulmonaire .....   | 45        |
| V.2. Mécanismes de dépôt et de translocation des particules dans les poumons .....  | 50        |
| V.3. Effets respiratoires en population générale.....   | 53        |
| V.4. Effets respiratoires chez les professionnels de la conduite.....   | 58        |
| <b>OBJECTIFS DE LA THÈSE .....</b>  | <b>61</b> |
| <b>MATÉRIEL ET MÉTHODES.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>I. Projet PUF-TAXI à Paris .....</b>   | <b>67</b> |
| I.1. Organisation de l'étude .....  | 67        |
| I.1.1. Déroulement.....   | 67        |

|  |           |
|--|-----------|
| I.1.2. Considérations légales et éthiques .....  | 68        |
| I.2. Population d'étude .....  | 69        |
| I.2.1. Critères d'éligibilité .....  | 69        |
| I.2.2. Modalités de recrutement et d'inclusion.....  | 69        |
| I.3. Volet épidémiologique : évaluation de l'état de santé des chauffeurs de taxi .....  | 70        |
| I.3.1. A l'inclusion .....   | 70        |
| I.3.2. Le jour des mesurages.....  | 74        |
| I.4. Volet expologique : évaluation de l'exposition des chauffeurs de taxi franciliens aux polluants issus du transport routier dans les habitacles de leurs véhicules ..... | 76        |
| I.4.1. Mesurage de l'exposition.....   | 78        |
| I.4.2. Données recueillies .....   | 81        |
| I.5. Gestion des données .....   | 83        |
| <b>II. Étude exploratoire d'expologie au Liban .....</b>   | <b>84</b> |
| II.1. Organisation de l'étude .....  | 84        |
| II.1.1. Déroulement .....  | 84        |
| II.1.2. Considérations légales et éthiques.....  | 85        |
| II.2. Population d'étude .....   | 85        |
| II.2.1. Critères d'éligibilités .....  | 85        |
| II.2.2. Modalités de recrutement et d'inclusion .....  | 85        |
| II.3. Évaluation de l'exposition des chauffeurs de taxi libanais aux particules ultrafines et au carbone suie .....  | 86        |
| II.4. Données recueillies .....  | 86        |
| II.4.1. Caractéristiques du véhicule taxi et des habitudes professionnelles .....  | 86        |
| II.4.2. Caractéristiques des trajets et des pauses .....   | 87        |
| II.4.2. Paramètres météorologiques.....  | 87        |
| II.5. Gestion des données.....   | 87        |
| <b>III. Analyses statistiques.....</b>   | <b>88</b> |
| III.1. Volet expologique .....   | 88        |
| III.1.1. Description des résultats des investigations environnementales.....   | 88        |
| III.1.2. Identification des déterminants des niveaux d'exposition aux polluants dans le véhicule taxi .....  | 89        |
| III.2. Volet épidémiologique .....   | 91        |
| III.2.1. Description des résultats des investigations sanitaires à Paris .....   | 91        |

|   |            |
|---|------------|
| III.2.2. Association entre l'exposition aux polluants particuliers issus du trafic routier dans les véhicules taxis et l'incidence d'irritation du nez, de la gorge et des yeux durant une journée de travail à Paris .....                                     | 92         |
| III.2.3. Association entre l'exposition aux polluants particuliers issus du trafic routier dans les véhicules taxis avec le changement des paramètres de la fonction respiratoire durant une journée de travail à Paris .....                                   | 92         |
| <b>RÉSULTATS ET DISCUSSION .....</b>  | <b>95</b>  |
| <b>I. Présentation des populations étudiées .....</b>   | <b>97</b>  |
| I.1. Échantillon de l'étude pilote à Beyrouth.....  | 97         |
| I.2. Échantillon de l'étude principes à Paris .....   | 98         |
| <b>II. Volet expologique .....</b>  | <b>100</b> |
| II.1. Concentrations des PUF et du BC dans l'habitacle de taxis à Beyrouth et déterminants de ces concentrations par journée de travail.....  | 100        |
| II.2. Concentrations des PUF, du BC, du NO <sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle de taxis à Paris et déterminants de ces concentrations par trajet.....  | 112        |
| II.3. Comparaison des concentrations des PUF, du BC et de leurs déterminants dans l'habitacle des taxis, entre Beyrouth et Paris .....  | 156        |
| <b>III. Volet épidémiologique.....</b>  | <b>158</b> |
| III.1. Associations entre l'exposition aux PUF et au BC dans l'habitacle de taxis et l'irritation des muqueuses (nez, gorge, yeux) et la variation de la fonction respiratoire chez les chauffeurs de taxi franciliens, au cours d'une journée de travail ..... | 158        |
| <b>DISCUSSION GÉNÉRALE .....</b>  | <b>183</b> |
| <b>I. Points forts et points faibles.....</b>   | <b>185</b> |
| <b>II. Concentrations des polluants particuliers et gazeux dans l'habitacle des véhicules taxis .....</b>   | <b>187</b> |
| <b>III. Déterminants des concentrations des polluants particuliers et gazeux dans l'habitacle des taxis.....</b>  | <b>191</b> |
| <b>IV. Associations entre l'exposition professionnelle des chauffeurs de taxi aux PUF et au BC dans l'habitacle de leur véhicule et leur santé respiratoire, au cours d'une journée de travail.....</b>   | <b>193</b> |
| <b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>   | <b>195</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>  | <b>203</b> |
| <b>ANNEXES.....</b>   | <b>215</b> |

# LISTE DES TABLEAUX

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tableau I.</b> Normes européennes, françaises et valeurs guides de l’OMS pour les niveaux d’exposition au NO <sub>2</sub> dans l’air ambiant. ....  | 11  |
| <b>Tableau II.</b> Valeurs limites d’exposition professionnelle (VLEP) aux NO <sub>x</sub> au niveau national et international.....  | 12  |
| <b>Tableau III.</b> Normes européennes, françaises et valeurs guides de l’OMS pour les niveaux d’exposition au CO dans l’air ambiant.....  | 14  |
| <b>Tableau IV.</b> Valeurs limites d’exposition professionnelle (VLEP) aux CO <sub>x</sub> au niveau national et international.....  | 14  |
| <b>Tableau V.</b> Normes européennes, françaises et valeurs guides de l’OMS pour les niveaux d’exposition aux PM <sub>10</sub> et des PM <sub>2,5</sub> dans l’air ambiant.....                                    | 17  |
| <b>Tableau VI.</b> Valeurs limites d’émission des normes Euro et cycle NEDC. ....  | 20  |
| <b>Tableau VII.</b> Valeurs limites d’émission des normes Euro et cycle WLTC/RDE. ....   | 21  |
| <b>Tableau VIII.</b> Les critères caractérisant les différentes anomalies fonctionnelles selon les recommandions de l’ATS/ERS et GOLD. ....  | 48  |
| <b>Tableau IX.</b> Seuils significatifs de variation en pourcentages des changements des paramètres respiratoires au cours du temps chez des sujets sains d’après les recommandations de l’ATS/ERS. ....           | 49  |
| <b>Tableau X.</b> Altération des paramètres respiratoires en fonction de la procédure d’exécution du test respiratoire et d’une anomalie respiratoire fonctionnelle d’après les recommandations de l’ATS/ERS. .... | 49  |
| <b>Tableau XI.</b> Effets respiratoires à long et court terme des polluants réglementés traditionnels en population générale. ....   | 54  |
| <b>Tableau XII.</b> Le niveau de preuve rapportés dans REVIHAAP pour l’effets respiratoires de l’exposition à court terme au BC (source : ANSES, 2019).....  | 57  |
| <b>Tableau XIII.</b> Les catégories de qualité de la CVF et du VEMS chez les adultes (d’après Culver <i>et al.</i> 2017).....  | 75  |
| <b>Tableau XIV.</b> Description générale des chauffeurs de taxi de l’étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth (N=20). ....   | 97  |
| <b>Tableau XV.</b> Description générale des chauffeurs de taxi de l’étude PUF-TAXI princeps à Paris (N=50). ....   | 98  |
| <b>Tableau XVI.</b> Présentation des caractéristiques de la campagne de mesure et des véhicules taxis à Beyrouth et à Paris. ....  | 156 |
| <b>Tableau XVII.</b> Concentrations des particules ultrafines et du carbone suie à l’intérieur des véhicules taxis. ....   | 190 |

# LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1.</b> Émissions des polluants liés au secteur du transport routier en 2017 par rapport au total national (A) et par rapport à 1990 (B) en unité spécifique en fonction du polluant (générée d’après les données du bilan national d’émission en France de 1990 à 2017 du Citepa)..... | 8  |
| <b>Figure 2.</b> Contribution des différents secteurs d’activités aux émissions de polluants à l’échelle régionale (A) et à l’échelle départementale (B). .....  | 9  |
| <b>Figure 3.</b> Différents types d’émissions par les véhicules .....  | 10 |
| <b>Figure 4.</b> Niveaux moyens annuels de NO <sub>2</sub> en Île-de-France, avec un agrandissement sur Paris et la petite couronne (d’après le bilan de la qualité de l’air année 2019 de l’association Airparif)...  | 12 |
| <b>Figure 5.</b> Contribution des secteurs d’activités aux émissions en nombre de particules < 300 nm, en Europe en 2005.....  | 15 |
| <b>Figure 6.</b> Distribution des particules en nombre et en masse.....  | 16 |
| <b>Figure 7.</b> Structure élémentaire d’une particule de combustion automobile (d’après le rapport de l’ADEME 2005 .....  | 18 |
| <b>Figure 8.</b> Pourcentage de carbone suie issu de la combustion d’hydrocarbures fossiles et de biomasse sur l’année 2019 en situation de fond, à trois périodes différentes en hiver (A) et en été (B) (d’après le bilan 2019 d’Airparif). .....  | 19 |
| <b>Figure 9.</b> Émissions des polluants d’origine automobile en fonction du type de carburant et de la technologie. ....  | 22 |
| <b>Figure 10.</b> La structure du sillage proche crée aux alentours du véhicule, les zones d’infiltration des polluants dans l’habitacle du véhicule. ....   | 23 |
| <b>Figure 11.</b> Répartition des immatriculations neuves en 2019 par genre de véhicules et focus sur la source d’énergie des voitures particulières .....   | 24 |
| <b>Figure 12.</b> Répartition des voitures particulières neuves en 2019 par type de carburant à Paris. .   | 25 |
| <b>Figure 13.</b> Répartition des voitures particulières neuves en 2019 par type de carburant à Paris. ...   | 26 |
| <b>Figure 14.</b> Évolution du secteur transport routier en fonction des émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine (source : CITEPA, 2019).....   | 26 |
| <b>Figure 15.</b> Répartition du parc roulant par genre de véhicule en 2012 au Liban .....   | 27 |
| <b>Figure 16.</b> Répartition des émissions des polluants par genre de véhicules en 2010.....  | 28 |
| <b>Figure 17.</b> Anatomie du système respiratoire humain.....   | 46 |
| <b>Figure 18.</b> Volumes et capacités pulmonaires - courbe volume – temps d’une capacité vitale inspiratoire.....   | 46 |
| <b>Figure 19.</b> Courbe débit-volume théorique. ....  | 47 |
| <b>Figure 20.</b> Les zones et les mécanismes (A) et les courbes de déposition des particules dans l’appareil respiratoire (B) selon les données de l’International Commission on Radiological Protection .....  | 51 |
| <b>Figure 21.</b> Les différentes voies de clairances particulières entrant et sortant du système. ....  | 52 |
| <b>Figure 22.</b> Mots-clés les plus fréquemment cités dans les publications en général (a) et selon le type de polluants (b) .....  | 53 |
| <b>Figure 23.</b> Déroulement du projet PUF-TAXI. ....   | 68 |
| <b>Figure 24.</b> Courbe débit-volume théorique. ....  | 73 |
| <b>Figure 25.</b> Spirobank II® Basic (photo d’après le fabricant).....  | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figure 26.</b> Smokerlyser® micro+™ (photo d'après le fabricant). .....   | 75  |
| <b>Figure 27.</b> Photo de la mallette ouverte contenant les quatre dispositifs de mesure du projet PUF-TAXI. ....   | 77  |
| <b>Figure 28.</b> Photos de l'installation du kit de mesurage dans l'habitacle du véhicule taxi du projet PUF-TAXI (photos prises par l'enquêteur à la Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris après l'obtention de l'accord des participants impliqués). .... | 77  |
| <b>Figure 29.</b> DiSCmini® (photo d'après le fabricant).....  | 78  |
| <b>Figure 30.</b> MicroAeth® Modèle AE51 (photo d'après le fabricant).....   | 79  |
| <b>Figure 31.</b> Gas-Pro® Crowcon (photo d'après le fabricant). ....  | 80  |
| <b>Figure 32.</b> Rotronic® CP11 (photo d'après le fabricant). ....  | 80  |
| <b>Figure 33.</b> Photos prises de la maintenance des accessoires des dispositifs de mesurage du projet PUF-TAXI (photos prises au laboratoire de toxicologie environnementale à la Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris). ....                             | 81  |
| <b>Figure 34.</b> GPS® BT-Q1000XT (photo d'après le fabricant).....  | 82  |
| <b>Figure 35.</b> Échelle qualitative de l'indice Atmo de la qualité générale de l'air de l'agglomération de Paris (photo d'après le site internet Airparif). ....   | 83  |
| <b>Figure 36.</b> Déroulement de l'étude exploratoire d'expologie au Liban. ....   | 84  |
| <b>Figure 37.</b> Classement des marques de chaque automobile en fonction de la date de première mise en circulation et du kilométrage, dans l'étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth (N=20).....  | 98  |
| <b>Figure 38.</b> Classement des marques de chaque automobile en fonction de la date de première mise en circulation et du kilométrage, dans l'étude PUF-TAXI princeps à Paris (N=50). ....  | 99  |
| <b>Figure 39.</b> Organigramme de l'échantillon des chauffeurs de taxi libanais, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth. ....  | 100 |
| <b>Figure 40.</b> Organigramme de l'échantillon des chauffeurs de taxi franciliens, étude princeps PUF-TAXI à Paris.....   | 112 |
| <b>Figure 41.</b> Comparaison entre les distributions des particules ultrafines (A) et du carbone suie (B) entre Beyrouth et Paris. ....   | 157 |

## LISTE DES ANNEXES

|  |     |
|--|-----|
| <b>Annexe 1.</b> Stratégie de recherche, revue systématique.....   | 216 |
| <b>Annexe 2.</b> Critères d'éligibilité, revue systématique.....   | 223 |
| <b>Annexe 3.</b> Échelles de qualité, revue systématique.....  | 224 |
| <b>Annexe 4.</b> Lettre d'invitation, étude PUF-TAXI princeps à Paris.....   | 227 |
| <b>Annexe 5.</b> Brochures d'informations, étude PUF-TAXI princeps à Paris.....  | 228 |
| <b>Annexe 6.</b> Appel à participation dans les magazines, étude PUF-TAXI princeps à Paris. ....                             | 239 |
| <b>Annexe 7.</b> Fiche de précaution pour l'examen clinique, étude PUF-TAXI princeps à Paris. ....                           | 242 |
| <b>Annexe 8.</b> Plan du site Hôpital Hôtel-Dieu, étude PUF-TAXI princeps à Paris. ....                                      | 243 |
| <b>Annexe 9.</b> Note d'informations et formulaire de consentement, étude PUF-TAXI princeps à Paris.<br>.....                | 244 |
| <b>Annexe 10.</b> Questionnaire médical standardisé, étude PUF-TAXI princeps à Paris.....                                    | 249 |
| <b>Annexe 11.</b> Fiche de vérification, étude PUF-TAXI princeps à Paris.....  | 265 |
| <b>Annexe 12.</b> Questionnaire « relevé des symptômes », étude PUF-TAXI princeps à Paris. ....                              | 269 |
| <b>Annexe 13.</b> Questionnaire « emploi du temps – espace – activités », étude PUF-TAXI princeps à<br>Paris. ....           | 272 |
| <b>Annexe 14.</b> Questionnaire « conducteur – véhicule », étude PUF-TAXI princeps à Paris. ....                             | 276 |
| <b>Annexe 15.</b> Brochure d'informations en arabe, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth. ....                                   | 279 |
| <b>Annexe 16.</b> Questionnaire médical standardisé en arabe, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth. .                            | 280 |
| <b>Annexe 17.</b> Questionnaire « conducteur – véhicule » en arabe, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth.<br>.....               | 295 |
| <b>Annexe 18.</b> Questionnaire « emploi du temps – espace – activités » en arabe, étude PUF-TAXI<br>pilote à Beyrouth. .... | 301 |

## LISTE DES ABREVIATIONS

|                 |   |
|-----------------|---|
| AASQA           | Associations agréées de la surveillance de la qualité de l'air                              |
| AAA             | Association Auxiliaire des Automobiles  |
| ADEME           | Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie                                    |
| ANSES           | Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail |
| AP-HP           | Assistance Publique - Hôpitaux de Paris   |
| APR             | Appel à projet  |
| As              | Arsenic   |
| ATN             | Attenuation of light  |
| ATS             | American Thoracic Society   |
| Ba              | Barium  |
| BC              | Black carbon  |
| BPCO            | Bronchopneumopathie Chronique Obstructive   |
| CCI             | Chambre de Commerce et d'Industrie  |
| Cd              | Cadmium   |
| CERIPH          | Centre d'Études et de Recherche in Public Health  |
| CGEDD           | Conseil général de l'environnement et du développement durable                              |
| CI              | Capacité inspiratoire   |
| Citepa          | Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique                  |
| CNIL            | Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés                                      |
| CNRS-L          | Centre national de la recherche scientifique - Liban  |
| CO              | Monoxyde de carbone   |
| CO <sub>2</sub> | Dioxyde de carbone  |
| COVNM           | Composés organiques volatils non méthaniques  |
| COVs            | Composés organiques volatils  |
| CO <sub>x</sub> | Oxydes de carbone   |
| CPP             | Comité de Protection des Personnes  |
| CPT             | Capacité pulmonaire totale  |
| Cr              | Chrome  |
| CRF             | Capacité résiduelle fonctionnelle   |
| Cu              | Cuivre  |



|                      |   |
|----------------------|---|
| CV                   | Capacité vitale   |
| CVF                  | Capacité vitale forcée  |
| CVI                  | Capacité vitale inspiratoire  |
| DAG                  | Directed Acyclic Graph  |
| DEM <sub>25-75</sub> | Débit expiratoire médian  |
| DEP                  | Débit expiratoire de pointe   |
| DiSCmini®            | Diffusion Size Classifier Miniature   |
| DRCI                 | Département de la recherche Clinique et de l'Innovation   |
| eCFR                 | Electronic Case Report Form   |
| ECRHS                | European Community Respiratory Health Survey  |
| EEA                  | European Environmental Agency   |
| EFR                  | Explorations fonctionnelles respiratoires   |
| EGEA                 | Epidémiologie des facteurs Génétiques et Environnementaux de l'Asthme, l'hyperréactivité bronchique et l'atopie |
| EIQ                  | Étendue interquartile   |
| ERS                  | European Respiratory Society  |
| Fe                   | Fer   |
| FeNO                 | Fraction expirée de monoxyde d'azote  |
| GEE                  | Generalized estimating equation   |
| GES                  | Gaz à effet de serre  |
| Gg                   | Gigagramme  |
| GOLD                 | Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease  |
| GPL                  | Gaz de pétrole liquéfié   |
| GPS                  | Global positioning system   |
| HAP                  | Hydrocarbures aromatiques polycycliques   |
| HC                   | Hydrocarbures   |
| HCNM                 | Hydrocarbures non méthaniques   |
| HEPA                 | High efficiency particulate air   |
| HERA                 | Health Environmental Risk Assessment  |
| HNO <sub>3</sub>     | Acide nitrique  |
| IC <sub>95%</sub>    | Intervalle de confiance à 95%   |
| ICC                  | Intra-Cluster Correlation   |
| ICRP                 | International Commission on Radiological Protection   |

|                   |   |
|-------------------|---|
| ID                | Injection directe   |
| IDF               | Île-de-France   |
| IGAS              | Inspection générale des affaires sociales                   |
| II                | Injection indirecte   |
| IMC               | Indice de Masse Corporelle                                  |
| IRCP              | International Commission on Radiological Protection         |
| LCSQA             | Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air  |
| LDSA              | Lung-Deposited Surface Area                                 |
| LEZ               | Low Emission Zones  |
| LIN               | Limites inférieures de la norme                             |
| LSP               | Limites supérieures de la norme                             |
| MALT              | Mucosa-associated lymphatic tissue                          |
| mg                | Milligramme   |
| Mn                | Manganèse   |
| N <sub>2</sub>    | Diazote   |
| NEDC              | New European Driving cycle                                  |
| Ni                | Nickel  |
| NO                | Monoxyde d'azote  |
| NO <sub>2</sub>   | Dioxyde d'azote   |
| NO <sub>x</sub>   | Oxydes d'azote  |
| O <sub>2</sub>    | Oxygène   |
| O <sub>3</sub>    | Ozone   |
| OMS               | Organisation mondiale de la santé                           |
| ONA               | Optimized Noise-reduction Averaging                         |
| ORa               | Odds ratios ajustés   |
| ORL               | Oto-rhino-laryngologie                                      |
| Pb                | Plomb   |
| PL                | Poids lourd   |
| PM                | Particules en masse   |
| PM <sub>10</sub>  | Particules de diamètre inférieur à 10 µm                    |
| PM <sub>2.5</sub> | Particules de diamètre inférieur à 2.5 µm                   |
| PNREST            | Programme National de Recherche Santé Environnement Travail |
| ppb               | Part per Billion  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| PRISMA          | Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses |
| pt              | Particules   |
| PTAC            | Poids total autorisé en charge                                     |
| PUF             | Particules ultrafines  |
| QIC             | Quasi Information Criterion  |
| RDE             | Real Driving Emissions   |
| REVIHAAP        | Review of evidence on health aspects of air pollution              |
| RGO             | Reflux gastro-œsophagien   |
| SDES            | Service des données et études statistiques                         |
| SO <sub>2</sub> | Dioxyde de soufre  |
| SUV             | Sport utility vehicle  |
| T3P             | Transport public particulier de personnes                          |
| TCA             | Tests cutanés allergologiques                                      |
| TSP             | Particules totales en suspension                                   |
| TT              | Transit temporaire   |
| UE              | Union Européenne   |
| VEMS            | Volume expiratoire maximal par seconde                             |
| VLCT            | Valeurs limites d'exposition à court terme                         |
| VLEP            | Valeurs limites d'exposition professionnelle                       |
| VME             | Valeurs moyennes d'exposition                                      |
| VP              | Véhicule particulier   |
| VR              | Volume de réserve  |
| VRE             | Volume de réserve expiratoire                                      |
| VRI             | Volume de réserve inspiratoire                                     |
| V <sub>T</sub>  | Volume courant   |
| VUL             | Véhicule utilitaire léger  |
| WLTP            | Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure                 |
| ZFE             | Zones à faibles émissions  |
| Zn              | Zinc   |



# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

---



Depuis plusieurs années, les nombreux efforts déployés par l'industrie automobile en termes de progrès technologiques, par l'Union européenne au niveau des réglementations d'émissions et par les collectivités territoriales avec par exemple la mise en place de Zones à faibles émissions (ZFE) qui limite l'accès à une partie du territoire aux véhicules les plus polluants pendant une période donnée, ont permis de réduire très sensiblement le rejet des polluants par les automobiles. Néanmoins, le secteur du transport demeure un contributeur important aux émissions gazeuses et particulaires, en raison d'une part de la croissance globale du trafic et de la structure évolutive du parc automobile et d'autre part, de la modification de la nature des émissions à la suite des évolutions technologiques (composition des carburants et dispositifs de dépollution) (1).

La question des polluants impliqués se pose et les particules sont souvent incriminées. Les particules ultrafines (PUF – particules de diamètre inférieur à 100 nm) et le carbone suie (*black carbon*, BC) font l'objet d'un intérêt récent du fait de leurs potentiels effets délétères dans l'appareil respiratoire voire au-delà. Les recherches expérimentales ont inculpé les particules fines et plus particulièrement, les ultrafines en raison de leur petit diamètre, qui facilite leur accès au poumon profond et rend la clairance pulmonaire difficile et, avec l'enchaînement des réactions cellulaires et biochimiques entraîne l'inflammation des voies aériennes (2, 3). Les études toxicologiques *in vivo* et *in vitro*, encore peu nombreuses, suggèrent que la toxicité particulière du BC réside dans ses propriétés chimiques, autrement dit dans les fractions organique et métallique qu'il véhicule avec lui dans les poumons (4). Quant aux études épidémiologiques relatives aux PUF et au BC, leurs résultats encore embryonnaires suggèrent des effets indésirables à long et à court terme sur la santé respiratoire en population générale, surtout chez les sujets sensibles (5, 6).

Par ailleurs, la nocivité des polluants d'origine automobile dépend aussi de la durée et de l'intensité de l'exposition. Il est ainsi légitime de se poser la question du risque pour la santé respiratoire de certaines sous-populations comme les professionnels de la conduite qui sont exposés à ce type de polluants plus longtemps au cours de la journée et sans doute plus fortement, que ce soit au cœur du trafic, ou dans leur environnement « l'habitacle des véhicules ». En effet, les études d'expologie dans le domaine des transports témoignent de niveaux d'exposition aux polluants (particules fines, particules grossières, BC, monoxyde de carbone (CO), dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)) plus élevés chez les automobilistes que chez les motocyclistes et les usagers de bus et de train (7). En conséquence, la santé des professionnels de la conduite doit être une préoccupation dans le champ « Santé – Travail ».

Toutefois, l'appréciation de l'association entre l'exposition aux polluants dans l'habitacle des véhicules et des effets sanitaires est particulièrement complexe compte tenu de la multiplicité des facteurs susceptibles d'intervenir (facteurs ambiants, liés à la flotte automobile, aux conditions de conduite, etc.). De ce fait, les résultats des recherches s'intéressant aux professionnels de la conduite et surtout aux chauffeurs de taxi sont inconsistants et souffrent de sérieuses limites méthodologiques (8).

C'est dans ce contexte, que l'équipe « Health Environmental Risk Assessment » HERA – Inserm UMR 1153 – CRESS à l'Université de Paris, a mis en place le **Projet « PUF-TAXI »** avec la collaboration du Service de pathologies professionnelles et environnementales à l'Hôpital Hôtel-Dieu de Paris. Le but est de suivre une cohorte de chauffeurs de taxi franciliens en évaluant simultanément leur exposition réelle, à l'intérieur de leur véhicule, aux PUF et au BC ainsi qu'aux polluants traditionnellement considérés (NO<sub>2</sub> et le CO), et d'étudier l'impact à court terme de cette exposition sur leur symptomatologie respiratoire et leurs performances ventilatoires. Dans le cadre

de la cotutelle avec l'Université Libanaise, une étude exploratoire d'expologie a été menée auprès d'un échantillon de chauffeurs de taxi libanais pour tester la faisabilité du protocole.

Mon travail de thèse de Doctorat s'inscrit dans ce contexte et visait à caractériser les polluants particulaires et gazeux s'infiltrant dans les habitacles des véhicules et à analyser leurs effets à court terme sur l'irritation des muqueuses et la fonction respiratoire des chauffeurs de taxi.

Il a consisté à mettre en place et conduire dans son intégralité l'étude sur le terrain, incluant le recrutement des participants, la réalisation des investigations environnementales (équipement des véhicules taxis avec les dispositifs de mesure des polluants) en France et au Liban, les investigations sanitaires (test de la fonction respiratoire des chauffeurs de taxi), ainsi que la gestion et l'exploitation de la base de données.

Le premier chapitre de cette thèse s'ouvre sur la présentation des polluants d'origine automobile en insistant sur les PUF et le BC, de même que sur les facteurs influençant leurs émissions et leurs infiltrations à l'intérieur de l'automobile. Une description des parcs automobiles français et libanais sera ensuite exposée. Cette première partie sera clôturée par une revue systématique sur l'ensemble des travaux réalisés et publiés depuis 1999 et qui s'intéressaient à l'exposition des chauffeurs de taxi aux polluants du trafic routier, à l'intérieur de leur véhicule. Enfin, les questions de dépôt, du devenir et des effets des polluants particulaires dans les voies respiratoires seront abordées. Les recherches épidémiologiques portant sur l'impact respiratoire des polluants du trafic routier seront exposés, notamment chez les professionnels de la conduite. Dans ce contexte, nous présenterons les objectifs de cette thèse.

Le second chapitre décrit la méthodologie mise en œuvre pour y répondre, plus précisément les outils utilisés dans l'investigation environnementale et épidémiologique ainsi que les méthodes statistiques appliquées.

Le troisième chapitre rassemble les résultats présentés successivement en deux volets. Le premier volet expologique documente les niveaux des polluants dans les habitacles des véhicules taxis ainsi que leurs déterminants, au Liban à travers l'étude pilote et en France, par le biais de l'étude princeps à plus grande échelle. Le deuxième volet épidémiologique explore l'association entre l'exposition aux PUF et au BC mesurée dans l'habitacle des véhicules un jour de travail et la morbidité respiratoire évaluée le même jour, chez les chauffeurs de taxi franciliens.

Le quatrième chapitre confronte les résultats de cette thèse aux travaux de la communauté scientifique et les discute.

Enfin, ce manuscrit s'achève par des perspectives de recherche et par des recommandations opérationnelles destinées à améliorer la qualité de l'air dans l'habitacle des véhicules légers.





# **ÉTAT DES CONNAISSANCES**

---

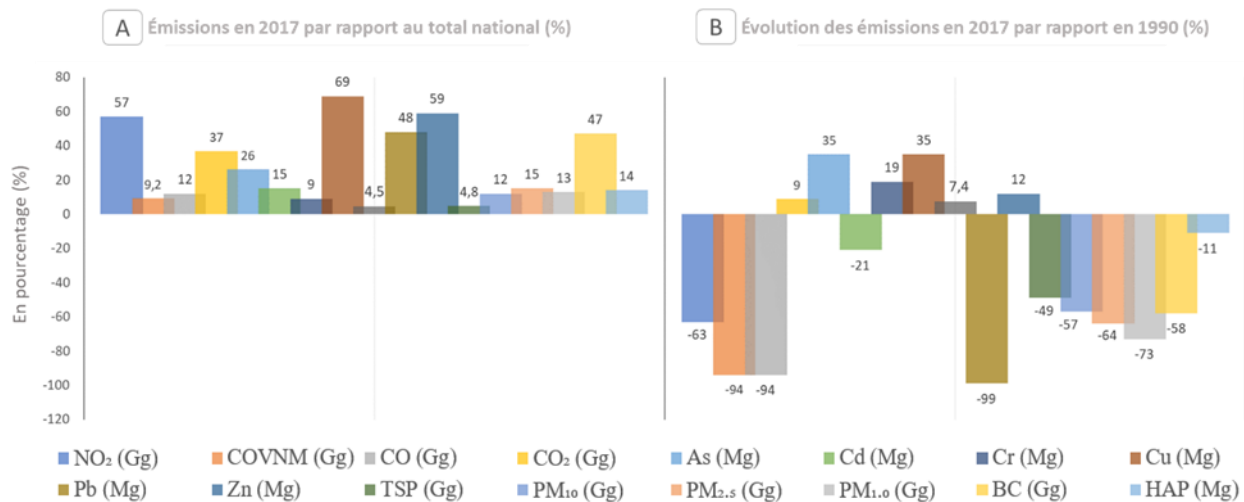


Ce premier chapitre a pour objectif de faire le point sur la caractérisation de la pollution atmosphérique d'origine automobile et son impact sur la santé, notamment chez les professionnels de la conduite. La présentation des principaux polluants d'origine automobile et de leur réglementation, des facteurs influant sur les émissions automobiles et leurs infiltrations dans l'habitacle du véhicule, ainsi que les caractéristiques du parc automobile français et libanais seront détaillées dans les trois premières parties. Ensuite, une synthèse des résultats des travaux expologiques portant sur l'exposition des chauffeurs de taxi aux polluants d'origine automobile dans l'habitacle de leurs véhicules et les déterminants éventuels de cette exposition, sera exposée en reprenant la revue systématique effectuée dans le cadre de ce travail de thèse. Enfin, une cinquième et dernière partie envisagera l'état de l'art sur l'impact respiratoire de la pollution d'origine d'automobile en s'attardant sur les effets des PUF et du BC.

## I. Pollution atmosphérique d'origine automobile

### I.1. Généralités

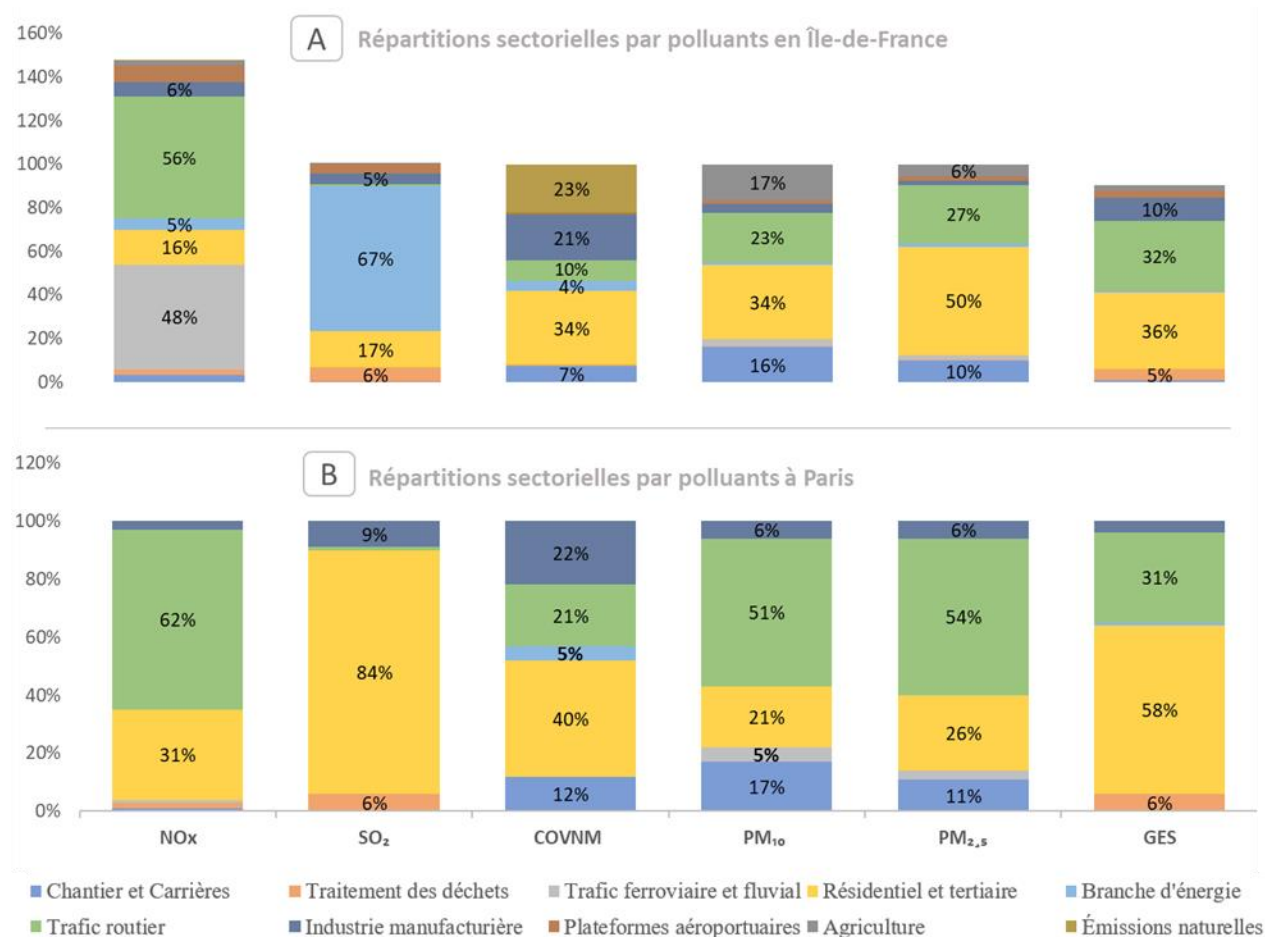
Profitant du dynamisme économique et démographique, la forte progression du secteur des transports favorise d'avantage sa contribution à la pollution atmosphérique, notamment urbaine. En France, l'évolution de la structure du parc automobile, des normes environnementales européennes et des réglementations successives depuis 1993 ainsi que les progrès technologiques apportés à la flotte ont permis de limiter les émissions des polluants liés au trafic routier. Selon l'inventaire national des émissions du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa), les émissions des polluants liées au secteur du transport routier en France métropolitaine marquent une tendance à la baisse ces deux dernières décennies, comme observé dans la figure 1 (1).



**Figure 1.** Émissions des polluants liés au secteur du transport routier en 2017 par rapport au total national (A) et par rapport à 1990 (B) en unité spécifique en fonction du polluant (générée d'après les données du bilan national d'émission en France de 1990 à 2017 du Citepa (1)).

As : arsenic ; BC : black carbon ; Cd : cadmium ; CO : monoxyde de carbone ; CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone ; COVNM : composés organiques volatils non méthaniques ; Cr : chrome ; Cu : cuivre ; Gg : gigagramme ; HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques (benzo (a) pyrène, benzo (b) fluoranthène, benzo (k) fluoranthène et indeno (1,2,3-cd) pyrène) ; Mg : milligramme ; Ni : nickel ; NO<sub>2</sub> : dioxyde d'azote ; Pb : plomb ; TSP : particules totales en suspension ; Zn : zinc.

Toutefois, en Île-de-France (IDF) et surtout à Paris le secteur routier, avec le secteur résidentiel, subsiste parmi les secteurs d'activités les plus émetteurs de polluants (Figure 2) (9).



**Figure 2.** Contribution des différents secteurs d'activités aux émissions de polluants à l'échelle régionale (A) et à l'échelle départementale (B).

(A) d'après les données du bilan des émissions atmosphériques en Île-de-France pour l'année 2015 par Airparif (9); (B) : d'après les données du bilan de la répartition géographique des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre pour l'année 2012 sur le site d'Airparif (10).

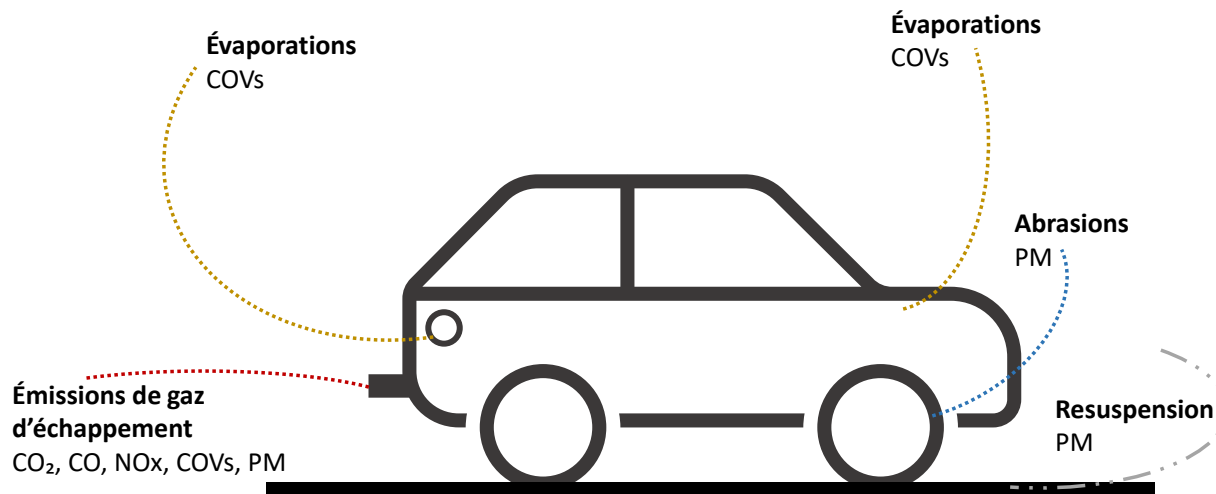
**COVNM** : composés organiques volatils non méthaniques ; **GES** : Gaz à effet de serre ; **NOx** : oxydes d'azote ; **PM10** : particules de diamètre inférieur à 10 µm ; **PM2.5** : particules de diamètre inférieur à 2.5 µm ; **SO2** : dioxyde de soufre.

En effet, le trafic routier est responsable des émissions de polluants atmosphériques particulaires et gazeux et de gaz à effet de serre (GES). Ces polluants se classent généralement dans deux grandes familles : les « polluants primaires » émis directement à l'échappement hors échappement (particules issues des systèmes de freinage, du contact pneu-chaussée) des véhicules, et les « polluants secondaires » qui résultent de réactions physico-chimiques des polluants primaires entre eux ou avec d'autres polluants de l'atmosphère. Ils sont issus de trois types d'émissions par les véhicules :

(1) les émissions à l'échappement provenant de la combustion de carburant et des systèmes de post-traitement (catalyseurs, filtre à particules, etc.);

- (2) les évaporations à partir du réservoir de carburant des véhicules en circulation « *running losses* », ou après arrêt du moteur « *hot soak* » (dus au refroidissement du véhicule) ou, en stationnement « *diurnal losses* » (dus aux variations de température ambiante) ;
- (3) et les émissions dues à l'abrasion mécanique des pneus, des embrayages, des freins, ou de l'usure du revêtement routier (9, 11-13).

Les principaux polluants d'origine automobile provenant de ces trois sources sont représentés dans la figure 3 et seront ensuite détaillés.



**Figure 3.** Différents types d'émissions par les véhicules (14).

CO : monoxyde de carbone ; CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone ; COVs : composés organiques volatils ; NO<sub>x</sub> : oxydes d'azote ; PM : particules.

## I.2. Principaux polluants d'origine particulaire et gazeux

Les principaux polluants d'origine automobile, en particulier ceux qui feront l'objet de ce travail de thèse, vont être brièvement présentés. Ainsi pour chacun d'entre eux, les sources et le processus de formation et le(s) phénomène(s) associé(s) seront décrits avant de rappeler la réglementation à l'échelle européenne et nationale et d'exposer leur évolution temporelle.

### I.2.1. Oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>)

#### *Définition et origine*

Les oxydes d'azotes (NO<sub>x</sub>), polluants atmosphériques gazeux formés de deux espèces chimiques (NO<sub>x</sub>= monoxyde d'azote (NO) + dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)), primaires (NO, NO<sub>2</sub>) et secondaires (NO<sub>2</sub>). Ils sont d'origine anthropique, formés lors de la combustion, à haute température, de tous combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole...) ou biomasse lors du transport routier, dans la production d'électricité, le chauffage urbain, le résidentiel et le tertiaire et dans certains procédés

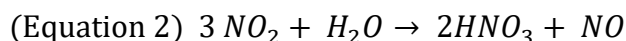
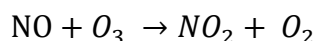
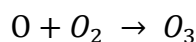
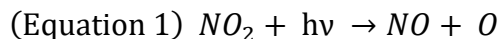
industriels (production d'acide nitrique, fabrication d'engrais, traitement de surfaces, etc.). Ils peuvent aussi être d'origine naturelle (volcans, éclairs, feux de forêts) (1, 15).

### *Processus de formation*

L'azote (de l'air et du combustible) et l'oxygène de l'air entrent en réaction dans les conditions de hautes températures et de pression des moteurs pour former le NO, qui se transforme en présence d'oxygène en NO<sub>2</sub>. Rejeté par les pots d'échappement, le NO voit son oxydation en NO<sub>2</sub> se poursuivre dans l'atmosphère.

### *Phénomènes associés*

Les NO<sub>x</sub> interviennent dans la pollution photochimique surtout par la formation d'ozone (O<sub>3</sub>) troposphérique (équation 1) et donc participent à l'accroissement de l'effet de serre et à l'acidification et à l'eutrophisation par les dépôts azotés et l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub>) (équation 2). Ce dernier contribue au phénomène des pluies acides et d'autre part, à la formation des particules secondaires (nitrate d'ammonium particulaire).



### *Normes*

Les critères de qualité de l'air nationaux (16) et européens (17, 18) pour les concentrations de NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant sont présentés dans le tableau I, de même que les niveaux d'exposition recommandés par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (19). Quant aux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) (20), elles sont montrées dans le tableau II.

**Tableau I.** Normes européennes, françaises et valeurs guides de l'OMS pour les niveaux d'exposition au NO<sub>2</sub> dans l'air ambiant.

| Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ) en µg/m <sup>3</sup> |                    |                  |                      |  |                                     |
|---|--------------------|------------------|----------------------|--|-------------------------------------|
|   | Durée d'exposition | Valeurs limites  | Objectifs de qualité | Seuil de recommandation et d'information | Seuils d'alerte                     |
| <b>Normes françaises</b>                                | Moyenne horaire    | 200 <sup>a</sup> | -                    | 200                                      | 400 <sup>b</sup> ; 200 <sup>c</sup> |
|   | Moyenne annuelle   | 40               | 40                   | -  | -                                   |
| <b>Normes européennes</b>                               | Moyenne horaire    | 200 <sup>a</sup> | -                    | -  | 400 <sup>b</sup>                    |
|   | Moyenne annuelle   | 40               | -                    | -  | -                                   |
| <b>Recommandation de l'OMS</b>                          | Moyenne horaire    |                  |                      | 200                                      |                                     |
|   | Moyenne annuelle   |                  |                      | 40                                       |                                     |

OMS : organisation mondiale de la santé.

a. Ne pas dépasser plus de 18 heures par an.

b. Moyenne horaire dépassée sur 3 heures consécutives.

c. Si dépassement de ce seuil la veille et risque de dépassement de ce seuil le lendemain.

■ Valeur dépassée en 2019 selon le bilan 2019 d'Airparif.

■ Valeur respectée en 2019 selon le bilan 2019 d'Airparif.

**Tableau II.** Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) aux NO<sub>x</sub> au niveau national et international.

| Pays                     | Polluants       | VME   | VME                  | VLCT  | VLCT                 |
|--------------------------|-----------------|-------|----------------------|-------|----------------------|
|                          |                 | (ppm) | (mg/m <sup>3</sup> ) | (ppm) | (mg/m <sup>3</sup> ) |
| France <sup>a</sup>      | NO              | 2     | 2,5                  | -     | -                    |
|                          | NO <sub>2</sub> | 0,5   | 0,96                 | 1     | 1,91                 |
| Etats -Unis <sup>b</sup> | NO              | 25    | -                    | -     | -                    |
|                          | NO <sub>2</sub> | 0,2   | 0,38                 | -     | -                    |

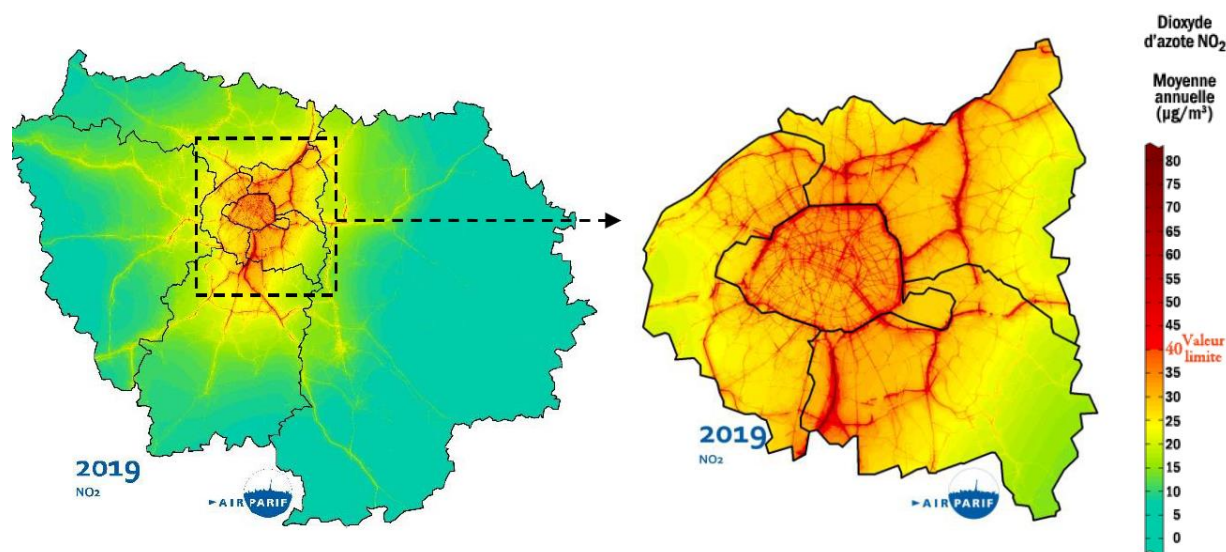
NO : monoxyde d'azote ; NO<sub>2</sub> : dioxyde d'azote ; VLCT : valeurs limites d'exposition à court terme (15 minutes) ; VME : valeurs moyennes d'exposition (8 heures).

a. Valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes.

b. Valeurs établies par l'American Conference of governmental industrial hygienists (ACGIH).

### Évolution des concentrations ambiantes de NO<sub>2</sub>

Avec 57% des émissions nationales en 2017, le transport routier est le chef de file des secteurs en matière d'émission de NO<sub>x</sub>. Sur les deux dernières décennies, les concentrations moyennes annuelles en NO<sub>2</sub> ont diminué tant en situation de fond qu'à proximité du trafic, de l'ordre de 25% et 30% respectivement, grâce à l'effet du renouvellement du parc routier et à l'introduction des pots catalytiques (1, 11, 15). Néanmoins, sur certains axes routiers, les niveaux moyens en NO<sub>2</sub> dépassent toujours la valeur limite annuelle fixée à 40 µg/m<sup>3</sup>. Selon un bilan de 2019 d'Airparif, l'agglomération parisienne a un poids non négligeable sur la teneur en NO<sub>2</sub>, comme le montre la figure 4 (15).



**Figure 4.** Niveaux moyens annuels de NO<sub>2</sub> en Île-de-France, avec un agrandissement sur Paris et la petite couronne (d'après le bilan de la qualité de l'air année 2019 de l'association Airparif).

NO<sub>2</sub> : dioxyde d'azotes.



## I.2.2. Oxydes de carbone (CO, CO<sub>2</sub>)

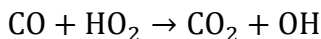
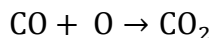
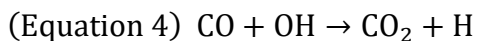
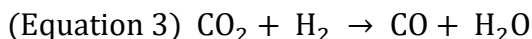
### *Définition et origine*

Le CO est un polluant atmosphérique primaire essentiellement produit par la combustion incomplète (gaz, charbon, fioul ou bois) dans le transport routier, dans le chauffage résidentiel (en raison d'installations mal réglées) et dans certains procédés industriels, comme la métallurgie. Il peut être émis par la combustion incomplète de la biomasse (feux de forêts).

Quant au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), c'est un gaz à effet de serre d'origine anthropique (combustion de combustibles fossiles dans la production d'électricité, l'industrie, les transports, le résidentiel-tertiaire et les traitements des déchets) et d'origine naturelle (feux de forêts, décomposition de la matière organique). Par ailleurs, il est naturellement émis par la respiration des personnes, son accumulation au sein des endroits clos reflète le manque de renouvellement de l'air (confinement) (1).

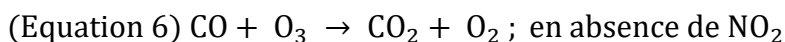
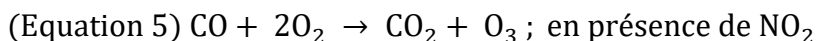
### *Processus de formation*

La formation du CO dépend principalement de la richesse du mélange carburé. Les émissions de CO sont d'autant plus importantes que le mélange est riche (moins d'air par rapport au carburant) (équation 3). Autrement dit, la carence en oxygène entraîne une combustion incomplète et ainsi la production du CO. En effet, c'est une étape intermédiaire essentielle du processus d'oxydation des hydrocarbures conduisant à la formation du CO<sub>2</sub> (équation 4). Au final, le CO<sub>2</sub> est le produit final de combustion complète d'hydrocarbures.



### *Phénomènes associés*

Le CO participe indirectement à l'effet de serre en s'oxydant en CO<sub>2</sub> et à la formation d'ozone troposphérique *via* des réactions dans lesquelles les NO<sub>x</sub> servent comme catalyseurs (équation 5 et 6).



Quant aux CO<sub>2</sub>, outre sa contribution majeure à l'effet de serre, il a un fort impact dans l'acidification des océans.

### *Normes*

Si le CO fait l'objet d'une réglementation nationale dans le cadre du « Code de l'Environnement » (16) et européenne au titre de la « directive pour la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe » (17, 18) (Tableau III), ce n'est pas le cas pour le CO<sub>2</sub>. A ce jour, la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'air ambiant ne fait l'objet d'aucune réglementation, que ce soit à l'échelle nationale ou

de l'Union Européenne (UE). Les VLEP des oxydes de carbone (CO<sub>x</sub>) sont présentées dans le tableau IV (20).

**Tableau III.** Normes européennes, françaises et valeurs guides de l'OMS pour les niveaux d'exposition au CO dans l'air ambiant.

| Monoxyde de carbone (CO) en µg/m <sup>3</sup> |                      |                 |                      |  |                 |
|---|----------------------|-----------------|----------------------|--|-----------------|
|   | Durée d'exposition   | Valeurs limites | Objectifs de qualité | Seuil de recommandation et d'information | Seuils d'alerte |
| <b>Normes françaises</b>                      | Moyenne sur 8 heures | 10 000          | -                    | -  | -               |
| <b>Normes européennes</b>                     | Moyenne sur 8 heures | 10 000          | -                    | -  | -               |
| <b>Recommandation de l'OMS</b>                | Moyenne sur 15 min   |                 |                      | 100 000                                  |                 |
|   | Moyenne sur 30 min   |                 |                      | 60 000                                   |                 |
|   | Moyenne sur 1 heure  |                 |                      | 30 000                                   |                 |
|   | Moyenne sur 8 heures |                 |                      | 10 000                                   |                 |

OMS : organisation mondiale de la santé.

■ Valeur respectée en 2019 selon le bilan 2019 d'Airparif

**Tableau IV.** Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) aux CO<sub>x</sub> au niveau national et international.

| Pays                          | Polluants                    | VME (ppm) | VME (mg/m <sup>3</sup> ) | VLCT (ppm) | VLCT (mg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|------------------------------|-----------|--------------------------|------------|---------------------------|
| <b>France</b>                 | CO <sup>a</sup>              | 20        | 23                       | 100        | 117                       |
|                               | CO <sub>2</sub> <sup>b</sup> | 5 000     | 9 000                    | -          | -                         |
| <b>Etats-Unis<sup>c</sup></b> | CO                           | 25        | 29                       | -          | -                         |
|                               | CO <sub>2</sub>              | 5 000     | 9 000                    | 30 000     | 54 000                    |

CO : monoxyde de carbone ; CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone ; VLCT : valeurs limites d'exposition à court terme (15 minutes) ; VME : valeurs moyennes d'exposition (8 heures).

a. Valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes.

b. Valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaire indicative 2007.

c. Valeurs établies par l'American Conference of governmental industrial hygienists (ACGIH).

### *Évolution des concentrations ambiantes des oxydes de carbone*

Une baisse progressive de CO est observée sur la période 2009 – 2019, de 30% au niveau des stations de fond et de 40% au niveau des stations à proximité du trafic. Cette évolution fait suite à la mise en place de normes environnementales pour les véhicules, suivie par l'introduction des pots catalytiques sur le marché (15).

En revanche, les concentrations de CO<sub>2</sub> émises par le secteur routier en 2017 sont de 9% supérieures à celles enregistrées en 1990. Ce constat est attribué à la hausse du trafic dont l'effet est contrebalancé récemment par le recours aux agro-carburants et l'augmentation de la part des véhicules moins énergivores dans le parc automobile (1).

### I.2.3. Particules (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>, PUF)

#### *Définition et origine*

Les particules sont des polluants atmosphériques à la fois primaires (émises directement dans l'atmosphère) et secondaires (formées par des processus de conversion gaz-particules et/ou par des réactions chimiques, ou encore par remise en suspension des poussières déposées au sol).

Les particules se définissent notamment par leurs différentes tailles :

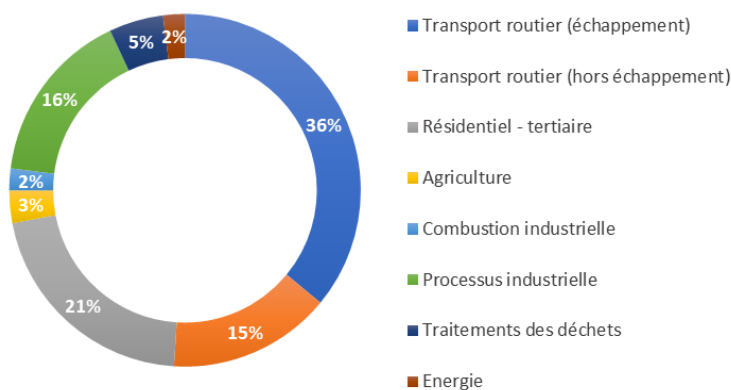
- une particule de diamètre inférieur à 100 nm est appelée « particule ultrafine » (PUF) ;
- une particule de diamètre inférieur ou égal à 1 µm est notée PM<sub>1.0</sub> ;
- une particule de diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm est appelée « particule fine », notée PM<sub>2.5</sub> qui inclut inévitablement des PUF ;
- une particule de diamètre inférieur ou égal à 10 µm est appelée « particule grossière », notée PM<sub>10</sub> qui regroupe les particules fines et ultrafines.

Il est nécessaire de noter que la granulométrie des particules (distribution par taille de particules) peut être présentée selon leur nombre, leur surface, leur volume ou leur masse (21).

Par ailleurs, l'origine des particules diffère selon leur taille. Les particules fines et ultrafines sont émises davantage par le secteur du transport et le secteur résidentiel-tertiaire *via* les phénomènes de combustion. Les activités mécaniques menées dans le secteur agricole et sur les chantiers, contribuent à la formation des particules grossières. L'industrie manufacturière favorise les émissions à la fois des particules fines et grossières. En outre, les particules ont également des sources naturelles comme les volcans et la combustion de biomasse (feux de forêt) (9, 15).

#### **Sources d'émission des particules ultrafines de l'air ambiant**

D'après l'inventaire des émissions européennes 2005 en nombre de particules, le secteur du transport routier est le principal contributeur (51%), suivi par le secteur résidentiel - tertiaire (21%) et industriel (16%) (Figure 5) (5).



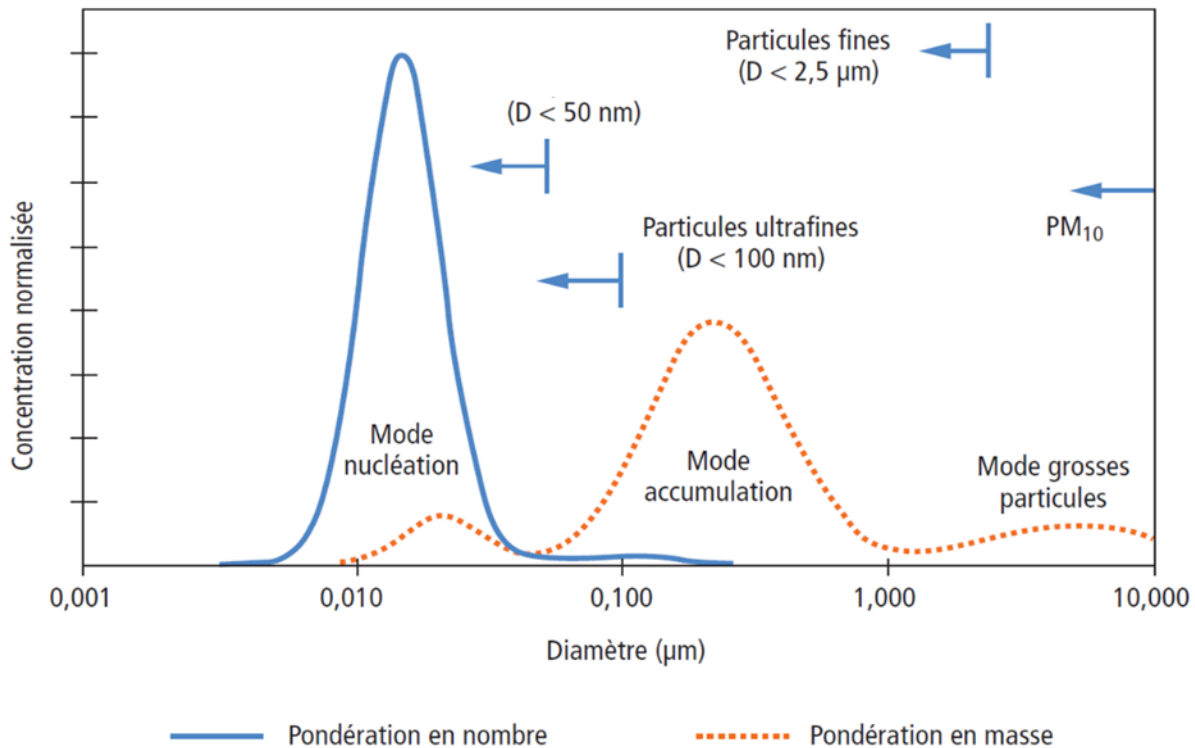
**Figure 5.** Contribution des secteurs d'activités aux émissions en nombre de particules < 300 nm, en Europe en 2005 (5, 22).

La composition chimique des particules de l'air ambiant est conditionnée par la nature de la source d'émission et dépend aussi des facteurs météorologiques et climatiques. Ces particules sont formées des noyaux de carbone plus ou moins agglomérés en grappes (la suie : noyau de carbone), sur lesquels sont adsorbées des espèces chimiques organiques (les composés organiques volatils (COVs), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), etc.) et inorganiques (espèces hydrosolubles telles les ions sulfates, ammonium, chlorure, sodium, nitrate, les métaux, le carbone inorganique, etc.) auxquelles s'ajoute une fraction biologique (bactéries, champignons, etc.).

### *Processus de formation*

On distingue trois modes principaux qui conditionnent la granulométrie des particules (23, 24), illustrés par la figure 6 :

- le mode « nucléation » repose sur la formation d'une nouvelle particule, généralement de taille inférieure à 50 nm, par des molécules gazeuses. Ce processus est souvent observé près des sources, par exemple à la sortie des pots d'échappement. Il augmente à la fois le nombre et la masse des particules.
- le mode « accumulation » repose sur le transfert des molécules gazeuses sur une particule existante formant ainsi des particules à diamètre supérieur à 50 nm. Ce processus augmente la masse des particules mais n'influe pas sur leur nombre.
- le mode « coagulation » repose sur la collision de deux particules, par des processus mécaniques (vent, usure de la route), pour former une seule particule de diamètre supérieure à 2,5  $\mu\text{m}$ . Ce processus diminue le nombre des particules mais n'affecte pas la masse totale.



**Figure 6.** Distribution des particules en nombre et en masse (25, 26).

Les particules sont dites « primaires » lorsqu'elles se forment pendant le processus de combustion. En revanche, elles sont dites « secondaires » lorsqu'elles naissent des processus de nucléation, de condensation ou de coagulation. Une fois sorties des pots d'échappement, les particules fines, surtout les ultrafines, évoluent considérablement dans l'espace et dans le temps. De plus, les propriétés physico-chimiques de ces particules secondaires diffère notamment selon les caractéristiques du moteur, les systèmes de post-traitement des gaz d'échappement, le type de carburant, les conditions de fonctionnement du moteur, les conditions ambiantes (5, 27).

### Normes

Les valeurs règlementaires (16-18) et les recommandations de l'OMS (19) relatives aux PM<sub>10</sub> et aux PM<sub>2.5</sub> dans l'air ambiant sont présentées dans le tableau V. En revanche, à l'heure actuelle il n'existe pas de valeurs réglementaires concernant les PUF.

**Tableau V.** Normes européennes, françaises et valeurs guides de l'OMS pour les niveaux d'exposition aux PM<sub>10</sub> et des PM<sub>2.5</sub> dans l'air ambiant.

| Particules de diamètre inférieur ou égal à 10 µm (en µg/m <sup>3</sup> ) |                     |   |                                     |   |  |                       |
|--|---------------------|---|-------------------------------------|---|--|-----------------------|
|  | Durée d'exposition  | Valeurs limites   | Valeurs cible                       | Objectifs de qualité                            | Seuil de recommandation et d'information | Seuils d'alerte       |
| <b>Normes françaises</b>   | Moyenne journalière | PM <sub>10</sub> : 50 <sup>a</sup>  | -                                   | -   | PM <sub>10</sub> : 50                    | PM <sub>10</sub> : 80 |
|  | Moyenne annuelle    | PM <sub>10</sub> : 40<br>PM <sub>2.5</sub> : 25                           | PM <sub>2.5</sub> : 20              | PM <sub>10</sub> : 30<br>PM <sub>2.5</sub> : 10 | -  | -                     |
| <b>Normes européennes</b>  | Moyenne journalière | PM <sub>10</sub> : 50 <sup>a</sup>  | -                                   | -   | -  | -                     |
|  | Moyenne annuelle    | PM <sub>10</sub> : 40<br>PM <sub>2.5</sub> : 20 <sup>b</sup>              | PM <sub>2.5</sub> : 25 <sup>b</sup> | -   | -  | -                     |
| <b>Recommandation de l'OMS</b>   | 24 heures           | PM <sub>10</sub> : 50 <sup>c</sup><br>PM <sub>2.5</sub> : 25 <sup>c</sup> |                                     |   |  |                       |
|  | Moyenne annuelle    | PM <sub>10</sub> : 20<br>PM <sub>2.5</sub> : 10                           |                                     |   |  |                       |

PM<sub>10</sub> : Particules de diamètre inférieur à 10 µm ; PM<sub>2.5</sub> : Particules de diamètre inférieur à 2.5 µm.

a. À ne pas dépasser plus de 35 jours par an.

b. Pour la protection de la santé.

c. À ne pas dépasser plus de 3 jours par an.

■ Valeur dépassée en 2019 (majoritairement au niveau des stations trafic en Île-de-France) selon le bilan 2019 d'Airparif.

■ Valeur respectée en 2019 (dans toutes les stations trafic, urbaines, périurbaines et rurales en Île-de-France) selon le bilan 2019 d'Airparif.

### Évolution des concentrations particulaires ambiantes

En 2019, les concentrations de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2.5</sub> enregistrées sur les stations fixes de fond et de proximité du trafic ont connu une baisse de 30 et de 45%, respectivement, par rapport à l'année 2009. Cette diminution s'explique par la réduction de la part des véhicules diesel et l'introduction des filtres à particules sur le marché. Par ailleurs, l'abaissement des PM<sub>10</sub> est moins intense car elles ont une origine plutôt mécanique que thermique. Toutefois, les concentrations de PM<sub>10</sub> mais

aussi de  $PM_{2.5}$  dépassent les valeurs limites annuelles et journalières recommandées par l’OMS, surtout lorsqu’elles sont enregistrées au voisinage des axes routiers (tableau V) (1, 15). Celles des  $PM_{10}$  dépassent même les valeurs limites réglementaires.

### Focus sur les particules ultrafines

L’Agence nationale de sécurité sanitaire, de l’alimentation, de l’environnement et du travail (Anses) a recommandé, dans son rapport d’expertise relatif aux particules de l’air ambiant extérieur, le suivi pérenne des PUF en vertu de leur impact délétère sur la santé. A l’issue de cet avis, le laboratoire central de surveillance de la qualité de l’air (LCSQA) a mis en place progressivement à partir de 2017 des stations fixes de fond (Bordeaux, Lyon, Grenoble) et à proximité du trafic (Grenoble, Lille, Paris, Marseille) pour une première surveillance continue des concentrations des PUF dans l’air ambiant sur le territoire français (12, 28).

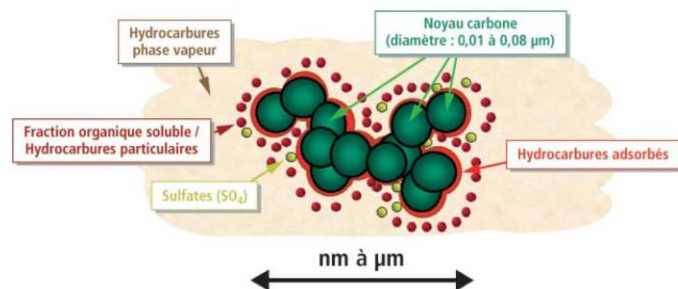
## I.2.4. Carbone suie

### Définition et origine

Le carbone suie est une composante des particules fines regroupant des espèces ioniques ou carbonées ou des poussières minérales. Le BC se singularise par son composé de carbone (C) qui absorbe la lumière et apparaît donc comme noir. On l’appelle « BC » s’il est mesuré par la méthode optique et « carbone élémentaire » s’il est mesuré par la méthode thermique. Il est émis par le secteur résidentiel-tertiaire (surtout chauffage domestique au bois et au charbon), le secteur du transport (principalement routier par les moteurs diesel non équipés d’un filtre à particules et le transport maritime), le secteur agricole par le brûlage des résidus agricoles et naturellement par les feux de forêt et de végétation (1, 4).

### Processus de formation

Le carbone suie est issu des processus de combustion incomplète à haute température. Tout commence par la collision de deux HAP donnant naissance à des précurseurs de suie. Ces derniers augmentent rapidement en taille par l’adsorption d’HAP (condensation) suivie par une collision avec une particule suie. Enfin, ils subissent des réactions chimiques par croissance en surface et par oxydation (29). A titre d’exemple, la figure 7 illustre la structure d’une particule de BC émise suite à la combustion automobile.



**Figure 7.** Structure élémentaire d’une particule de combustion automobile (d’après le rapport de l’ADEME 2005 (25).

**Phénomènes associés**

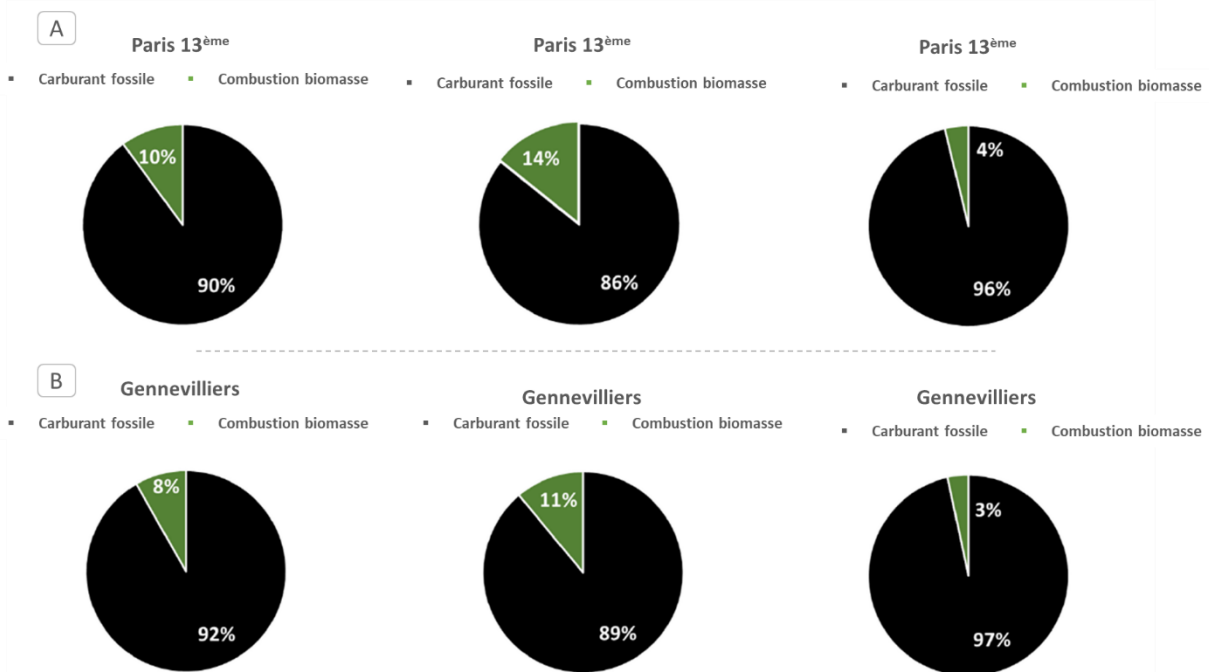
Le BC agit sur le changement climatique par son pouvoir de réchauffement (1, 4).

**Normes**

Le BC, comme les PUF, n'est pas règlementé mais sa concentration dans l'air ambiant est régulièrement surveillée depuis 2015, sur 5 sites de mesure en IDF, trois à proximité du trafic et deux de fond. Ce suivi permet éventuellement de quantifier les concentrations ambiantes de BC et de caractériser la pollution particulaire (source et composition) (15).

**Évolution des concentrations ambiantes de BC**

Les concentrations du carbone suie continuent à diminuer au fil des années, mais avec une disparité spatiale et saisonnière. Les teneurs du carbone suie sur les sites au voisinage du trafic peuvent être dix fois supérieures à celles mesurées par les stations de fond. Ceci s'explique par les émissions du carbone suie à l'échappement et hors échappement (usure des pneumatiques, des embrayages, etc.). Toutefois, la contribution des hydrocarbures fossiles reste toujours dominante. Par ailleurs, en saison froide la contribution moyenne annuelle de la combustion de la biomasse aux concentrations de carbone suie augmente avec l'utilisation du chauffage au bois (Figure 8) (1, 15).



**Figure 8.** Pourcentage de carbone suie issu de la combustion d'hydrocarbures fossiles et de biomasse sur l'année 2019 en situation de fond, à trois périodes différentes en hiver (A) et en été (B) (d'après le bilan 2019 d'Airparif).

La gestion de la qualité de l'air ne se limite pas à la surveillance des polluants dans l'air ambiant mais aussi à la réduction des émissions, d'où la mise en place des normes européennes d'émissions dites « normes Euro » fixant des seuils pour les émissions véhiculaires à l'échappement.

## II. Facteurs influant sur les émissions automobiles

Les polluants formés et émis par les moteurs des véhicules suivent l'évolution des normes européennes d'émissions. Toutefois, il existe d'autres facteurs qui conditionnent la nature et la quantité des polluants rejetés par les pots d'échappement (liés aux carburants, au véhicule, aux conditions de circulation et au climat) et leurs infiltrations à l'intérieur de l'automobile, résumés dans les paragraphes suivants.

### II.1. Valeurs limites d'émission des normes Euro

La législation européenne fixe des normes d'émissions pour homologuer les véhicules légers depuis 1970, normes devenues « normes Euro » en 1992. Avant la mise sur le marché, des organismes nationaux spécialisés dans l'homologation s'assurent *via* un test que les émissions de quatre polluants à l'échappement des véhicules respectent leurs valeurs limites d'émissions (définies par le règlement (CE) n°715/2007, (CE) 692/2008 et (UE) n°459/2012). Il s'agit d'un cycle d'essais qui représente un « scénario » constitué d'accélération, de décélération et de paliers à vitesse constante sur une durée déterminée. Depuis 1973, le cycle d'essais dit NEDC « *New European Driving Cycle* » faisait référence. Toutefois, le NEDC ne reflète plus les conditions de conduite ni les technologies automobiles d'aujourd'hui. Ainsi, le 1<sup>er</sup> septembre 2017, l'UE a ordonné la mise en application du test WLTP « *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure* » accompagnée du RDE « *Real Driving Emissions* » pour gagner en représentativité des conditions réelles (14, 30, 31). Les valeurs limites d'émission applicables aux véhicules légers testés par le cycle NEDC sont présentées dans le tableau VI et ceux par les tests WLTP et RDE dans le tableau VII.

**Tableau VI.** Valeurs limites d'émission des normes Euro et cycle NEDC.

| Normes Euro <sup>a</sup>    | Cycle NEDC |      |                 |     |                |                     |        |                 |                      |     |                    |
|-----------------------------|------------|------|-----------------|-----|----------------|---------------------|--------|-----------------|----------------------|-----|--------------------|
|                             | Essence    |      |                 |     |                |                     | Diesel |                 |                      |     |                    |
|                             | CO         | HCNM | NO <sub>x</sub> | HC  | PM             | PN                  | CO     | NO <sub>x</sub> | HC + NO <sub>x</sub> | PM  | PN                 |
| <b>Euro 1</b><br>(07/1992)  | 2720       | -    | 970             |     | -              | -                   | 2720   | 873             | 970                  | 140 | -                  |
| <b>Euro 2</b><br>(01/1996)  | 2200       | -    | 500             |     | -              | -                   | 1000   | 630             | 700                  | 80  | -                  |
| <b>Euro 3</b><br>(01/2000)  | 2300       | -    | 150             | 200 | -              | -                   | 640    | 500             | 560                  | 50  | -                  |
| <b>Euro 4</b><br>(01/2005)  | 1000       | -    | 80              | 100 | -              | -                   | 500    | 250             | 300                  | 25  | -                  |
| <b>Euro 5a</b><br>(09/2009) | 1000       | 68   | 60              | 100 | 5 <sup>b</sup> | -                   | 500    | 180             | 230                  | 5   |                    |
| <b>Euro 5b</b><br>(09/2011) | -          | -    | -               | -   | -              | -                   | 500    | 180             | 230                  | 5   | 6x10 <sup>11</sup> |
| <b>Euro 6b</b><br>(09/2014) | 1000       | 68   | 60              | 100 | 4,5            | 6x10 <sup>12b</sup> | 500    | 80              | 170                  | 4,5 | 6x10 <sup>11</sup> |



**Tableau VII.** Valeurs limites d'émission des normes Euro et cycle WLTC/RDE.

| Normes Euro <sup>a</sup>         | Motorisation | Cycle | CO   | HC  | HCNM | NO <sub>x</sub> | HC + NO <sub>x</sub> | PM  | PN                 |
|----------------------------------|--------------|-------|------|-----|------|-----------------|----------------------|-----|--------------------|
| <b>Euro 6c</b><br>(09/2017)      | Essence II   | WLTC  | 1000 | 100 | 68   | 60              | -                    | -   | -                  |
|                                  | Essence ID   |       |      |     |      |                 |                      | 4,5 | 6x10 <sup>11</sup> |
|                                  | Diesel       |       | 500  | -   | -    | 80              | 170                  | 4,5 | 6x10 <sup>11</sup> |
|                                  | Essence II   | RDE   | C    | -   | -    | C               | -                    | -   | -                  |
|                                  | Essence ID   |       |      | -   | -    |                 | -                    | -   | C                  |
|                                  | Diesel       |       |      | -   | -    |                 | -                    | -   | -                  |
| <b>Euro 6d-TEMP</b><br>(09/2017) | Essence II   | WLTC  | 1000 | 100 | 68   | 60              | -                    | -   | -                  |
|                                  | Essence ID   |       |      |     |      |                 |                      | 4,5 | 6x10 <sup>11</sup> |
|                                  | Diesel       |       | 500  | -   | -    | 80              | 170                  | 4,5 | 6x10 <sup>11</sup> |
|                                  | Essence II   | RDE   | ME   | -   | -    | 126             | -                    | -   | -                  |
|                                  | Essence ID   |       |      | -   | -    |                 | -                    | -   | 9x10 <sup>11</sup> |
|                                  | Diesel       |       |      | -   | -    | 168             | -                    | -   | 9x10 <sup>11</sup> |
| <b>Euro 6d</b><br>(01/2020)      | Essence II   | WLTC  | 1000 | 100 | 68   | 60              | -                    | -   | -                  |
|                                  | Essence ID   |       |      |     |      |                 |                      | 4,5 | 6x10 <sup>11</sup> |
|                                  | Diesel       |       | 500  | -   | -    | 80              | 170                  | -   | -                  |
|                                  | Essence II   | RDE   | ME   | -   | -    | 86              | -                    | -   | -                  |
|                                  | Essence ID   |       |      | -   | -    |                 | -                    | -   | 9x10 <sup>11</sup> |
|                                  | Diesel       |       |      | -   | -    | 114             | -                    | -   | -                  |

C : contrôlé ; CO : monoxyde de carbone ; HC : hydrocarbures ; HCNM : hydrocarbures non méthaniques ; ID : injection directe ; II : injection indirecte ; ME : mesuré et enregistré ; NEDC : New European Driving cycle ; NO<sub>x</sub> : oxydes d'azote ; PM : particules en masses ; PN : particules en nombre ; RDE : Real Driving Emissions ; WLTP : Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure.

Toutes les émissions exprimées en mg/km, sauf PN en nombre de particules par km.

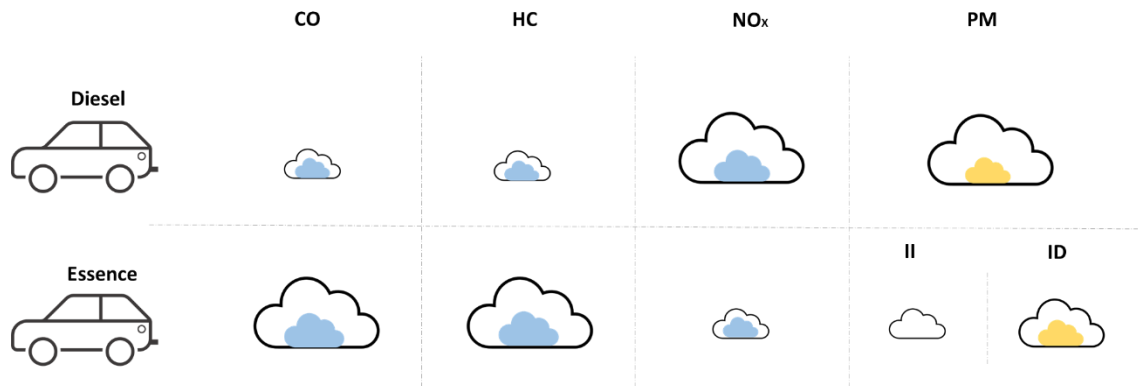
a. Date d'entrée en vigueur (homologation des nouveaux types).

b. Uniquement pour moteurs essence avec injection directe.

## II.2. Facteurs liés aux véhicules

Les paramètres propres aux véhicules caractérisant leurs émissions sont multiples ; nous citons les plus décrits dans la littérature. La figure 9 ci-dessous montre que quel que soit le type de motorisation, les polluants émis par les véhicules sont les mêmes. Cependant, leurs quantités varient particulièrement en fonction du type de carburant, du moteur (conception interne, géométrie, fonctionnement) et des systèmes de post-traitement (pots catalytiques, filtres à particules, etc...) (11, 14). Si l'évolution des normes Euro permet indubitablement d'abaisser les émissions des polluants aux pots d'échappement, l'effet de l'évolution du parc automobile est moins évident. Par exemple, les nouveaux moteurs essence à injection directe sont peu gourmands en carburant, mais cependant plus contributifs par leurs émissions de particules en masse et en nombre (idem pour les moteurs diesel), comme l'illustre la figure 9. De plus, les véhicules récents ont tendance à être plus pesants, compte tenu de l'architecture de la chaîne de traction avec l'hybridation des moteurs, de l'augmentation du nombre d'équipements de confort et de sécurité et des nouveaux types de carrosserie plus volumineuse ; ils ont donc besoin de plus d'énergie pour

circuler, ce qui se traduit par une consommation supplémentaire de carburant et ainsi plus d'émissions. Toutefois, la genèse des dispositifs de dépollution a permis d'atténuer les effets indésirables de la technologie (11, 32, 33).



**Figure 9.** Émissions des polluants d'origine automobile en fonction du type de carburant et de la technologie.

CO : monoxyde de carbone ; HC : hydrocarbures ; ID : injection directe ; II : injection indirecte ; PM : particules en masse.

- Véhicule + systèmes catalytiques
- Véhicule + filtres à particules

### II.3. Facteurs liés aux conditions de circulation

Les facteurs liés aux conditions de circulation dépendent à la fois de la route (altitude, pente) et du conducteur (mode de conduite, vitesse). Les émissions des véhicules augmentent d'une part avec l'altitude et la pente de la route, d'autre part elles sont majorées par un mode de conduite dit « agressif ». Ceci a principalement conduit au remplacement du test NEDC par le WLTP/RDE lors du contrôle des émissions pour se rapprocher au maximum des émissions véhiculaires en usage réel (11, 34-36).

### II.4. Facteurs climatiques

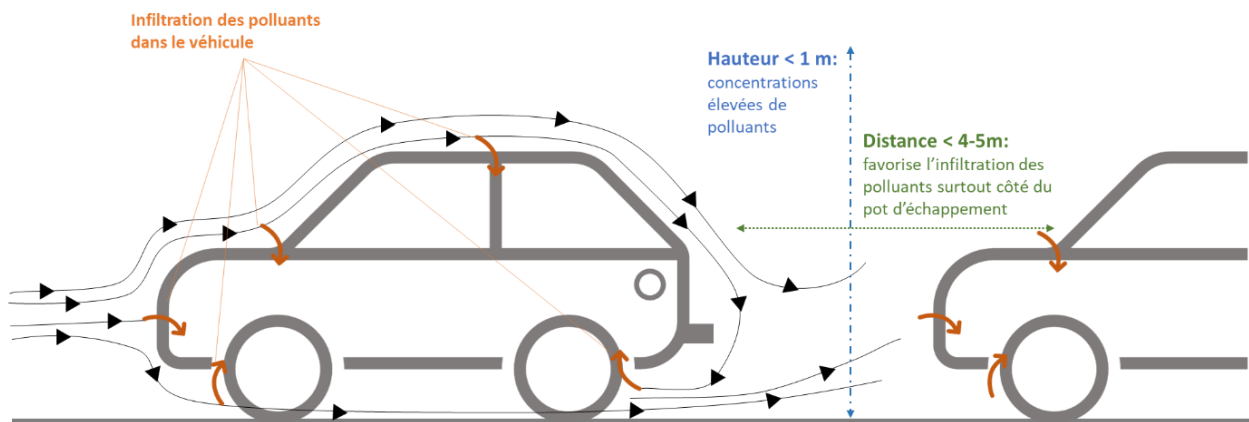
La température ambiante peut interférer sur les conditions de démarrage du moteur. En effet, lorsque le moteur est activé, il passe tout d'abord par une phase de « démarrage à froid » pour atteindre son équilibre thermique « mode chaud ». La phase « démarrage à froid » est propice pour générer plus de polluants comme par exemple les hydrocarbures, qui sont plus produits du fait d'une faible évaporation du carburant et d'une faible efficacité du système catalytique à faible température. Somme toute, en période hivernale les émissions des automobiles ont tendance à être plus élevées par prolongation de la durée de la phase « démarrage à froid » du moteur. Quant au vent, il peut agir sur la dispersion des émissions des automobiles et les rayonnements ultraviolets, sur la formation des polluants « photochimiques » (33, 37-39).

Les polluants d'origine automobile suivent un chemin fragile et complexe. Leurs formations dans le moteur, leurs quantités émises par les pots d'échappement et leurs transformations une fois rejetés dans l'air ambiant sont conditionnées par plusieurs facteurs, évoqués ci-dessus. Arrivés au cœur du trafic, ces polluants peuvent pénétrer dans les habitacles des automobiles ; plusieurs paramètres interviennent dans ce processus.

## II.5. Facteurs influant sur l'infiltration des polluants dans l'habitacle du véhicule

L'infiltration des polluants à l'intérieur des véhicules est influencée par de multiples paramètres (40-42), dont quelques-uns sont interdépendants (Figure 10) :

- **facteurs liés à l'automobile**, principalement la forme et l'âge du véhicule. Les anciennes voitures ont une carrosserie moins hermétique que les automobiles modernes, favorisant la pénétration des polluants à l'intérieur du véhicule. Le même phénomène peut s'observer avec le vieillissement des véhicules.
- **facteurs liés aux polluants** notamment le type, la taille, le mouvement et la dynamique des polluants. Par exemple les particules de taille inférieure à  $1\mu\text{m}$  s'infiltrent davantage que les plus grandes dans l'habitacle du véhicule.
- **facteurs externes** comme la proximité entre les véhicules, et le vent et les turbulences dans le sillage du véhicule.



**Figure 10.** La structure du sillage proche créé aux alentours du véhicule, les zones d'infiltration des polluants dans l'habitacle du véhicule.

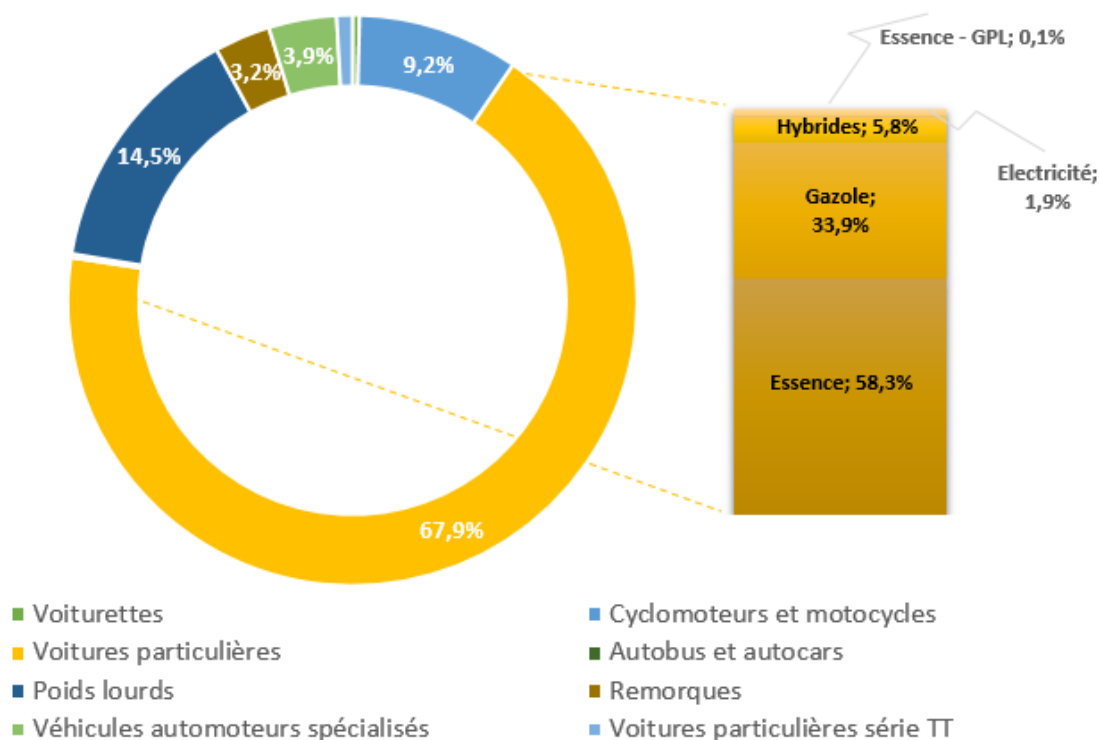
En résumé, le processus d'infiltration des polluants dans les véhicules dépend surtout des caractéristiques des voitures. Définir le parc automobile, très hétéroclite selon les pays, est ainsi crucial pour comprendre la qualité de l'air dans l'habitacle. Dans le cadre de ce travail, nous détaillons le parc automobile français et libanais.

### III. Parc automobile

Le parc automobile se caractérise par : le type de véhicules (véhicule particulier (VP), véhicule utilitaire léger (VUL), poids lourd (PL), bus et cars et deux roues) ; le type de motorisations ; l'âge des véhicules et leurs conformités aux normes nationales ; etc.

#### III.1. Parc automobile francilien

D'après les données de l'Association Auxiliaire des Automobiles (AAA) DATA, 39 millions de véhicules circulent en France au 1<sup>er</sup> janvier 2020 avec un âge moyen de 10,6 ans. Un différentiel important en termes d'âge et de nombre de voitures roulant existe entre les départements. Environ 48% de véhicules de 5 ans et moins se trouvent dans les Hauts-de-Seine. En revanche, 8% des automobiles les plus âgées (avant 1997) se concentrent dans le sud de la France (la Creuse, la Dordogne, le Lot et l'Ariège). Par ailleurs, c'est dans le Nord de la France que la concentration de la flotte circulante est la plus élevée. Quant aux véhicules d'entreprises, 32%, 26% et 22% circulent dans les Hauts-de-Seine (92), Paris (75) et dans l'Oise (60), respectivement (43). La figure 11 représente la composition du parc automobile en France métropolitaine par genre de véhicules avec la source d'énergie pour les VP (44).



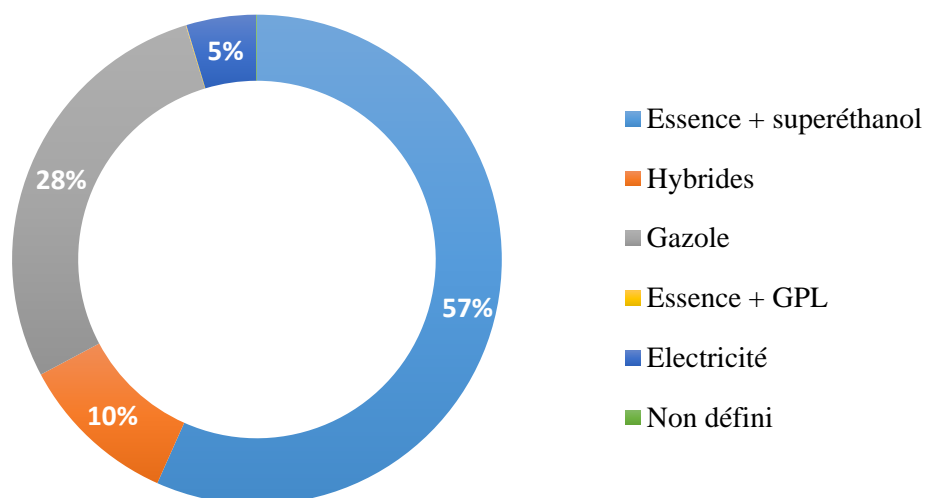
**Figure 11.** Répartition des immatriculations neuves en 2019 par genre de véhicules et focus sur la source d'énergie des voitures particulières (44).

**GPL** : gaz de pétrole liquéfié ; **PTAC** : poids total autorisé en charge ; **TT** : transit temporaire.

Poids lourds : camionnettes, camions, tracteurs agricoles et routiers ; remorques : semi-remorques, remorques légères ( $\geq 500$  kg) et lourdes (PTAC > 6 tonnes) ; essence y compris superéthanol à partir de 2007.

Il convient de noter que les ventes des véhicules hybrides rechargeables et électriques particuliers en 2019 ont connu une nette évolution par rapport à 2018, (respectivement 18582 versus 13439 et, 42763 versus 31055). Cette progression se poursuit en 2020, tandis que la vente des véhicules essence et gazole régresse depuis 2018. En ce qui concerne les types de carrosserie, malgré une tendance décroissante des berlines depuis 2000, elles représentent toujours 50% du parc automobile français en 2019, alors que la part des sport utility vehicle (SUV) évolue considérablement (10 fois plus qu'en 2000) (43, 44).

Parmi les régions, l'IDF regroupe la plus grande proportion des VP (18%) ; et parmi les départements d'IDF, c'est dans les Hauts-de-Seine et dans Paris où se concentrent la plus grande part des VP avec respectivement 22% et 14% (44). La figure 12 présente la composition des VP à Paris en termes de type de carburants.



**Figure 12.** Répartition des voitures particulières neuves en 2019 par type de carburant à Paris (44).  
**GPL :** gaz de pétrole liquéfié

C'est ainsi qu'à Paris et dans d'autres zones fortement urbanisées (comme Grenoble, Strasbourg, etc.), l'Etat a mis en place dans le cadre de ses dispositions relatives à la mobilité des ZFE, renvoyant au concept suédois de « Low Emission Zones » (LEZ) visant à limiter la pollution atmosphérique relative au trafic routier. Cela a permis de diminuer jusqu'à 52% les concentrations de BC ; jusqu'à 15% les PM<sub>2.5</sub> et jusqu'à 12% les PM<sub>10</sub> et le NO<sub>2</sub>. Les ZFE consistent à restreindre progressivement la circulation des véhicules les plus polluants selon leur vignette Crit'Air (ou certificat qualité de l'air). Ce dernier catégorise les véhicules (classe 1- moins polluantes à la classe 5- plus polluantes) en termes de leurs émissions de polluants en fonction du type de véhicule, du type d'énergie et de la norme Euro (45-47). La répartition de la flotte circulante à Paris selon les différentes classes du certificat qualité de l'air est présentée figure 13.

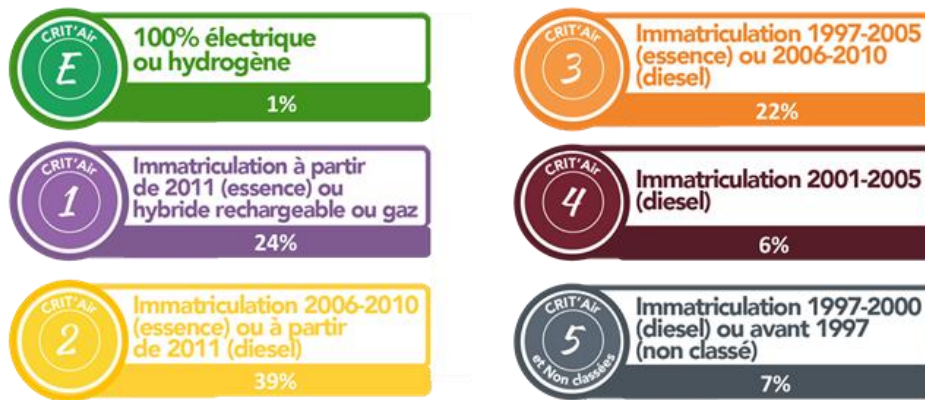


Figure 13. Répartition des voitures particulières neuves en 2019 par type de carburant à Paris (48).

### Focus sur l'évolution des polluants émis par type de véhicules et de carburants en France métropolitaine

Depuis 1990, les émissions des polluants particuliers et gazeux ne cessent de diminuer. Ce n'est pas le cas pour les NOx dont les concentrations restent stables depuis 2012 pour les VP et les VUL. Il convient de noter qu'en 2019 les VP sont les principaux contributeurs de NOx et de BC (Figure 14) (1).

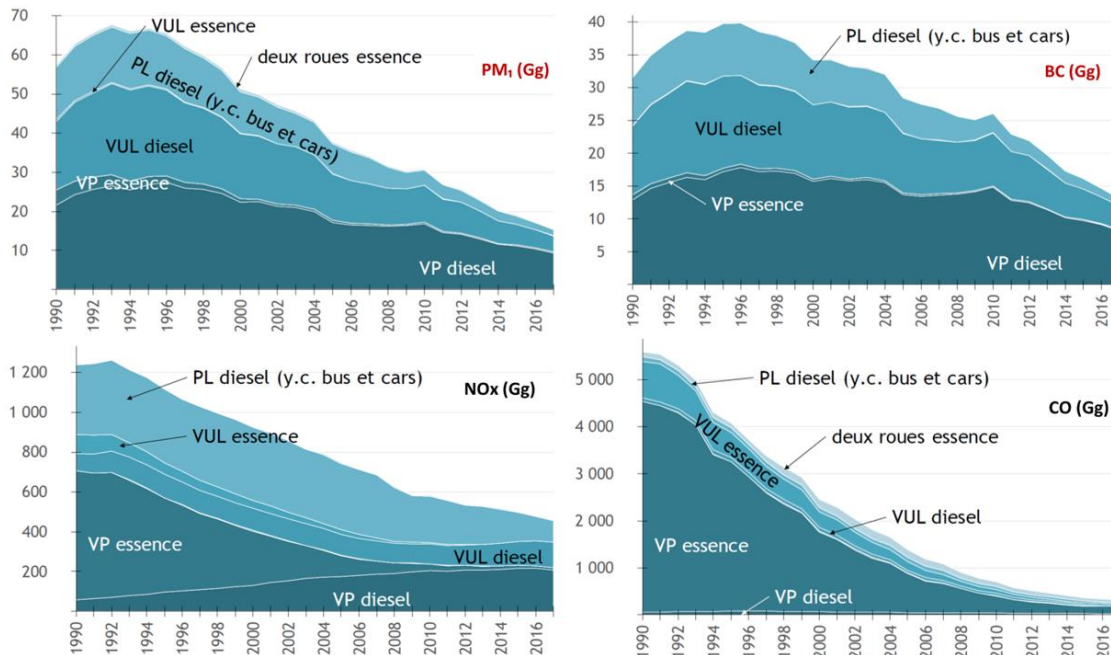
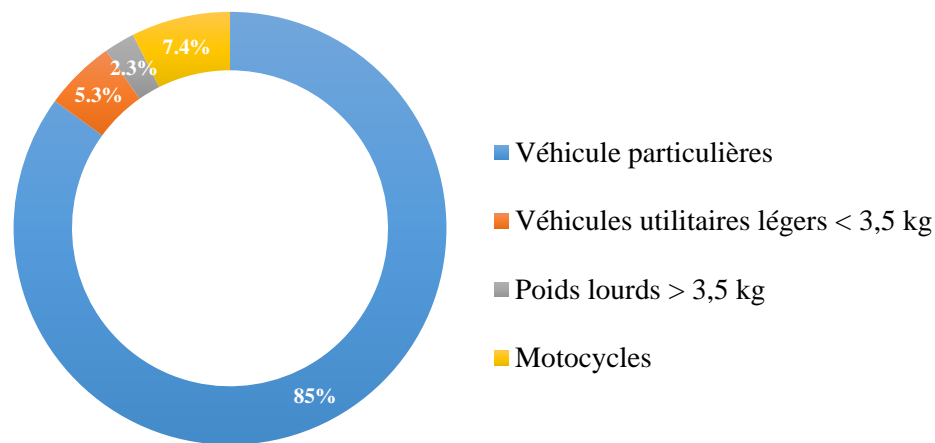


Figure 14. Évolution du secteur transport routier en fonction des émissions de polluants atmosphériques en France métropolitaine (source : CITEPA, 2019) (1).

PL : poids lourd ; VP : véhicule particulier, VUL : véhicule utilitaire léger.

### III.2. Parc automobile libanais

D'après le rapport 2019 du Ministère de l'Environnement, 1,75 millions de véhicules sont enregistrés en 2015 au Liban dont 65% neufs et 35% d'occasion (49). Le parc automobile libanais n'a jamais été aussi vieux, l'âge moyen a augmenté de 50% entre 2005 et 2015 arrivant à une moyenne de 19 ans (50). L'année de mise en circulation de la plus grande part de la flotte (19,6%) est entre 2001 et 2005 (49). Quant aux genres de véhicules, les VP sont dominantes (85%) faute d'un système efficace de transport en commun (Figure 15) (51, 52). Tous les VP, les VUL et les motos fonctionnent à l'essence, alors que les PL sont presque exclusivement équipés de moteurs diesel (49).



**Figure 15.** Répartition du parc roulant par genre de véhicule en 2012 au Liban (52).

Afin de limiter les polluants émis dans le secteur du transport routier, l'Etat a mis en œuvre des réglementations depuis 1995, les mesures coercitives les plus importantes concernant les normes d'émissions de CO, NO<sub>x</sub>, les hydrocarbures imbrûlés et les particules totales en suspension (TSP) pour les tracteurs routiers et les bus diesel (décret 6603 (4/4/1995) ; l'interdiction de l'importation des autobus et des voitures diesel (Loi 341 (6/08/2001) et de l'utilisation du carburant diesel dans les véhicules à partir du 15/06/2002 et dans les autobus (16 à 24 passagers) à partir du 31/10/2002 (décret No. 7858/2002 de la Loi 341 (6/08/2001)) (53). En l'absence de dispositif de contrôle efficace, les mesures réglementaires n'ont pas permis d'abaisser de manière satisfaisante les niveaux des polluants émis par le trafic routier. Les NO<sub>x</sub>, les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et le CO sont émis principalement par les VP tandis que le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) par les PL (54) (Figure 16).

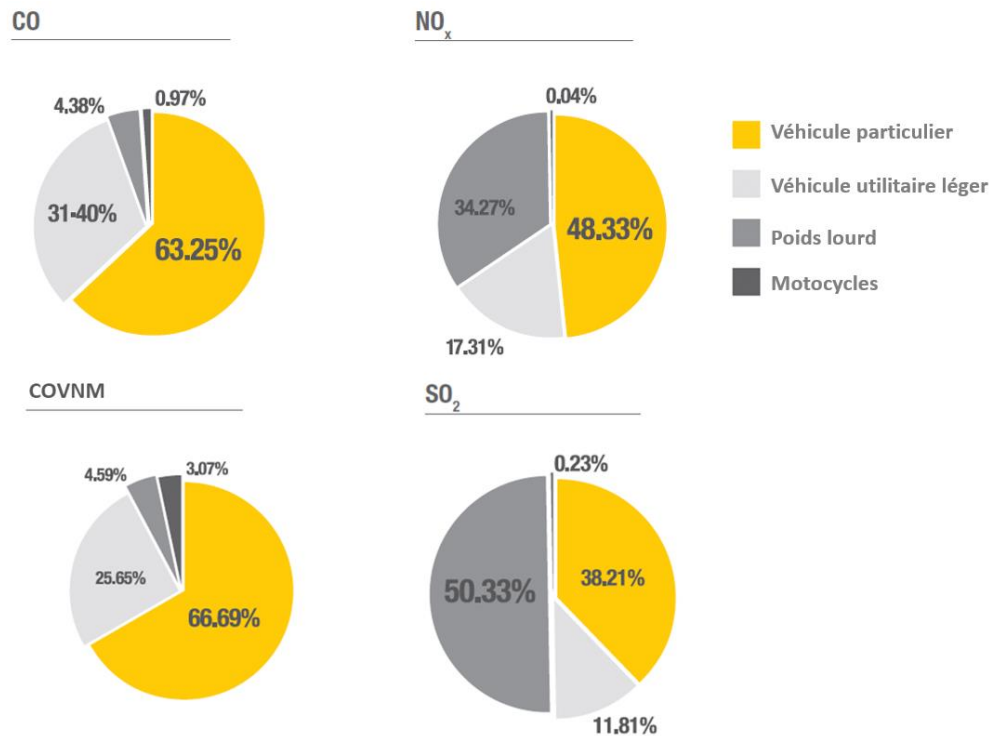


Figure 16. Répartition des émissions des polluants par genre de véhicules en 2010 (54).

En somme, les polluants d'origine automobile dépendent de facteurs spécifiques à la flotte (motorisation, carrosserie, technologie, etc.) mais varient aussi en fonction de multiples autres facteurs (météorologie, trajet, mode de conduite, etc.). Tenir compte de tous ces éléments est capital pour bien évaluer l'exposition à ces polluants.

En effet, chaque individu côtoie quotidiennement plusieurs microenvironnements « transports » (espace dans lequel on considère que la concentration du polluant est homogène) contaminés par les émissions d'automobiles comme les trains, les métros, les autobus, les voitures, etc. mais durant un temps relativement court. Or, certaines populations sont exposées à ce type d'émissions sur un temps plus long, durant toute la journée et dans un même environnement, comme le sont les professionnels de la conduite.

Dans le cadre de ce travail de thèse, nous nous intéressons aux chauffeurs de taxi exposés tout au long de leur activité professionnelle aux polluants d'origine automobile dans l'habitacle de leurs véhicules. Afin de traiter ce sujet, une revue systématique de la littérature existante a été effectuée et ses résultats sont exposés dans la partie qui suit.

#### IV. Exposition aux polluants issus du transport routier dans l'habitacle des véhicules taxis et ses déterminants

Une revue systématique a été réalisée dans le cadre de ce travail de thèse pour traiter les questions clés de recherche suivantes : **(1) quels sont les niveaux d'exposition des chauffeurs de taxi aux polluants d'origine automobile à l'intérieur de leur véhicule et les déterminants de ces**



**niveaux ? et (2) quel est l'impact aigu de cette exposition sur la fonction pulmonaire et la symptomatologie respiratoire des chauffeurs de taxi ?**

La stratégie de recherche a été conçue selon la méthode « *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* » (PRISMA). À partir de deux principales bases de données électroniques « PubMed » (1969 – juin 2018) et « Embase » (1967 – juin 2018) et d'un des moteurs de recherche généraux « Google Scholar » (1972 – juin 2018), les articles ont été recherchés jusqu'au 5 juin 2018. La recherche a été complétée par la consultation des références citées par les articles pertinents repérés. La stratégie de recherche employée est documentée dans l'annexe 1. En bref, pour chacun des quatre concepts principaux : « chauffeur de taxi » ; « polluants de l'air » ; « exposition professionnelle » et « santé respiratoire », nous avons identifié une liste de vocabulaires contrôlés et de mots-clés, associés par l'opérateur booléen « OU » par concept, pour une recherche exhaustive des études. Ensuite, les quatre blocs d'équations de recherche ont été combinés par l'opérateur « ET » afin de cibler nos questions de recherches. Les articles étaient inclus en fonction des critères d'éligibilité suivants : langue - français ou anglais ; type - étude observationnelle ou semi-expérimentale ; population d'étude - chauffeur de taxi ou passager dans le taxi ; critères de jugement - niveaux de polluants du trafic routier dans l'habitacle des véhicules de taxi et/ou leurs effets respiratoires à court terme (Annexe 2). Le processus de sélection des études a été complété par l'élimination des doublons et l'exclusion des articles, d'abord par la consultation du titre/résumé et ensuite du texte intégral. L'extraction des données a été réalisée d'une façon standardisée et rigoureuse pour tous les articles inclus à l'aide des tableaux prédéfinis et testés à l'avance. Enfin, la qualité des études observationnelles incluses a été évaluée à l'aide du « *Newcastle-Ottawa Scale* » ajusté et celle des études semi-expérimentales, par la « *Joanna Briggs Institute Critical Appraisal Checklist* » (Annexe 3).

Parmi les 1753 articles trouvés, 21 ont été retenus pour la synthèse narrative bibliographique, 18 reposant sur des études d'expologie, 2 d'épidémiologie et 1 à la fois expologique et épidémiologique. Ces études ont été publiées entre 1998 et 2017 et ont été menées en Asie (n=10), en Europe (n=4), au Moyen Orient (n=3), en Amérique (n=3) et en Afrique (n=1).

Les résultats ont montré que la majorité des équipes de recherche quantifiait les polluants traditionnels règlementés (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, COVs) et seules 4 équipes distinctes ont mesuré la concentration des PUF et du BC dans les taxis. En général, les concentrations des polluants d'origine automobile à l'intérieur des taxis étaient supérieures à celles enregistrées par les stations de fond et même, à celles mesurés dans les bus, les trains et en mode de transport actif (marche/bicyclette). Deux principales origines des polluants dans les taxis ont pu être identifiées : l'infiltration des émissions du trafic routier dans l'habitacle et la fumée de tabac. En outre, les facteurs météorologiques (température, vitesse du vent) et la ventilation (climatisation, ouverture/fermeture des fenêtres) modulaient considérablement les concentrations des polluants dans l'habitacle. Par ailleurs, l'écart des niveaux de polluants entre les études s'expliquait par l'hétérogénéité territoriale et topographique des lieux d'étude, par les caractéristiques du parc automobile et par l'application (ou non) de réglementations sur les émissions et imissions des polluants du trafic routier. Les données sanitaires sont quant à elles très peu documentées et elles n'ont pas permis de mettre en évidence d'association entre l'exposition aux polluants à l'intérieur des véhicules taxis et les effets respiratoires à court terme.

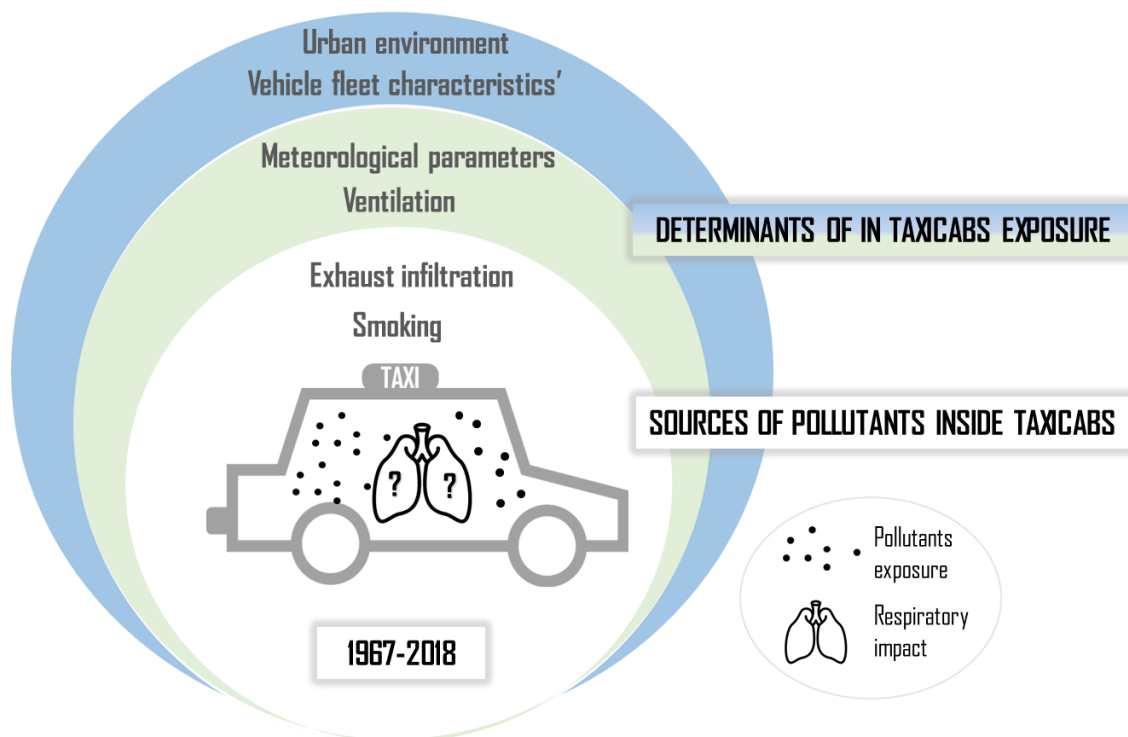
Malgré la disparité notable entre les études, les chauffeurs de taxi sont exposés à des concentrations importantes et très variables dans l'habitacle du véhicule. En conclusion, ce travail a permis de mettre l'accent sur le besoin clairement nécessaire d'évaluer d'une part les niveaux des polluants d'origine automobile dans l'habitacle des véhicules, surtout les moins documentés (PUF et BC) et d'autre part, leurs effets respiratoires à court terme.

\*\*\*

Ce travail a fait l'objet d'une publication sous forme de revue dans « *Science of the Total Environment* ».

**Hachem M**, Saleh N, Paunescu A-C, Momas I\*, Bensefa-Colas L\*. Exposure to traffic air pollutants in taxicabs and acute adverse respiratory effects: A systematic review. *Science of The Total Environment*.2019; 693:133439.

\* Equal contribution



Graphic abstract (Hachem *et al.* 2019)



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)

## Review

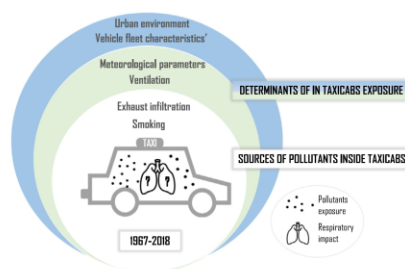
## Exposure to traffic air pollutants in taxicabs and acute adverse respiratory effects: A systematic review

Melissa Hachem<sup>a,b</sup>, Nadine Saleh<sup>b,c</sup>, Alexandra-Cristina Paunescu<sup>a</sup>,  
Isabelle Momas<sup>a,\*</sup>, Lynda Bensefa-Colas<sup>a,d</sup><sup>a</sup> Health Environmental Risk Assessment, INSERM UMRS\_1153, Faculty of Pharmacy, Paris Descartes University, Sorbonne Paris Cité, Paris, France<sup>b</sup> CERIPH, Center for Research in Public Health, Pharmacoepidemiology Surveillance Unit, Faculty of Public Health, Lebanese University, Fanar, Lebanon<sup>c</sup> INSPECT-LB, Institut National de Santé Public, Epidémiologie Clinique et Toxicologie, Faculty of Public Health II, Lebanese University, Fanar, Lebanon<sup>d</sup> Department of Occupational and Environmental Diseases, University Hospital of Centre of Paris, Hotel-Dieu Hospital, AP-HP, Paris, France

## HIGHLIGHTS

- Taxi drivers' exposure to air pollutants is an occupational health issue.
- The key sources and determinants of pollutants inside taxi vehicles are explored.
- Acute respiratory impact of taxi drivers to air pollution is poorly documented.

## GRAPHICAL ABSTRACT



## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 15 March 2019

Received in revised form 11 July 2019

Accepted 16 July 2019

Available online 17 July 2019

Editor: Pavlos Kassomenos

## Keywords:

Taxi drivers  
Traffic related pollutants  
Occupational exposure  
Respiratory disorders

## ABSTRACT

**Introduction:** Taxi drivers could be at risk regarding their respiratory health due to their constant exposure to traffic related air pollutants (TRAP) inside their vehicles. Therefore, we aimed to review pollutants exposure inside taxi vehicles and its determinants as well as its acute adverse respiratory effects.

**Methods:** The literature search was done in Pubmed and in Embase. For additional resources we searched manually articles from the reference lists of the selected papers and from Google Scholar. We included only studies in French or in English language meeting the following eligibility criteria: design: observational and quasi-experimental; study population: taxi drivers or taxi commuters, outcome: pollutants levels in taxicabs and/or acute adverse respiratory effects. Data was extracted using tabulation according to the type of the study (exposure or epidemiological).

**Results:** Out of 1753 articles, 21 studies were included. Exposure studies underlined that TRAP concentrations inside taxicabs were higher than their urban background levels and even exceeded those recorded in buses, in trains and when commuting by active transport modes. Overall, their concentrations varied widely between studies depending on the characteristics of the urban environment and the vehicle fleet of each location. Meteorological parameters and ventilation settings appeared to influence pollutants concentrations inside each vehicle. Otherwise, deficiency in epidemiological studies and inconsistencies in their findings restrain our ability to determine the association between acute respiratory effects and exposure to TRAP inside taxicabs.

\* Corresponding author at: Health Environmental Risk Assessment, Faculty of Pharmacy, Paris Descartes University, Sorbonne Paris Cité, 4 Avenue de l'Observatoire, 75006 Paris, France.  
E-mail address: [isabelle.momas@parisdescartes.fr](mailto:isabelle.momas@parisdescartes.fr) (I. Momas).

<sup>1</sup> These authors contribute equally to this work.

*Conclusion:* Although studies are heterogeneous, results have shown a high but variable occupational exposure of taxi drivers to TRAP inside their vehicles. However, future researches are required to study short respiratory impact of taxi drivers' exposure to TRAP inside their vehicles.

© 2019 Published by Elsevier B.V.

## Contents

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction . . . . .   | 2  |
| 2. Methods . . . . .  | 3  |
| 2.1. Search strategy . . . . .  | 3  |
| 2.2. Inclusion criteria . . . . .   | 3  |
| 2.3. Selection procedure . . . . .  | 3  |
| 2.4. Data extraction . . . . .  | 3  |
| 2.5. Data analysis and quality assessment . . . . .   | 3  |
| 3. Results . . . . .  | 3  |
| 3.1. Search strategy . . . . .  | 3  |
| 3.2. Methodology of the included studies . . . . .  | 3  |
| 3.2.1. Objectives and study design . . . . .  | 3  |
| 3.2.2. Population . . . . .   | 4  |
| 3.2.3. Measurements of traffic related air pollutants . . . . .   | 5  |
| 3.2.4. Measurement of respiratory health outcomes . . . . .   | 5  |
| 3.2.5. Data analysis . . . . .  | 5  |
| 3.3. Quality of the included studies . . . . .  | 6  |
| 3.4. Results of the included studies . . . . .  | 6  |
| 3.4.1. Pollutants levels inside taxi drivers' vehicles . . . . .  | 6  |
| 3.4.2. Comparison of pollutants exposure in taxi vehicles with ambient levels and with other modes of transport . . . . . | 6  |
| 3.4.3. Determinants of in-taxicab pollutants exposure . . . . .   | 6  |
| 3.4.4. Respiratory effects of in-taxicab exposure . . . . .   | 11 |
| 4. Discussion . . . . .   | 11 |
| 4.1. Heterogeneity of pollutants levels inside taxi vehicles . . . . .  | 11 |
| 4.2. Determinants of in taxicabs exposure . . . . .   | 11 |
| 4.3. Short-term respiratory impact . . . . .  | 12 |
| 4.4. Strengths and limitations . . . . .  | 12 |
| 5. Conclusion . . . . .   | 12 |
| Patient consent . . . . .   | 12 |
| Contributors . . . . .  | 12 |
| Funding . . . . .   | 12 |
| Acknowledgments . . . . .   | 12 |
| References . . . . .  | 12 |

## 1. Introduction

The World Health Organization (WHO) estimates that 91% of the world population are exposed to air pollutants levels (particulate matter (PM), ozone, nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>)) exceeding WHO air quality guidelines (World Health Organization, 2018). This exposure has been linked to both chronic and acute cardiovascular and respiratory diseases, which can be fatal. Recent data showed that deaths related to outdoor air pollution are due to ischemic heart disease and strokes (40%), chronic obstructive pulmonary disease (11%), lung cancer (6%) and acute lower respiratory infections in children (3%) (World Health Organization, 2018, 2014).

Worldwide, transport is known as the major source of ambient air pollution in urban area (Health Effects Institute, 2010; Krzyzanowski et al., 2005). It contributes to greenhouse gas emissions with 8.8% in South Africa, 20% in Europe, 23% in Asia and 28.5% in the United States (US) (Environmental Protection Agency, 2015; European Environment Agency, 2016). Some vehicle emissions have been defined by the European Union (EU) emission standards such as: carbon dioxide, carbon monoxide (CO), hydrocarbons, nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and PM. However, despite their potential health impact, some pollutants are not regulated by EU road transport legislation like: heavy metals (lead, arsenic, mercury, nickel, etc.), polycyclic aromatic hydrocarbons, and black carbon (BC) and ultrafine particles (UFP) that have been

drawing attention in the recent years (European Environment Agency, 2016; Habert and Garnier, 2015; Health Effects Institute, 2010; Janssen et al., 2012; Karanasiou et al., 2014; Knibbs et al., 2011; Xu et al., 2018).

Traffic emissions are also responsible for in transport microenvironments pollution (Cepeda et al., 2017). A recent WHO report considered that transportation microenvironments are a significant source of exposure (Krzyzanowski et al., 2005) to exhaust emissions from nearby cars, to evaporative emissions from the fuel system, to abrasion emissions from tyres, brakes and clutch and also to interior emissions from materials (Health Effects Institute, 2010; Krzyzanowski et al., 2005; Rönkkö et al., 2017; Thorpe and Harrison, 2008).

Air pollution exposure in transport microenvironments is influenced by the time spent inside transport modes (Dons et al., 2012; Ekpenyong et al., 2012; Namdeo et al., 2014). Indeed, researches have shown that spending 6% of the time in transportation modes is associated with 21% of personal exposure to BC in Belgium (Dons et al., 2012, 2011) and with 11% of personal exposure to NO<sub>2</sub> in Barcelona (de Nazelle et al., 2012). Moreover, Paunescu et al. (2016) showed that transportation contribute to 12.4% and 9.7% of Parisian children personal exposure to BC and PUF, respectively, while they spent only 5% of their time traveling (Paunescu et al., 2016). Therefore, transport microenvironment might be a major contributor to personal air pollutants exposure, especially for professional drivers (Cepeda et al., 2017; Nazelle et al., 2016).

The exposure in transport microenvironments has been well documented for bus, private automobile, motorcycle, bicycle, train, light rail and metro drivers (Cepeda et al., 2017; Chaney et al., 2017; Karanasiou et al., 2014; Knibbs et al., 2011; Nazelle et al., 2016), but few studies were conducted on exposure inside taxi vehicles. However, taxi drivers are likely to be among the professional drivers the most exposed to traffic related air pollutants (TRAP) for long working days generally >11 h per day.

Previous studies have focused on long term respiratory health effects of occupational traffic exposure (Fleming and Charlton, 2001; Garshick et al., 2004; Koh et al., 2015; Tsoi and Tse, 2012; Wiwanitkit et al., 2005), whereas very few have studied short term health impact, specifically respiratory effects. Indeed, workers who are occupationally exposed to TRAP such as traffic policemen, bus drivers and taxi motorcyclists had a higher prevalence/incidence of respiratory symptoms (cough, phlegm, wheezing, short breath, throat unwell, chest pain, nose discomfort, rhinosinusitis) than non-exposed groups (police officers, high school teachers, residents) (Estévez-García et al., 2013; Gao et al., 2010; Mbelambela et al., 2017). In a Parisian study, carried out twenty years ago on taxi drivers, nearly all of them seemed to be annoyed by exhaust smoke, dust and smells and >60% considered automobile as the main source of air pollution. Furthermore, almost all participants in this study, agreed on the harmful effect of air pollution on health (Zagury et al., 1998). Hence, it is worthwhile to review taxi drivers' exposure and their acute respiratory health. This systematic review aimed to answer the following three questions:

- (1) What are the pollutants and their levels taxi drivers are exposed to inside their vehicles?
- (2) What are the determinants of taxi drivers in-vehicle air pollution exposure?
- (3) What are the acute adverse respiratory health effects (respiratory symptoms, lung function impairment) associated to in-vehicle air pollution in taxi drivers?

## 2. Methods

### 2.1. Search strategy

A systematic literature search was performed in compliance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (Moher et al., 2009). The last update of the literature searches was made on June 5, 2018. To identify relevant studies, we combined different approaches: searching electronic databases (PubMed from 1969 to June 2018; Embase from 1967 to June 2018), relevant Internet resources (Google Scholar from 1972 to June 2018) and visually scanning articles from the reference lists of the selected papers. We began by defining the concepts of the research questions: "taxi drivers", "occupational exposure", "air pollutants" and "respiratory health". Then, for each concept, we selected both indexing terms and keywords and we compiled the terms relating to the same concept by using OR as Boolean operator, in order to make searches larger. To narrow our research, we combined the four sets of concepts using AND logic (#sets of taxi driver's concept) AND #sets of occupational exposure concept AND #sets of respiratory health concept AND (#sets of air pollutants concept) (online supplementary Appendix A).

### 2.2. Inclusion criteria

Articles had to be in the French or English language with no temporal restriction. We dealt with observational and quasi-experimental studies. Also, to be included, the articles must have met the following criteria: (1) study population: taxi drivers or taxi commuters; (2) outcomes: pollutants levels in taxicabs and/or acute adverse respiratory

health effects (respiratory symptoms or lung function). Then the selection process was performed.

### 2.3. Selection procedure

After removing the duplicate references, all the records were screened independently by two researchers. Firstly, the titles and abstracts were reviewed and then the full texts of the potential eligible studies were assessed to identify whether the inclusion criteria were really met (online supplementary Appendix B).

### 2.4. Data extraction

We stratified independently data of the included articles according to the type of the study. For the exposure studies, we retrieved the data and categorized them under three main tables (main characteristics, levels of in taxicabs TRAP and determinants of in-vehicle air pollutants exposure). Data from epidemiological studies were also tabulated following three standard sheets (main characteristics, respiratory function and respiratory symptoms of taxi drivers).

### 2.5. Data analysis and quality assessment

After developing a preliminary synthesis using tabulation, we explored relationships within and between studies by qualitative descriptions. We assessed the quality of the included observational studies using an adjusted version of the Newcastle-Ottawa Scale based on three perspectives (selection, comparability and outcomes) separately for exposure and epidemiological studies. Joanna Briggs Institute Critical Appraisal Checklist was used for the quasi-experimental studies. Overall, they were based on 7 and 9 items. Each article was graded as a good (score  $\geq 78\%$ ), as a fair (score [44–77] %) or as a poor quality study (score  $\leq 43\%$ ) (online supplementary Appendix C).

## 3. Results

### 3.1. Search strategy

After screening abstracts of 1753 articles and reviewed full texts of 30 studies, 21 fulfilled the inclusion criteria (Fig. 1). These twenty-one studies were carried out from 1998 through 2018. They were conducted in Asia ( $n = 10$ ), in Europe ( $n = 4$ ), in Middle East ( $n = 3$ ), in America ( $n = 3$ ), and in Africa ( $n = 1$ ). Among the included articles, we identified 18 exposure, 2 epidemiological studies and 1 assessing both exposure and health impact aspect.

### 3.2. Methodology of the included studies

#### 3.2.1. Objectives and study design

Exposure studies aimed to compare exposure to TRAP in taxicabs with different commuting modes (bus, lorry, van, truck, motorcycle, tram, railway, car, bicycle) (Chan et al., 2003, 2002; Ekpenyong et al., 2012; Han et al., 2005; Jo and Yu, 2001; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Lau and Chan, 2003; Lewné et al., 2006; Namdeo et al., 2014) and/or with pollutants concentrations measured outside taxi vehicles (Miller-Schulze et al., 2010; Yu et al., 2018) and/or at roadsides stations (close to traffic) (Gany et al., 2017; Zagury et al., 2000) and/or at urban background central city stations (Chan et al., 2002; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Lewné et al., 2006; Miller-Schulze et al., 2010; Wu et al., 2013; Zagury et al., 2000) and/or even inside and outside taxi driver's houses (Miller-Schulze et al., 2010; Son et al., 2004). Han et al., 2005 compared taxi driver personal exposure with other workers occupationally exposed to traffic emissions (street vendors, traffic policemen, gas stations attendants) (Han et al., 2005). Among the exposure studies, we identified nine quasi-experimental studies where the researchers performed measurements inside taxi vehicles,

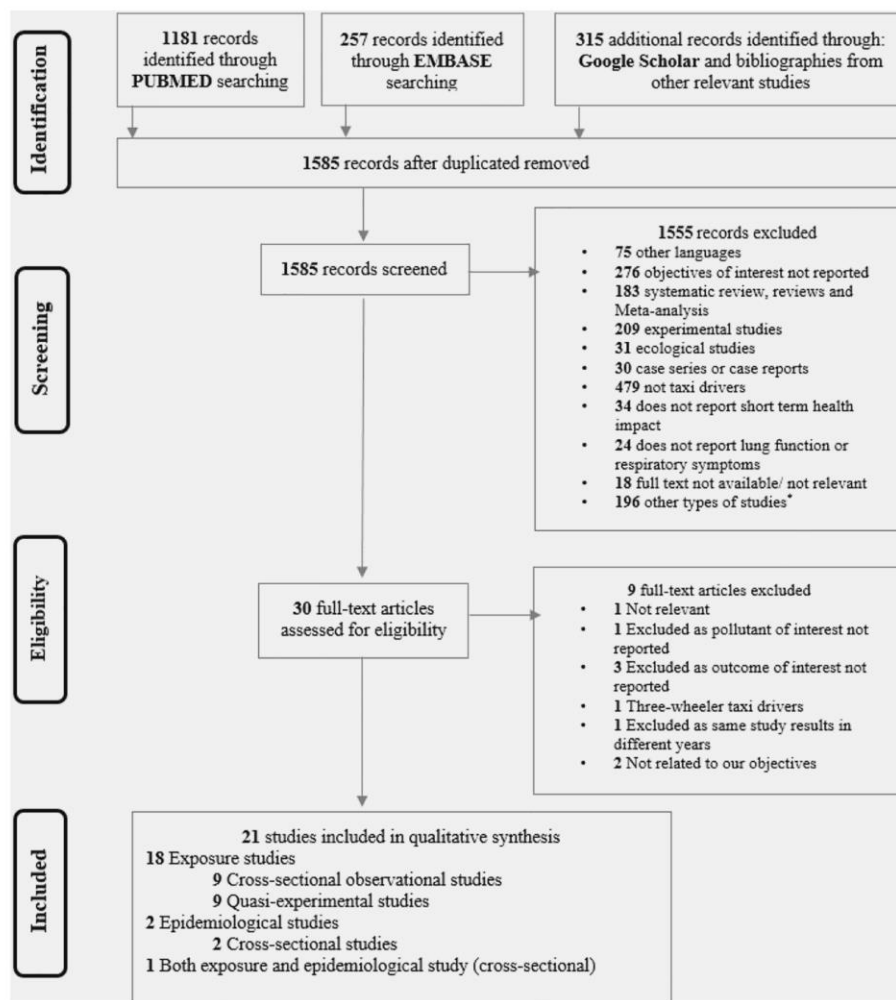


Fig. 1. Flow chart of the study selection process (Moher et al., 2009) \* Other type of studies: seminar, thesis, books, comments, editorials, qualitative, conferences.

in fixed paths (Chan et al., 2002; Ekpenyong et al., 2012; Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Lau and Chan, 2003; Namdeo et al., 2014; Yu et al., 2018) and sometimes repeated them at fixed hours in different parts of the day (morning/noon/afternoon/evening) (Ekpenyong et al., 2012; Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Lau and Chan, 2003; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013). Only Yu et al. (2018) repeated the measurements for four consecutive days, for each taxi driver, under different ventilation and mitigation settings (using High Efficiency Cabin Air filters (HECA)) to test their effectiveness on reducing exposure to UFP and  $PM_{2.5}$ . However, none of the observational studies (Bahrami et al., 2007; Gany et al., 2017; Han et al., 2005; Leung and Harrison, 1999; Lewné et al., 2006; Miller-Schulze et al., 2010; Son et al., 2004; Zagury et al., 2000) defined fixed hours/paths for pollutants monitoring nor repeated pollutant measurements apart from two studies: one conducted in Iran, measuring CO inside taxi vehicles in the morning and in the afternoon (Golhosseini et al., 2011) and the other in Korea, measuring volatile

organic compounds (VOCs) in two different seasons (summer/winter) (Jo and Yu, 2001).

The three epidemiological studies were cross-sectional. They aimed to assess respiratory symptoms and/or lung function of taxi drivers and to compare them with other group(s) occupationally exposed to traffic air pollutants. None studied the relation between pollutants levels measured inside taxicabs and drivers' respiratory health.

### 3.2.2. Population

In the exposure studies, population from which the sample was issued was described in seven articles as companies (Jo and Yu, 2001; Lewné et al., 2006; Son et al., 2004), National Federation register (Zagury et al., 2000), community sites (Gany et al., 2017), airport (Yu et al., 2018) and health care centers (Ekpenyong et al., 2012). Eight teams randomly selected the surveyed taxis (Bahrami et al., 2007; Chan et al., 2003; Ekpenyong et al., 2012; Golhosseini et al., 2011; Lau and Chan, 2003; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000).

Inclusion criteria for taxicabs characteristics (fuel, engines, etc....) were defined in five articles (Ekpenyong et al., 2012; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Namdeo et al., 2014) and for drivers in eight studies (age, gender, smoking status, medical history, etc....) (Gany et al., 2017; Golhosseini et al., 2011; Han et al., 2005; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Lewné et al., 2006; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000). Nine teams restricted smoking in their study population either by excluding smokers (Gany et al., 2017; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000), or by asking drivers not to smoke inside their vehicles (Jo and Yu, 2001) or by compliance to the law of the country that prohibit smoking inside public transportation like in Sweden (Lewné et al., 2006), in Hong Kong (Chan et al., 2002; Lau and Chan, 2003), Foshan (Wu et al., 2013), Guangzhou (Chan et al., 2003). Studies were carried out either on volunteers (Gany et al., 2017; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Leung and Harrison, 1999; Son et al., 2004) or on staff (Chan et al., 2003; Lau and Chan, 2003; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018). The sample size varied from 7 (Gany et al., 2017) to 65 (Leung and Harrison, 1999) taxis/taxi drivers and from 8 (Namdeo et al., 2014) to 53 (Wu et al., 2013) trips per taxi. None of the articles provided the methods used to calculate the sample size.

Otherwise, exposed groups of the epidemiological studies were mainly volunteers recruited through health examination campaign (Arphorn et al., 2017), promotion programs (Ekpenyong et al., 2012). Civil servants from the healthcare promotion programs (Ekpenyong et al., 2012) and manual employees in the Water and Electricity Department (Bener et al., 1998) were included as unexposed groups. Only Bener et al. matched exposed and control group on age, sex and nationality (Bener et al., 1998). Regarding eligibility criteria, subjects from the age of 18 years' old (Arphorn et al., 2017; Ekpenyong et al., 2012) and working for at least one year (Ekpenyong et al., 2012) were included. The three studies recruited only male participants because they are dominant in transit jobs in Bangkok (Arphorn et al., 2017), in Nigeria (Ekpenyong et al., 2012) and in United Arab Emirates (Bener et al., 1998). In the particular case of Ekpenyong, workers with respiratory disorders, cardiovascular diseases, anemia, congenital anomalies, history of hemoptysis, etc.... were excluded (Ekpenyong et al., 2012). The number of taxi drivers included were 50 (Ekpenyong et al., 2012), 165 (Bener et al., 1998) and 600 (Arphorn et al., 2017), but as well as in exposure studies, no methods were described to calculate the sample size.

### 3.2.3. Measurements of traffic related air pollutants

Irrespective of pollutants, exposure to TRAP inside taxi vehicles was measured continuously during a one full working day (5 h–14 h) (4 studies) (Gany et al., 2017; Han et al., 2005; Jo and Yu, 2001; Lewné et al., 2006) or during a 1–3 days' period (3 studies) (Miller-Schulze et al., 2010; Son et al., 2004; Zagury et al., 2000) or during peak and/or low traffic periods (7 studies) (Chan et al., 2003; Ekpenyong et al., 2012; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Lau and Chan, 2003; Namdeo et al., 2014). One team repeated exposure measurement during four consecutive days (Yu et al., 2018) and three teams repeated them during two different seasons (Ekpenyong et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Wu et al., 2013). Only Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009 performed a one-time measurement at different timing of the day (morning, noon, afternoon and/or evening) (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009).

Since 1999, almost half of the studies reported, PM<sub>2.5</sub> and/or CO and/or VOCs levels inside taxi vehicles and one-quarter recorded PM<sub>10</sub> and/or NO<sub>2</sub> and one, SO<sub>2</sub>, UFP and particulate carbon (elemental carbon (EC), organic carbon (OC) and BC) were only measured in four distinct recent studies (Gany et al., 2017; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Miller-Schulze et al., 2010; Yu et al., 2018). However, only Miller-Schulze et al., 2010 collected three nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons (NPAHs): 1-nitropyrene (1NP), 2-nitropyrene (2NP), and 2-nitrofluoranthene (2NF1) (Miller-Schulze et al., 2010).

Regarding the sampling methods, personal exposure of taxi drivers was evaluated by securing devices placed near to their breathing zones (Bahrami et al., 2007; Ekpenyong et al., 2012; Golhosseini et al., 2011; Han et al., 2005; Jo and Yu, 2001; Leung and Harrison, 1999; Lewné et al., 2006; Son et al., 2004; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018) and exposure in taxi cabs was assessed by putting the instruments on the passenger seats (Chan et al., 2003, 2002; Gany et al., 2017; Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Lau and Chan, 2003; Miller-Schulze et al., 2010; Namdeo et al., 2014; Zagury et al., 2000). Particle pollutants (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, BC, UFP) were monitored mostly by real-time active sampler devices (Chan et al., 2002; Ekpenyong et al., 2012; Gany et al., 2017; Han et al., 2005; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Miller-Schulze et al., 2010; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000) and most of the time with gravimetric/reflectometry analysis (Chan et al., 2002; Han et al., 2005; Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Miller-Schulze et al., 2010; Zagury et al., 2000). Miller-Schulze et al., 2010 collected PM samples on quartz filters and applied analytic methods to measure EC, CO and NPAHs (Miller-Schulze et al., 2010). Only Lewné et al., 2006 used a passive Data-RAM (Pdr1000) with a nephelometric analysis (Lewné et al., 2006). Regarding gas pollutants, CO levels were reported in a real-time continuous measurement with active devices apart from Han et al., 2005 study which used a passive sampler (Han et al., 2005). VOCs and NO<sub>2</sub> were collected by passive (filters, tube, canisters) or active methods (pump) and analyzed later by standard colorimetry or gas chromatography - mass spectrometry. Only Ekpenyong et al., 2012 provided real-time measurements of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> (Ekpenyong et al., 2012). To support survey's data, additional information was also reported such as meteorological parameters (Gany et al., 2017; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Leung and Harrison, 1999; Lewné et al., 2006; Miller-Schulze et al., 2010; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000), traffic (Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Leung and Harrison, 1999), ventilation (Gany et al., 2017; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000), smoking status (Gany et al., 2017; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Leung and Harrison, 1999; Lewné et al., 2006; Wu et al., 2013; Zagury et al., 2000), vehicle characteristics (Gany et al., 2017; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Leung and Harrison, 1999; Lewné et al., 2006; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000) and pollutants concentrations at different sampling locations (background, roadsides, outside taxicabs, inside and outside taxi driver's homes) (Chan et al., 2002; Gany et al., 2017; Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Lewné et al., 2006; Miller-Schulze et al., 2010; Son et al., 2004; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000).

### 3.2.4. Measurement of respiratory health outcomes

In the three epidemiological studies, lung function parameters of taxi drivers were measured by spirometry test according to the American Thoracic Society/European Respiratory Society recommendations (Arphorn et al., 2017; Bener et al., 1998; Ekpenyong et al., 2012) during a physical examination. Chronic respiratory symptoms were identified by the semi-structural Compendium of Respiratory Standard questionnaire (Ekpenyong et al., 2012) and the British Medical Research Council questionnaire (MRC, 1960) (Bener et al., 1998). No further details were provided by the authors.

### 3.2.5. Data analysis

Six out of the nineteen exposure studies did not detail their statistical analyses (Bahrami et al., 2007; Chan et al., 2003, 2002; Lau and Chan, 2003; Miller-Schulze et al., 2010; Namdeo et al., 2014). Descriptive analyses were used to describe the distribution of pollutants levels. Only four teams used geometric means (Jo and Yu, 2001; Son et al., 2004;

Wu et al., 2013; Yu et al., 2018). Comparison of pollutant levels between inside taxi vehicles and other microenvironments were performed by the one way analysis of variance (Han et al., 2005; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Leung and Harrison, 1999; Lewné et al., 2006; Son et al., 2004; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000). Linear regression analysis aimed to assess the relationship between pollutants levels inside taxi vehicles and determinants of this exposure: meteorological parameters and/or driving conditions and/or traffic status and/or vehicle characteristics (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018; Zagury et al., 2000).

In the epidemiological studies, bivariate and multivariate analyses were used to compare prevalence of respiratory symptoms (Bener et al., 1998; Ekpenyong et al., 2012) and/or lung function impairment (Ekpenyong et al., 2012) and/or lung function parameters (Arphorn et al., 2017; Bener et al., 1998) between drivers occupationally exposed to automobile air pollutants (taxi drivers, motorcyclists) and unexposed groups (civil servants, manual workers). Bener et al., 1998 studied the association between exposure to motor vehicle exhaust in years and lung function (Bener et al., 1998).

### 3.3. Quality of the included studies

Based on objective quality scales, 10 out of 21 studies (47.6%) were authors scored as "good quality", 10 (47.6%) as a "fair quality" and only 1 (4.8%) as "poor quality". Almost all quasi-experimental studies were scored as "good quality". The majority of the cross-sectional studies did not repeat the exposure nor the health measures (online supplementary Appendix C).

### 3.4. Results of the included studies

#### 3.4.1. Pollutants levels inside taxi drivers' vehicles

Table 1 shows particulate and gas pollutants concentrations inside taxi vehicles according to the context and to the sampling design of each study.

During a full working day, pollutants levels varied widely from a country to another. For example, CO levels in Iran (Golhosseini et al., 2011) were 5 times greater on average than in France (Zagury et al., 2000), toluene levels in Korea (Jo and Yu, 2001) were 3 times higher than in Peru (Han et al., 2005) and PM<sub>2.5</sub> levels in China (Miller-Schulze et al., 2010) were almost 4 times higher than in US (Yu et al., 2018).

Moreover, pollutants levels differed substantially within the same study, as shown by standard deviations and ranges, especially depending on the time-of-day when the pollutants were measured. Two studies showed that pollutants concentrations inside taxi vehicles were higher in rush hours compared to non-rush hours (PM<sub>2.5</sub>: 34.04 ± 7.56 µg/m<sup>3</sup> vs 26.18 ± 13.89 µg/m<sup>3</sup>; CO: 6.24 ± 1.25 ppm vs 4.08 ± 0.67 ppm; ethylbenzene: 21.5 µg/m<sup>3</sup> vs 19.1 µg/m<sup>3</sup>; o-Xylene: 27.8 µg/m<sup>3</sup> vs 24.3 µg/m<sup>3</sup>) (Chan et al., 2003; Huang et al., 2012).

Also, during a trip (up to an hour), an important variation of pollutants levels was observed. Particles (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and gas pollutants (CO) concentrations, respectively, were 3 and 10 times higher in Africa (Ekpenyong et al., 2012) than in China (Chan et al., 2002; Huang et al., 2012).

#### 3.4.2. Comparison of pollutants exposure in taxi vehicles with ambient levels and with other modes of transport

More than three-quarters of the studies (5 out of 7) showed that pollutants levels inside taxi vehicles were higher than their background concentrations. PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, EC, OC, and NO<sub>2</sub> levels were approximately 1.2- to 2.3-fold higher (Lewné et al., 2006; Miller-Schulze et al., 2010; Wu et al., 2013; Zagury et al., 2000) and black smoke (BS), 1NP, CO and NO were up to 11-fold greater in taxicabs than their levels recorded at central monitoring stations (Golhosseini et al., 2011; Miller-Schulze

et al., 2010; Zagury et al., 2000). When comparing with their roadside levels only 1 out of 2 studies reported that BS, CO, NO and NO<sub>2</sub> concentrations were roughly 5 times higher (Zagury et al., 2000). However, pollutants levels were slightly lower inside taxis (<2-fold) than when they were measured immediately outside taxis.

Results showed that exposure in transport microenvironment depended on the choice of transport mode. Regarding gas pollutants (CO, NO<sub>2</sub> and VOCs), their levels inside taxi vehicles were up to 5.6-fold greater than those in train in all the 3 studies (Chan et al., 2003; Lau and Chan, 2003; Namdeo et al., 2014) except for toluene and ethylene (Lau and Chan, 2003), were up to 3-fold greater than those in buses in 6 out of 9 studies (Chan et al., 2003; Han et al., 2005; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Namdeo et al., 2014), and were up to 2.7-fold greater when commuting by active transport mode (walking and/or bicycle) in all the 2 studies (Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009). Regarding PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> results were contradictory.

#### 3.4.3. Determinants of in-taxicab pollutants exposure

Results indicated that pollutants inside taxi vehicles came from outdoor air pollution (Huang et al., 2012; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Leung and Harrison, 1999; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018) as well as smoking inside cabs (Jo and Yu, 2001; Leung and Harrison, 1999). Furthermore, meteorological parameters (temperature, wind speed) (Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Jo and Yu, 2001; Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Wu et al., 2013; Zagury et al., 2000) and ventilation settings (Chan et al., 2002; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013; Yu et al., 2018) appeared to influence pollutants levels inside taxi vehicles.

**3.4.3.1. Influence of pollutant sources.** Three articles considered background pollution, especially exhaust from surrounding traffic, as the main source of taxi driver's exposure (Golhosseini et al., 2011; Huang et al., 2012; Lewné et al., 2006). Significant association of UFP and PM<sub>2.5</sub> levels were found between inside and outside taxis (Yu et al., 2018). Wu et al., 2013 showed that background pollutant concentrations explained 45% (p = 0.03) and 56% (p = 0.01) of PM<sub>2.5</sub> levels variation in taxi vehicles with and without climatization, respectively (Wu et al., 2013). Also, it is worthwhile to note that ambient pollutants levels depended on traffic count. Positive relationship between traffic count and personal exposure inside the vehicle was found. Indeed, levels of PM<sub>2.5</sub>, CO and VOCs were greater during rush hours compared to non-rush hours (Chan et al., 2003; Huang et al., 2012). Heavy traffic explained 13%, 21%, 10%, 15% of in-taxicab variation of UFP (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009), CO (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009), benzene and toluene (Leung and Harrison, 1999) levels, respectively.

Regarding the fuel type used by taxi drivers, Lewné et al., 2006 showed that in taxicabs NO<sub>2</sub> levels did not depend on the nature of the fuel used whether it was petrol or diesel (Lewné et al., 2006). However, Son et al., 2004 showed that NO<sub>2</sub> concentrations were higher in diesel-fueled taxi than in those powered by liquefied petroleum gas (Son et al., 2004). Concerning smoking, Jo and Yu (2001) considered it as a main source for in vehicle taxi driver's exposure to VOCs (Jo and Yu, 2001). Moreover, Leung and Harrison (1999) found that smoking was responsible for 57% and 15% of benzene and toluene elevation, respectively (Leung and Harrison, 1999).

**3.4.3.2. Influence of ventilation settings.** Ventilation seemed to be an important determinant of in taxicab exposure. Five studies reported that turning on the air conditioner (A/C) with a filtration system and keeping windows closed prevent the ingress of outdoor pollutants (Chan et al., 2002; Ekpenyong et al., 2012; Huang et al., 2012; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013). Indeed, Wu et al., 2013 showed that A/C mode reduce PM<sub>2.5</sub> exposure by 51.5% in spring and 52.2% in summer (Wu et al., 2013). In addition, Yu et al., 2018 reported that HECA reduce UFP by



**Table 1**  
Studies measuring air pollutants levels inside taxi cabs.

| Authors, year, country (location)                  | Study design                          | Context characteristics  | Taxi cabs characteristics  | Taxi's sampling characteristics  | Particle pollutants<br>Mean ± SD/<br>[range]   | Gas pollutants<br>Mean ± SD/<br>[range]   | BG/R/OT/IH/OH<br>pollutants<br>concentrations<br>Mean ± SD/<br>[range]  |
|--|---------------------------------------|--|--|--|--|---|---|
| Yu et al., 2018<br>US (Los Angeles)                | Quasi –<br>experimental               | ♦ <b>Urban city</b><br>♦ <b>Vehicles fleet NS</b><br>♦ <b>Regulations</b><br>→ CO <sub>2</sub> : 5000 ppm<br>(Cal-OSHA 8 h)                                  | ♦ <b>Type/age of vehicles</b><br>→ >5 years' old<br>→ model years 1987–2012<br>♦ <b>Fuel NS</b><br>♦ <b>Ventilation A/C and no A/C</b><br>♦ <b>Windows closed/opened</b> | N = 22 taxi drivers (4 days for each taxi driver)<br>♦ <b>Period/time of measurement</b> 6 h<br>♦ <b>Dosimeter</b> on the chest<br>♦ <b>Trip</b> 11,000 km (all)<br>♦ <b>Seasons</b> spring- summer- autumn<br>♦ <b>Smoking</b> none   | • <b>UFP</b> : 14600 particles/cm <sup>3</sup><br>• <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 26 µg/m <sup>3</sup>   | • <b>CO<sub>2</sub></b> : 1220 ppm  | <b>OT<sup>1</sup></b> :<br>• <b>UFP</b> : 25700 particles/cm <sup>3</sup><br>• <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 35 µg/m <sup>3</sup><br><br><b>R</b> :<br>Pennsylvania<br>Station:<br>• <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 58 ± 10 µg/m <sup>3</sup><br>• <b>BC</b> : 2.8 ± 0.9 µg/m <sup>3</sup><br>Port Authority<br>terminal:<br>• <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 76 ± 43 µg/m <sup>3</sup><br>• <b>BC</b> : 5.3 ± 2.6 µg/m <sup>3</sup><br>Grand Central<br>Terminal:<br>• <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 44 ± 32 µg/m <sup>3</sup> |
| Gany et al., 2017<br>US (New York)                 | Observational<br>Cross –<br>sectional | ♦ <b>Urban city</b><br>♦ <b>Vehicles fleet NS</b><br>♦ <b>Regulations</b><br>→ PM <sub>2.5</sub> : 35 µg/m <sup>3</sup><br>(US EPA NAAQS 24 h)               | ♦ <b>Type/age of vehicles</b> 1–9 years' old<br>♦ <b>Fuel NS</b><br>♦ <b>Ventilation</b> no A/C<br>♦ <b>Windows NS<sup>d</sup></b>                                       | N = 7 taxi drivers<br>♦ <b>Period/time of measurement</b> 6–12 h<br>♦ <b>Dosimeter</b> on the seat<br>♦ <b>Trip</b> 35–104 km<br>♦ <b>Seasons</b> autumn and spring<br>♦ <b>Smoking</b> 1/7 smoked   | • <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 18.4 [4–49] µg/m <sup>3</sup> (peak level: 452)<br>• <b>BC</b> : 2.4 [1.8–3.4] µg/m <sup>3</sup> (peak level: 10)  |   |   |
| Namdeo et al., 2014<br>India (Mumbai)              | Quasi –<br>experimental               | ♦ <b>Urban city (dense)</b><br>♦ <b>Vehicles fleet</b> old fleet belonging to pre-Euro I<br>♦ <b>Regulations NS</b>  | ♦ <b>Type/age of vehicles</b> 1 years' old<br>♦ <b>Fuel</b> CNG<br>♦ <b>Ventilation</b> A/C<br>♦ <b>Windows</b> closed   | N = 8/16 trips per mode (car)<br>♦ <b>Period/time of measurement</b><br>54 min per trip (rush hours)<br><i>M</i> : 7 h00–11 h00 and <i>A</i> : 16 h30–19 h00<br>♦ <b>Dosimeter</b> on the seat<br>♦ <b>Trip</b> 16 km<br>♦ <b>Seasons</b> spring<br>♦ <b>Smoking</b> NS<br>N = 53/550 trips (bus, metro, pedestrian, bicycle, motorcycle, fixed station)<br>♦ <b>Period/time of measurement</b><br>30–60 min per trip<br><i>M</i> : 7 h00–12 h00 and <i>A</i> : 14 h00–19 h00<br>♦ <b>Dosimeter</b> on the chest<br>♦ <b>Trip</b> 5 km<br>♦ <b>Seasons</b> spring and summer <sup>e</sup><br>♦ <b>Smoking</b> none | • <b>PM<sub>10</sub></b> : 68.78 ± 15.8 µg/m <sup>3</sup>  | • <b>CO</b> : 5.33 ± 0.68 ppm   |   |
| Wu et al., 2013<br>China (Foshan)                  | Quasi –<br>experimental               | ♦ <b>Industrial city (dense)</b><br>♦ <b>Vehicles fleet NS</b><br>♦ <b>Regulations NS</b>  | ♦ <b>Type/age of vehicles NS</b><br>♦ <b>Fuel</b> CNG<br>♦ <b>Ventilation</b> A/C and no A/C<br>♦ <b>Windows</b> closed/opened   | ♦ <b>Period/time of measurement</b><br>1 h (rush and non-rush hours)<br><i>M</i> : 7 h30–9 h30 and <i>A</i> : 15 h30–17 h30<br>♦ <b>Dosimeter</b> on the chest<br>♦ <b>Trip</b> 7–10 km<br>♦ <b>Seasons</b> spring and summer<br>♦ <b>Smoking</b> none   | • <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 56.8 ± 37.9 µg/m <sup>3</sup><br>Spring: 69.1 ± 38.0 µg/m <sup>3</sup><br>Summer: 28.2 ± 15.6 µg/m <sup>3</sup>  |   | <b>BG</b> :<br>• <b>PM<sub>2.5</sub></b> : 45.1 ± 25.9 µg/m <sup>3</sup>  |
| Ekpenyong et al., 2012<br>Uyo-metropolis (Nigeria) | Observational<br>Cross –<br>sectional | ♦ <b>Urban city (dense)</b><br>♦ <b>Vehicles fleet</b> mostly old and poorly maintained<br>♦ <b>Regulations</b> ineffective or no transport regulations laws | ♦ <b>Type/age of vehicles</b> 5–7 years' old<br>♦ <b>Fuel</b> petrol and diesel<br>♦ <b>Ventilation</b> NS<br>♦ <b>Windows</b> closed/opened                             | N = 50/168 (taxi motorcyclist, civil servant)<br>♦ <b>Period/time of measurement</b><br>1 h (rush and non-rush hours)<br><i>M</i> : 7 h30–9 h30 and <i>A</i> : 15 h30–17 h30<br>♦ <b>Dosimeter</b> on the chest<br>♦ <b>Trip</b> 7–10 km<br>♦ <b>Seasons</b> spring and summer<br>♦ <b>Smoking</b> NS  | • <b>PM<sub>2.5</sub></b> :<br>Windows opened: 92.23 µg/m <sup>3</sup><br>Windows closed: 75.02 µg/m <sup>3</sup><br>• <b>PM<sub>10</sub></b> :<br>Windows opened: 138.45 µg/m <sup>3</sup><br>Windows | • <b>CO</b> :<br>Windows opened: 53.24 ppm<br>Windows closed: 48.03 ppm<br>• <b>NO<sub>2</sub></b> :<br>Windows opened: 857.28 µg/m <sup>3</sup><br>Windows closed: 656.12 µg/m <sup>3</sup><br>• <b>SO<sub>2</sub></b> :<br>Windows opened: 0.103 µg/m <sup>3</sup><br>Windows closed: 0.195 µg/m <sup>3</sup> |   |

(continued on next page)

Table 1 (continued)

| Authors, year, country (location)               | Study design                          | Context characteristics   | Taxi cabs characteristics   | Taxi's sampling characteristics   | Particle pollutants<br>Mean ± SD/<br>[range]   | Gas pollutants<br>Mean ± SD/ [range]  | BG/R/OT/IH/OH<br>pollutants<br>concentrations<br>Mean ± SD/<br>[range]  |
|---|---------------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| Huang et al., 2012<br>China (Beijing)           | Quasi –<br>experimental               | ♦ Urban city<br>→ High traffic density<br>♦ Vehicles fleet NS<br>♦ Regulations NS         | ♦ Type/age of vehicles 4 years' old (Euro III engines)<br>♦ Fuel gasoline<br>♦ Ventilation A/C<br>♦ Windows closed    | N = 43/131 trips (bus, bicycle)<br>♦ Period/time of measurement<br>26.56 ± 6.82 min per trip (rush and non-rush hours)<br>M: 7 h00–9 h00 and N: 12 h00–14 h00 and A: 14 h00–19 h00<br>♦ Dosimeter on the seat<br>♦ Trip 7.3 km<br>♦ Seasons winter<br>♦ Smoking none<br>N = 36 taxi drivers | closed: 95.32 µg/m <sup>3</sup><br><br>• PM <sub>2.5</sub> : 31.64 ± 20.77 µg/m <sup>3</sup><br>Rush hours: 34.04 ± 7.56 µg/m <sup>3</sup><br>Non-rush hours: 26.18 ± 13.89 µg/m <sup>3</sup>  | • CO: 5.21 ± 1.52 ppm<br>Rush hours: 6.24 ± 1.25 ppm<br>Non-rush hours: 4.08 ± 0.67 ppm | BG:<br>• PM <sub>2.5</sub> : 35.15 [6.69–101.07] µg/m <sup>3</sup><br>• CO: 1.35 [0.36–2.77] ppm  |
| Golhosseini et al., 2011<br>Iran (Tehran)       | Observational<br>Cross –<br>sectional | ♦ Urban city (dense)<br>→ High traffic density<br>♦ Vehicles fleet NS<br>♦ Regulations NS | ♦ Type/age of vehicles NS<br>♦ Fuel: Petrol<br>♦ Ventilation: no A/C<br>♦ Windows NS                                  | ♦ Period/time of measurement<br>8 h<br>♦ Dosimeter: personal<br>♦ Trip NS<br>♦ Seasons: spring/summer/autumn<br>♦ Smoking NS  |  | • CO: 19.84 [13.29–33.46] ppm   | BG:<br>• CO: 3.21 [2.07–4.15] ppm   |
| Miller-Schulze et al., 2010<br>China (Shenyang) | Observational<br>Cross –<br>sectional | ♦ Urban city (dense)<br>→ High traffic density<br>♦ Vehicles fleet NS<br>♦ Regulations NS | ♦ Type/age of vehicles hybrid vehicles<br>♦ Fuel: diesel/gasoline-natural gas<br>♦ Ventilation NS<br>♦ Windows opened | N = 24 taxi drivers<br>♦ Period/time of measurement<br>9–11 h<br>♦ Dosimeter on the seat/personal<br>♦ Trip NS<br>♦ Seasons: summer<br>♦ Smoking NS   | • PM <sub>2.5</sub> : 101 ± 44.5 µg/m <sup>3</sup><br>• PM <sub>10-2.5</sub> : 118 ± 56.1 µg/m <sup>3</sup><br>• EC: 25.7 ± 5.6 µg/m <sup>3</sup><br>• OC: 53.4 ± 7.1 µg/m <sup>3</sup><br>• INP: 80.8 ± 26.0 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NP: 192 ± 199 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NFI: 552 ± 447 pg/m <sup>3</sup> |   | BG:<br>• PM <sub>2.5</sub> : 81.5 ± 54.4 µg/m <sup>3</sup><br>• PM <sub>10-2.5</sub> : 50.6 ± 45.4 µg/m <sup>3</sup><br>• EC: 11.0 ± 5.5 µg/m <sup>3</sup><br>• OC: 28.5 ± 12.1 µg/m <sup>3</sup><br>• INP: 11.2 ± 6.0 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NP: 369 ± 546 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NFI: 767 ± 723 pg/m <sup>3</sup><br>OT <sup>b</sup> :<br>• PM <sub>2.5</sub> : 119 ± 62.4 µg/m <sup>3</sup><br>• PM <sub>10-2.5</sub> : 112 ± 50.4 µg/m <sup>3</sup><br>• INP: 97.1 ± 31.1 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NP: 232 ± 231 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NFI: 753 ± 614 pg/m <sup>3</sup><br>IH <sup>c</sup> :<br>• PM <sub>2.5</sub> : 75.2 ± 33 µg/m <sup>3</sup><br>• PM <sub>10-2.5</sub> : 51.0 ± 36.7 µg/m <sup>3</sup><br>• INP: 22.4 ± 11.4 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NP: 210 ± 280 pg/m <sup>3</sup><br>• 2NFI: 553 ± 485 pg/m <sup>3</sup> |

M. Hachem et al. / Science of the Total Environment 693 (2019) 133439

|  |                                 |  |  |   |   |
|--|---------------------------------|--|--|---|---|
| Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009<br>UK (London) | Quasi – experimental            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban city</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations NS</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles NS</li> <li>Fuel diesel</li> <li>Ventilation NS</li> <li>Windows NS</li> </ul>   | <p>N = 39/337 (bus, bicycle, car, pedestrian)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement one-time (heavy and light trafficked routes)</li> <li>M: 8 h30 and N: 12 h00 and A: 15 h15 and/or Evening: 17 h15</li> <li>Dosimeter on the seat</li> <li>Trip NS</li> <li>Seasons spring</li> <li>Smoking NS</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>PM<sub>2.5</sub>: 43.4 ± 15.3 µg/m<sup>3</sup></li> <li>UFP: 91947 ± 22,849 particles/cm<sup>3</sup></li> <li>CO: 1.05 ± 0.44 ppm</li> </ul>   |
| Bahrami et al., 2007<br>Iran (Hamadan)       | Observational Cross – sectional | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban city (dense)</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations leaded gasoline had been replaced by unleaded gasoline by January 2000</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles 40% are at least two decades' old → Old motor technology → Lack of catalytic converters</li> <li>Fuel gasoline</li> <li>Ventilation NS</li> <li>Windows NS</li> </ul>          | <p>N = 60/85 (petrol station workers)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement 8 h</li> <li>Dosimeter on the chest</li> <li>Trip NS</li> <li>Seasons NS</li> <li>Smoking 20/60 smoked</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>VOCs (µg/m<sup>3</sup>): B: 990 [220–3030]</li> </ul>  |
| Lewné et al., 2006<br>Sweden (Stockholm)     | Observational Cross – sectional | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban city</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations NS</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles NS</li> <li>Fuel diesel and petrol<sup>e</sup></li> <li>Ventilation NS</li> <li>Windows NS</li> </ul>  | <p>N = 39/121 (bus, lorry)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement 6–13 h<sup>f</sup></li> <li>Dosimeter on the chest</li> <li>Trip NS</li> <li>Seasons autumn</li> <li>Smoking 3/39 smoked</li> </ul> <p>N = 10/58 (bus, combi, street vendors, traffic policemen, gas station attendants, office workers)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>PM<sub>10</sub>: 26 ± 17 µg/m<sup>3</sup></li> <li>NO<sub>2</sub>: 48 ± 12 µg/m<sup>3</sup></li> </ul>   |
| Han et al., 2005<br>Peru (Trujillo)          | Observational Cross – sectional | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban city</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations No emission control systems</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles &gt;30 years' old</li> <li>Fuel gasoline</li> <li>Ventilation NS</li> <li>Windows NS</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement 6–14 h</li> <li>Dosimeter on the chest</li> <li>Trip NS</li> <li>Seasons winter</li> <li>Smoking NS</li> </ul> <p>N = 31 taxi drivers</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>CO: Sampler stain tube (n = 5): 3.10 ppm; sampler Pac III sensor (n = 10): 0.87 ppm</li> <li>VOCs (µg/m<sup>3</sup>): B: 8.4 ± 3.5; T: 37.3 ± 16.6; E: 4.6 ± 1.6; X: 27.6 ± 10.2</li> </ul>  |
| Son et al., 2004<br>Korea (Asan and Chunan)  | Observational Cross – sectional | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban cities</li> <li>High traffic density</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations NS</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles NS</li> <li>Fuel LPG/Diesel</li> <li>Ventilation NS</li> <li>Windows NS</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement 18–23 h</li> <li>Dosimeter on the chest</li> <li>Trip NS</li> <li>Seasons summer</li> <li>Smoking 24/31 smoked</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>NO<sub>2</sub>: 51.5 ± 20.68 µg/m<sup>3</sup></li> </ul>   |
| Chan et al., 2003<br>China (Guangzhou)       | Quasi – experimental            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban city (dense)</li> <li>High traffic density</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations Chinese National Air Quality Standard</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles inferior engines and inadequate</li> <li>Fuel gasoline</li> <li>Ventilation A/C</li> <li>Windows closed</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement 30–31 min per journey (rush and non-rush hours)</li> <li>Evening: 17 h30–19 h30 and A: 14 h00–1–h30</li> <li>Dosimeter on the seat</li> <li>Trip 13.7–14.3 km</li> <li>Seasons summer</li> <li>Smoking none</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>VOCs (µg/m<sup>3</sup>): B: 33.6 ± 10.6; T: 108.5 ± 30.6; E: 20.3 ± 6.9; m/p-X: 26.0 ± 8.4; o-X: 17.2 ± 5.9</li> <li>Rush hours: B: 34; T: 103.8; E: 21.5; m/p-X: 18.2; o-X: 27.8</li> <li>Non-rush hours: B: 33.2; T: 113.4; E: 19.1; m/p-X: 16.0; o-X: 24.3</li> </ul> |
| Lau and Chan, 2003<br>China (Hong Kong)      | Quasi – experimental            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban city (dense)</li> <li>High traffic density</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations HKIAQO (Benzene: 16 µg/m<sup>3</sup>; ethylbenzene: 1.09 mg/m<sup>3</sup>; toluene and xylene: 1.45 mg/m<sup>3</sup>)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles → Old motor technology → equipped with updated catalytic converter and maintained in good condition</li> <li>Fuel: LGP</li> <li>Ventilation A/C</li> <li>Windows NS</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement 33 min per journey (rush hours)</li> <li>M: 7 h30–10 h00 and A: 16 h30–19 h00</li> <li>Dosimeter on the seat</li> <li>Trip 9.6 km</li> <li>Seasons winter</li> <li>Smoking none</li> </ul> <p>N = 12/122 (railway, roadway, marine transports)</p>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>VOCs (µg/m<sup>3</sup>): B: 5.9 [2.6–8.5]; T: 43.5 [19.2–92.5]; E: 4.4 [1.9–6.9]; m/p-X: 4.6 [2.1–7.2]; o-X: 3.2 [1.8–4.9]</li> </ul>  |
| Chan et al., 2002<br>China (Hong Kong)       | Quasi – experimental            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Urban city (dense)</li> <li>Vehicles fleet NS</li> <li>Regulations → PM<sub>10</sub>: 180 µg/m<sup>3</sup> (HKAQO, 1999)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Type/age of vehicles NS</li> <li>Fuel NS</li> <li>Ventilation A/C</li> <li>Windows NS</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Period/time of measurement 28 min per trip (rush hours) M 10 h30–12 h30</li> <li>Dosimeter on the seat</li> <li>Trip NS</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>PM<sub>10</sub>: 58 [20–110] µg/m<sup>3</sup></li> </ul>   |

(continued on next page)

Table 1 (continued)

| Authors, year, country (location)       | Study design                          | Context characteristics  | Taxi cabs characteristics   | Taxi's sampling characteristics  | Particle pollutants<br>Mean ± SD/<br>[range] | Gas pollutants<br>Mean ± SD/ [range]  | BG/R/OT/IH/OH<br>pollutants<br>concentrations<br>Mean ± SD/<br>[range]   |
|---|---------------------------------------|--|---|--|--|---|--|
| Jo and Yu, 2001<br>Korea (Taegu)        | Observational<br>Cross –<br>sectional | ♦ Urban city (dense)   | ♦ Type/age of vehicles NS<br>♦ Fuel: LPG/diesel<br>♦ Ventilation A/C (in summer)<br>♦ Windows: closed | ♦ Seasons winter<br>♦ Smoking none<br>N = 10/20 (bus)<br>♦ Period/time of measurement 5–6 h<br>♦ Dosimeter on the chest<br>♦ Trip: 9.6 km<br>♦ Seasons: winter and summer<br>♦ Smoking: 10/20 smoked |  | • VOCs (µg/m <sup>3</sup> ):<br>B: 33.3 ± 14.2; T: 120 ± 59.6; E: 10.7 ± 4.4; m/p-X: 21.6 ± 9.9; o-X: 9.0 ± 4.7                         | BG:<br>• BS: 44 ± 29 µg/m <sup>3</sup><br>• CO: 1.0 ± 0.46 ppm<br>• NO: 55 ± 30 µg/m <sup>3</sup><br>• NO <sub>2</sub> : 72 ± 22 µg/m <sup>3</sup><br>R:<br>• BS: 89 ± 24 µg/m <sup>3</sup><br>• CO: 1.9 ± 0.56 ppm<br>• NO: 139 ± 30 µg/m <sup>3</sup><br>• NO <sub>2</sub> : 84 ± 22 µg/m <sup>3</sup> |
| Zagury et al., 2000<br>France (Paris)   | Observational<br>Cross –<br>sectional | ♦ Urban city (dense)<br>♦ Vehicles fleet NS<br>♦ Regulations:<br>→ BS: 125 µg/m <sup>3</sup><br>(WHO 24 h) | ♦ Type/age of vehicles NS<br>♦ Fuel diesel (96%)<br>♦ Ventilation no A/C<br>♦ Windows NS              | N = 28 taxi drivers<br>♦ Period/time of measurement 8 h<br>♦ Dosimeter on the seat<br>♦ Trip 131 ± 46 km<br>♦ Seasons winter<br>♦ Smoking none   | • BS: 168 ± 53 µg/m <sup>3</sup>             | • CO: 3.8 ± 1.70 ppm<br>(peak between 15 and 25)<br>• NO: 625 ± 223 µg/m <sup>3</sup><br>• NO <sub>2</sub> : 139 ± 43 µg/m <sup>3</sup> |  |
| Leung and Harrison, 1999<br>UK (London) | Quasi –<br>experimental               | ♦ Urban city (dense)<br>→ High traffic density<br>♦ Vehicles fleet NS<br>♦ Regulations NS                  | ♦ Type/age of vehicles regularly maintained<br>♦ Fuel diesel<br>♦ Ventilation NS<br>♦ Windows NS      | N = 65 taxi drivers<br>♦ Period/time of measurement 1 h<br>♦ Dosimeter on the chest<br>♦ Trip: NS<br>♦ Seasons autumn<br>♦ Smoking 19/65 smoked  |  | • VOCs (µg/m <sup>3</sup> ):<br>B: 17.2; T: 40.2; m/p-X: 118.2; o-X: 20.4   |  |

**Abbreviations:** A: afternoon; A/C: air conditioner; B: benzene; BG: Background; BC: Black Carbon; BS: Black Smoke; Cal-OSHA: The California Occupational Safety and Health Administration; CNG: Compressed Natural Gas; CO: carbon monoxide; CO<sub>2</sub>: carbon dioxide; E: Ethylene; EC: elemental carbon; EPA: Environmental Protection Agency; HKAQO: Honk Kong Air Quality Objectives; IH: inside taxi drivers homes; LPG: Liquefied Petrol Gas; M: morning; m/p-X: m/p Xylene; N: noon; 1NP: 1-nitropyrene; 2NP: 2-nitropyrene; 2NFI: 2-nitrofluoranthene; NAAQS: National Ambient Air Quality Standards; NO: Nitrogen monoxide; NO<sub>2</sub>: Nitrogen dioxide; NS: not specified; OC: organic carbon; OH: outside taxi drivers homes; OT: outside taxi vehicles; o-X: o-xylene; PM: particulate matter; R: Roadside; SO<sub>2</sub>: Sulfur dioxide; SD: Standard Deviation; T: toluene; UFP: Ultrafine particles; US: United States; UK: United Kingdom; VOCs: volatile organic compounds; WHO: world health organization.

Notes

<sup>a</sup> Recorded by extending tube outside through the back seat window.

<sup>b</sup> Samplers placed on the roof of the taxicab.

<sup>c</sup> Samplers placed in the bedrooms or in the kitchen.

<sup>d</sup> Majority windows closed.

<sup>e</sup> The diesel fuel has a low Sulfur content (max 10 mg/kg) and polyaromatic hydrocarbons.

<sup>f</sup> Including breaks – not only the time spent inside vehicles.

<sup>g</sup> Northerly continental monsoon and southerly maritime monsoon dominate in spring and summer respectively which leads to significant differences in the meteorological parameters

53% and PM<sub>2.5</sub> by 48% when windows were closed with outside air ventilation mode (Yu et al., 2018).

**3.4.3.3. Influence of meteorological parameters.** Regardless of the measured pollutants, results showed significant influence of temperature and wind speed on personal exposure inside taxi vehicles.

Temperature explained 11% (Wu et al., 2013), 12% (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009) and 11% (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009) of PM<sub>2.5</sub>, UFP and CO variation inside taxicabs, respectively. It was significantly negatively correlated with pollutants levels with a coefficient ranging from  $-0.33$  to  $-0.59$  (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009; Wu et al., 2013). In addition, two studies found that in vehicle pollutants were influenced by seasonal variation. Significant reductions of PM<sub>2.5</sub> (Wu et al., 2013) and VOCs (Jo and Yu, 2001) in taxicabs were observed in hot season compared to cold seasons. It was explained by the fact that high temperature and wind speed in summer were favorable for PM<sub>2.5</sub> dispersions (summer:  $28.2 \pm 15.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; spring:  $69.1 \pm 38.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Wu et al., 2013). However, low temperature made combustion less efficient, resulting in more VOCs emission in winter (Jo and Yu, 2001).

On the other hand, wind speed was responsible for 6% and 5% of UFP and CO levels variation in London, respectively (Kaur and Nieuwenhuijsen, 2009) and for 39% of CO and BS variation in Paris (Zagury et al., 2000). Lower concentrations of pollutants inside taxicabs were observed with high wind speed.

**3.4.3.4. Other determinants.** Among the studies assessed, only Zagury et al., 2000 assessed influence of service interruptions on personal exposure inside taxi vehicles (Zagury et al., 2000). Thus, researchers found that drivers who had stopped working >2 h were exposed to lower CO concentrations than those who did not (3.3 and 4.3 ppm, respectively). This was explained by the fact that most taxi drivers stopped away from the traffic flow. Yu et al., 2018 showed that during their short breaks, UFP levels varied less and reflected their outside levels when windows were opened.

#### 3.4.4. Respiratory effects of in-taxicab exposure

Despite the limited number of epidemiological studies included, their results deserve to be presented. Regarding lung function, the three studies showed that exposure to traffic air pollution could compromise the respiratory function (Arphorn et al., 2017; Bener et al., 1998; Ekpenyong et al., 2012). When comparing to non-transit workers, Bener et al., 1998 reported that almost all lung function parameters of taxi drivers were lower than those of manual workers (Bener et al., 1998). Also, Ekpenyong et al., 2012 showed that the prevalence of impaired lung function was higher for taxi drivers compared to civil servants (10.7% vs 3.6%) (Ekpenyong et al., 2012). In contrast, when comparing to motorcycle taxi drivers, taxi drivers tended to have a better respiratory function (Arphorn et al., 2017; Ekpenyong et al., 2012). Furthermore, Ekpenyong et al., 2012 identified current smoking and some sociodemographic (low educational status) and work characteristics (job duration >1 year; >3 trips per day and >1-hour transit time per trip) as risks factors of impaired respiratory functions in taxi drivers associated with their occupational air pollution exposure (Ekpenyong et al., 2012).

Regarding respiratory symptoms, Ekpenyong et al., 2012 showed that taxi drivers had only a higher odds ratio of frequent cough compared to commercial motorcyclists (adjusted ORa = 2.56 [1.624–5.478] vs ORa = 1.50 [1.682–4.920]) (Ekpenyong et al., 2012). Bener et al., 1998 reported in taxi drivers a higher prevalence of allergic rhinitis (37.6 vs 20.0%), of dyspnea (26.7 vs 14.5%) and nasal catarrh (24.2 vs 12.7%) than manual workers (Bener et al., 1998).

## 4. Discussion

To our knowledge, this is the first systematic review focusing on in-taxicab exposure to TRAP. Results showed that taxi drivers are exposed

inside their vehicle to numerous particulate and gas air pollutants mainly issued from exhaust infiltration emitted from surrounding vehicles and from smoking in cabs. In general, their concentrations inside taxicabs were greater than those reported by background stations and even higher than those in bus, in train and when using active transport mode (bicycle/walking). They varied considerably between the studies according to the territorial and the topographical features, in addition to the transport regulations of the city in which the study was conducted. Results indicate that taxi drivers' exposure inside their vehicles was also affected by meteorological parameters and ventilation settings. Moreover, this review highlights that the acute adverse respiratory effects of this in taxicab exposure to air pollutants is poorly documented. Indeed, there were not enough epidemiological studies to allow an appropriate evaluation of the association between in taxicabs exposure and adverse respiratory effects.

#### 4.1. Heterogeneity of pollutants levels inside taxi vehicles

An important variation in pollutants levels was observed inside taxi vehicles between the included studies. These results can be due to the particularity of each place in which the study was performed (Karanasiou et al., 2014; Knibbs et al., 2011; Nazelle et al., 2016; Xu et al., 2018). Pollutants exposure inside taxicabs differ greatly depending on the ambient pollution level related to each location. The highest levels of pollutants inside taxi cabs (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>2</sub> and VOCs) were observed in big cities from Africa (Ekpenyong et al., 2012), Asia (Miller-Schulze et al., 2010; Namdeo et al., 2014; Wu et al., 2013) and Middle East (Bahrami et al., 2007) in relation to their urban and industrial environment, to the lack or the ineffectiveness of the transport regulation laws and to the poorly maintained old vehicles in these cities. For example, CO levels inside taxi vehicles in Iran (Golhosseini et al., 2011) were almost nineteen times higher than those measured in Paris (Zagury et al., 2000) (19.84 vs 3.8 ppm). This dissimilarity could be explained by several factors: geographical and climate conditions of Tehran and the use of petrol fueled taxi vehicles (Akbari et al., 2018; Golhosseini et al., 2011; Mohammadi et al., 2012), whereas in Paris almost all taxicabs were diesel powered (Zagury et al., 2000). The same tendencies are observed for VOCs levels inside taxi cabs in Iran. It is possible that the lack of catalytic converters, the old motor technology and the use of unleaded gasoline with low prices, may be the reason of the elevated levels of VOCs observed in Iran (Hamadan) compared to those in China (Honk Kong) where liquefied petroleum gas fueled vehicles are equipped with updated catalytic converters and maintained in good condition ( $990 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vs  $5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Bahrami et al., 2007; Lau and Chan, 2003).

Also, pollutants levels inside vehicles varied within studies according to the monitoring time. Pollutants concentrations inside vehicles were found higher during weekdays compared to weekends (Dons et al., 2012; Golhosseini et al., 2011) and during rush hours compared to non-rush hours (Dons et al., 2012; Huang et al., 2012).

#### 4.2. Determinants of in taxicabs exposure

In agreement with previous reviews (Cepeda et al., 2017; Nazelle et al., 2016; Xu et al., 2018), the greatest exposure levels were observed inside vehicles compared to ambient or to other transport microenvironments exposure. This finding can be explained mainly by the surrounding air pollution and also the contribution of the indoor sources. Three main automotive sources of emissions were identified: the exhaust, the fuel (evaporative) and crankcase ventilation gases. Infiltration of pollutants from nearby cars, from resuspended road dust and from the mechanical abrasion of the vehicle's tyres, brakes and clutch contribute to the air pollution inside vehicles. Moreover, emissions from interior materials (leather, plastics, carpets, paints, etc....) and presence of tobacco smoke are also likely to be involved in this microenvironment pollution (Rönkkö et al., 2017; Thorpe and Harrison, 2008;

Xu et al., 2018). Nonetheless, two studies did not found smoking as a determinant of in-taxicab exposure. This is possibly due to a lack of statistical power given their small sample sizes (Han et al., 2005; Son et al., 2004).

In conformity with previous reviews and reports on air quality studies inside motor vehicles, other determinants influence pollutants exposure inside vehicles: ventilation (windows status, A/C system) (Cepeda et al., 2017; Karanasiou et al., 2014; Kumar et al., 2018; Nazelle et al., 2016; Xu et al., 2018) and meteorological conditions (Han and Naeher, 2006; Kumar et al., 2018). Closing windows and turning on A/C mode in vehicles appears to prevent ingress of ambient pollutants inside the cab. However, we have to point out that, besides ventilation mode, when windows are closed exposure inside vehicles depends on the air exchange rate (air recirculating) and the efficiency of the cabin air filter (Knibbs et al., 2011). Chan et al. (2002) showed that only coarse particles can be removed by the A/C system filter (Chan et al., 2002). A recent study found that combining air filters with an active charcoal component system contributed to an important reduction of diesel particulate matter (PM<sub>2.5</sub>, UFP, BC) and gaseous components (Muala et al., 2014). Indeed, improving cabin air filter can play a crucial role in reducing particles exposure (Yu et al., 2018).

#### 4.3. Short-term respiratory impact

It is important to underline that taxi drivers could be an occupational group at risk regarding their respiratory health due to their constant exposure to vehicle emissions. Existing epidemiological and experimental studies provided suggestive evidence regarding the association between exposure to diesel engine exhaust and chronic and some acute respiratory effects in the general population (Bowatte et al., 2017; Health Effects Institute, 2010; Ibalid-Mulli et al., 2002; Sydbom et al., 2001). Despite the relatively few and inconsistent studies included in this review, some respiratory symptoms and lung function changes were reported among taxi drivers. Zhou et al. (2001) showed that taxi and bus drivers occupationally exposed to vehicle emissions, had higher prevalence of acute respiratory symptoms and chronic respiratory diseases than unexposed controls (Zhou et al., 2001). However, there is not enough sufficient evidence to support the association between respiratory health and exposure of taxi drivers to air pollutant inside their vehicles.

#### 4.4. Strengths and limitations

The current review has only examined studies written in English or French and that may lead to exclude valuable studies published in other languages. In addition, indexing problems and publication bias have might impact identification of relevant studies by the research process. Also, the small number of the included studies and the small sample size of some of them make it difficult to generalize the results. Despite these limitations, our systematic review had addressed nearly all the studies that measured pollutants exposure inside taxi vehicles. We provide, for the first time, a range of pollutants levels inside taxi vehicles. Finally, despite the thorough review process, only three studies reporting respiratory health of taxi drivers were included, that could make them unrepresentative when compared with other studies. Well conducted epidemiologic studies should attempt to highlight the acute adverse respiratory effects.

#### 5. Conclusion

In conclusion, despite large discrepancies in the literature, taxi drivers are exposed to some similar occupational conditions throughout countries. These include: spending long working hours inside taxicabs, having an unfixed breaks schedule (trip demand) and more likely taking the rest time in their vehicles and being all day on road close to transport modes emissions, etc (Murray et al., n.d.; Poó et al., 2018).

Therefore, there is a clear need to assess their occupational exposure and its impact on respiratory health. Our systematic review highlights the variety of regulated traffic air pollutants inside taxi vehicles and their high levels and variability. Future researches should strive to assess in taxicabs exposure specifically to the least documented pollutants such as UFP and BC. Alternatively, studies focused on long term respiratory impact in particular lung cancer of professional drivers (Tsoi and Tse, 2012), whereas acute respiratory effects are still very poorly documented. And at this point we are unable to determine the causal effect of in-taxicab exposure on adverse acute respiratory effects. Assessing this relationship will be an important facet of future work. Additional research is required to study respiratory impact of taxi drivers' occupational exposure to traffic related air pollutants.

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.245>.

#### Patient consent

Not required.

#### Contributors

MH wrote the manuscript as part of her PhD research under the supervision of IM, LBC and NS. MH and LBC were involved in the selection process and the data extraction. IM, LBC, ACP and NS revised the article critically by giving comments and feedbacks to the review write-up. All authors contributed to the manuscript development.

#### Funding

This work was supported by the *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (ADEME) (Contract n° 1666C0006), and the Research call *Programme National de Recherche Santé Environnement Travail* (ANSES –French Agency for Food, Environment and Occupational Health & Safety). MH is co-funded by ADEME and by the National Council for Scientific Research - Lebanon (CNRS-L). The co-founders had no involvement in the conduct of this article.

#### Declaration of Competing Interest

None declared.

#### Acknowledgments

Christine Azar, PhD student in a cotutelle program between Lebanese University (Ecole Doctorale en Sciences et Technologie, Hadath, Lebanon) and Paris-Est Créteil University (Ecole Doctorale de Santé Publique, EA 7379, Créteil, F-94010, France), who helped in the literature searching.

#### References

- Akbary, M., Kermani, A., Alijani, B., 2018. Simulation and analysis of polluted days in Tehran. *Int. J. Environ. Res.* 12, 67–75. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0069-z>.
- Arphorn, S., Ishimaru, T., Hara, K., Mahasandana, S., 2017. Ambient particulate matter may affect lung function of motorcycle taxi drivers in Bangkok. *J. Air Waste Manag. Assoc.* <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1359217>.
- Bahrami, A.R., Joneidi Jafari, A., Ahmadi, H., Mahjub, H., 2007. Comparison of benzene exposure in drivers and petrol stations workers by urinary trans, trans-muonic acid in west of Iran. *Ind. Health* 45, 396–401.
- Bener, A., Galadari, I., Al-Mutawa, J.K., Al-Maskari, F., Das, M., Abuzeid, M.S., 1998. Respiratory symptoms and lung function in garage workers and taxi drivers. *J. R. Soc. Promot. Heal.* 118, 346–353.
- Bowatte, G., Erbas, B., Lodge, C.J., Knibbs, L.D., Gurrin, L.C., Marks, G.B., Thomas, P.S., Johns, D.P., Giles, G.G., Hui, J., Dennekamp, M., Perret, J.L., Abramson, M.J., Walters, E.H., Matheson, M.C., Dharmage, S.C., 2017. Traffic-related air pollution exposure over a 5-year period is associated with increased risk of asthma and poor lung function in middle age. *Eur. Respir. J.* 50, 1602357. <https://doi.org/10.1183/13993003.02357-2016>.



- Yu, N., Shu, S., Lin, Y., Zhu, Y., 2018. Assessing and reducing fine and ultrafine particles inside Los Angeles taxis. *Atmos. Environ.* 181, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.023>.
- Zagury, E., Momas, I., Le Moullec, Y., Festy, B., 1998. Enquête auprès des chauffeurs de taxi artisans parisiens: perception de la pollution d'origine automobile. *Pollut. Atmos.* <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.3453>.
- Zagury, E., Le Moullec, Y., Momas, I., 2000. Exposure of Paris taxi drivers to automobile air pollutants within their vehicles. *Occup. Environ. Med.* 57, 406–410.
- Zhou, W., Yuan, D., Ye, S., Qi, P., Fu, C., Christiani, D.C., 2001. Health effects of occupational exposures to vehicle emissions in Shanghai. *Int. J. Occup. Environ. Health* 7, 23–30. <https://doi.org/10.1179/107735201800339641>.



L'exposition des chauffeurs de taxi aux polluants du trafic routier mérite une attention particulière car elle fait partie intégrante des risques liés à l'activité professionnelle quotidienne à ce poste, et qui s'avère plus importante en durée et en intensité que celle de la population générale. Le système respiratoire est la première porte d'entrée des polluants, qu'il s'agisse de gaz ou de particules, et constitue une large interface de dépôt et d'agression. Toutefois, et comme en témoigne cette revue systématique (8), très peu d'études ont abordé les effets aigus des polluants d'origine automobile sur la santé respiratoire des chauffeurs de taxi.

## **V. Effets respiratoires de l'exposition à la pollution atmosphérique d'origine automobile**

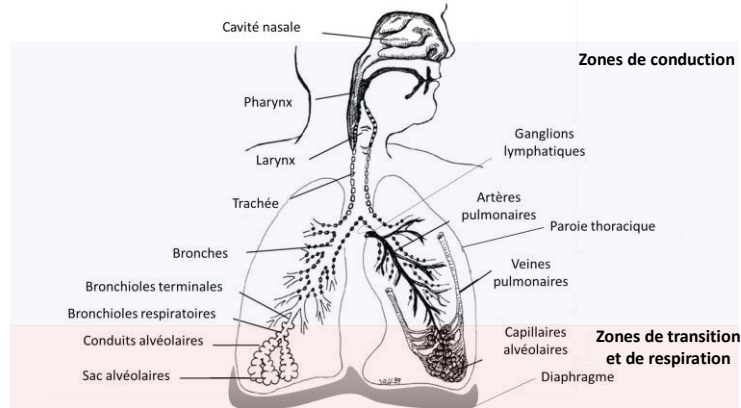
REVIHAAP (*review of evidence on health aspects of air pollution*) a montré des associations probables et même parfois des preuves suffisantes entre l'exposition aux polluants particuliers issus du trafic routier et la morbidité respiratoire, cardiovasculaire, neurologique ainsi que la mortalité toutes causes. Le niveau de preuve relatif à l'association avec la santé périnatale est plus faible. Dans le cadre de cette thèse, nous ciblerons les effets respiratoires (12).

Pour comprendre les éventuels effets délétères sur la santé respiratoire qui découlent de l'inhalation de ces polluants, surtout particuliers, nous présentons d'abord l'anatomie de l'appareil respiratoire et des paramètres de la fonction respiratoire, puis nous abordons les mécanismes de dépôt des particules dans le système pulmonaire et leurs cinétiques. Ensuite, nous présentons les travaux expérimentaux et épidémiologiques portant sur l'impact des polluants d'origine automobile, notamment des PUF et du BC sur la santé respiratoire d'une population particulièrement exposée, les professionnels de la route.

La respiration est un processus, habituellement automatique, d'échange d'oxygène (O<sub>2</sub>) et de CO<sub>2</sub> entre l'organisme et le milieu extérieur par l'appareil respiratoire. Dénommé aussi « arbre respiratoire » pour sa silhouette, cet ensemble de conduits ressemblant à un arbre inversé crée une vaste surface de contact entre « environnement » et « homme », approchant les 100 m<sup>2</sup>.

### **V.1. Anatomie de l'appareil respiratoire et la ventilation pulmonaire**

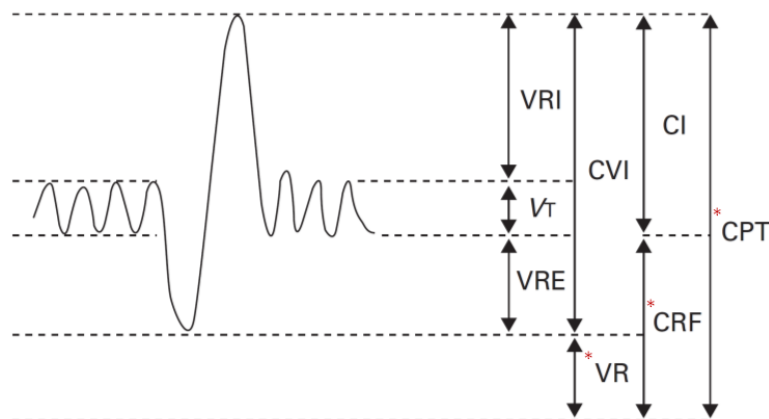
En anatomie pulmonaire, on distingue deux zones : (1) zone de conduction (nez, pharynx, larynx, trachée, bronches et bronchioles terminales) – qui filtre, réchauffe, humidifie et conduit l'air vers les poumons et (2) zones de transition et d'échanges gazeux (conduits et sacs alvéolaires) qui assure principalement les échanges gazeux (captation de l'O<sub>2</sub> et élimination du CO<sub>2</sub> par les cellules) (Figure 17).



**Figure 17.** Anatomie du système respiratoire humain.

La ventilation pulmonaire spontanée est assurée par le travail combiné des différentes composantes de l'appareil respiratoire, celles qui participent activement, en générant des forces motrices nécessaires au mouvement, comme les muscles respiratoires (diaphragme, muscles intercostaux, muscles respiratoires accessoires) et les nerfs moteurs phréniques et intercostaux ; et celles qui participent passivement, autrement dit subissent le mouvement comme les poumons, la paroi thoracique et les voies aériennes.

De ce fait, les volumes pulmonaires reflètent schématiquement les propriétés du parenchyme pulmonaire, de la cage thoracique et des muscles respiratoires et font généralement référence au volume de gaz contenu dans les poumons. Ils sont définis ci-dessous selon les recommandations de l'ATS (*American Thoracic Society*) et de l'ERS (*European Respiratory Society*) et sont présentés dans la figure 18 (55).

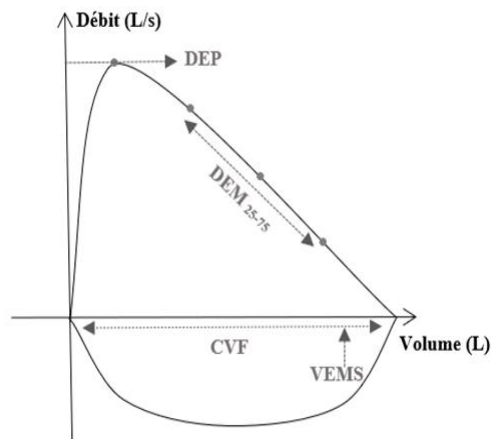


**Figure 18.** Volumes et capacités pulmonaires - courbe volume – temps d'une capacité vitale inspiratoire. **CI** : capacité inspiratoire ; **CRF** : capacité résiduelle fonctionnelle ; **CPT** : capacité pulmonaire totale ; **CVI** : capacité vitale inspiratoire ; **VT** : volume courant ; **VR** : volume de réserve ; **VRE** : volume de réserve expiratoire ; **VRI** : volume de réserve inspiratoire.

\* Volume non mobilisable

- le volume courant ( $V_T$ ) correspond au volume de gaz inspiré ou expiré pendant le cycle ventilatoire ( $\approx 500$  mL pour un adulte au repos),
- le volume de réserve inspiratoire (VRI) correspond au volume de gaz maximum pouvant être inspiré après une inspiration normale au repos,
- le volume de réserve expiratoire (VRE) correspond au volume de gaz maximum pouvant être expulsé après la fin d'une expiration normale au repos,
- le volume de réserve (VR) correspond au volume de gaz restant dans les poumons après une expiration forcée,
- la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) correspond au volume de gaz présent dans les poumons à la fin d'une expiration normale au repos ( $CRF = VRE + VR$ ),
- la capacité inspiratoire (CI) correspond au volume de gaz maximum pouvant être inspiré à partir de la CRF.
- la capacité vitale (CV) correspond au volume de gaz mobilisé à la bouche entre l'inspiration complète et l'expiration complète ( $CV = VRE + VC + VRI$ ),
- la capacité pulmonaire totale (CPT) correspond au volume de gaz présent dans les poumons après une inspiration maximale ( $CPT = VR + VRE + VC + VRI + CV + VR$ ).

Quant aux débits pulmonaires, ils sont obtenus lors de la réalisation d'une courbe débit-volume (spirométrie) et traduisent essentiellement la fonction des voies aériennes, autrement dit le calibre des voies aériennes (56) (Figure 19).



**Figure 19.** Courbe débit-volume théorique.

**CVF** : capacité vitale forcée ; **DEM<sub>25-75</sub>** : débit expiratoire médian ; **DEP** : débit expiratoire de pointe ; **VEMS** : volume expiratoire maximal par seconde.

On distingue :

- le volume expiré maximal pendant la première seconde (VEMS) : volume maximum d'air expiré au cours de la première seconde d'une expiration forcée à partir d'une inspiration maximale,

- la capacité vitale forcée (CVF) : volume maximum d'air expiré au cours d'un effort maximum effectué à partir d'une inspiration maximale,
- le débit expiratoire médian (DEM<sub>25-75</sub>) : débit expiratoire maximal entre 25% et 75% de la CVF,
- le débit expiratoire de pointe (DEP) : débit expiratoire maximal obtenu à partir d'une expiration forcée maximale.

Tous ces volumes et ces capacités sont mesurables par spirométrie simple, à part le volume résiduel et toutes les capacités qui le contiennent. Ces derniers nécessitent un appareil à Hélium à circuit fermé ou un pléthysmographe.

Les volumes et les débits varient en fonction de chaque personne et sont habituellement présentés sur une courbe débit-volume par la spirométrie (Figure 19). L'analyse des valeurs obtenues se fait en les comparant à des valeurs de référence chez des individus sains de même âge, sexe, taille et ethnie. Ces valeurs dites aussi théoriques sont calculées par des équations de référence définissant les limites inférieures (LIN) et supérieures de la normale (LSN). D'après les recommandations de l'ATS et de l'ERS et/ou de l'initiative globale contre la bronchopneumopathie chronique obstructive (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease – GOLD*), une anomalie fonctionnelle respiratoire est définie si la ou les valeurs des paramètres mesurés s'écartent de ces limites ou de certaines valeurs fixes caractéristiques des affections respiratoires (Tableau VIII) (57, 58).

**Tableau VIII.** Les critères caractérisant les différentes anomalies fonctionnelles selon les recommandions de l'ATS/ERS et GOLD.

|                     | Syndrome obstructif <sup>a</sup>  | Syndrome restrictif <sup>b</sup>                       | Syndrome mixte   |
|---------------------|---|--|--|
| Critères<br>ATS/ERS | VEMS/CV < 5 <sup>e</sup> percentile de la valeur théorique <sup>c</sup>   | CPT < 5 <sup>e</sup> percentile de la valeur théorique | VEMS/CV < 5 <sup>e</sup> percentile de la valeur théorique et CPT < 5 <sup>e</sup> percentile de la valeur théorique |
| GOLD                | VEMS/CVF < 70%  |  |  |
|                     | Sévérité du syndrome obstructif <sup>d</sup> :<br>léger : VEMS > 80% de la valeur théorique<br>moyen : 50% < VEMS < 80% de la valeur théorique<br>sévère : 30% < VEMS < 50% de la valeur théorique<br>très sévère : VEMS < 30% de la valeur théorique |  |  |

ATS : American Thoracic Society ; CPT : capacité pulmonaire totale ; CV : capacité vitale ; CVF : capacité vitale forcée ; ERS : European Respiratory Society ; GOLD : Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease ; VEMS : volume expiré maximal pendant la première seconde.

- a. Syndrome obstructif : toutes maladies qui provoquent une obstruction des voies aériennes inférieures entraînant des difficultés à expirer l'air dans les poumons puisque le diamètre des voies aériennes est moindre à ce moment-là.
- b. Syndrome restrictif : toutes maladies qui diminuent l'expansion pulmonaire.
- c. 5<sup>e</sup> percentile de la distribution équivaut à la limite inférieure de la normale.
- d. VEMS après administration du bronchodilatateur.

Toutefois, l'interprétation des résultats est délicate et peu parfois conduire à des conclusions erronées. Avant la confirmation d'une anomalie, il faut prendre en considération plusieurs éléments

tant techniques qu'individuels comme : l'exactitude et la fiabilité du matériel de mesure (contrôle qualité), la bonne procédure d'exécution du test très dépendante de la coopération entre technicien et patient (critères d'acceptabilité et de répétabilité des manœuvres) et la sélection correcte des résultats, sans oublier le plan clinique. A titre d'exemple, nous présentons dans le tableau IX le seuil à partir duquel la variation de la fonction pulmonaire au cours du temps est considérée significative et dans le tableau X la fluctuation des paramètres respiratoires selon soit la performance du test, soit une anomalie respiratoire (58).

**Tableau IX.** Seuils significatifs de variation en pourcentages des changements des paramètres respiratoires au cours du temps chez des sujets sains d'après les recommandations de l'ATS/ERS.

|                         | CVF  | VEMS | DEM <sub>25-75</sub> |
|-------------------------|------|------|----------------------|
| Dans la même journée    | ≥ 5  | ≥ 5  | ≥ 13                 |
| D'une semaine à l'autre | ≥ 11 | ≥ 12 | ≥ 21                 |
| D'une année à l'autre   | ≥ 15 | ≥ 15 | -                    |

ATS : American Thoracic Society ; ERS : European Respiratory Society ; CVF : capacité vitale forcée ; DEM<sub>25-75</sub> : débit expiratoire médian ; VEMS : volume expiré maximal pendant la première seconde.

**Tableau X.** Altération des paramètres respiratoires en fonction de la procédure d'exécution du test respiratoire et d'une anomalie respiratoire fonctionnelle d'après les recommandations de l'ATS/ERS.

|             | Altération liée à la manœuvre  | Altération liée à une anomalie  |
|-------------|--|---|
| <b>VEMS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ Inspiration lente avant l'expiration forcée</li> <li>• ↓ Pause inspiratoire longue avant l'expiration forcée (&gt; 2 s)</li> <li>• ↓ Inspiration ou expiration incomplète ou débit faible (souvent associée à une ↓ CVF)</li> <li>• ↑↓ Toux</li> <li>• ↑↓ Hésitation</li> <li>• ↑↓ Manœuvre de Valsalva (fermeture de la glotte)</li> <li>• ↓ Fatigue</li> <li>• ↑↓ défaut technique de l'appareil</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ Syndrome obstructif (atteintes des voies centrales)</li> <li>• ↓ Syndrome restrictif</li> <li>• ↓ Pathologie obstructive des voies aériennes supérieures (exemple sténose trachéale)</li> <li>• ↓ Collapsus hétérogène des voies aériennes de petit calibre (associée à une ↓ CVF)</li> <li>• ↑↓ Variante physiologique</li> </ul> |
| <b>CVF</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ Inspiration ou expiration incomplète ou débit faible (souvent associée à une ↓ VEMS)</li> <li>• ↑↓ Hésitation</li> <li>• ↑↓ Manœuvre de Valsalva (fermeture de la glotte)</li> <li>• ↓ Fatigue</li> <li>• ↑↓ défaut technique de l'appareil</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ Collapsus hétérogènes des voies aériennes de petit calibre (associée à une ↓ VEMS)</li> <li>• ↓ Pathologies musculaires ou interstitielles diffuses ou neuromusculaires</li> <li>• ↓ Syndrome restrictif</li> <li>• ↑↓ Variante physiologique</li> </ul>   |
| <b>DEP</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ Inspiration lente avant l'expiration forcée</li> <li>• ↓ Pause inspiratoire longue avant l'expiration forcée (&gt; 2 s)</li> <li>• ↑↓ défaut technique de l'appareil</li> <li>• ↓ Effort insuffisant</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ Obstruction des voies aériennes centrales et supérieures</li> </ul>  |

ATS : American Thoracic Society ; ERS : European Respiratory Society ; CVF : la capacité vitale forcée ; DEP : débit expiratoire de pointe ; VEMS : volume expiratoire maximal par seconde.

↓ : diminution du paramètre respiratoire

↑↓ : altération du paramètre respiratoire

## V.2. Mécanismes de dépôt et de translocation des particules dans les poumons

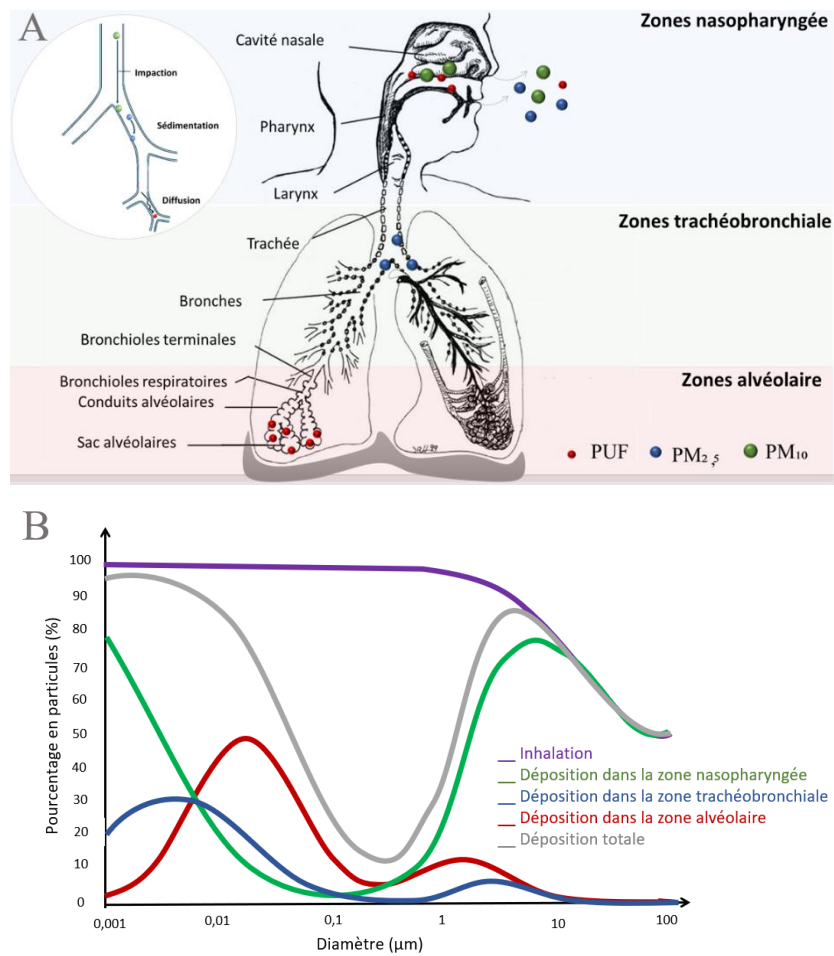
L'air inhalé est un mélange gazeux (21% d'O<sub>2</sub>, 78% d'azote (N<sub>2</sub>) et d'autres gaz) et particulaires. La déposition des particules dans les voies respiratoires dépend majoritairement de leurs caractéristiques physiques. En effet, la taille est un élément majeur pour préciser si la particule peut être déposée ou non dans les voies respiratoires (puis rejetée par l'expiration), et pour déterminer la région de déposition (nasopharyngée, trachéobronchiale, alvéolaire). On distingue trois principaux mécanismes de déposition des particules (3, 59).

- l'**impaction** s'exerce sur les particules grossières. Les PM<sub>10</sub>, en raison de leur inertie, ne suivent pas les mouvements de l'air et tendent à continuer leurs mouvements suivant leurs trajectoires initiales et ainsi heurtent les voies respiratoires. Elles s'accumulent principalement dans la région nasopharyngée durant l'inspiration et l'expiration.

- la **sédimentation** se définit par la chute des particules en suspension dans un gaz sous l'action de la gravité, souvent il s'agit des particules fines (PM<sub>2.5</sub>). On les trouve essentiellement dans la région trachéobronchiale. Par absence d'impaction et de diffusion, une grande partie de ces particules seront expulsées lors de l'expiration.

- la **diffusion brownienne** est prédominante pour les PUF. Du fait qu'elles sont ultrafines, ces particules subissent des mouvements aléatoires par collision avec les molécules gazeuses de l'air et se déposent majoritairement dans les régions nasopharyngée et alvéolaire.

Les zones et les mécanismes de déposition décrits ci-dessus sont résumés dans la figure 20.



**Figure 20.** Les zones et les mécanismes (A) et les courbes de déposition des particules dans l'appareil respiratoire (B) selon les données de l'International Commission on Radiological Protection (60)

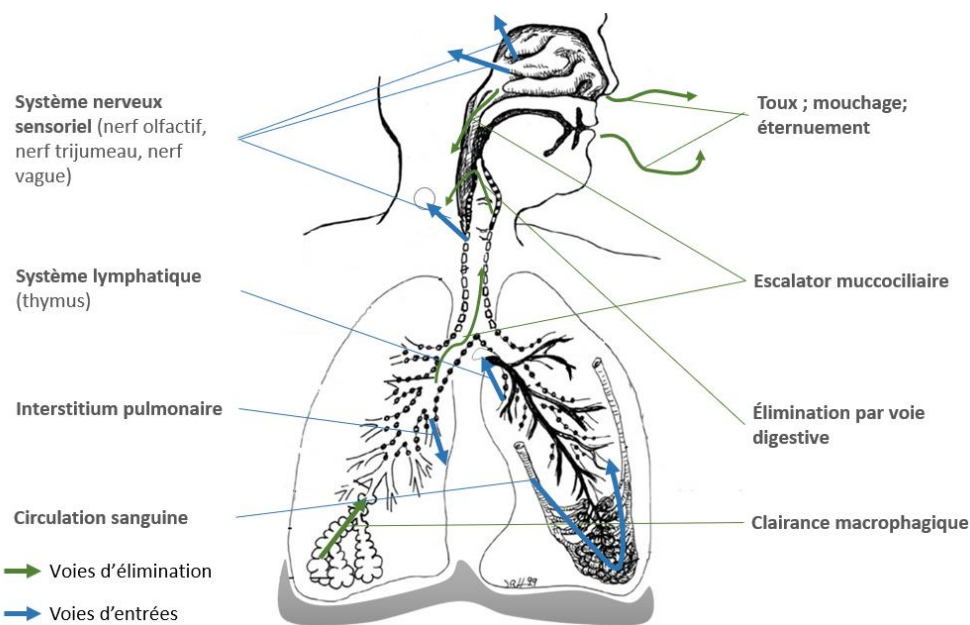
Toutefois, l'appareil respiratoire est doté d'une série de mécanismes de défense contre ces agresseurs grâce à ses propriétés structurelles et fonctionnelles. Ce système de protection repose sur trois éléments principaux (3, 61) :

- le **tapis roulant mucociliaire** qui s'étend depuis les fosses nasales jusqu'aux petites bronches et agit comme un système d'épuration. Le mucus produit à sa surface enrobe les particules et les confie aux cils vibratiles, qui par leurs mouvements coordonnés et leurs vibrations permanentes, les rejettent par voie respiratoire ou digestive. Les particules ainsi piégées au niveau des voies aériennes supérieures s'éliminent vers l'extérieur par le mouchage et l'éternuement et celles piégées au niveau des voies aériennes inférieures sont évacuées à travers l'escalator mucociliaire vers le pharynx, et sont éliminées *via* le système digestif. La clairance mucociliaire dure environ 48 heures.

- le **tissu lymphoïde** appelé formations lymphatiques associées aux muqueuses (MALT, « *mucosa-associated lymphatic tissue* ») neutralise les particules traversant l'épithélium muqueux.

- les **macrophages alvéolaires** phagocytent les particules non arrêtées par les systèmes de défense précédents, et déposées sur les alvéoles. La clairance macrophagique peut durer des mois.

Pour sa part, la question du passage des PUF à travers les barrières biologiques se pose. Les études expérimentales suggèrent que la translocation des particules peut se produire au niveau des barrières broncho-alvéolaires (via le capillaire alvéolaire) et encéphalique (via le nerf olfactif, le nerf trijumeau et le nerf vague). Ainsi, selon des données récentes, le passage des particules dans le sang serait susceptible d'entraîner une modification des paramètres sanguins (viscosité du plasma, facteurs de coagulation) ; et d'autre part, permettrait leur transport vers d'autres organes comme le foie, la rate, le cœur, les reins, le cerveau...(3, 62, 63). Néanmoins, ces observations restent toujours embryonnaires et nécessitent des études supplémentaires. Dans la figure 21, la cinétique des particules inhalées dans le système respiratoire est resumée.



**Figure 21.** Les différentes voies de clairances particulaires entrant et sortant du système.

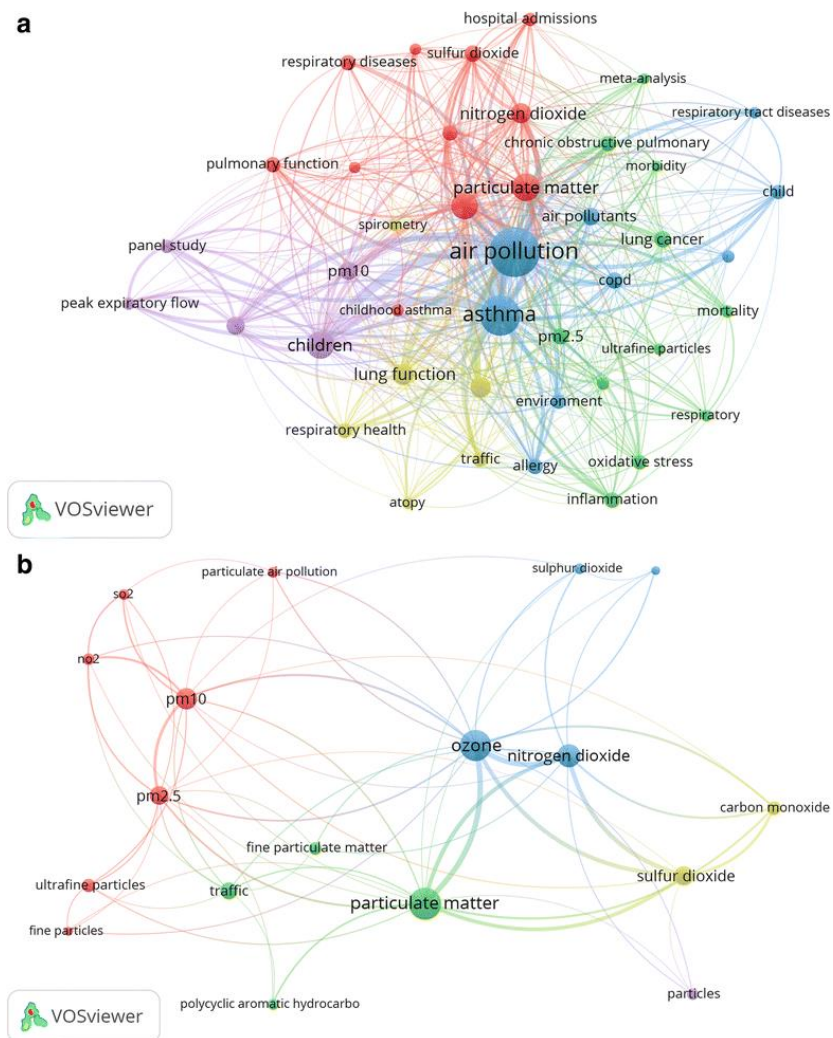
En résumé, les caractéristiques physico-chimiques des particules permettent de préjuger de leurs modalités de déposition, de clairance et de leur persistance dans l'appareil respiratoire, et par conséquent déterminent leurs potentiels effets inflammatoires sur les tissus pulmonaires.

Parallèlement, l'appréciation des risques des polluants sur le plan biologique et sur la santé repose à la fois sur les caractéristiques de l'exposition (intensité, durée, fréquence) et sur les facteurs propres à chaque individu. C'est dans ce contexte que nous présentons, dans la dernière partie de ce chapitre, une synthèse bibliographique portant sur l'impact respiratoire de la pollution atmosphérique d'origine automobile, et plus particulièrement sur les effets à court terme des PUF et du BC.



### V.3. Effets respiratoires en population générale

L'essor des publications destinées à étudier les effets respiratoires de la pollution atmosphérique s'observe depuis le début des années 1990. Les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Italie et la France font partie des 10 premiers pays contribuant activement à ces études, avec un taux de publication qui était respectivement de 29,8% ; 7,7% ; 5,4% et 5,4%. Les études s'intéressaient surtout à l'exposition des enfants en termes de population d'étude, aux maladies respiratoires chroniques (asthme, BPCO, cancer des poumons) en termes d'effets respiratoires et aux particules (hormis les ultrafines), à l'O<sub>3</sub> et au NO<sub>2</sub> en termes de polluants (64) (Figure 22). Les effets respiratoires des polluants traditionnels sont résumés dans le tableau XI.



**Figure 22.** Mots-clés les plus fréquemment cités dans les publications en général (a) et selon le type de polluants (b) (source : Sweileh *et al.* 2018)

**Tableau XI.** Effets respiratoires à long et court terme des polluants réglementés traditionnels en population générale.

| Polluants  | Études épidémiologiques<br>(effets respiratoires à long et/ou à court terme)   |
|--|--|
| PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mortalité par maladie cardiopulmonaire et par cancer bronchique (65-67)</li> <li>• Cancer pulmonaire (68)</li> <li>• Admissions hospitalières pour exacerbation d'asthme et de BPCO (69)</li> <li>• Incidence d'asthme et de BPCO (70, 71)</li> <li>• Diminution du VEMS et de la CVF (68, 72)</li> <li>• Augmentation des symptômes respiratoires (irritations de la muqueuse respiratoire, toux, gêne respiratoire) (68, 73)</li> </ul> |
| SO <sub>2</sub>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Admissions hospitalières pour maladies respiratoires ; pour exacerbation d'asthme et pour aggravation des insuffisances respiratoires chroniques (68)</li> <li>• Bronchite chronique (66, 68)</li> <li>• Symptômes de toux, crachats ; exacerbation de l'asthme (66, 68)</li> </ul>   |
| O <sub>3</sub>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mortalité par maladies pulmonaires (66, 68)</li> <li>• Diminution du VEMS et de la CVF (66-68)</li> <li>• Symptômes toux, douleur et sensation d'oppression thoracique ; exacerbation de l'asthme (66, 68, 71)</li> </ul>   |
| NO <sub>2</sub>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Admissions hospitalières pour BPCO (71)</li> <li>• Diminution du VEMS et de la CVF (67, 68)</li> <li>• Symptômes de toux (66)</li> </ul>  |
| <b>Facteurs de risque :</b> Age (enfants, adolescents, personnes âgés > 65 ans) ; sexe (femmes) ; tabagisme ; pathologies (asthme, BPCO, atopie) ; vivre à proximité du trafic et densité du trafic (65-67, 71, 72, 74). |  |

**BPCO :** bronchopneumopathie chronique obstructive ; **CVF :** la capacité vitale forcée ; **NO<sub>2</sub> :** dioxyde d'azote ; **O<sub>3</sub> :** ozone ; **PM<sub>10</sub> :** particules de diamètre inférieur à 10 µm ; **PM<sub>2.5</sub> :** particules de diamètre inférieur à 2.5 µm ; **SO<sub>2</sub> :** dioxyde de soufre ; **VEMS :** volume expiratoire maximal par seconde.

### Point particulier sur les effets respiratoires des PUF et du BC

Récemment, il est apparu pertinent de s'intéresser à la fraction ultrafine des particules et au BC, aux comportements plus pernecieux que les autres polluants particulaires en raison de leurs propriétés physico-chimiques. En effet, les PUF, avec leurs grandes concentrations en termes de nombre par cm<sup>3</sup> et leurs petits diamètres, contribuent à une grande surface de contact alvéolaire d'où leurs effets délétères dans les voies aériennes (75, 76). Les études expérimentales ont montré que l'augmentation de la surface réactive des PUF avec les cellules épithéliales et le liquide broncho-alvéolaire rend les composés organiques et les métaux adsorbés à leur surface biodisponibles (3). Par conséquent, les PUF sont aptes à induire des effets inflammatoires (77), à générer un stress oxydatif (78) et à traverser les barrières biologiques pour atteindre d'autres organes cibles (63).

Quant au BC, une fois émis dans l'atmosphère, il se joint à des composés organiques (HAP), métalliques (métaux lourds et de transition : fer, cuivre, etc.) et biologiques (allergènes,

endotoxines, etc.). Ainsi, il est non seulement capable de véhiculer d'autres contaminants, mais aussi de contribuer à leur déposition pulmonaire (4, 63). Les études toxicologiques *in vivo* et *in vitro*, encore peu nombreuses, suggèrent que le BC peut ne pas exercer sa toxicité directement, mais par l'intermédiaire des toxiques qu'il véhicule. En tout état de cause, Janssen *et al.* (2012) encouragent à utiliser ce nouvel indicateur dans l'étude des effets sanitaires adverses relatifs à la pollution de l'air due au trafic (6).

### Essais contrôlés

Quelques essais contrôlés ont étudié les effets à court terme sur la fonction pulmonaire et l'inflammation des voies aériennes d'exposition aux polluants du trafic routier, notamment aux PUF. Ils comparent l'inflammation des voies aériennes, les performances ventilatoires chez quelques dizaines d'adultes sains volontaires circulant à bicyclette, tour à tour dans des voies à fort et à faible trafic. Larsson *et al.* (2007) montrent que la circulation dans un tunnel peut entraîner une réponse inflammatoire cellulaire dans les voies aériennes de sujets sains (79). D'autres auteurs notent une légère augmentation du nombre de polynucléaires neutrophiles (80), de la fraction expirée du monoxyde de carbone (FeNO) et une diminution des performances ventilatoires, six heures après l'exposition (81). Vinzents *et al.* (2005) décrivent des effets biologiques en termes de dommages oxydatifs de l'ADN (82). Zuurbier *et al.* (2011) observent des effets modestes (transitoires) d'une exposition de deux heures dans les transports (automobile, bus, bicyclette) sur le DEP, la FeNO et la résistance des voies aériennes de 34 volontaires sains non-fumeurs (83). Les effets à court terme d'une exposition aux effluents diesel ont aussi été investigués chez des asthmatiques légers à modérés, après deux heures de marche, dans une artère à fort trafic et dans un parc. L'exposition au fort trafic est associée à une réduction significative des performances ventilatoires et à une augmentation de l'acidification des voies aériennes et des biomarqueurs de l'inflammation. Les effets sont plus importants chez les patients souffrant d'un asthme modéré que chez les asthmatiques légers. Ils sont reliés aux PUF et au BC (84). À Londres, une étude plus récente, a montré que les sujets âgés de plus de 60 ans avec une bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) sont plus impactés par la pollution d'origine automobile. Après trois heures de marche sur une route à fort trafic (Oxford Street), Sinharay *et al.* (2018) ont noté une réduction du VEMS et de la CVF et une augmentation de l'obstruction des petites voies respiratoires, associées à l'élévation des niveaux des UFP, PM<sub>2.5</sub>, et du NO<sub>2</sub>. De plus, les participants souffrant d'une BPCO ont signalé avoir plus de toux, de crachats, de gêne respiratoire et de sifflements lorsqu'ils se promenaient à Oxford Street par rapport dans Hyde Park (moins de pollution) (85). Après deux heures de circulation dans un tunnel routier, Larsson *et al.* (2010) mettent en évidence, chez 14 asthmatiques légers, une augmentation des symptômes irritatifs des voies aériennes et un abaissement du DEP, sans toutefois relever de changement dans la réactivité bronchique. L'inflammation nasale est accrue chez les sujets asthmatiques non traités (86). Ces résultats confirment une plus grande vulnérabilité des asthmatiques à la pollution liée au trafic. Ces essais portent sur de faibles effectifs et de courtes périodes d'exposition. Ils considèrent comme indicateurs de pollution, outre les polluants classiques, un nombre de particules, sans généralement cibler les PUF.

Les études cliniques qui considèrent l'effet du BC sur la santé respiratoire chez l'homme étaient moins nombreuses. L'exposition de 15 volontaires sains pendant 1 heure à 300 µg/m<sup>3</sup> aux particules carbonées des moteurs diesel était associée à une réaction inflammatoire précoce des voies aériennes. Toutefois, Sehlstedt *et al.* (2010) n'ont pas observé une variation significative du VEMS et ni de la CVF mesurés directement après l'exposition (87). De même, le VEMS mesuré chez des volontaires sains et asthmatiques n'a pas changé suite à une exposition de 2 heures à 100 µg/m<sup>3</sup> aux échappements diesel (88).

Si les études expérimentales clarifient en quelque sorte les mécanismes biologiques qui entrent en jeu dans l'apparition des effets sur la santé, les études épidémiologiques permettent d'établir la relation exposition dose-effet chez l'Homme.

### Études épidémiologiques

Certaines études épidémiologiques ont trouvé une association significative entre les effets respiratoires à court terme, c'est-à-dire qui surviennent quelques minutes à quelques semaines après l'exposition, et la pollution aux PUF et au BC sur la santé respiratoire, mais d'autres non. A l'heure actuelle les résultats ne sont toujours pas concluants (12, 89).

Certains travaux ont montré que les admissions hospitalières pour asthme ont été significativement associées à la fraction ultrafine des particules chez les enfants mais non pas chez les adultes. Chez ces derniers, ce sont les particules fines (PM<sub>2.5</sub>) qui ont été incriminées (90, 91). Une étude plus récente conduite dans cinq villes européennes a suggéré que l'exposition aux PUF est susceptible d'augmenter les admissions hospitalières pour problèmes respiratoires surtout en saison chaude et chez les enfants âgés entre 0 et 14 ans (92). Toutefois, d'autres études n'ont pas trouvé des relations significatives comme celle menée par l'équipe de Peel *et al.* (2005) (93). Concernant l'association entre l'exposition aigüe aux PUF et les symptômes respiratoires, les auteurs s'intéressaient à étudier plutôt les effets chez des sujets malades (asthme, BPCO, atopie) ; les résultats étaient contradictoires. L'exposition à court terme aux PUF a été reliée à la survenue de sifflements chez des asthmatiques (94, 95) alors qu'aucune association n'a été trouvée chez des participants souffrant d'une BPCO (96) ou des maladies cardiovasculaires (97). Quant à la fonction respiratoire, des auteurs ont rapporté une diminution du DEP, VEMS et/ou de la CVF chez des volontaires asthmatiques (98) et sains après exposition à court terme aux PUF. Cependant, dans certaines de ces études, les associations avec les différents paramètres respiratoires ont été incohérentes (83, 99).

L'OMS dans son rapport 2012, rapporte que les effets sanitaires à court terme du BC sont plus robustes que ceux des PM<sub>2.5</sub> et des PM<sub>10</sub> lorsque celles-ci sont exprimées en concentration massique. Des associations entre les variations journalières du BC et des admissions hospitalières pour toutes causes cardiorespiratoires ont été mises en évidence (6). Les études récentes suivent les mêmes tendances. Tobias *et al.* (2014) ont observé une augmentation des admissions hospitalières pour asthme et du taux de mortalité pour problèmes respiratoires avec l'élévation des niveaux de BC à Barcelone (100). Tomić-Spirić *et al.* (2019) ont pu constater une association

significative entre les admissions hospitalières pour rhinite allergique et asthme et les niveaux de BC en Serbie, notamment en saison chaude (101). Des études épidémiologiques ont également montré un lien entre l'augmentation des niveaux d'exposition individuelle au BC et l'élévation de la FeNO chez les personnes de plus de 16 ans souffrant d'asthme ou de BPCO (102), ainsi qu'une diminution du VEMS et de la CVF chez les enfants avec des symptômes asthmatiformes (103). Enfin, le tableau XII résume les effets respiratoires de l'exposition à court terme au BC, détaillés dans le rapport d'expertise de l'Anses 2019 traitant des effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur (12).

**Tableau XII.** Le niveau de preuve rapportés dans REVIHAAP pour l'effets respiratoires de l'exposition à court terme au BC (source : ANSES, 2019)

| Indicateur d'exposition | Indication <sup>a</sup> | Indicateur d'effet sanitaire   |
|-------------------------|-------------------------|--|
| Carbone suie            | Forte                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Admissions hospitalières de causes respiratoires</li> </ul>   |
|                         | Modérée                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mortalité de causes respiratoires</li> <li>• Admissions hospitalières de causes respiratoires chez l'enfant</li> <li>• Marqueur d'inflammation (FeNO) chez l'adulte et l'enfant</li> </ul>  |
|                         | Inadéquate              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• BPCO</li> <li>• Bronchite chronique</li> <li>• Asthme et sifflements</li> <li>• Diminution de la fonction ventilatoire</li> <li>• Infections respiratoires et ORL</li> <li>• Marqueurs d'inflammation (autres que le FeNO)</li> </ul> |

**a.** Indication reflète la confiance globale portée dans l'association entre l'indicateur d'exposition et l'évènement sanitaire.

**BPCO** : bronchopneumopathie chronique obstructive ; **FeNO** : fraction expiré du monoxyde de carbone ; **ORL** : oto-rhino-laryngologie ; **REVIHAAP** : review of evidence on health aspects of air pollution.

Si l'ensemble de la population humaine est impacté par la pollution d'origine automobile, de nombreux acteurs du monde professionnel peuvent être encore plus concernés. Les policiers, les chauffeurs routiers (transport en commun, taxi, camionneurs...), les livreurs, les postiers, les travailleurs sur les routes et autoroutes, etc. sont fortement et longtemps exposés au cours de la journée de travail à la pollution du trafic routier. Ils seraient donc plus susceptibles de développer des affections respiratoires.

#### V.4. Effets respiratoires chez les professionnels de la conduite

Les effluents d'échappement des moteurs diesel sont classés comme cancérigènes certains pour l'Homme (Groupe 1) et ceux des moteurs à essence comme cancérigènes probables (Groupe 2A) par le Centre international de recherche sur le cancer (104). L'exposition professionnelle à long terme au gaz d'échappement (diesel et/ou essence) a été associée à une augmentation du risque de mortalité par cancer du poumon, des maladies pulmonaires chroniques obstructives et/ou restrictives (105-108), à une diminution de la fonction respiratoire (109, 110) et à une augmentation des manifestations respiratoires (toux, crachats, gêne respiratoire et sifflements) (111, 112). Mais les effets à court terme de cette exposition professionnelle sont mal documentés.

Généralement, il s'agit d'études de type « exposés – non exposés » avec des mesures individuelles ou dans les microenvironnements d'exposition au polluants du trafic routier (113-121). Toutefois, certains auteurs considèrent uniquement les niveaux ambiants (122-125). Les sujets sont répartis souvent en groupes, soit en fonction de leurs professions (policiers, chauffeurs de taxi/moto/bus/train vs travailleurs de bureau, enseignants), soit en fonction des niveaux d'exposition. Ces études concluent généralement à des associations statistiquement significatives entre l'exposition professionnelle et la morbidité respiratoire ressentie (manifestations rapportées) ou objectivée (fonction respiratoire mesurée). Plusieurs études ont été conduites auprès de policiers travaillant dans la rue (126). La prévalence (120) ou l'incidence (119) des symptômes respiratoires (toux, expectorations, irritation nasale et gêne respiratoire) est significativement supérieure chez les policiers au cœur du trafic par rapport aux témoins, résidents de la zone d'étude (109, 119, 124, 127, 128) ou policiers travaillant en bureau (120). Pour la morbidité objectivée par des explorations fonctionnelles respiratoires, les résultats sont plus divergents, certains auteurs mettant en évidence un abaissement des performances ventilatoires (115, 119, 127, 128), d'autres non (120).

En ce qui concerne l'exposition des professionnels de la conduite, à São Paulo, ceux exposés à plus de 39,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$  ont une CVF (-12,2% ; IC % 95 : -20% to -4,4%) et un VEMS (-9,1 % ; IC% 95 : -19,1% to -0,9%) plus faible que ceux exposés à moins de 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$  (117). Au Bénin, les chauffeurs de taxi à moto exposés à plus de 9 ppm de CO ont un DEP (-10%,  $p=0,02$ ) moins élevé que ceux exposés à moins de 9 ppm. Pour les symptômes respiratoires, les études « exposés – non exposés » révèlent que chez les professionnels de la conduite, comme au Congo (123) ou à Shanghai (122), la prévalence des symptômes respiratoires (rhinorrhée, toux, crachats) et des maladies respiratoires (asthme, rhinite allergique) est significativement plus élevée que dans les groupes témoins, non-exposés au trafic.

Parmi les professionnels de la conduite, très peu d'études s'intéressaient aux chauffeurs de taxi et parmi les polluants, les PUF et le BC étaient les moins explorés. A notre connaissance, seule l'équipe de Shakya *et al.* (2016) a investigué l'effet du BC sur la fonction respiratoire des policiers. Ils ont trouvé une association négative entre les niveaux d'exposition professionnelle au BC et le VEMS ( $r= -0,63$  ;  $p<0,05$ ) (116).

Or, depuis 1997, seules trois études ont examiné les effets respiratoires des polluants chez les chauffeurs de taxi (122, 125, 129), parfois sans mesurer les niveaux d'exposition (129). Globalement, ils rapportent une prévalence des symptômes respiratoires (dyspnée, rhinorrhée,

toux, crachats) et des maladies des voies respiratoires supérieures (rhinite, pharyngite) et inférieures (troubles obstructifs/restrictifs/mixtes) plus élevée chez les chauffeurs de taxi par rapport aux témoins. Cependant, les résultats des analyses des paramètres respiratoires étaient incohérents. Bener *et al.* (1997) observent que les chauffeurs de taxi ont des paramètres respiratoires plus faibles que les non-exposés (129), alors que Zhou *et al.* (2001) n'ont pas trouvé de différence significative des paramètres respiratoires entre les deux groupes « exposés – non exposés » au NO<sub>x</sub> et au CO ambiant (122).

Au total, les professionnels de la conduite sont exposés aux PUF et au BC sans que l'on ait réellement quantifié leurs niveaux d'exposition et sa variabilité, ni l'impact de leurs modalités d'exercice sur cette exposition. Aucune étude n'a en outre, à notre connaissance, vraiment examiné les effets à court terme (à la fin d'une journée de travail, par exemple) de ces expositions quotidiennes répétées au trafic, sur la santé respiratoire des chauffeurs de taxi. C'est précisément le but de ce travail de thèse.





# **OBJECTIFS DE LA THÈSE**

---



Dans ce contexte, ce travail de thèse a comporté une étude exploratoire conduite au Liban et une étude princeps menée en France auprès de chauffeurs de taxi. Les objectifs étaient de :

### **Pour l'étude exploratoire au Liban**

- 1. Quantifier** les concentrations des PUF et du BC dans l'habitacle de taxis **au cours d'une journée de travail** des chauffeurs, à Beyrouth et **identifier** les déterminants de ces concentrations liés aux modalités d'exercice.

### **Pour l'étude princeps en France**

- 2. Quantifier** les concentrations des PUF, du BC, du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle de taxis, au cours d'une journée de travail des chauffeurs et **par trajet**, à Paris et **identifier** les déterminants de ces concentrations par trajet liés aux modalités d'exercice.
- 3. Étudier** l'association entre l'exposition aux PUF et au BC mesurée dans l'habitacle des taxis durant une journée de travail et (1) la survenue d'irritations nasales/de la gorge/des yeux durant cette journée de travail, d'une part et d'autre part (2) la variation de la fonction respiratoire en fin par rapport au début du poste de travail.



# **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

---



Le deuxième chapitre sera subdivisé en deux grandes parties. La première partie exposera le projet PUF-TAXI princeps à Paris (Île-de-France, IDF), tant du point de vue du volet « expologique », que du volet « épidémiologique ». Ensuite la deuxième partie sera consacrée à la présentation de l'étude exploratoire à Beyrouth (Beyrouth et Mont-Liban) reposant sur l'adaptation du « volet expologique » du Projet PUF-TAXI au contexte libanais.

### **I. Projet PUF-TAXI à Paris**

PUF-TAXI est une étude de cohorte de chauffeurs de taxi conjointement pilotée par l'équipe HERA - Inserm UMR 1153 - CRESS à l'Université de Paris et par le service de pathologie professionnelle et environnementale à l'hôpital Hôtel-Dieu (AP-HP - Université de Paris). Ce projet se compose de deux étapes :

- La **première étape** visait à quantifier l'exposition des chauffeurs de taxi franciliens à la pollution atmosphérique d'origine automobile dans l'habitacle de leurs véhicules sur une journée de travail, à identifier les déterminants de cette exposition liés aux modalités d'exercice et à étudier les effets respiratoires à court terme afférents à cette exposition, c'est-à-dire évalués durant cette journée de travail.
- La **deuxième étape** correspondra à un suivi longitudinal de la cohorte de chauffeurs de taxi constituée. Chaque sujet sera son propre témoin. Un deuxième mesurage des expositions sera effectué à une saison distincte du premier (printemps - été / automne - hiver) accompagné d'une évaluation de la santé respiratoire selon les mêmes modalités qu'à la première étape.

Ma participation à PUF-TAXI a consisté à mettre en œuvre la première étape, dans son intégralité. Ainsi, mon travail de thèse était consacré à la préparation des démarches technico-réglementaires, à la coordination entre les différentes structures impliquées dans le projet, au recrutement et au suivi des participants, aux mesurages des expositions environnementales, à la réalisation des investigations sanitaires le jour du mesurage de ces expositions ; à la maintenance des appareils de mesure, la gestion de la base de données (recueil/saisie/nettoyage) et à son exploitation statistique pour répondre aux objectifs scientifiques précédemment énoncés.

#### **I.1. Organisation de l'étude**

##### **I.1.1. Déroulement**

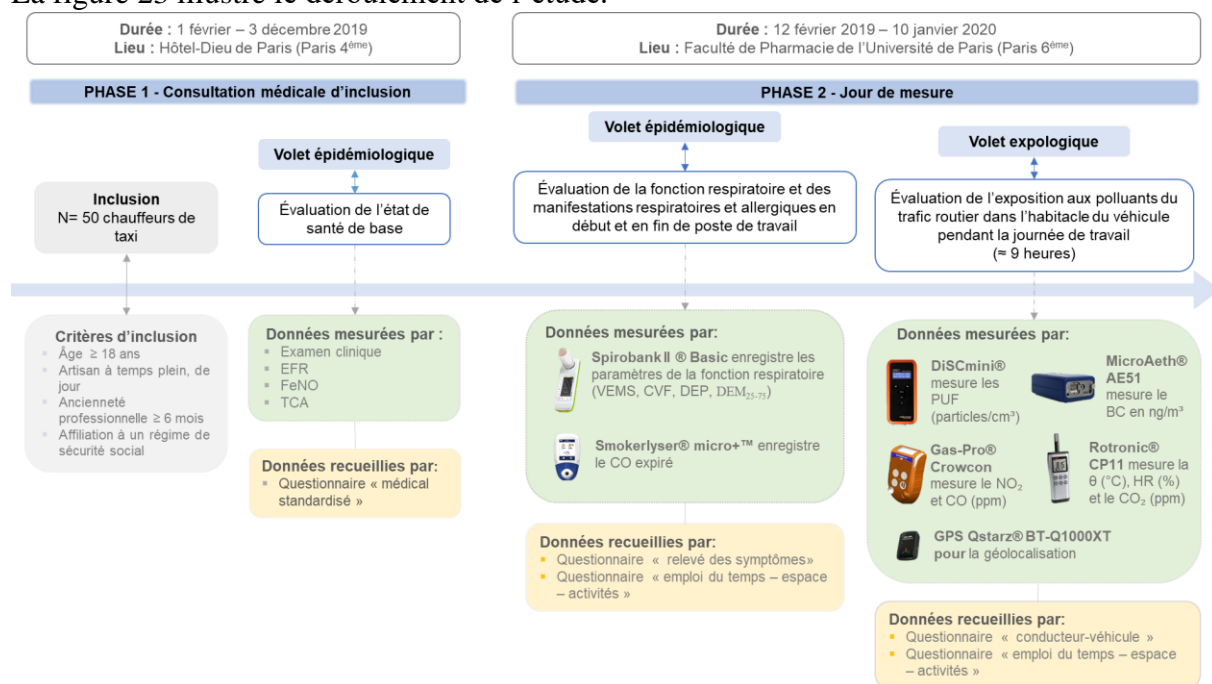
La première étape du projet PUF-TAXI correspondait à une étude expologique et épidémiologique menée en deux phases successives à Paris, du 1<sup>er</sup> février 2019 au 10 janvier 2020.

Les chauffeurs de taxi recrutés ont été contactés par téléphone pour un entretien de pré-inclusion afin de vérifier leur éligibilité, de recueillir leur consentement oral, de répondre aux éventuelles questions et de convenir des rendez-vous pour la consultation médicale d'inclusion (phase 1) et pour le jour des mesurages (phase 2).

**Phase 1 - consultation médicale d'inclusion** : les chauffeurs de taxi conviés étaient inclus à l'issue d'une consultation médicale gratuite dans l'Unité de consultation des pathologies professionnelles et environnementales de l'Hôpital Hôtel-Dieu. Leur état de santé a été évalué par un examen clinique avec un questionnaire médical standardisé, par des épreuves fonctionnelles respiratoires (EFR), par la mesure de la FeNO et par des tests cutanés allergologiques (TCA).

**Phase 2 - jour des mesurages** : les chauffeurs de taxi inclus à l'issue de la consultation médicale ont été invités dans les jours suivants à la Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris pour entreprendre le mesurage de leur exposition aux polluants du trafic routier à l'intérieur de leur véhicule taxi, pendant leur journée de travail. La même journée, une mesure spirométrique et un recueil des symptômes respiratoires/allergiques ont été réalisés en début et en fin de poste de travail.

La figure 23 illustre le déroulement de l'étude.



**Figure 23.** Déroulement du projet PUF-TAXI.

**BC** : black carbon ; **CO** : monoxyde de carbone ; **CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone ; **CVF** : capacité vitale forcée ; **DEM<sub>25-75</sub>** : débit expiratoire médian ; **DEP** : débit expiratoire de pointe ; **EFR** : épreuves fonctionnelles respiratoires ; **FeNO** : fraction expirée du monoxyde d'azote ; **HR** : humidité relative ; **NO<sub>2</sub>** : dioxyde d'azote ; **PUF** : particules ultrafines ; **TCA** : tests cutanés allergologiques ; **VEMS** : volume expiratoire maximale en une seconde.

### I.1.2. Considérations légales et éthiques

L'AP-HP est le promoteur du projet PUF-TAXI et a souscrit une assurance responsabilité civile. La recherche a été déclarée le 13 avril 2018 auprès de la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL) pour le traitement de données à caractère personnel en matière de recherche dans le domaine de la santé (déclaration N° 217275). Le projet de recherche à contraintes minimales a reçu également un avis favorable le 19 novembre 2019 du Comité de Protection des Personnes



(CPP) d'IDF III (dossier N° : 2018-A00811-54 ; référence CPP : 3593-RM) et a été enregistré sur ClinicalTrials.gov (NCT03839537) pour l'examen clinique lors de la consultation médicale.

Conformément à l'article L1122-1-1 du Code de la santé publique, le consentement libre, éclairé et écrit du chauffeur de taxi est recueilli par le médecin avant l'inclusion de la personne dans la recherche lors de la consultation médicale.

Une indemnisation de 50 euros est prévue pour les chauffeurs de taxi participant à l'intégralité du projet en compensation des contraintes liées à la recherche.

## **I.2. Population d'étude**

### **I.2.1. Critères d'éligibilité**

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- être âgé de plus de 18 ans ;
- être chauffeur de taxi à temps plein le jour (titulaire de la licence) ;
- travailler depuis plus de 6 mois dans la profession ;
- être affilié à un régime de sécurité sociale ou ayant droit et
- avoir signé un formulaire de consentement de participation à l'étude.

Avoir des troubles de la compréhension de la langue française, d'après l'appréciation de l'investigateur constituait un critère de non-inclusion.

### **I.2.2. Modalités de recrutement et d'inclusion**

A l'heure actuelle, il n'existe pas dans la littérature de données suffisantes permettant de calculer le nombre de sujets nécessaires, compte tenu du caractère novateur du projet (pas de données sur la variation à court terme des performances ventilatoires en lien avec l'exposition aux polluants étudiés). A titre exploratoire et dans un souci de faisabilité (disponibilité des appareils, emploi du temps), il a été décidé de recruter une cinquantaine de participants.

Faute de pouvoir disposer d'une base de sondage (liste exhaustive des chauffeurs de taxi) auprès des services préfectoraux compétents, pour des raisons d'éthique et de confidentialité, une stratégie d'échantillonnage non-probabiliste a été adoptée. Après démarchage auprès d'une dizaine de fédérations de taxi, la chambre syndicale des cochers chauffeurs de voitures de place de la région parisienne (C.G.T Taxis) et la chambre syndicale des sociétés coopératives des chauffeurs de taxi de la région parisienne (Alpha Taxis) ont donné leur accord pour participer. Une lettre d'invitation (Annexe 4), une brochure d'informations (Annexe 5) et une courte vidéo (<https://www.youtube.com/watch?v=DDt4dMf7d50>) ont été adressées à ces fédérations dans le dessein d'assurer une large diffusion de l'information auprès de leurs membres. En outre, l'appel à participation a été publié dans plusieurs magazines destinés à des professionnels de la conduite (« Taxis et associés » à quatre reprises en décembre 2018, février, mars et avril 2019 ; « Taximag » en juin 2019 et « 100% News » en avril 2019) (Annexe 6). Le projet PUF-TAXI a été également

présenté au Salon des Taxis en janvier 2018. Les chauffeurs de taxi sollicités et qui étaient effectivement intéressés à participer à l'étude étaient, dans un premier temps, contactés par téléphone dans le but de vérifier l'éligibilité, d'obtenir le consentement oral et de répondre aux éventuelles questions. Lorsque le chauffeur de taxi acceptait de prendre part à l'étude, deux rendez-vous étaient proposés : le premier pour réaliser la consultation médicale d'inclusion (phase 1) et le deuxième, dans les jours qui suivaient, pour effectuer la journée des mesurages (phase 2). Ensuite, une convocation électronique pour la visite médicale d'inclusion à l'Hôpital Hôtel-Dieu était adressée au chauffeur par courriel avec une lettre d'invitation (Annexe 4), une brochure d'informations détaillée (Annexe 5), une fiche de précautions pour l'examen clinique (Annexe 7) et le plan du site (pour faciliter l'accès et stationner gratuitement à l'hôpital) (Annexe 8).

Lors de la consultation médicale d'inclusion, le consentement libre, éclairé et écrit du chauffeur de taxi, *a priori* éligible, était recueilli par le médecin investigateur. La note d'informations et une copie du formulaire de consentement (Annexe 9) daté et signé par le chauffeur de taxi et par le médecin, étaient remis à la personne préalablement à sa participation à la recherche. Le médecin investigateur conservait l'exemplaire original du formulaire du recueil du consentement de la personne daté et signé. Des rappels des rendez-vous ont été programmés par courriel - une semaine avant la date convenue et par message texte sur téléphone - un jour avant.

Parmi les 77 chauffeurs de taxi sollicités, 56 étaient éligibles et ont accepté de participer au projet mais 6 n'ont pas donné suite. Au final, le projet PUF-TAXI porte sur 50 chauffeurs de taxi franciliens.

### **I.3. Volet épidémiologique : évaluation de l'état de santé des chauffeurs de taxi**

Le volet épidémiologique du projet PUF-TAXI a évalué l'état de santé des chauffeurs de taxi en deux temps. Le premier consistait à examiner l'état de santé de référence des participants (plus particulièrement sur le plan respiratoire et allergique) lors de la visite médicale « à l'inclusion ». Le deuxième reposait sur la détermination des changements de la fonction respiratoire et de l'occurrence d'irritation des muqueuses au cours de la journée de travail, « le jour des mesurages ».

#### **I.3.1. A l'inclusion**

Les visites médicales d'inclusion ont été réalisées, du vendredi 1 février au mardi 3 décembre 2019, au Service de pathologies professionnelles et environnementales à l'Hôtel-Dieu de Paris (1, Place du Parvis Notre-Dame, 75004 Paris).

La mise en œuvre du bilan médical était accomplie par deux médecins investigateurs (Drs. Lynda Bensefa-Colas (Chef d'unité) et Maxime Loizeau (chef de clinique et assistant), selon un protocole standardisé. La visite médicale se déroulait soit le mardi (14h00 – 16h00), soit le vendredi (9h30 – 11h30). Elle comportait un examen clinique avec questionnaire médical standardisé (Annexe 10), une mesure de FeNO, des EFR et des TCA.

Si au cours de la visite médicale d'inclusion, le médecin a diagnostiqué une pathologie nécessitant une prise en charge, le participant a été dirigé vers son médecin généraliste.

### I.3.1.1. Examen clinique et questionnaire médical standardisé

Lors de l'examen clinique, les paramètres anthropométriques (poids et taille) et la pression artérielle sont mesurés par le médecin « enquêteur » et le questionnaire médical standardisé (Annexe 10) est rempli électroniquement par ce dernier via une enquête face-à-face. Ce questionnaire a été élaboré à partir de l'European Community Respiratory Health Survey II questionnaire (ECRHS II), du questionnaire de l'étude Epidémiologique des facteurs Génétiques et Environnementaux de l'Asthme, l'hyperréactivité bronchique et l'atopie (EGEA) et a été complété avec d'autres questions pour les besoins spécifiques de l'étude. Ce questionnaire a recueilli les informations relatives aux maladies/symptômes chroniques et actifs au cours des 12 derniers mois et à leurs liens avec l'activité professionnelle. Il a permis aussi de repérer le style de vie des chauffeurs de taxi.

Les différentes réponses aux questions a permis de définir les variables d'intérêt afférentes aux manifestations respiratoires et allergiques qui sont les suivantes (Annexe 10) :

- **la toux chronique** a été déterminée pour les chauffeurs de taxi qui toussaient chaque jour pendant au moins 3 mois consécutifs ;
- **l'expectoration chronique** a été identifiée par des crachats récurrents pendant au moins 3 mois consécutifs ;
- **la toux sèche** tout au long de la vie et pendant les 12 derniers mois ;
- **la gêne respiratoire** pendant les 12 derniers mois ;
- **les sifflements dans la poitrine** pendant les 12 derniers mois ;
- **les irritations du nez** tout au long de la vie et pendant les 12 derniers mois ;
- **les irritations des yeux** tout au long de la vie et pendant les 12 derniers mois ;
- **les irritations de la gorge** tout au long de la vie et pendant les 12 derniers mois.

Les différentes réponses aux questions a permis de définir les variables d'intérêt afférentes aux diagnostics médicaux qui sont :

- **l'asthme vie entière** a été défini lorsque le diagnostic a été confirmé par un médecin ;
- **l'asthme actif** a été apprécié chez les participants ayant rapporté un asthme vie entière. Il est considéré actif pour les chauffeurs de taxi asthmatiques sous traitement ou présentant au moins un des symptômes évocateurs d'asthme (crise(s) d'asthme, sifflement dans la poitrine, gêne respiratoire, crise d'essoufflement) au cours des 12 derniers mois ;
- **la bronchite chronique** a été définie par une toux productive durant au moins 3 mois de suite par an et au cours d'au moins 2 années consécutives ou lorsque le diagnostic a été confirmé par un médecin ;
- **la bronchopneumopathie chronique obstructive** a été relevée chez les chauffeurs de taxi ayant une bronchite chronique et si le diagnostic de BPCO était confirmé par un médecin ;
- **l'emphysème** a été défini lorsque le diagnostic a été confirmé par un médecin ;
- **la rhinite allergique** a été documentée par les questions suivantes : « *Avez-vous déjà eu des éternuements ou le nez qui coule ou le nez bouché alors que vous n'étiez pas enrhumé et que vous n'aviez pas la grippe ?* » et « *Avez-vous déjà eu un rhume des foins ou une*

*allergie aux pollens ? » ou « Avez-vous déjà eu une autre forme de rhume allergique (aux poussières, aux acariens, aux animaux...) ? » ;*

- **la rhinite allergique active** a été notée pour les chauffeurs de taxi ayant une rhinite allergique symptomatique et sous traitement durant les 12 derniers mois (« *Durant les 12 derniers mois, avez-vous déjà eu des éternuements, nez qui coule ou nez bouché quand vous n'étiez pas enrhumé et que vous n'aviez pas la grippe ? »* ; « *Avez-vous eu un traitement pour soigner ces rhumes allergiques, dans les 12 derniers mois ? »* ) ;
- **l'eczéma vie entière** a été apprécié chez les participants ayant rapporté avoir eu un eczéma durant la vie ;
- **l'eczéma actif** (« *Avez-vous déjà eu de l'eczéma ? »* ; « *Avez-vous eu de l'eczéma dans les 12 derniers mois ? »* ) ;
- **l'atopie** a été considérée chez les chauffeurs de taxi ayant eu un prick test positif pour au moins un pneumallergène lors de la visite médicale (détaillée par la suite).

Par ailleurs, les antécédents d'autres maladies chroniques sont aussi recueillis à l'interrogatoire comme l'hypertension artérielle, le diabète et le reflux gastro-œsophagien (RGO).

Les variables sanitaires relatives aux **symptômes en rapport avec l'activité professionnelle** des chauffeurs de taxi ont été déterminées. Deux niveaux de liaisons, permettant éventuellement de suspecter une étiologie professionnelle, ont été attribuées aux symptômes en explorant leur rythmicité avec l'activité professionnelle :

- liaison 1 « faible » pour les manifestations respiratoires/allergiques survenant au moment du travail ;
- liaison 2 « forte » pour les manifestations respiratoires/allergiques survenant au moment du travail et s'améliorant durant les congés courts (< 3 jours) et prolongés (vacances).

Par la suite, les chauffeurs de taxi ont été interrogés sur :

- leur statut tabagique : « fumeur » (fumeur actuel ou ayant arrêté depuis moins de 12 mois) ; « ex-fumeur » (ayant arrêté depuis plus de 12 mois) et « non-fumeur » (n'ayant jamais fumé) ;
- leurs cursus professionnels : ancienneté professionnelle dans la profession et la(les) raison(s) d'arrêt d'emploi(s) ;
- les modalités de chauffage à domicile et de cuisson des aliments : gaz, fioul, bois, électricité ou autre ;
- la présence d'animaux domestiques.

### **I.3.1.2. Fraction expirée du monoxyde d'azote (FeNO)**

À la suite de l'entretien, une mesure de FeNO a été réalisée pour chaque participant. Préalablement à la visite médicale, il a été demandé au chauffeur d'arrêter de fumer (et d'interrompre les antiasthmatiques) (fiche de précautions, Annexe 7). Si ces conditions étaient remplies au moins une heure avant l'examen, le médecin effectuait alors le test par l'appareil NIOX VERO® (Circassia AB, Uppsala, Suède). C'est un analyseur par chimiluminescence qui mesure des fractions du NO dans l'air expiré allant de 5 à 300 ppb (*part per billion* ou partie par milliard) par

la méthode directe « On-line ». Le chauffeur inspirait profondément par un embout buccal, ensuite effectuait une expiration lente d'au moins dix secondes, à débit constant (50 mL/s). Les seuils recommandés par l'ATS pour les adultes ont été utilisés pour interpréter les résultats (130).

### I.3.1.3. Tests cutanés allergologiques (TCA)

Des TCA à lecture immédiate ont été ensuite effectués par la technique du prick-test afin de diagnostiquer une sensibilisation allergénique. Une douzaine des pneumallergènes les plus fréquents [pollens (armoise, ambroisie, phléole, mélange de 5 graminées, cupressacées, bouleau et olivier) ; acariens (*Dermatophagoides pteronyssinus*, *Dermatophagoides farinea*) ; animaux domestiques (chat, chien) ; blattes (*B. germanica*) et moisissures (*Alternaria*, *Aspergillus*)] ont été testés ainsi que les témoins, positif (histamine) et négatif (sérum physiologique).

Après avoir nettoyé la peau saine avec de l'alcool, le médecin déposait d'abord, sur la partie antérieure des avant-bras, une goutte des témoins et des extraits allergéniques sur des zones préalablement marquées (espacées de 4 cm). Ensuite, le test consiste en une effraction épidermique à l'aide d'une lancette à travers chaque goutte pour permettre à chaque allergène de traverser l'épiderme. La lecture du test était faite après 15 minutes, et a été considéré positif si le diamètre de la papule formée était supérieur ou égal à 3 mm et au moins égal à la moitié de la papule du témoin positif (131, 132).

### I.3.1.4. Explorations fonctionnelles respiratoires (EFR)

La visite médicale s'est terminée par une EFR complétée par un test de réversibilité. Cette mesure spirométrique a été effectuée, d'une façon standardisée, pour chaque chauffeur de taxi par le médecin investigateur formé au préalable à la réalisation de la spirométrie dans le Service d'exploration fonctionnelle de l'Hôpital Cochin (Paris). Ce dernier vérifiait le respect des précautions, communiquées au participant une semaine avant la visite (ne pas venir à jeun ; ne pas fumer dans les 3 heures précédant l'examen ; arrêt des antiasthmatiques inhalés 6 heures avant l'examen), et l'absence des contre-indications (intervention chirurgicale cardiopulmonaire/oculaire dans le dernier mois ; angine ; hypertension artérielle ; douleur thoracique ou abdominale) avant l'exécution du test (133). Les EFR ont été réalisées par l'appareil SpiroUSB (CareFusion, Lyon, France) selon les recommandations de l'ATS et de l'ERS (56) afin de rechercher une altération de la fonction respiratoire. Les paramètres mesurés (Figure 24) et qui ont été retenus pour l'étude sont : la CVF, le VEMS, le rapport VEMS/CVF, le débit expiratoire médian ( $DEM_{25-75}$ ) et le débit expiratoire de pointe (DEP), avant et après inhalation du bronchodilatateur.

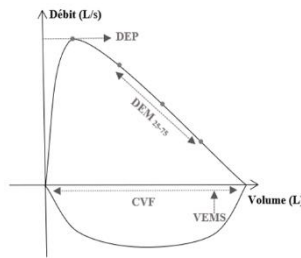


Figure 24. Courbe débit-volume théorique.

Après avoir expliqué au chauffeur le test et vérifié sa bonne position (position assise avec un pince-nez), il lui a été demandé d'abord d'effectuer successivement : (1) une inspiration maximale ; (2) une expiration rapide, puissante et longue (au minimum 6 secondes) et (3) une inspiration profonde. Le test spirométrique est ensuite répété 15 minutes après l'inhalation de 4 doses séparées de 100 µg de salbutamol (bronchodilatateur, agoniste bêta-adrénergique à courte durée d'action) administré avec un inhalateur. Le participant devait retenir son inspiration pendant 10 secondes avant d'expirer. Ce test de réversibilité était considéré comme positif si un gain  $\geq 200$  mL (12%) du VEMS était enregistré par rapport à la valeur du VEMS avant la prise du bronchodilatateur. Au moins trois manœuvres expiratoires, avec des courbes débit/volume acceptables, étaient effectuées pour chaque participant (au maximum 8 manœuvres). Les paramètres respiratoires de la meilleure des 3 courbes ont été retenus. Les résultats sont rapportés à des valeurs théoriques en fonction du sexe, de l'âge, de la taille et de l'origine ethnique de la personne et sont exprimés en pourcentage de la valeur attendue.

A l'issue de la visite médicale, le médecin enquêteur a communiqué aux participants les résultats de la totalité du bilan de santé.

### **I.3.2. Le jour des mesurages**

À quelques jours de la consultation médicale, le chauffeur de taxi se présentait devant la Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris (4, Avenue de l'Observatoire, 75006 Paris) selon le rendez-vous fixé, au début et à la fin de sa journée de travail pour effectuer « son jour de mesurages », réaliser la spirométrie et autoévaluer l'occurrence et l'intensité des manifestations respiratoires et allergiques (Figure 23).

#### **I.3.2.1. Spirométrie**

La fonction pulmonaire du chauffeur de taxi a été mesurée à deux reprises, en début et en fin de journée de travail par le doctorant « enquêteur », formé au Service de Physiologie - Explorations Fonctionnelles (AP-HP, Hôpital Cochin) antérieurement à la réalisation de la spirométrie.

Après avoir contrôlé le respect des précautions et l'absence de contre-indications à la pratique du test, une démonstration technique de la manœuvre a été faite au participant conformément aux recommandations communes de l'ATS et de l'ERS (58). Ensuite, le test était réalisé dans le véhicule taxi, sans test de réversibilité. Il a été demandé au participant de reproduire 3 à 8 fois les manœuvres, de façon à obtenir 3 courbes correctes. Le choix de la meilleure courbe reposait sur les critères d'acceptabilité intra et inter-manœuvres (56). La qualité du test était appréciée par une échelle basée sur les recommandations de l'ATS/ERS (134), en attribuant séparément pour la CVF et le VEMS une classe allant de A à F (Tableau XIII).

**Tableau XIII.** Les catégories de qualité de la CVF et du VEMS chez les adultes (d'après Culver *et al.* 2017)

| Classement | Critères de sélection pour les adultes                 |
|------------|--|
| <b>A</b>   | ≥ 3 tests acceptables avec une répétabilité de 0,150 L |
| <b>B</b>   | ≥ 2 tests acceptables avec une répétabilité de 0,150 L |
| <b>C</b>   | ≥ 2 tests acceptables avec une répétabilité de 0,200 L |
| <b>D</b>   | ≥ 2 tests acceptables avec une répétabilité de 0,250 L |
| <b>E</b>   | Un seul test acceptable                                |
| <b>F</b>   | Aucun test acceptable                                  |

CVF : capacité vitale forcée ; VEMS : volume expiratoire maximal par seconde

La mesure de la fonction respiratoire a été accomplie à l'aide du **Spirobank II® Basic** (MIR - Medical International Research, Lamirau Technologie, Langlade, France) (Figure 25). C'est un appareil portatif (16 x 5,5 x 2,5 cm ; poids 140 g) qui permet l'enregistrement, sur le principe à interruption d'infrarouge, de neuf paramètres dont le VEMS, la CVF, le rapport VEMS/CVF, le DEP et le DEM<sub>25-75</sub> avec une précision du volume (± 3%) et du débit (± 5%).



**Figure 25.** Spirobank II® Basic (photo d'après le fabricant).

La spirométrie était complétée par une mesure du CO dans l'air expiré au début ainsi qu'en fin de poste, comme indicateur du statut fumeur, par **Smokerlyser® micro+™** (bedfont, Respur International, Vauréal, France) (Figure 26). C'est un analyseur portatif de petite taille (200 g ; 14 x 7,5 x 3,4 cm), avec port USB. L'appareil mesure et affiche le niveau de CO (0 - 500ppm) par des capteurs électrochimiques. Les résultats étaient obtenus en moins de 20 secondes. Le participant inspirait et retenait sa respiration pendant 15 secondes, ensuite il soufflait lentement pour vider complètement ses poumons dans l'embout buccal de l'appareil.



**Figure 26.** Smokerlyser® micro+™ (photo d'après le fabricant).

### **I.3.2.2. Recueil des données sanitaires**

Les informations concernant les différents symptômes respiratoires/allergiques et leur intensité (échelle de gradation allant de 1 - intensité faible à 10 - intensité élevée) ont été recueillies au début de la journée de travail, par l'enquêteur *via* la fiche de vérification (Annexe 11), et durant la journée de travail, par le participant à travers le questionnaire « relevé des symptômes » (Annexe 12). Les manifestations documentées étaient celles ressenties en dehors de toute infection respiratoire : toux sèche ; crachats ; sifflements dans la poitrine ; gêne respiratoire ; problème de nez (éternuements, nez bouché, qui coule, qui démange) ; problème des yeux (rougeur oculaire, écoulement, grattage) et problème de gorge (enrouement, démangeaisons, irritations).

Par ailleurs, les informations relatives à la gêne liée à la pollution de l'air (fumée/poussière ; odeurs de l'essence/des gaz d'échappement) ressentie en général et plus particulièrement, durant la journée des mesurages, étaient aussi relevées (Annexe 12).

## **I.4. Volet expologique : évaluation de l'exposition des chauffeurs de taxi franciliens aux polluants issus du transport routier dans les habitacles de leurs véhicules**

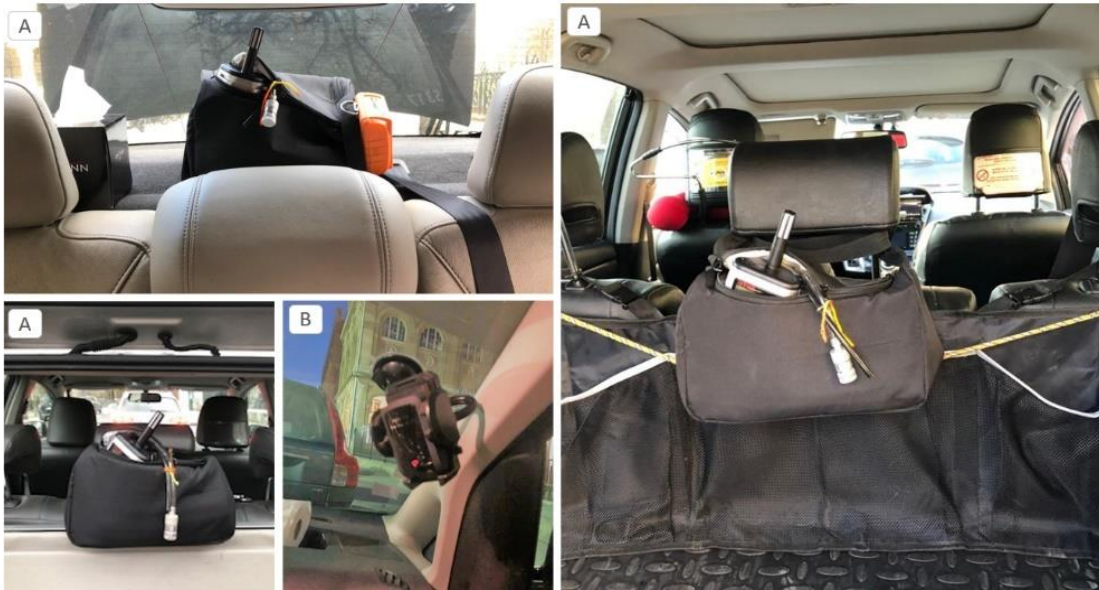
Le volet expologique reposait sur des mesurages environnementaux réalisés à l'aide d'appareils portatifs et sur des questionnaires auto-administrés.

Conjointement aux mesures sanitaires effectuées le « jour des mesurages », il a été confié en début de poste au chauffeur de taxi à la Faculté de Pharmacie, des appareils portatifs de mesure de l'exposition aux polluants particuliers (PUF, BC) et gazeux (CO, NO<sub>2</sub>) et aux paramètres d'ambiance [CO<sub>2</sub>, température (°C), humidité relative (%)] ainsi qu'un GPS (*Global Positioning System*) pour la collecte des informations spatio-temporelles liées à l'exposition. L'ensemble des appareils de mesure était installé dans une mallette (dimensions : 17 x 20 x 30 cm) (Figure 27) déposée sur la plage arrière de l'automobile et le GPS était fixé sur la vitre avant du véhicule, à l'aide d'un support ventouse (Figure 28). De plus, il a été administré au chauffeur un questionnaire « emploi du temps – espace – activités » (Annexe 13) couvrant la durée des mesurages et un questionnaire « conducteur – véhicule » (Annexe 14) portant sur les caractéristiques de l'automobile taxi. Le participant a reçu toutes les instructions à suivre tout au long du « jour des mesurages ». À l'issue de la journée de travail, la mallette et les questionnaires dûment complétés étaient récupérés à la Faculté de Pharmacie. Dans les deux mois qui ont suivi le « jour des mesurages », tous les résultats des enregistrements réalisés dans l'habitacle du véhicule ont été communiqués aux participants par courriel.





**Figure 27.** Photo de la mallette ouverte contenant les quatre dispositifs de mesure du projet PUF-TAXI.



**Figure 28.** Photos de l'installation du kit de mesurage dans l'habitacle du véhicule taxi du projet PUF-TAXI (photos prises par l'enquêteur à la Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris après l'obtention de l'accord des participants impliqués).

**A :** mallette installée sur la plage arrière du véhicule.

**B :** GPS fixé sur la vitre avant du véhicule.

## I.4.1. Mesurage de l'exposition

### I.4.1.1. Mesurage de l'exposition aux particules ultrafines (PUF)

Les PUF ont été mesurées par l'appareil DiSCmini® (Diffusion Size Classifier Miniature, *Matter Aerosol*, Wohlen, Switzerland). Celui-ci pèse moins de 700 g, mesure 18 x 9 x 4 cm, dispose d'une autonomie de 8h environ. Il se fonde sur un prélèvement actif et donne simultanément le nombre des particules (pt) par centimètre cube d'air aspiré ( $\text{cm}^3$ ) allant de  $10^3$  à  $10^6$  pt/ $\text{cm}^3$ , le diamètre moyen (modal) des particules (allant de 20 à 300 nanomètres (nm)) et la surface active alvéolaire des particules déposées dans les poumons [« *lung-deposited surface area* » - LDSA ( $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ )] (Figure 29). Ce dernier paramètre est estimé à partir de la concentration et de la taille des particules selon le modèle développé par l'*International Commission on Radiological Protection* (IRCP). Le DiSCmini® a fait l'objet d'études comparatives par rapport aux appareils de référence stationnaires et montre une sensibilité comparable, mais une précision moins bonne qui, d'après les auteurs, est largement compensée par son caractère portatif autorisant un mesurage au plus près de l'individu (135). La méthode de détection repose sur la mesure du courant électrique généré par les particules chargées positivement au cours de leur passage dans le chargeur unipolaire. Une fois chargées, elles vont pénétrer dans un piège ionique, le taux de pénétration dépendant de la taille des particules. Les plus petites particules sont arrêtées par les grilles de diffusion et celles plus grandes (>200 nm) sont ensuite collectées sur un filtre à haute efficacité (*High Efficiency Particulate Air* - HEPA). Le nombre de particules se déduit du courant total, du diamètre des particules et du flux électrique. Le DiSCmini® enregistre les trois paramètres en continu toutes les secondes ; la moyenne par minute est ensuite calculée et sauvegardée (136).



Figure 29. DiSCmini® (photo d'après le fabricant).

#### I.4.1.2. Mesurage de l'exposition au carbone suie (BC, *black carbon*)

L'appareil utilisé est un éthalomètre - microAeth® Modèle AE51 (AethLabs, San Francisco, Californie, USA) qui pèse 250g et mesure 11,7 x 6,6 x 3,8 cm. Il analyse la concentration en BC par la méthode classique d'absorption d'un rayonnement infrarouge (*attenuation of light-ATN*) (Figure 30). Les particules sont filtrées sur un média filtrant en quartz (filtre téflon) protégé dans un étui. Un photodétecteur mesure la quantité de lumière transmise (l'absorbance) ; plus des particules se déposent sur le filtre et plus la transmission de la lumière diminue. L'échantillonnage des particules et leur analyse se font en temps réel. Selon les besoins de ce projet, l'option d'une mesure par minute a été retenue. L'appareil présente une autonomie d'environ 24h et la précision de la mesure est de +/- 0,1 µg BC/m<sup>3</sup>, à 150 mL/min dans une gamme entre 0 et 1 mg BC/m<sup>3</sup> (137). MicroAeth® calcule la concentration moyenne de BC par :

$$BC_i = \frac{A_s}{Q \cdot E_{atn}} \times \frac{\Delta ATN_i}{\Delta t_i}$$

$A_s$  : surface de déposition particulaire (L<sup>2</sup>) ;  $Q$  : débit volumétrique de l'échantillon (L<sup>3</sup>/t) ;  $E_{atn}$  : la masse effective d'absorption des particules déposées sur la matrice de filtration (L<sup>2</sup>/M) ;  $\Delta ATN_i$  : changement de l'absorption lumineuse durant un intervalle  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$  (138).



Figure 30. MicroAeth® Modèle AE51 (photo d'après le fabricant).

#### I.4.1.3. Mesurage de l'exposition au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et au monoxyde de carbone (CO)

Le NO<sub>2</sub> et le CO ont été mesurés par **Gas-Pro® Crowcon** (Crowcon Detection Instruments Ltd, Rotterdam, Pays-Bas) (Figure 31). C'est un détecteur multi-gaz (4,3 x 13 x 8,4 cm ; 310 g) équipé de deux capteurs électrochimiques permettant de quantifier en temps réel les concentrations du NO<sub>2</sub> allant de 0 à 20 ppm et du CO allant de 0 à 500 ppm. Il fonctionne sur une durée de 14 heures en conditions atmosphériques normales de température entre -20°C et + 55°C à une pression de 80 kPa à 110 kPa (139).



**Figure 31.** Gas-Pro® Crowcon (photo d'après le fabricant).

#### **I.4.1.4. Mesurage de l'exposition aux paramètres d'ambiance**

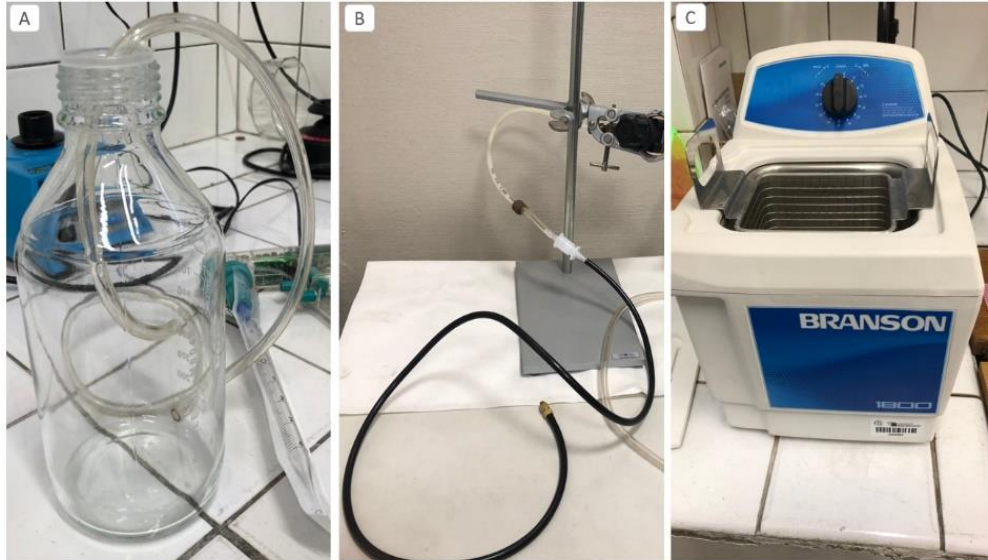
**Rotronic® CP11** (Rotronic, Croissy Beaubourg, France) a permis de mesurer simultanément la température [de -20°C à + 60°C], l'humidité [de 0 à 100%] et le niveau de CO<sub>2</sub> (ppm) [de 0 à 5000 ppm]. Il pèse 200 g (23,4 x 7,7 x 4,2 cm) (Figure 32) ; le principe de mesure repose sur une technologie infrarouge non dispersive (140).



**Figure 32.** Rotronic® CP11 (photo d'après le fabricant).

#### **I.4.1.5. Entretien des dispositifs de mesure**

Tous les instruments ont été programmés pour un enregistrement minute par minute. L'entretien des appareils a été établi conformément aux recommandations des fournisseurs. Après chaque mesure effectuée, les tubes d'aspiration du DiSCmini® et du microAeth® ont été rincés avec de l'eau osmosée et séchés à l'aide d'un compresseur d'air (Figure 33). L'impacteur du DiSCmini® a été nettoyé dans un bain à ultrasons (Branson Model 1800, Fisher Scientific Co.L.L.C., Pittsburgh, PA, USA) pendant une heure (Figure 33). Le filtre téflon du microAeth® a été changé après chaque utilisation. Pour garantir la précision des mesures, DiSCmini® et microAeth® ont été envoyés à l'étalonnage chaque année et Gas-Pro®, chaque 6 mois.



**Figure 33.** Photos prises de la maintenance des accessoires des dispositifs de mesure du projet PUF-TAXI (photos prises au laboratoire de toxicologie environnementale à la Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris).

**A :** Entretien des tuyaux du DiSCmini® et du MicroAeth® AE51 - rinçage avec de l'eau osmosée.

**B :** Entretien des tuyaux du DiSCmini® et du MicroAeth® AE51 - séchage par un compresseur d'air.

**C :** Entretien de l'impacteur du DiSCmini® - nettoyage par trempage dans de l'eau osmosée dans un bain à ultrasons

### I.4.2. Données recueillies

#### I.4.2.1. Caractéristiques du véhicule taxi et des habitudes professionnelles

L'auto-questionnaire « conducteur – véhicule » (Annexe 14) a été administré au début de la journée de travail. Il a permis d'obtenir des informations sur **(1) les caractéristiques d'exercice du métier** (le nombre d'heures de travail par jour, le nombre de jours de travail par semaine et les zone(s) de prise en charge les plus fréquentée(s)) et sur **(2) les caractéristiques du véhicule utilisé** par le chauffeur (marque et pays de fabrication de la voiture ; type de moteur (diesel/essence) ; année de mise en circulation ; capacité (nombre de chevaux) ; nombre de places ; type de filtres utilisés pour la climatisation/chauffage ; fréquence des contrôles techniques, des changements des filtres et du nettoyage de la moquette, etc...)

Afin de vérifier l'exactitude de ces données renseignées et de les compléter, les spécificités techniques du véhicule taxi ont été fournies par l'ADEME, à partir de la plaque d'immatriculation de l'automobile. Ainsi, les caractéristiques des voitures taxis retenues pour des fins d'analyse sont :

- **la marque ;**
- **l'année de la première immatriculation ;**
- **la norme euro** (Euro 5, Euro 6b, Euro 6c, Euro 6d-TEMP) ;
- **le carburant** (essence, gazole) ;
- **les types de motorisation** (moteur thermique, hybride, stop&start) ;
- **la puissance maximale** (nombre de chevaux) ;

- **la taille du moteur** (la cylindrée totale en  $\text{cm}^3$ ) ;
- **les types de carrosserie** (berline, monospace, Break, SUV, grand monospace).

### I.4.2.2. Caractéristiques des trajets et des pauses

Le questionnaire « emploi du temps – espace – activités » (Annexe 13) a été complété au fur-et-à-mesure par chaque participant durant le « jour des mesurages ». Ce questionnaire renseigne d'une façon détaillée sur l'emploi du temps du chauffeur de taxi et sur ses pratiques lors de chaque trajet/arrêt effectué: la durée (l'heure du début et de fin) ; l'endroit de départ et d'arrivée ; le nombre de client(s) par trajet ; la vitesse moyenne du déplacement ; l'arrêt du moteur pendant le stationnement ; l'endroit de stationnement ; l'ouverture de(s) fenêtre(s) ; l'utilisation de la climatisation ou du chauffage ; l'utilisation de la recirculation de l'air ; le tabagisme actif ou passif dans la voiture et l'usage d'aérosols désodorisants. Le nombre de kilomètres parcourus durant la journée de mesurage a été aussi recueilli.

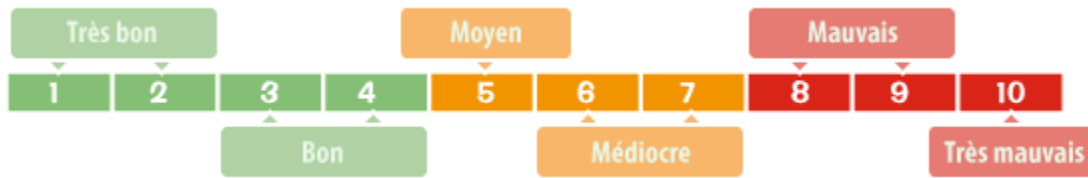
Par ailleurs, les données spatio-temporelles ont été obtenues au moyen du **GPS® BT-Q1000XT** (Qstarz International Co. Ltd, Taipei, Taiwan) (Figure 34) fixé dans le véhicule taxi au début de la journée de travail. Cet appareil est également de petite taille (7,2 x 4,7 x 2 cm ; 64,7 g) et présente une autonomie de 42h. Le Qstarz® BT-Q1000XT est adapté aux déplacements en véhicule ; il suit les trajets effectués en continu, à l'aide des données de latitude et de longitude. Les coordonnées GPS enregistrées minute par minute, y compris la vitesse, ont été importées à l'aide du logiciel Qstarz Data Viewer (version 1.37) permettant de réaliser la cartographie des trajets (141).



**Figure 34.** GPS® BT-Q1000XT (photo d'après le fabricant).

### I.4.2.3. Caractéristiques de l'air ambiant et des paramètres météorologiques

La qualité de l'air extérieur durant le « jour des mesurages » a été estimée par « l'indice Atmo » diffusé par le réseau de surveillance de qualité de l'air Airparif. Cet indice caractérise la qualité de l'air globale de l'agglomération parisienne avec une échelle de 0 (très bon) à 10 (très mauvais) (Figure 35). Il se déduit des niveaux de quatre polluants atmosphériques (la concentration moyenne journalière des  $\text{PM}_{10}$  et la concentration maximale horaire du jour du  $\text{NO}_2$ , de l' $\text{O}_3$  et du  $\text{SO}_2$ ) mesurés par des stations de fond du réseau de surveillance Airparif. Un sous-indice est attribué à chaque polluant et l'indice Atmo journalier correspond au sous-indice maximal.



**Figure 35.** Échelle qualitative de l'indice Atmo de la qualité générale de l'air de l'agglomération de Paris (photo d'après le site internet Airparif ; <http://www.airparif.asso.fr>).

Les données climatologiques (température en °C, humidité relative % et vitesse du vent en km/h) ont été obtenues à partir des enregistrements de la station météorologique Montsouris (Paris 14ème) auprès des services de Meteociel (<http://www.meteociel.fr>).

## I.5. Gestion des données

Les informations recueillies ont été rendues non identifiantes par l'attribution à chaque participant, d'un numéro d'anonymat composé du code du centre (hôpital Hôtel-Dieu – 001) suivi d'un numéro indiquant l'ordre de l'inclusion et les initiales du chauffeur. Toutes les données obtenues, qu'il s'agisse de données cliniques, des questionnaires ou des mesures environnementales et sanitaires ont été reportées au fur et à mesure sur un cahier d'observation électronique (eCFR – *electronic Case Report Form*) dans l'hébergeur de données de santé CleanWeb®. C'est une plate-forme en ligne qui rend la saisie des données facile et qui garantit un stockage confidentiel et hautement sécurisé tout en optimisant la qualité des données recueillies. Les informations sont ensuite exportées au format Excel®.

Les données relatives aux mesurages des polluants ont été téléchargées sur l'ordinateur *via* une carte-mémoire pour le DiSCmini® et un câble-USB pour le microAeth®, le Gas-Pro®, le Rotronic® CP11 et le GPS® BT-Q1000XT. Dans un premier temps, les enregistrements étaient récupérés *via* le logiciel spécifique à chaque dispositif, puis ils ont été convertis en fichier Excel® pour un nettoyage minutieux. Dans un deuxième temps, les enregistrements ont été vérifiés point par point pour identifier les données suspectes et les codes d'erreurs. Les niveaux étranges mesurés par Gas-Pro® et Rotronic® CP11 et ceux avec des codes d'erreurs bloquants enregistrés par DiSCmini® ont été traités en tant que données manquantes. Les concentrations négatives du BC (résultantes des échantillonnages effectués à faible concentration et/ou à haute résolution temporelle) étaient corrigées par l'algorithme de réduction de bruit (Optimized Noise-reduction Averaging - ONA), qui permet de lisser les données de BC durant les périodes où l'absorption lumineuse ( $\Delta ATN_i$ ) est relativement faible. Après la correction des données, les niveaux mesurés minute par minute sont moyennés sur la durée totale de la journée de mesure et sur la durée de chaque trajet. Ainsi, il a été calculé pour chaque participant un niveau moyen d'exposition durant une journée de travail et un niveau moyen pour chaque trajet effectué.

De ce fait, deux types de format de données ont été créés : d'une part, le format large « *wide* » dans lequel une ligne représente un participant, pour un total de 50. D'autre part, le format long « *long* » dans lequel une ligne représente un trajet pour un total de 499. Autrement dit, sous le format long,

il y a deux colonnes : l'identifiant du participant et l'identifiant du trajet, de sorte que chaque ligne représente une combinaison unique participant-trajet. De telle manière, ce format expose les mesures répétées effectuées pour chaque trajet de chaque participant, utilisé pour des fins d'analyses multivariées appliquées aux investigations environnementales. En effet, le format « long » de la base de données a offert plusieurs avantages : (1) augmenter la puissance statistique en analysant un plus grand échantillon (les niveaux des polluants de 499 trajets ont été examinés au lieu des niveaux journaliers de 50 participants) et (2) pouvoir étudier la variabilité des niveaux des polluants des trajets inter- et intra-participants.

## II. Étude exploratoire d'expologie au Liban

Dans le cadre de la cotutelle de thèse entre l'Université de Paris et l'Université Libanaise, et grâce à l'entraide entre leurs équipes de recherche (HERA et CERIPH), une étude pilote d'expologie a été mise en place au Liban offrant l'opportunité d'explorer les niveaux de polluants dans un contexte considérablement différent du terrain français d'un point de vue géographique, climatique et socioéconomique.

### II.1. Organisation de l'étude

#### II.1.1. Déroulement

À l'instar du volet expologique du projet PUF-TAXI à Paris, le protocole de recherche a été élaboré compte tenu du terrain libanais. L'étude exploratoire transversale a été menée, entre le 10 Mai et le 31 Août 2019, chez un échantillon de 20 chauffeurs de taxi libanais afin de documenter leur exposition aux PUF et au BC, à l'intérieur de l'habitacle de leur véhicule pendant une demi-journée : le matin (7h30 – 13h50) ou l'après-midi (11h55 – 18h55). La figure 36 illustre la planification de l'étude.

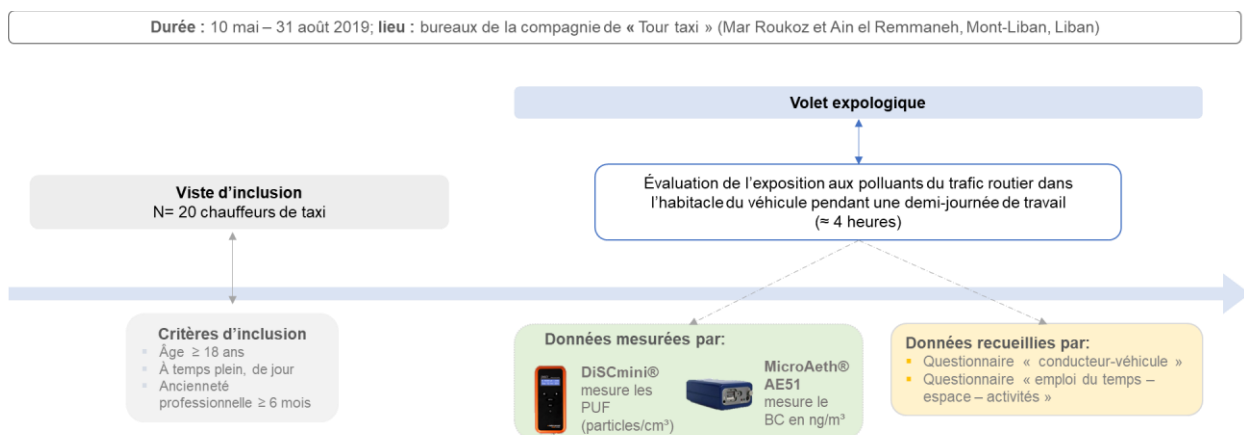


Figure 36. Déroulement de l'étude exploratoire d'expologie au Liban.



Ma participation à l'étude exploratoire libanaise a consisté à préparer le protocole et le kit de communication en langue arabe pour le processus de recrutement, à assurer la coordination avec le pharmacien « enquêteur » pour mener à bien l'inclusion, à organiser le transport des dispositifs de mesurage de France au Liban (négociations avec la Chambre de Commerce et d'Industrie de la région Paris Île-de-France (CCI), à réaliser les investigations environnementales, à gérer la base de données (recueil/saisie/nettoyage) et à en faire l'analyse statistique.

### **II.1.2. Considérations légales et éthiques**

Cette recherche exploratoire a reçu l'avis favorable du comité d'éthique de l'Université Internationale Libanaise (N°2018RC-023-LIUSOP) le 13 mars 2019 pour l'application de l'ensemble du protocole sur le terrain libanais.

## **II.2. Population d'étude**

S'agissant d'une étude exploratoire et dans un souci de faisabilité, il a été décidé de recruter une vingtaine de participants. Après sollicitation de sept agences de taxi au Liban, une seule association « Tour taxi » a accepté de participer au projet. Fondée depuis 1967, cette compagnie présente deux sièges principaux, l'un à Mar Roukoz et l'autre à Ain el Remmaneh, implantés dans le gouvernorat du Mont-Liban. Son principe de fonctionnement se traduit par l'attente des chauffeurs de taxi salariés dans les bureaux, en d'autres termes ces professionnels ne font pas la maraude et à la demande des clients, les courses étaient attribuées à tour de rôle aux chauffeurs.

### **II.2.1. Critères d'éligibilités**

Pour être éligible, le chauffeur de taxi devait être âgé de plus de 18 ans, exercer le jour à temps complet et avoir au moins 6 mois d'ancienneté professionnelle. Au total, parmi les 33 chauffeurs salariés de « Tour taxi », 20 ont été inclus dans l'étude exploratoire.

### **II.2.2. Modalités de recrutement et d'inclusion**

Après l'exposition du projet aux chauffeurs, à l'aide d'une brochure d'informations vulgarisée en langue arabe (Annexe 15), un entretien était organisé par un pharmacien « enquêteur » avec ceux intéressés à prendre part à l'étude. Cette entrevue était conçue pour vérifier l'éligibilité, obtenir le consentement écrit et recueillir des informations relatives à l'état de santé général du chauffeur *via* le questionnaire « médical standardisé », issu du questionnaire français adapté aux contraintes du terrain libanais et traduit en langue arabe (âge, paramètres anthropométriques, antécédents médicaux plus particulièrement les maladies respiratoires et allergiques, etc...) (Annexe 16).

### **II.3. Évaluation de l'exposition des chauffeurs de taxi libanais aux particules ultrafines et au carbone suie**

L'évaluation de l'exposition des chauffeurs de taxi libanais aux PUF et au BC dans l'habitacle de leur véhicule s'est déroulée du 15 juin au 31 août 2019. Chaque chauffeur inclus a bénéficié d'une demi-journée de mesurage, soit le matin, soit l'après-midi. Cette durée de mesurage était imposée pour permettre la bonne maintenance des instruments. Les jours de mesure ont été choisis en alternance, autrement dit la première semaine comportait deux jours de mesurages, le matin et trois jours, l'après-midi ; en revanche, la semaine qui suivait, trois jours l'après-midi et deux jours le matin, et ainsi de suite.

L'organisation à l'avance d'un rendez-vous pour réaliser les mesurages n'étant pas faisable, l'enquêteur se présentait dans l'un des bureaux de la compagnie et installait la mallette contenant le dispositif de mesure (le DiSCmini® pour quantifier les PUF et le microAeth® pour mesurer le BC) sur la plage arrière du véhicule taxi du chauffeur disponible, *a priori* inclus. A la fin de l'horaire prévu de mesurage, l'enquêteur reprenait les appareils pour leur maintenance.

Toutes les informations relatives aux dispositifs de mesurage ont été décrites dans la première partie de ce chapitre. Le mesurage de l'exposition dans les véhicules taxis ainsi que l'entretien des appareils de mesure ont été réalisés par mes soins comme en France, selon les mêmes modalités, hormis quelques aménagements. Du fait que l'étude était conduite durant la période estivale, sur les conseils du fournisseur, deux poches de glace ont été ajoutées à la mallette pour éviter une surchauffe des appareils, ainsi l'invalidation des mesures. Faute de disponibilité du compresseur d'air pour sécher les tuyaux des appareils, ces derniers ont été placés dans une étuve à 37°C pour 24 heures pour s'assurer qu'ils étaient bien secs avant l'utilisation.

### **II.4. Données recueillies**

Pour garantir la complétude des données recueillies, l'enquêteur restait dans le bureau de la compagnie tout au long du temps de mesurage pour tirer profit du temps inoccupé des chauffeurs afin de compléter les questionnaires « conducteur-véhicule » (Annexe 17) et « emploi du temps – espace – activités » (Annexe 18) du projet PUF-TAXI, qui ont été traduits en arabe, avec de légers amendements en fonction du terrain libanais.

#### **II.4.1. Caractéristiques du véhicule taxi et des habitudes professionnelles**

Par le questionnaire « conducteur-véhicule » (Annexe 17), les chauffeurs de taxi ont été interrogés sur :

- leur situation professionnelle (ancienneté, période d'arrêt de travail et la ou (les) raison(s)) ;
- le nombre d'heures de travail par jour ;
- le nombre de jours de travail par semaine ;
- les zone(s) de prise en charge les plus fréquentée(s).

En outre, les caractéristiques du véhicule sont aussi relevées :

- marque et pays de fabrication de la voiture ;
- type de moteur (diesel/essence) ;
- année de mise en circulation/année de l'achat de l'automobile ;
- capacité du moteur (nombre de chevaux) ;
- nombre de places ;
- climatisation/chauffage et types de filtres utilisés ;
- fréquence des contrôles techniques, des changements des filtres et du nettoyage de la moquette, etc....

### **II.4.2. Caractéristiques des trajets et des pauses**

L'enquêteur notait bien l'heure à laquelle le mesurage a débuté avec le kilométrage total du véhicule en début du jour de mesure, comme à la fin. Les données relatives aux trajets ont été renseignées par le chauffeur au fur et à mesure des courses :

- la durée : l'heure du début et de la fin de chaque trajet ;
- le lieu de destination du trajet (Beirut, Matn, Babbda, Jbeil, Keserwan) ;
- le nombre de clients par trajet ;
- la situation du trafic (fluide, dense, bloqué) ;
- la vitesse moyenne des déplacements ;
- l'ouverture de(s) fenêtre(s) ;
- l'utilisation de la climatisation ou du chauffage ;
- l'utilisation de la recirculation de l'air ;
- le tabagisme actif ou passif dans la voiture ;
- l'usage d'aérosols désodorisants.

Quasiment les mêmes données ont été observées et enregistrées par l'enquêteur durant les pauses dans le bureau de la compagnie. En revanche, si le chauffeur subissait une pause lors du trajet, à la demande du client, il a été interrogé par l'enquêteur sur les caractéristiques de son arrêt.

### **II.4.2. Paramètres météorologiques**

Les données météorologiques (température, humidité et vitesse du vent), affichées heure par heure sur le site [www.timeanddate.com](http://www.timeanddate.com), sont recueillies pour les jours de mesure. La moyenne de chaque paramètre a été calculée en fonction des horaires de mesurage de l'exposition.

## **II.5. Gestion des données**

Les données enregistrées par le DiSCmini® et le microAeth® ont été traitées de la même manière que les données du projet PUF-TAXI (voir partie I). La totalité des informations recueillies dans cette étude pilote ont été saisies manuellement sur Microsoft Excel® pour constituer la base de données.

Ensuite les données discrètes brutes relatives aux caractéristiques des trajets effectués le jour de mesure (statut du trafic et conditions de ventilation) ont été transformées en données continues et ainsi résumées par des moyennes ( $\pm$  écarts-types). À titre d'illustration, durant une journée de mesure la durée totale en minutes des trajets effectués en trafic fluide » a été présentée au lieu du « nombre de trajet(s) durant lesquels le trafic a été fluide ».

### III. Analyses statistiques

L'analyse statistique des données a été conduite sur le logiciel STATA® /SE (version 15.1) (StataCorp, College Station, Texas, Etats-Unis) et SPSS® (version 22) (IBM Corp, Armonk, New York, Etats-Unis).

#### III.1. Volet expologique

##### III.1.1. Description des résultats des investigations environnementales

Le descriptif détaillé (1) des caractéristiques professionnelles des participants (*ancienneté professionnelle, le nombre d'heures de travail par jour et le nombre de jours de travail par semaine, etc.*), (2) des spécificités techniques de l'automobile taxi (*date de première mise en circulation, marque, type de carburant, etc.*) (3) des particularités de la journée de travail et de chaque trajet effectué durant la campagne de mesure (*le nombre de kilomètres parcourus, nombre de clients, nombre de trajets, la durée des trajets, ventilation, etc.*), a été réalisé en utilisant des effectifs et des pourcentages pour les variables catégorielles et des moyennes associées à leurs écarts-types pour les variables continues.

La normalité des distributions des niveaux de polluants, avec ou sans transformation logarithmique a été examinée par le test de Shapiro-Wilk et par la méthode graphique de l'histogramme de fréquence avec le tracé de la densité de la loi normale. Ainsi, les distributions des niveaux des polluants sont résumées par leurs moyennes et l'écart-type associé, leurs niveaux minimal et maximal ainsi qu'avec leurs médianes et leurs moyennes géométriques avec l'intervalle interquartile (entre le premier et le troisième quartile) du fait que les distributions étaient la plupart du temps asymétriques sans transformation. Les concentrations des polluants ont été illustrés par des boîtes à moustaches exposant la médiane et l'étendue interquartile (EIQ) (distance entre le premier et le troisième quartile (Q1-Q3)). La corrélation entre les niveaux des paramètres mesurés a été évalué par le coefficient de corrélation de Pearson. Dans l'étude exploratoire au Liban, la différence des distributions entre le matin et l'après-midi a été examinée par le test de Student pour les PUF et par le test de Cochran pour le BC.

### **III.1.2. Identification des déterminants des niveaux d'exposition aux polluants dans le véhicule taxi**

#### ***Identification des déterminants des niveaux d'exposition aux PUF et au BC pendant une demi-journée dans le véhicule taxi à Beyrouth***

Afin d'identifier les déterminants spécifiques pour chaque polluant mesuré à l'intérieur du véhicule taxi pendant une demi-journée, le modèle prédictif de régression linéaire a été défini du fait que la variable à modéliser est une variable continue (niveau moyen de polluant).

Afin de choisir les variables explicatives à inclure dans les modèles, des analyses bivariées ont été réalisées dans le but d'étudier la relation entre les niveaux des PUF et de BC à l'intérieur des véhicules d'un côté, et les variables associées suivantes de l'autre côté : les facteurs extérieurs (température, humidité et la vitesse du vent) ; les spécificités du véhicule taxi ; les caractéristiques générales de la campagne de mesure et des trajets effectués. La corrélation entre deux variables quantitatives a été définie, en fonction de leurs distributions, par le coefficient de Pearson ou de Spearman. Le t-test de Student et l'analyse de variances ont été utilisés pour la comparaison de deux et de plusieurs moyennes, respectivement, après vérification de l'égalité des variances avec le test de Levene.

En raison du faible effectif (n=20), les prédicteurs nécessaires dans nos modèles ont été judicieusement choisis pour pouvoir expliquer les niveaux des polluants. Les variables indépendantes retenues pour l'analyse multivariée étaient celles ayant une valeur de  $p < 0,20$  dans les analyses bivariées, ainsi que les autres variables pertinentes d'après la littérature : le réglage de ventilation durant les trajets (la durée en minutes des trajets effectués avec les fenêtres fermées, la climatisation et en mode de recirculation de l'air) ; l'état du trafic durant les trajets (la durée en minutes des trajets réalisés en trafic dense et/ou bloqué) ; l'usage du tabac durant les trajets (pas de tabac, tabac pendant 1 trajet, tabac pendant au moins 2 trajets) et l'année de mise en circulation  $\leq 2010 / > 2010$ .

Ensuite le modèle de régression linéaire a été réalisé pour chaque polluant et la qualité de l'ajustement a été établie. Après avoir vérifié l'absence d'autocorrélation entre les variables, la normalité et l'homogénéité des variances par analyse des résidus ont été examinées. Enfin, les résultats sont exprimés sous forme de coefficients de régression  $\beta$  ajustés ( $\beta_a$ ) assortis de leur intervalle de confiance à 95 % (IC95 %).

#### ***Identification des déterminants des niveaux d'exposition aux PUF, au BC, au NO<sub>2</sub> et au CO par trajet à Paris***

Des modèles de régressions linéaires multiples ont été utilisés pour identifier les déterminants spécifiques des niveaux des polluants à l'intérieur des véhicules, par trajet. Le choix des prédicteurs à inclure dans les modèles a été basé sur trois approches : (1) les facteurs dont l'intérêt est suggéré par la littérature ; (2) les regroupements minimaux des variables d'ajustements nécessaires proposés par le graphe orienté acyclique (DAG, *Directed Acyclic Graph*), réalisé en ligne sur le site dagitty.net (version 3.0) et (3) les variables associées aux niveaux de polluants avec un degré de signification inférieur ou égal à 20 % dans les analyses bivariées.

Ensuite, il fallait définir le type de modèle statistique prédictif à employer. Dans notre contexte, la variable à modéliser étant un niveau continu de polluant mesuré d'une façon répétée (durant chaque trajet) au cours du temps (durant une journée de travail) dans des conditions différentes (vitesse de roulement, durée de la course, nombre de clients, mode de ventilation, etc...), plusieurs approches linéaires étaient applicables. Au départ, le modèle mixte (ou modèle à effets aléatoires) a été testé pour tenir compte explicitement de l'hétérogénéité entre les différents trajets effectués par le même chauffeur. Mais le coefficient de corrélation intra-classe (ICC, *Intra-Cluster Correlation*) était relativement faible, indiquant que la variation des niveaux de polluants entre les courses du même participant était négligeable. En conséquence, le modèle marginal basé sur le concept des équations d'estimation généralisées (GEE, *Generalized Estimating Equation*) a été adopté permettant d'estimer l'effet moyen de la variable d'exposition dans la population (142, 143).

Afin d'exécuter le modèle, la structure de corrélation de travail devait être précisée pour tenir compte de la corrélation au sein d'une même série de données répétées, ici les pratiques de réalisation des courses. Dans le cas présent, l'hypothèse retenue concernant la structure de cette corrélation de travail est une corrélation échangeable « *exchangeable* », ce qui implique que les observations réalisées sur un même sujet sont corrélées de la même manière et n'ont aucune dépendance dans le temps. Supposons que pour chaque individu (i) on a un vecteur  $Y_i$  et (j) représente l'observation de l'individu :

$$Corr (Y_{ij}, Y_{ij'}) = \begin{pmatrix} 1 & \text{si } j = j' \\ \alpha & \text{si } j \neq j' \end{pmatrix}$$

avec la structure suivante :

$$\mathcal{R}(\alpha) = \begin{matrix} & 1 & \alpha & \alpha \\ \alpha & 1 & \alpha & \\ \alpha & \alpha & 1 & \end{matrix}$$

Après avoir établi les modèles, la qualité d'ajustement a été faite en comparant les sous-modèles entre eux par le critère QIC pour *Quasi Information Criterion*.

Au final, le niveau d'exposition de chaque polluant mesuré dans le véhicule taxi (PUF, BC, NO<sub>2</sub> et CO) ayant subi une transformation logarithmique a été expliqué par des prédicteurs classés en trois catégories clés :

- (1) **les facteurs ambiants** : humidité relative ambiante (%), température ambiante (°C), vitesse du vent (km/h), qualité de l'air extérieur (indice ATMO), saison (chaude/froide) ;
- (2) **les spécificités du véhicule taxi** : âge du véhicule taxi (ans), kilométrage (km), taille du moteur (cm<sup>3</sup>), type de carrosserie (berline/monospace/Break/SUV/grand monospace), carburant (essence/gazole), type de motorisation (moteur thermique/hybride/stop&start), norme euro (Euro 5/ Euro 6b/ Euro 6c/Euro 6d-TEMP) ;

**(3) les habitudes du chauffeur liées à la pratique des courses** : durée du trajet (minutes), vitesse de roulement (km/h), nombre de client(s), niveau de CO<sub>2</sub> (ppm), destination du trajet (dans Paris/entre Paris et les banlieues/dans les banlieues) et réglages de ventilation (fenêtre(s) ouverte(s), fenêtre(s) fermée(s), fenêtre(s) fermée(s) + climatisation, fenêtre(s) fermée(s)+climatisation+ recirculation de l'air).

Les modèles GEE étaient éventuellement ajustés sur les différentes marques des véhicules.

Les résultats des modèles statistiques étaient exprimés en termes de coefficient  $\beta$  avec leur IC<sub>95%</sub>.

### **III.2. Volet épidémiologique**

#### **III.2.1. Description des résultats des investigations sanitaires à Paris**

Dans un premier temps, l'état de santé initial des chauffeurs de taxi évalué à la consultation médicale a été décrit. La prévalence des maladies respiratoires/allergiques chroniques (asthme, eczéma, atopie, et rhinite allergique) ainsi que d'autres comorbidités (hypertension artérielle, diabète et RGO) a été présentée, tout comme la prévalence des manifestations respiratoires/allergiques. Pour chaque maladie et symptôme identifié, la distinction a été faite entre le caractère chronique et actif (depuis 12 mois). Les prévalences de la sensibilisation allergénique en fonction des différents allergènes testés ont été exposées. Les moyennes des paramètres respiratoires mesurés lors de l'EFR (VEMS, CVF, DEM<sub>25-75</sub> et DEP, exprimés en valeur brute ou en pourcentage de leur valeur théorique) ont été établies, et les différentes classes de niveau de FeNO ont été résumées par des effectifs et des pourcentages.

Dans un second temps, le descriptif de la santé respiratoire/allergique des participants le « jour des mesurages » a été réalisé. Les volumes et les débits respiratoires mesurés au début et en fin de journée de travail ont été présentés en utilisant des moyennes ( $\pm$  écart-type) et ont par ailleurs été comparés par le test t de Student pour échantillons appariés. La prévalence et l'intensité des manifestations respiratoires/allergiques ont été décrites avant et après la fin du service et comparées respectivement par le test de Mc Nemar et le t test de Student pour échantillons appariés. Au final, le symptôme a été considéré comme incident s'il augmentait en fréquence ou en intensité au cours de la journée de travail.

### III.2.2. Association entre l'exposition aux polluants particulaires issus du trafic routier dans les véhicules taxis et l'incidence d'irritation du nez, de la gorge et des yeux durant une journée de travail à Paris

Afin de tester l'association entre l'exposition à l'intérieur du véhicule taxi aux particules d'origine automobile et l'incidence de l'irritation du nez, de la gorge et des yeux, le modèle statistique de régression logistique multiple a été choisi :

$$P(Y = 1|X_1, \dots, X_n) = \frac{1}{1 + e^{\{-(\alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i)\}}}$$

où Y : variable dichotomique, avec Y=1 marquant la survenue de l'irritation ou son aggravation durant la journée de travail ;  $P(Y = 1|X_1, \dots, X_n)$  : probabilité de l'événement ;  $\alpha$  : constante ;  $\beta_i$  : coefficient de régression associé à  $X_i$  la variable explicative avec  $i=1, \dots, n$ .

Le choix des variables d'ajustement pour chaque symptôme a été orienté grâce au DAG, aux analyses bivariées (variables associées avec une valeur de  $p \leq 0.2$ ) et à la revue de la littérature. Ainsi, chaque modèle contenait la variable d'exposition (niveaux des polluants moyennés sur la totalité de la journée de travail) et les variables d'ajustement propres à chaque irritation (qualité de l'air ambiant par l'indice Atmo, durée d'exposition (heures), température (°C) et humidité (%) à l'intérieur du véhicule taxi, réglages de ventilation (durée en minutes d'ouverture des fenêtres ou d'activation de la climatisation), indice de masse corporelle (IMC) du chauffeur et avoir un RGO). Finalement, la qualité de l'ajustement a été évaluée par le test d'adéquation de Hosmer et Lemeshow testant l'existence d'une différence entre les valeurs observées et les valeurs prédites. Les résultats étaient présentés sous la forme d'odds ratios ajustés (ORa) avec leur IC 95% exprimés pour une augmentation d'un interquartile de la distribution des niveaux des PUF ( $20 \times 10^3$  pt/cm<sup>3</sup>) et du BC (1,75 µg/m<sup>3</sup>).

### III.2.3. Association entre l'exposition aux polluants particulaires issus du trafic routier dans les véhicules taxis avec le changement des paramètres de la fonction respiratoire durant une journée de travail à Paris

L'association de l'exposition aux PUF et au BC à l'intérieur du véhicule avec la variation des paramètres de la fonction respiratoire mesurés au début par rapport à la fin de la journée de travail a été examinée par des modèles de régressions linéaires :

$$E(Y|X_1, \dots, X_n) = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i$$

avec  $Y = \left( \frac{\text{Paramètre respiratoire}_{\text{post}} - \text{Paramètre respiratoire}_{\text{prè}}}{\text{Paramètre respiratoire}_{\text{prè}}} \right) \times 100$ , indiquant la variation de la fonction respiratoire en pourcentage durant le jour des mesurages ;  $E(Y = 1|X_1, \dots, X_n)$  : la



moyenne de Y;  $\alpha$  : constante ;  $\beta_i$  : coefficient de régression associé à  $X_i$  la variable explicative avec  $i=1, \dots, n$ .

L'ajustement a été réalisé sur l'âge du chauffeur de taxi, le sexe, l'IMC et la température mesurée à l'intérieur de l'automobile taxi. Le choix de ces variables s'appuyait toujours sur les trois approches citées ci-dessus (DAG, analyses bivariées et littérature) et a été confirmé par une procédure « pas à pas » ascendante et/ou descendante. La qualité des modèles établis a été testée par le coefficient de détermination  $R^2$  exprimant le pouvoir explicatif de la modélisation. Différentes conditions ont été vérifiées pour s'assurer des conditions de validité du modèle : absence de multicolinéarité entre les variables explicatives, normalité, homoscedasticité et indépendance des résidus. Les résultats de chaque paramètre étudié sont exprimés sous forme de coefficients de régression  $\beta$  ajustés assortis de leurs IC 95% exprimés pour une augmentation d'un interquartile de la distribution des niveaux des PUF ( $20 \times 10^3$  pt/cm<sup>3</sup>) et du BC (1,75 µg/m<sup>3</sup>).

Des analyses ont été réalisées pour chercher des facteurs jouant un rôle modificateur sur l'effet des polluants sur la santé respiratoire des participants comme par exemple avoir un terrain atopique traduisant les affections des voies respiratoires (asthme actif ou rhinite allergique active ou TCA positif au(x) pneumallergène(s)) et d'autres comorbidités.



# **RÉSULTATS ET DISCUSSION**

---



Le troisième chapitre exposera en trois parties les résultats obtenus au cours de ce travail de thèse.

La première partie présente les chauffeurs de taxi participant à l'étude exploratoire à Beyrouth et à l'étude princeps à Paris, de même que les caractéristiques de leurs véhicules dans lesquels les mesurages des polluants ont été effectués.

La deuxième partie sera consacrée au « volet expologique ». Après avoir présenté la distribution des niveaux des polluants dans l'habitacle des véhicules à Beyrouth et à Paris, ainsi que leurs déterminants ; les résultats obtenus seront confrontés.

La troisième partie sera réservée au « volet épidémiologique ». L'association à court-terme de l'exposition des chauffeurs de taxi franciliens aux PUF et au BC dans l'habitacle de leurs véhicules taxis, avec la survenue des irritations des muqueuses (nez/ gorge/ yeux) durant la journée de travail et avec la variation de la fonction respiratoire en fin par rapport au début de poste de travail, sera présentée.

## I. Présentation des populations étudiées

### I.1. Échantillon de l'étude pilote à Beyrouth

L'étude exploratoire libanaise concernait 20 chauffeurs de taxi, en totalité des hommes, dont l'âge moyen était d'environ  $60 \pm 9$  ans et la majorité était des fumeurs (65%). La moitié d'entre eux exerçait cette profession depuis au moins 9 ans. Toutefois, il faut noter une grande dispersion d'ancienneté, celle-ci pouvant aller d'un an à 36 ans. Ces chauffeurs travaillaient en moyenne, 6 jours par semaine et 11 heures par jour (Tableau XIV).

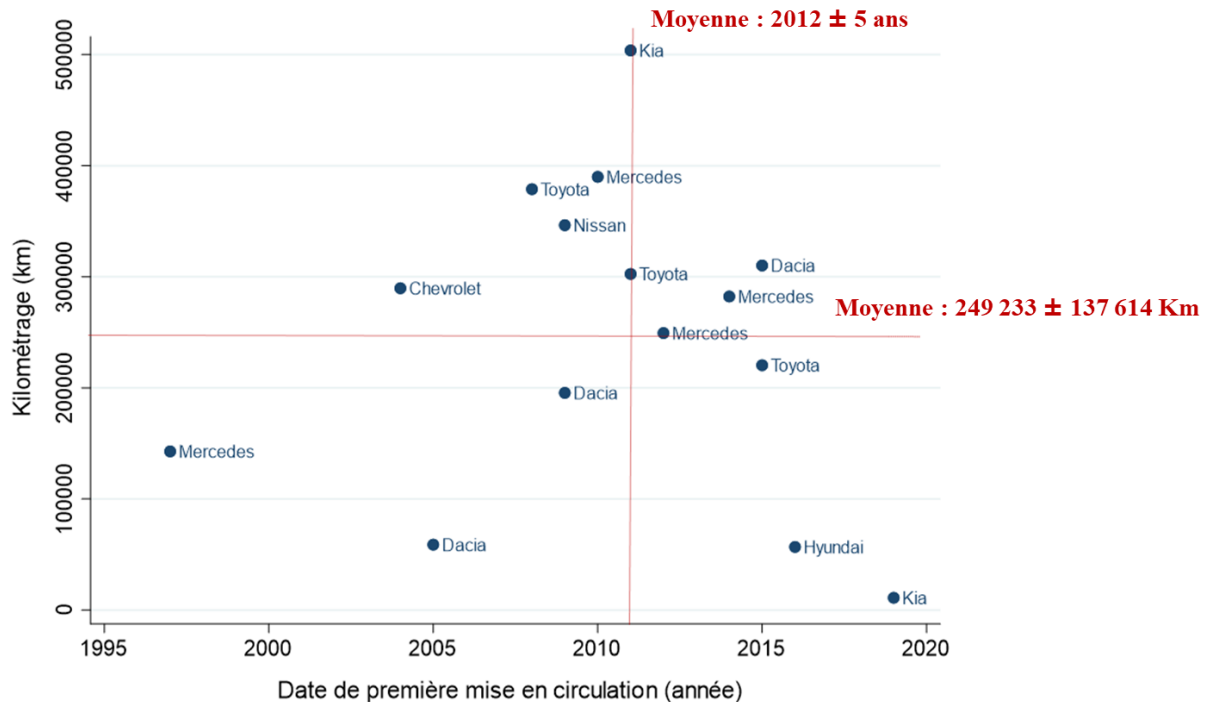
**Tableau XIV.** Description générale des chauffeurs de taxi de l'étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth (N=20).

|  | Moyenne $\pm$ ET ou n (%) |
|--|---------------------------|
| Age (ans)                                | 60,3 $\pm$ 9,1            |
| Fumeurs actifs                           | 13 (65%)                  |
| <b>Caractéristiques professionnelles</b> |                           |
| Ancienneté professionnelle (ans)         | 12,4 $\pm$ 11,6           |
| Heures de travail par jour               | 11,4 $\pm$ 2,7            |
| Jours de travail par semaine             | 6,2 $\pm$ 0,8             |

ET : écart-type

### Données relatives aux véhicules

Trois quarts des chauffeurs étaient propriétaires de leur véhicule. Les voitures, toutes à moteur essence, étaient de 9 marques différentes [Toyota (n=4), Kia (n=2), Dacia (n=4), Mercedes (n=4), Renault (n=2), Chevrolet (n=1), Subaru (n=1), Hyundai (n=1) et Nissan (n=1)]. La date de première mise en circulation de ces véhicules, autrement dit la date à laquelle l'automobile a été immatriculée pour la première fois dans le pays, variant entre 1997 et 2019 (Figure 37).



**Figure 37.** Classement des marques de chaque automobile en fonction de la date de première mise en circulation et du kilométrage, dans l'étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth (N=20).

## I.2. Échantillon de l'étude principes à Paris

L'étude princeps à Paris concernait 50 chauffeurs de taxi artisans d'âge moyen  $52 \pm 7$  ans, la quasi-totalité était des hommes (92%), dont moins d'un quart fumaient (18%). Ils travaillaient comme chauffeur de taxi depuis au moins 2 ans, avec un maximum de 36 ans. La moitié ont au moins 15 années d'expérience dans le métier. Ils exerçaient en moyenne, 10 heures par jour, pendant environ 6 jours par semaine (Tableau XV).

**Tableau XV.** Description générale des chauffeurs de taxi de l'étude PUF-TAXI princeps à Paris (N=50).

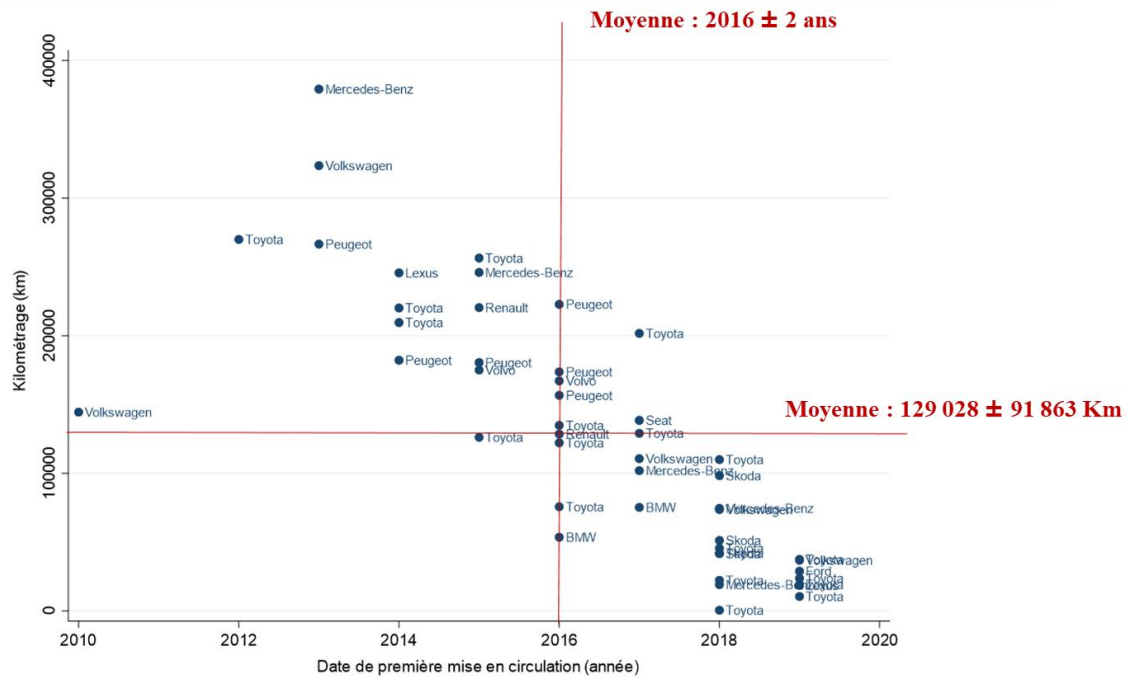
|  | Moyenne $\pm$ ET ou n (%) |
|--|---------------------------|
| <b>Age (ans)</b>                         | 51,5 $\pm$ 7,3            |
| <b>Hommes</b>                            | 46 (92%)                  |
| <b>Fumeurs actifs</b>                    | 9 (18 %)                  |
| <b>Caractéristiques professionnelles</b> |                           |
| Ancienneté professionnelle (ans)         | 16,1 $\pm$ 7,7            |
| Heures de travail par jour               | 10 $\pm$ 1,3              |
| Jours de travail par semaine             | 5,7 $\pm$ 0,7             |

ET : écart-type

### Données relatives aux véhicules

Les véhicules taxis étaient plutôt de grosses cylindrées, récentes, ayant en moyenne environ 4 ans d'ancienneté et dont la moitié était hybrides. Par ailleurs, 48% des véhicules roulaient à l'essence

et un peu plus de la moitié au diesel (52%). Toyota était la marque la plus commune (42%) parmi les 10 autres (Figure 38).



**Figure 38.** Classement des marques de chaque automobile en fonction de la date de première mise en circulation et du kilométrage, dans l'étude PUF-TAXI princeps à Paris (N=50).

## II. Volet explogique

### II.1. Concentrations des PUF et du BC dans l'habitacle de taxis à Beyrouth et déterminants de ces concentrations par journée de travail

Ce travail a fait l'objet d'une publication sous forme d'article original dans la revue scientifique *Indoor air* résumée ci-dessous et d'une communication affichée :

- article:

**Hachem M**, Bensefa-Colas L, Lahoud N, Akel M, Momas I\*, Saleh N\*. Cross-sectional study of in-vehicle exposure to ultrafine particles and black carbon inside Lebanese taxicabs. *Indoor Air*. 2020; 30: 1308– 1316. <https://doi.org/10.1111/ina.12703>.

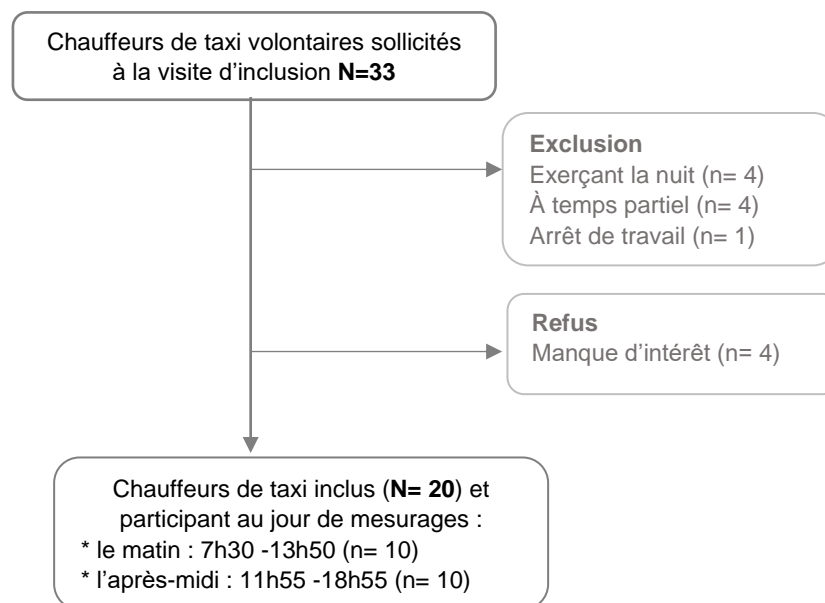
\* *Equal contribution*

- communication affichée:

**Hachem M**, Bensefa-Colas L, Lahoud N, Akel M, Momas I\*, and Saleh N\*. Etude pilote : exposition aux particules ultrafines (PUF) et au carbone suie (Black Carbon, BC) des chauffeurs de taxi libanais. *Journées de l'ED-393*, Saint-Malo (France), Octobre 2019 (poster).

\* *Equal contribution*

Nous présentons dans la figure 39, le diagramme de flux de l'échantillon des chauffeurs de taxi libanais sur lequel ce travail porte.



**Figure 39.** Organigramme de l'échantillon des chauffeurs de taxi libanais, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth.



A l'instar de la plupart des villes méditerranéennes, le Liban, un pays du Moyen-Orient présente des conditions favorisant la pollution atmosphérique. Faute d'un système de transport public efficace, le taux de possession des véhicules est relativement élevé et les routes sont très congestionnées. Le parc automobile, composé majoritairement des véhicules à essence, n'a jamais été aussi vieux et mal entretenu (53). La combinaison de tous ces éléments fait du secteur du transport routier la principale source de pollution urbaine. La pollution atmosphérique dans ce pays est peu documentée, et encore moins dans des microenvironnements spécifiques. A notre connaissance, aucune étude sur l'évaluation de la qualité de l'air à l'intérieur des véhicules n'a été conduite jusque-là. Dans ce contexte, et dans le cadre de ce travail de thèse en cotutelle, une étude transversale pilote a été menée à Beyrouth pour (1) quantifier les concentrations des PUF et du BC dans l'habitacle de taxis et (2) identifier les déterminants de ces concentrations au cours d'une journée de travail.

Cette étude concerne pour mémoire 20 chauffeurs de taxi salariés âgés de plus de 18 ans, exerçant le jour à temps complet et ayant au moins 6 mois d'ancienneté professionnelle. Les PUF et le BC ont été mesurés à l'intérieur de leurs véhicules, respectivement par le DiSCmini<sup>®</sup> et le microAeth<sup>®</sup> sur une demi-journée de travail (le matin ou l'après-midi pour une moyenne d'environ 5 heures), sans aucune restriction imposée aux chauffeurs. Par un entretien en face-à-face, les données relatives aux caractéristiques des véhicules taxis et aux conditions de déroulement des trajets réalisés au cours de la même demi-journée, ont été collectées. La distribution des concentrations de polluants a été vérifiée ; en cas de non normalité, la transformation log a été appliquée. Les déterminants des niveaux des PUF et du BC à l'intérieur des véhicules ont été identifiés par régression linéaire multiple.


Les véhicules taxis, tous dotés d'un moteur à essence, avaient une ancienneté de 10 ans. Durant les demi-journées de mesurage, les chauffeurs de taxi avaient effectué en moyenne  $56,3 \pm 20,3$  km/h pour en moyenne 8 trajets, dont 65% en circulation fluide et 35% en circulation dense. Les moyennes des PUF ( $35,2 \pm 17,4 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup>) et du BC ( $5,2 \pm 1,9$  µg/m<sup>3</sup>) enregistrées dans l'habitacle des véhicules taxis étaient significativement plus élevées le matin que l'après-midi ( $47$  vs  $25 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup> ;  $6$  vs  $4$  µg/m<sup>3</sup>, respectivement) du fait de la congestion du trafic aux heures de pointe matinale. À l'intérieur des véhicules, la concentration en nombres de PUF augmentait de 84% à partir de deux trajets réalisés en présence de fumée de tabac et de 60 % pour chaque 10 minute passée en situation d'embouteillage, mais diminuait de 30% pour chaque 10 minute en mode climatisation avec recirculation d'air et fenêtres fermées. Il est intéressant de remarquer que nous n'avons pu mettre en évidence aucun déterminant de l'exposition au BC. Ces résultats nous orientent vers les sources majeures de ces polluants au Liban. Nous posons ainsi l'hypothèse que le secteur du transport pourrait être le principal contributeur pour les PUF, alors que les secteurs énergétique et industriel participant à la pollution atmosphérique sembleraient écraser la source d'origine trafic pour le BC.

En conclusion, ce travail a permis de formuler des recommandations pratiques pour les chauffeurs de taxi au Liban, et, de façon plus générale, pour les professionnels de la conduite et pour tout automobiliste afin de réduire la pollution particulaire à l'intérieur du véhicule :

- ne pas fumer dans le véhicule
- assurer une ventilation adéquate pour limiter la pénétration des polluants particuliers dans l'habitacle du véhicule
- éviter autant que possible le trafic congestionné

Tous ces éléments ont pu être précisés par le volet expologique du Projet PUF-TAXI à Paris, par la quantification non seulement des PUF et du BC, mais aussi des polluants traditionnels réglementés et affinis par l'identification des déterminants à l'échelle des trajets analysés minutieusement.

## Cross-sectional study of in-vehicle exposure to ultrafine particles and black carbon inside Lebanese taxicabs

Melissa Hachem<sup>1,2</sup>  | Lynda Bensefa-Colas<sup>1,3</sup> | Nathalie Lahoud<sup>2,4</sup> | Marwan Akel<sup>4,5</sup> | Isabelle Momas<sup>1</sup> | Nadine Saleh<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>CRESS - INSERM UMR\_1153, INRAE, HERA team, Paris University, Paris, France

<sup>2</sup>Faculty of Public Health, Pharmacoepidemiology Surveillance Unit, CERIPH, Lebanese University, Fanar, Lebanon

<sup>3</sup>Department of Occupational and Environmental Diseases, Hotel-Dieu Hospital, APHP, Centre - Paris University, Paris, France

<sup>4</sup>Faculty of Public Health II, INSPECT-LB, Lebanese University, Fanar, Lebanon

<sup>5</sup>Pharmacy Practice Department, School of Pharmacy, Lebanese International University, Beirut, Lebanon

### Correspondence

Lynda Bensefa-Colas, Department of Occupational and Environmental Diseases, APHP, Centre - Paris University, 1 Parvis Notre-Dame - Pl. Jean-Paul II, Paris 75004, France.  
Email: lynda.bensefa-colas@aphp.fr

### Funding information

This work was supported by ADEME (Contract No. 1666C0006) and the Research call Programme National de Recherche Environnement Santé Travail (ANSES—French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety). MH is co-funded by the French Environment & Energy Management Agency (ADEME) and by the National Council for Scientific Research—Lebanon (CNRS-L). The co-founders were not involved in the conduct of this article.

### Abstract

Taxi drivers' exposure to traffic-related air pollutants inside their vehicles has been reported in different countries but not yet in Lebanon. Thus, we conducted a cross-sectional study on 20 Lebanese taxi drivers to (1) assess their exposure to ultrafine particles (UFP) and black carbon (BC) inside their vehicles and (2) identify determinants of this exposure. UFP and BC were measured using Diffusion Size Classifier Miniature<sup>®</sup> and microAeth<sup>®</sup> Model AE51, respectively, for 5 hours. Data on characteristics of vehicles and trips were collected by face-to-face interviews. Associations between pollutant levels and their determinants were analyzed by multiple linear regression. The mean of UFP count ( $35.2 \pm 17.6 \times 10^3$  particles  $\text{cm}^{-3}$ ) and BC ( $5.2 \pm 1.9 \mu\text{g m}^{-3}$ ) concentrations in-taxis was higher in the morning measurements compared with those in the afternoon measurements. UFP count increased in-taxis by 60% for every 10 minutes spent in blocked traffic and by 84% starting from two trips with smokers compared to trips without smokers. Conversely, UFP count decreased by 30% for every 10 minutes under both air-conditioning and air recirculation mode with windows closed. BC was not affected by any of these factors. Our findings suggest easy ways to reduce UFP exposure inside vehicles for all commuters.

### KEYWORDS

black carbon, determinants, occupational exposure, taxi drivers, traffic-related air pollutants, ultrafine particles

Isabelle Momas and Nadine Saleh contributed equally.

The peer review history for this article is available at <https://publons.com/publon/10.1111/ina.12703>

© 2020 John Wiley & Sons A/S. Published by John Wiley & Sons Ltd

## 1 | INTRODUCTION

Lebanon, like many developing countries in the Middle East regions (MEA), faces the challenges of population growth and rapid urbanization, which is inevitably accompanied by an increase in individual mobility and thus energy and fossil-fuel demands. In return, the Lebanese transport sector is one of the most unsustainable sectors in the MEA.<sup>1-3</sup> In 2012, sources estimated that there were 1.58 million registered vehicles in Lebanon, equivalent to three passenger vehicles per every person.<sup>2,4,5</sup> Moreover, public transport system is inadequate and inefficient.<sup>2</sup> It relies only on 2236 buses and 4000 minivans, operating without coordination. It also includes 33 500 exclusive- and shared-ride taxis.<sup>6,7</sup> This results in high vehicle ownership and low occupancy rate leading to a heavily congested transport sector.<sup>8</sup> In addition, regarding vehicles' fleet characteristics, the land transportation is dominated by gasoline-powered engine vehicles, old and poorly maintained (90% of all vehicles are 5 years old and older).<sup>6</sup> All of these factors make the road transport sector the major source of air pollution in Lebanon.<sup>9</sup>

In fact, transport sector in Lebanon is the main source of some gases such as carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), and non-methane organic volatile compounds (VOCs) leading to 99%, 60%, and 57% of their emissions, respectively.<sup>8</sup> Motor vehicles, especially diesel-powered, are the major contributor to small particles, notably those of recent interest, for example, ultrafine particles (UFP, with aerodynamic diameter  $\leq 100$  nm resulting from the combustion processes of biomass and fossil fuels for transportation, home heating, and cooking)<sup>10</sup> and black carbon (BC, component of PM<sub>2.5</sub>, emitted by combustion engines, residential burning of wood and coal, power stations using heavy oil or coal, etc).<sup>11</sup> However, UFP and BC have been far less documented than other pollutants. Studies have shown that annual ambient average levels of particulate (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) and NO<sub>2</sub> exceeded the air quality guidelines of the World Health Organization (WHO) (30.3 vs 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 51.3 vs 20  $\mu\text{g m}^{-3}$ , and 53 vs 40  $\mu\text{g m}^{-3}$ , respectively).<sup>12,13</sup> Also, vehicular traffic accounts for 27.1% of the total carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions—which is 1.4 times higher than the world average of the total energy consumed by the road sector.<sup>1</sup>

Air pollution in Lebanon is an environmental burden and a major source of concern to public health. It is estimated that more than 350 people die prematurely every year from urban air pollution in Lebanon.<sup>14</sup> Beirut Air Pollution and Health Effects (BAPHE) study showed a significant short-term relationship between air pollution and emergency hospital admissions for respiratory diseases. The relative risks of respiratory admissions for a 10  $\mu\text{g m}^{-3}$  daily increase in PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations were 1.012 [1.004-1.02] and 1.016 [1.000-1.032], respectively.<sup>15</sup> Moreover, Borgie et al<sup>16</sup> found that professional workers are more at risk of occupational exposure to ambient air pollutants. Urban transit operation is examples of such occupations that highly expose workers to traffic-related air pollutants (TRAP).

One of the occupations of interest in this respect is taxi drivers. They spend long hours of their working on roadways, which

**Practical implications**

Our results suggest simple easy acts that may possibly help taxi drivers as well as all professional drivers and commuters to reduce in-vehicle pollutant levels in Lebanon such as

- Avoiding congested traffic as much as possible.
- Not smoking inside vehicles.
- Ensure proper ventilation to reduce indoor pollutants while limiting the ingress of traffic-related particulate pollutants by efficient cabin air filters.

unsurprisingly increases their exposure to TRAP.<sup>17</sup> Therefore, this novel pilot study aimed to measure, for the first time in Lebanon, taxi drivers' exposure to UFP and BC inside their vehicles and to identify its determinants, which so far have been poorly documented.<sup>18-21</sup>

## 2 | MATERIALS AND METHODS

This pilot study, part of PUF-TAXI project, was conducted by the "Centre d'études et de recherche in Public Health" laboratory (CERIPH) at the Lebanese University, in partnership with the project initiator team "Health Environmental Risk Assessment" laboratory (HERA-INSERM UMR 1153) at Paris University. It was approved by the Institutional Review Board at the Lebanese International University (approval number: 2018RC-023-LIUSOP).

## 2.1 | Study population

This exploratory study was carried out on a sample of taxi drivers, employees of one taxi company (Tour Taxi), between May 10 and July 31, 2019. We recruited full-time day workers, aged more than 18 years and who had their jobs for more than 6 months. Out of 33 taxi drivers, 20 were included and had signed a written informed consent.

"Tour Taxi" company has been established since 1967 with two head offices in Mar Roukoz and in Ain el Remmaneh (Mount-Lebanon) covering a diverse territory. All taxi drivers stay in the office waiting for the client's requests. Once the company receives a request—pickup, it will assign it to the available taxi driver.

## 2.2 | Field study design

The field study took place in "Tour Taxi" offices between July 19 and August 31, 2019 (summer season, weekdays only). The sampling corresponding to UFP and BC measurements inside taxi vehicles was organized by two investigators (MH and CBT).

Two portable devices were placed in a carry case, on the shelf under the rear window of the taxi, to measure UFC and BC every

minute for around five hours during normal service, without any restrictions given to the taxi driver. Each participant chose the sampling period that suits him either in the morning (7:30–13:50) or in the afternoon (11:55–18:55). During the sampling day, the two investigators waited in the company office to collect useful information from the taxi drivers in their free time regarding the features of taxicabs (model, engine type, etc) and the characteristics of each trip and break (duration, ventilation settings, smoking, traffic condition, etc). Weather condition data (temperature, humidity, wind speed) were obtained from a website that provides each hour the local meteorological parameters.<sup>22</sup>

### 2.3 | Exposure measurements and quality assurance

The UFP were measured by the Diffusion Size Classifier Miniature (DiSCmini<sup>®</sup>, Wohlen, Switzerland, and commercialized by Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Germany; notation "DM" in this paper) and BC by the microAeth<sup>®</sup> Model AE51 (AethLabs, San Francisco, California, USA; notation "MA" in this paper).

DM is a handheld instrument (12 × 8 × 4 cm, 670 g) designed to measure simultaneously nanoparticle number per cubic centimeter of air (from 1000 to 1 000 000 particles cm<sup>-3</sup>) and the mean particle diameter (from 10 to 300 nm). The measuring method is based on electrical charging of the aerosols, followed by detection in two electrometer stages: diffusion and filter stages, described in detail by Fierz et al,<sup>23</sup> with ± 35% accuracy according to the manufacturer. DM is battery-operated with a lifetime of up to 8 hours. The data are stored on a memory card (SD card), transferred to a computer, and processed by an offline software (DiSCmini data conversion tool, V. 2.0).<sup>24</sup>

MA is a portable device (11.7 × 6 × 6 cm, 250 g) capable of measuring real-time concentration of BC aerosols in nanograms per cubic meter (ng m<sup>-3</sup>) of air with a measurement range between 0 and 1 mg m<sup>-3</sup>. It is a light attenuation-based instrument that measures the rate of change in absorption of transmitted light due to the presence of BC collected on a Teflon filter. MA operates continuously for up to 24 hours, with a measurement precision ± 0.1 µg of BC m<sup>-3</sup> at 1-minute average sampling and 150 mL/min flow rate according to the manufacturer.<sup>25</sup> The instrument's operating parameters are set up as followed: 1-minute time base at a sampling flow rate of 100 mL/min<sup>-3</sup>. Data files are uploaded via USB connectivity to microAethCOM (version 2.2.4.0) software.

After each sampling day, the sample tubes for both devices were rinsed with pure water and dried either by pure air using a compressor or by the dry heat oven (FN 400–NÜVE) at 37°C for 24 hours, depending on the material availability. Also, MA filters were changed, and DM impactor was cleaned alternately in an ultrasonic bath (VMR, Ultrasonic Cleaner) for one hour or with ethanol 70%. To prevent the generation of measurement errors due to the overheating of the devices, we placed them in a carry case with two ice bags following the manufacturer's advices.

DM and MA were checked properly, as indicated by the manufacturers, before every usage to ensure accurate data collection

(stability of diffusion stage signal and corona voltage for DM, and pump functioning for both devices), and were set to a logging interval of 1 minute.<sup>24,25</sup> Exposure data were converted into Microsoft Excel files and were thoroughly checked. Negative BC readings were corrected using an optimized noise reduction averaging (ONA) algorithm.<sup>26</sup> Regarding UFP data, if an error code occurred data points were excluded.

### 2.4 | Statistical analysis

All statistical analyses were performed using Stata<sup>®</sup> 15.1 and SPSS<sup>®</sup> 11.0 softwares. The statistically significant level was  $P < .05$ . The normality of the pollutant exposure distributions was checked using the Shapiro-Wilk test and their frequency distributions (histogram). A log transformation was applied to the UFP exposure level to make data normal. Pearson's and Spearman's correlation coefficients were calculated between quantitative variables, Student's *t* tests were used for two-group comparison, and analysis of variances (ANOVAs) and Kruskal-Wallis were used for multi-group comparison.

Multivariate linear regressions (MLR) were used to identify the determinants of UFP and BC occupational exposure inside taxi vehicles. The statistical assumptions underlying the MLR were checked. UFP and BC were selected as the dependent variables. Predictors assigned according to the literature or if they were associated with the dependent variable in the bivariate analysis with a  $P < .2$  were car age ( $\leq 2010$ ,  $> 2010$ ), ventilation settings (the length of time in minutes of closing windows under recirculation mode), smoking inside taxi cabs (no smoking, smoking during one trip, smoking during at least 2 trips), and traffic congestion (the length of time in minutes spent in blocked traffic).

## 3 | RESULTS

Out of 33 taxi drivers, 24 were eligible to participate in the study. Only four refused to take part in the survey due to lack of interest. Finally, 20 taxi drivers were included in the study.

### 3.1 | General characteristics

Table 1 shows the main characteristics of the study population. About forty percent of taxi drivers were over 65 years old with a minimum age of 46 years. Half of the participants began working as taxi drivers nine years ago. They worked minimum four hours per day and four days per week. Regarding taxi vehicles, there were nine different brands (Toyota, Kia Cerato, Dacia, Mercedes, Renault, Chevrolet, Subaru, Hyundai, and Nissan). The year of first circulation ranged from 1997 to 2019, and seven taxi vehicles were 10 years old. All of them were powered by gasoline engines with horsepower varying from 14 to 31.

**TABLE 1** General characteristics of Lebanese taxi drivers from PUF-TAXI pilot study in Lebanon (N = 20)

| Characteristics                          | Mean ± SD or n (%) |
|--|--------------------|
| Age (years) [min – max]                  | 60.3 ± 9.1 (46-78) |
| Smokers <sup>a</sup>                     | 13 (65.0)          |
| Job-related characteristics              |                    |
| Age at the first job (years)             | 14.8 ± 3.8         |
| Job tenure as taxi driver (years)        | 12.4 ± 11.6        |
| Working hours per day                    | 11.4 ± 2.7         |
| Working days per week                    | 6.2 ± 0.8          |
| Year of first circulation of the taxicab |                    |
| ≤2010                                    | 7 (35)             |
| >2010                                    | 13 (65)            |

Abbreviation: SD, standard deviation.

<sup>a</sup>Smokers: yes: current smokers; no: non-smoker or ex-smokers.

**TABLE 2** Measurement campaign characteristics in Lebanon from PUF-TAXI pilot study (June 19, 2019, to July 31, 2019) (N = 20)

| Variables                                   | Mean ± SD or n (%) |
|---|--------------------|
| Measurement time per day (min)              | 289.7 ± 40         |
| Traveled distance per day (km) <sup>a</sup> | 56.3 ± 20.2        |
| Smoking in taxis <sup>b</sup>               |                    |
| No smoking                                  | 10 (50)            |
| During one trip                             | 4 (20)             |
| At least during two trips                   | 5 (30)             |
| Trips characteristics per sampling day      |                    |
| Number of clients                           | 5.2 ± 3.4          |
| Number of trips                             | 8.5 ± 3.2          |
| Trip duration (min)                         | 22.1 ± 11.3        |
| Total trips duration (min)                  | 166.8 ± 51.4       |
| By traffic flow                             |                    |
| Free-flowing traffic (min)                  | 108.7 ± 42.2       |
| Heavy or blocked traffic (min)              | 58.1 ± 42.6        |
| By ventilation setting time                 |                    |
| WO (min)                                    | 52.8 ± 53.5        |
| WO + AC (min)                               | 1.9 ± 8.5          |
| WO + AC +ARM (min)                          | 20.7 ± 41.6        |
| WC + AC (min)                               | 10.1 ± 26.3        |
| WC + AC +ARM (min)                          | 81.30 ± 68.1       |

Abbreviations: AC, air-conditioning; ARM, air recirculation mode; WC, windows closed; WO, windows opened; SD, standard deviation.

<sup>a</sup>Missing values for the variable traveled distance per day: 5 out of 20.

<sup>b</sup>Smoking in taxis: either taxi drivers or clients smoked inside taxicabs.

Most taxi drivers declared they were bothered by exposure to smoke and/or dust (90%) and by odors of fuels and/or exhaust gases (85%). More than half of the participants reported that this annoyance occurred whatever the timing of the day (morning/afternoon/

evening/night), the part of the week (weekday/weekend), the season (summer/sprint/winter/autumn), and even the governorates where they traveled (data not shown).

### 3.2 | Measurement campaign characteristics

During the measurement campaign, taxi drivers made on average eight trips for about five working hours, in Mount-Lebanon (75%) and in Beirut (25%), during which they traveled a mean of 56.3 ± 20.2 km. They spent 65% of their driving time in free-flowing traffic and 35% in dense traffic. During the trips, most of the time taxi drivers kept their windows closed with air-conditioning under air recirculation mode. Thirty percent of the drivers reported smoking inside taxi vehicles (by taxi drivers or passengers) during at least two trips (Table 2). Regarding work breaks, they accounted for 43% of the total sampling time. Most drivers turned off their engines and kept their windows open during their breaks.

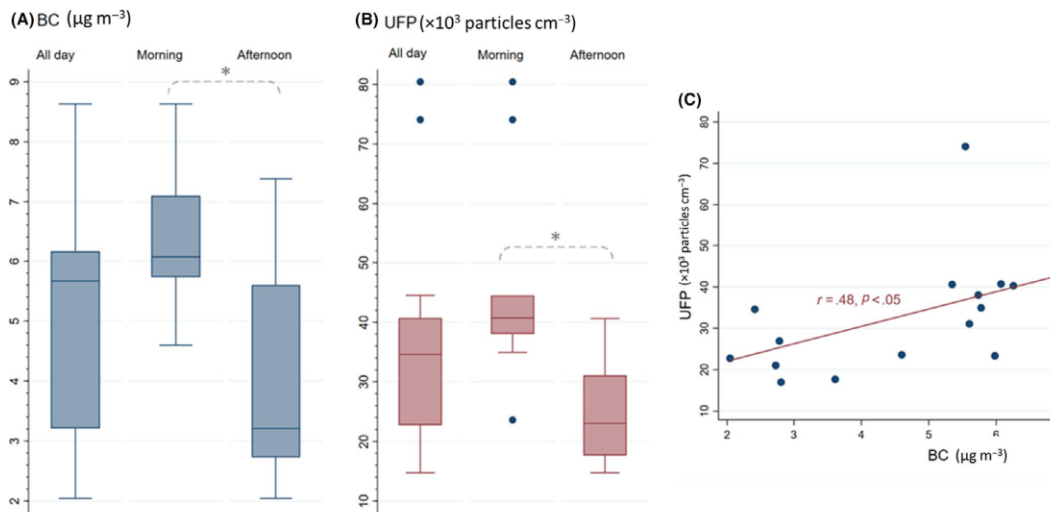
### 3.3 | UFP and BC levels inside taxicabs

UFP were measured inside 19 out of 20 taxi vehicles due to a DM technical problem, with a total of 5302 recorded minutes out of 5813 (511 minutes had to be deleted for the measurement "error codes"). BC was adequately measured inside the vehicles of all the taxi drivers, for a total of 5433 recorded minutes. Only 123 minutes (2%) were removed because of the negative readings and 257 minutes (4%) due to unrealistic and abnormal data points.

The distribution of UFP and BC concentrations inside taxi vehicles is presented in Figure 1 and indicated a large variation in pollutant levels among taxicabs. The highest average concentrations of UFP and BC in taxi vehicles were  $470 \times 10^3$  particles  $\text{cm}^{-3}$  and  $63 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectively, while the lowest average concentrations were  $4.7 \times 10^3$  particles  $\text{cm}^{-3}$  and  $0.8 \mu\text{g m}^{-3}$ . The in-taxicab UFP number was significantly correlated with BC concentrations ( $r = .48$ ,  $P < .05$ ). The overall average number of UFP and BC concentrations inside taxi vehicles was significantly higher in the morning compared with the afternoon ( $46.6 \times 10^3$  vs  $24.9 \times 10^3$  particles  $\text{cm}^{-3}$ ;  $6$  vs  $4 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectively) (Figure 1).

### 3.4 | Determinants of taxi drivers' exposure

Results of the multiple linear regression model showed that three variables explained significantly about 64% of the variability of UFP number inside taxi vehicles (Table 3). UFP count is 84% higher inside taxi vehicles in the presence of tobacco smoke in at least two trips than in taxicabs where there was no smoking during trips. Moreover, UFP count increased by about 0.6% inside taxi vehicles for every minute spent in blocked traffic, whereas it was reduced by 0.3% with each additional minute when the ventilation setting was set as follows: windows closed with the air-conditioning on recirculation



**FIGURE 1** Distribution of in-taxi vehicles' black carbon—BC ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) (A) and ultrafine particles—UFP ( $\times 10^3$  particles  $\text{cm}^{-3}$ ) (B) concentrations and correlation of BC and UFP (C) during the measurement campaign in Lebanon from PUF-TAXI pilot study. BC, black carbon; UFP, ultrafine particles. In each box, the thick middle line, top, and bottom represent the median value, upper quartile, and lower quartile (75th and 25th percentile), respectively. Whiskers extend to the highest/lowest value within 1.5 times the quartiles and dots if present indicate the outliers. A, Box plot comparing black carbon distribution when measured in the morning vs the afternoon (1st box plot: total distribution during the measurement campaign). B, Box plot comparing ultrafine particle distribution when measured in the morning vs the afternoon (1st box plot: total distribution during the measurement campaign). C, Scatter plot showing the moderate correlation between ultrafine particles and black carbon. \* $P < .05$

mode (WC + AC+ARM). However, UFP count did not vary according to the taxicab's age. None of these studied factors significantly influenced BC concentrations inside taxi vehicles.

## 4 | DISCUSSION

This is the first study conducted in Lebanon that (a) quantified exposure of taxi drivers to UFP and BC by measuring their concentrations inside their vehicles and (b) identified determinants of UFP concentrations showing their significant variations according to ventilation settings, traffic conditions, and smoking in-cars.

### 4.1 | UFP levels inside taxi vehicles

In comparison with other studies, UFP levels recorded inside Lebanese taxis were 1.6-fold higher than those measured in Los Angeles.<sup>20</sup> Nevertheless, they were considerably much lower than in-taxi UFP concentrations reported in two distinct studies conducted in London<sup>18,27</sup> and in Barcelona.<sup>28</sup> These differences may be explained first by the variation in the time/duration of measurement. Also, the large standard deviation of UFP levels found inside Lebanese ( $35.21 \pm 17.6 \times 10^3$  particles  $\text{cm}^{-3}$ ) and London taxis ( $91.9 \pm 22.9 \times 10^3$  particles  $\text{cm}^{-3}$ )<sup>18</sup> indicates that they are spatially and temporally variable.<sup>10</sup> Furthermore, UFP concentrations depend

on factors linked to vehicle fleet characteristics such as age, fuel type, and engine technology.<sup>10</sup> Indeed, as diesel engines are the major contributor to UFP concentrations,<sup>10</sup> it is not surprising to find that UFP levels recorded inside London<sup>18,27</sup> and Barcelona diesel taxis<sup>28</sup> were greater than those measured inside Lebanese gasoline taxis. However, UFP concentrations in newer hybrid-gasoline taxis in Los Angeles<sup>20</sup> and electric taxis in Barcelona<sup>28</sup> were about half of those measured in Lebanon taxis. Interpretation of results from comparison of pollutant concentrations in taxis across studies needs caution because other factors can influence the levels of pollutants. Indeed, we found that UFP levels inside Lebanese taxis depended significantly on traffic status, smoking in-cars, and ventilation settings (discussed in detail below).

#### 4.1.1 | Factors influencing UFP levels inside taxi vehicles

UFP levels measured inside Lebanese taxis were found to be affected by (a) an outdoor air pollution source (vehicle emission from surrounding traffic); (b) an indoor source (smoking in cabs); and (c) the behavior of the driver through ventilation settings.

##### *Influence of surrounding traffic*

In the present study, traffic intensity was one of the significant factors affecting in-taxi UFP levels, explaining 8% of their

| Parameters                               | UFP log-transformed (particles cm <sup>-3</sup> ) |                |                     | P     |
|--|---|----------------|---------------------|-------|
|  | Model estimate coefficient                        | Standard error | Confidence interval |       |
| Intercept                                | 10.284  | 0.186          | [9.884, 10.686]     | <.001 |
| Smoking in taxis <sup>a</sup>            |   |                |                     |       |
| No smoking                               | 1   |                |                     |       |
| During one trip                          | 0.051   | 0.201          | [-0.382, 0.485]     | .802  |
| At least during two trips                | 0.611   | 0.174          | [0.235, 0.987]      | .004  |
| Ventilation setting time                 |   |                |                     |       |
| WC + AC+ARM                              | -0.003  | 0.001          | [-0.006, -0.001]    | .018  |
| Traffic density time                     |   |                |                     |       |
| Blocked traffic                          | 0.006   | 0.002          | [0.002, 0.009]      | .004  |
| Vehicle characteristics                  |   |                |                     |       |
| Year of first circulation of the taxicab |   |                |                     |       |
| ≤2010                                    | 1   |                |                     |       |
| >2010                                    | -0.248  | 0.186          | [-0.611, 0.115]     | .163  |

Abbreviations: AC, air-conditioning; ARM, air recirculation mode; WC, windows closed.

<sup>a</sup>Smoking in taxis: either taxi drivers or clients smoked inside taxicabs.

variation. Similar trends were observed in previous studies. Kaur et al.<sup>18</sup> found that traffic counts explained 13% of UFP count variability. The urban transportation exposure study in the Canadian metropolitan areas showed that in 59 Chevrolet Grand Caravans, with model years ranging between 2009 and 2012, UFP concentrations increased significantly with the traffic density, explaining 28% of their variation.<sup>29</sup> In addition, in our study we found that levels of UFP in the morning were roughly twice as higher as in the afternoon. A possible explanation for this variation is that the earliest morning measurement time started at 7:30 and ended the latest at 13:50. It may reflect the early work trips or the late onset of a typical vacation day since the measurement campaign was done on holiday season (between July and August). Thus, there were more crowded streets in the morning. Our finding is in agreement with Kaur et al.<sup>27</sup> study where the one-time measurement of personal exposure of UFP in the morning at 8:30 ( $106.3 \times 10^3$  particles cm<sup>-3</sup>) was significantly higher than when measured afternoon at 15:15 ( $76.5 \times 10^3$  particles cm<sup>-3</sup>). Also, according to Bigazzi et al.<sup>30</sup> UFP levels were the highest in high traffic flow. Hence, motor vehicle emissions can be the main contributor of UFP.<sup>10</sup>

#### Influence of tobacco smoke

Very little research to date has studied the effect of smoking especially inside taxi vehicles because smoking inside public transportation is prohibited in numerous areas such as Hong Kong,<sup>31,32</sup> Guangzhou,<sup>33</sup> Sweden,<sup>34</sup> and Foshan,<sup>35</sup> or some teams had excluded smokers to avoid interference with measurements.<sup>20,36</sup> Since smoking is not banned on board of a public transport vehicle in Lebanon, we were able to assess its effect. We found that smoking inside taxicabs, in more than two trips, is responsible for 84% elevation of in-taxis UFP levels. We should note that windows were always

opened when smoking inside taxicabs. Inside London taxis, benzene and toluene increase by 57% and 15% under smoke conditions, respectively.<sup>37</sup> In Korea, smoking was considered as the main source of VOC exposure inside taxis.<sup>38</sup>

#### Influence of ventilation settings

The present study showed that with every 10 minutes spent in taxis under WC + AC + ARM, UFP exposure levels were reduced by 30%. It might be because in-taxis UFP concentrations were primarily influenced by emissions from surrounding vehicles. Indeed, closing windows limits the air exchange, thus transport of pollutants from the outside to the inside of the cabin. In addition, AC + ARM allows the filtration of the air entering the vehicle, by cabin air filters with a lower airflow rate.<sup>39</sup> This finding is consistent with several studies. WC + AC + ARM offered between 47% and 90% of UFP protection inside cabs.<sup>20,30,40</sup> Furthermore, Onat et al.<sup>41</sup> found that UFP levels were 80% higher in vehicles when WO and they were more than doubled in Moreno et al.<sup>28</sup> study in the same condition. This pattern is not limited to UFP but also affects different TRAP such as PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>).<sup>31,35,42-44</sup>

## 4.2 | BC concentrations inside taxi vehicles

BC concentrations measured inside Lebanese taxicabs (geometric mean (GM):  $3.8 \mu\text{g m}^{-3}$ , mean:  $5.18 \pm 1.9 \mu\text{g m}^{-3}$ ) were much lower than BC concentrations recorded in Barcelona (GM:  $16.7 \mu\text{g m}^{-3}$ )<sup>45</sup> and in Los Angeles (mean:  $19 \pm 20 \mu\text{g m}^{-3}$ ) cars<sup>46</sup> and slightly higher than in Singapore taxis (GM:  $2.9 \mu\text{g m}^{-3}$ ).<sup>47</sup> Such divergence may be the result of both windows opening/closing status and engine types. Higher BC concentrations tend to be observed with car windows



opened and in vehicles powered with diesel engines. In Barcelona study, car windows were always opened; however in our study, taxi drivers opened their windows only 18% of the total sampling time, and in Singapore, the sampling was done under WC + AC + ARM settings. All Los Angeles cars and the majority in Barcelona were diesel-powered, whereas Lebanese taxis had gasoline engines.<sup>45,46</sup> Some studies also found that BC concentrations inside transports tend to depend on the travel mode, time of the day, proximity to traffic, and the characteristics of the vehicle (self-pollution).<sup>28,45,46</sup> In Belgium, BC concentrations were doubled inside vehicles in overflowing traffic compared with vehicles in non-congested traffic and also depended on the vehicle speed.<sup>48</sup> In a study conducted in Istanbul, lower in-cab BC concentrations were found under WC + AC + ARM.<sup>41</sup> Nevertheless, in the present study we did not being able to find any factor related to traffic significantly affecting these concentrations. The discrepancy between our results and those above mentioned can be explained by the fact that vehicle combustion process may not be the major source of BC in Lebanon. Consequently, emission of BC from other significant sources could possibly undermine BC variability between Lebanese taxicabs. In fact, energy and industrial sectors constitute the most significant source of urban air pollution in Lebanon. Thermal power plants, private backup unmaintained electric generators, and industries are spread all over the country releasing black fumes of hydrocarbon, CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, soot, PM, and many other pollutants inside cities, villages, and between buildings.<sup>9</sup> This assumption is reinforced by the weak correlation found between UFP and BC ( $r = .48$ ) in Lebanon compared with the strong correlation reported by other teams<sup>29,41</sup> suggesting the differences of the emissions sources of these two pollutants.

### 4.3 | Strengths and limitations

This study is the first conducted in Lebanon offering insight of taxi drivers' exposure to UFP and BC inside their vehicles and revealing determinants of UFP levels. The strength of this exploratory study relies also on its methodology: (a) We used new robust validated portable devices DM and MA to measure real-time exposure to UFP and BC, respectively, and also, these instruments were previously tested by our team<sup>49</sup>; (b) measurements were performed in a standardized way; (c) the compliance of participants to the study in spite of their busy schedule was noteworthy high; and (d) even with the involvement of one single taxi company, the diversity of the vehicles included in the study in terms of age (1997-2019) and marks (9 car brands) represents somehow the real automobile fleet in Lebanon. However, some limitations should be noted. First, although we collected much detailed and specific data (time, location, ventilation settings, smoking, etc) for each trip made and for each break taken during the measurement time, we did not know whether the taxi driver stayed in the cab or not during the break time. Therefore, we were not able to include work break's characteristics as predictors (breaks' length of time, smoking during the break, break's ventilation

settings, etc) in the multivariate analysis. Second, the traffic count was qualitatively assessed by the taxi drivers without using a sensor device. Despite this, a significant difference was observed in UFP concentrations between congested and non-congested traffic. Third, the position of the measurement devices on the shelf under the rear window made them more exposed to the full sun since the measurement campaign was carried out in summer, resulting in few measurement errors due to the overheating of the equipments. To reduce the heat-up periods, we placed two ice bags covered with sheets (to avoid humidity) in the carry case containing the devices, as advised by the supplier. However, we still believe that the placement of the materials on the back shelf remains the best choice. Indeed, we could not place the carry case on the seat in front nor on the passenger seat to avoid taxi drivers from refusing clients, thus breaking the law. Fourth, this pilot study has provided interesting findings even with a relatively small sample ( $n = 20$ ); nevertheless, these results cannot be extrapolated to the entire range of in-vehicle commuter exposure in Lebanon owing to differences in factors such as vehicles' characteristics (age, make, etc), trips' location, meteorology, and commuter's behaviors regarding ventilation settings. Finally, this exploratory study proved that a large-scale study is feasible in Lebanon field.

## 5 | CONCLUSION

This present study showed for the first time in Lebanon exposure levels to UFP and BC, pollutants of recent interest, experienced by Lebanese taxi drivers inside their vehicles. Our results showed that in Lebanon, fossil-fuel combustion for transportation is the major source of UFP but not BC and identified three determinants (intensity of traffic, smoking inside vehicles, and ventilation) of UFP levels inside cabs. However, these results deserve to be confirmed by a large-scale study and by considering other determinants to improve the exposure assessment. However, up to now, our findings suggest that simple easy acts (listed below) may possibly help taxi drivers as well as all professional drivers and commuters to reduce in-vehicle pollutant levels in Lebanon such as (a) avoiding congested traffic as much as possible; (b) not smoking inside vehicles; and (c) ensure proper ventilation to reduce indoor pollutants while limiting the ingress of traffic-related particulate pollutants by efficient cabin air filters.

### ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank HERA team of Paris Descartes University for lending the measurement devices. Thanks to Dr Carol Donnay for helping in the elaboration of questionnaire administered in the first visit. Thanks to the master student (Christine Bou Tayeh, CBT) for assistance in field sampling. We also thank the director of Tour Taxi Company and all taxi drivers who contributed to this study. Also, the authors extend their thanks to the team of laboratory of "Ecole Doctorale des Sciences et de Technologie" of the Lebanese University for the instrumental support.

## CONFLICT OF INTERESTS

None declared.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Melissa Hachem:** Validation, formal analysis, investigation, writing—original draft. **Lynda Bensefa-Colas:** Conceptualization, validation, supervision, project administration. **Nadine Lahoud:** Resources. **Marwan Akel:** Resources. **Isabelle Momas:** Conceptualization, validation, resources, supervision, project administration. **Nadine Saleh:** Conceptualization, validation, supervision, project administration.

## PATIENT CONSENT

Written.

## ORCID

Melissa Hachem  <https://orcid.org/0000-0002-3759-9489>

## REFERENCES

- El Khoury N, Aboujaoudé L, Kadehijna K. *Road Transport Sector and Air Pollution: Case of Lebanon*; 2016:1-46. [www.equipt.com.lb](http://www.equipt.com.lb)
- Haddad M, Mansour C, Stephan J. Unsustainability in emergent systems: a case study of road transport in the Greater Beirut Area. Paper presented at: 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM); 3-5 March 2015, 2015.
- MoE/UNDP. *Mobility Cost: A case Study for Lebanon*. Lebanon: Ministry of Environment; 2015.
- MIM. Car registration Database, traffic, truck and vehicle management authority. In: Municipalities Mola; 2012.
- IMF. *Subsidy Reform in the Middle East and North Africa: Recent Progress and Challenges Ahead*. Washington, DC: Middle East and Central Asia Department; 2014.
- MoE/URC/GEF. Chapter 5: Transport. In: *Technology Needs Assessment Report for Climate Change*. Lebanon: Ministry of Environment; 2012:1-260.
- CAS. *Statistical Yearbook 2007*. Lebanon: Central Administration for Statistics; 2008.
- MoE/UNDP/GEF. *Lebanon's Third National Communication to the UNFCCC*. Beirut, Lebanon: Ministry of Environment; 2016:1-237.
- MoE/UNDP/ECODIT. *State and Trends of the Lebanese Environment*. Lebanon: United Nations Development Programme; 2011:1-353. [www.lb.undp.org](http://www.lb.undp.org)
- HEI. *Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles*. Boston, MA: Health Effects Institute; 2013. HEI Perspectives 3.
- Janssen N, Gerlofs-Nijland M, Lanki T, Salonen R, Cassee F, Hoek G. *Health Effects of Black Carbon Copenhagen*. Denmark: WHO. Regional Office for Europe; 2012:1-86.
- Nakhlé MM, Farah W, Ziade N, Abboud M, Coussa-Koniski M-L, Annesi-Maesano I. Beirut air pollution and health effects - BAPHE study protocol and objectives. *Multidiscip Respir Med*. 2015;10(1):21.
- Badaro-Saliba N, Adjizian-Gerard J, Zaarour R, et al. A geostatistical approach for assessing population exposure to NO<sub>2</sub> in a complex urban area (Beirut, Lebanon). *Stoch Env Res Risk Assess*. 2014;28(3):467-474.
- Sarraf M, Larsen B, Owaygen M. *Cost of environment degradation—the case of Lebanon and Tunisia*. Washington, DC: The World Bank; 2004:1-122. [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)
- Nakhlé MM, Farah W, Ziade N, Abboud M, Salameh D, Annesi-Maesano I. Short-term relationships between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases and fine particulate air pollution in Beirut, Lebanon. *Environ Monit Assess*. 2015;187(4):1-10.
- Borgie M, Garat A, Cazier F, et al. Traffic-related air pollution. A pilot exposure assessment in Beirut, Lebanon. *Chemosphere*. 2014;96:122-128.
- Hachem M, Saleh N, Paunescu A-C, Momas I, Bensefa-Colas L. Exposure to traffic air pollutants in taxicabs and acute adverse respiratory effects: a systematic review. *Sci Total Environ*. 2019;693:133439.
- Kaur S, Nieuwenhuijsen MJ. Determinants of personal exposure to PM<sub>2.5</sub>, ultrafine particle counts, and CO in a transport microenvironment. *Environ Sci Technol*. 2009;43(13):4737-4743.
- Gany F, Bari S, Prasad L, et al. Perception and reality of particulate matter exposure in New York City taxi drivers. *J Exposure Sci Environ Epidemiol*. 2017;27(2):221-226.
- Yu NU, Shu S, Lin Y, et al. High efficiency cabin air filter in vehicles reduces drivers' roadway particulate matter exposures and associated lipid peroxidation. *PLoS One*. 2017;12(11):e0188498.
- Miller-Schulze JP, Paulsen M, Toriba A, et al. Exposures to particulate air pollution and nitro-polycyclic aromatic hydrocarbons among taxi drivers in Shenyang, China. *Environ Sci Technol*. 2010;44(1):216-221.
- Weather in Lebanon. 2019. <https://www.timeanddate.com/weather/lebanon> Accessed 1/08/2019.
- Fierz M, Burtcher H, Steigmeier P, Field KM. Field measurement of particle size and number concentration with the diffusion size classifier (Disc). 2008.
- Aerosol M. *DISCmini Diffusion Size Classifier Miniature: Instruction Manual*. Wohlen, Switzerland: Testo company; 2012.
- AethLabs. *Operating Manual - microAeth Model AE51*. San Francisco, California: AethLabs; 2011:1-17. [www.aethlabs.com](http://www.aethlabs.com)
- Cheng Y-H, Lin M-H. Real-time performance of the microaeth ae51 and the effects of aerosol loading on its measurement results at a traffic site. *Aerosol Air Quality Res*. 2013;13(6):1853-1863.
- Kaur S, Nieuwenhuijsen M, Colville R. Personal exposure of street canyon intersection users to PM<sub>2.5</sub>, ultrafine particle counts and carbon monoxide in Central London, UK. *Atmos Environ*. 2005;39(20):3629-3641.
- Moreno T, Pacitto A, Fernández A, et al. Vehicle interior air quality conditions when travelling by taxi. *Environ Res*. 2019;172:529-542.
- Weichenthal S, Van Ryswyk K, Kulka R, Sun L, Wallace L, Joseph L. In-vehicle exposures to particulate air pollution in Canadian metropolitan areas: the urban transportation exposure study. *Environ Sci Technol*. 2015;49(1):597-605.
- Bigazzi AY, Figliozzi MA. Impacts of freeway traffic conditions on in-vehicle exposure to ultrafine particulate matter. *Atmos Environ*. 2012;60:495-503.
- Chan LY, Lau WL, Lee SC, Chan CY. Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong. *Atmos Environ*. 2002;36(21):3363-3373.
- Lau WL, Chan LY. Commuter exposure to aromatic VOCs in public transportation modes in Hong Kong. *Sci Total Environ*. 2003;308(1-3):143-155.
- Chan LY, Lau WL, Wang XM, Tang JH. Preliminary measurements of aromatic VOCs in public transportation modes in Guangzhou. *China. Environ Int*. 2003;29(4):429-435.
- Lewne M, Nise G, Lind ML, Gustavsson P. Exposure to particles and nitrogen dioxide among taxi, bus and lorry drivers. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006;79(3):220-226.
- Wu D-L, Lin M, Chan C-Y, et al. Influences of commuting mode, air conditioning mode and meteorological parameters on fine particle

- (PM<sub>2.5</sub>) exposure levels in traffic microenvironments. *Aerosol Air Quality Res.* 2013;13(2):709-720.
36. Zagury E, Le Moullec Y, Momas I. Exposure of Paris taxi drivers to automobile air pollutants within their vehicles. *Occup Environ Med.* 2000;57(6):406-410.
37. Leung P-L, Harrison RM. Roadside and in-vehicle concentrations of monoaromatic hydrocarbons. *Atmos Environ.* 1999;33(2):191-204.
38. Jo WK, Yu CH. Public bus and taxicab drivers' work-time exposure to aromatic volatile organic compounds. *Environ Res.* 2001;86(1):66-72.
39. Xu B, Chen X, Xiong J. Air quality inside motor vehicles' cabins: A review. *Indoor and Built Environment.* 2016;27(4):452-465.
40. Ham W, Vijayan A, Schulte N, Herner JD. Commuter exposure to PM<sub>2.5</sub>, BC, and UFP in six common transport microenvironments in Sacramento, California. *Atmos Environ.* 2017;167:335-345.
41. Onat B, Şahin ÜA, Uzun B, Akın Ö, Özkaya F, Ayvaz C, Ayvaz C. Determinants of exposure to ultrafine particulate matter, black carbon, and PM<sub>2.5</sub> in common travel modes in Istanbul. *Atmos Environ.* 2019;206:258-270.
42. Ekpenyong CE, Ettetong EO, Akpan EE, Samson TK, Daniel NE. Urban city transportation mode and respiratory health effect of air pollution: a cross-sectional study among transit and non-transit workers in Nigeria. *BMJ Open.* 2012;2(5):e001253.
43. Huang J, Deng F, Wu S, Guo X. Comparisons of personal exposure to PM<sub>2.5</sub> and CO by different commuting modes in Beijing, China. *Sci Total Environ.* 2012;425:52-59.
44. Namdeo A, Ballare S, Job H, Namdeo D. Commuter Exposure to Air Pollution in Newcastle, U.K., and Mumbai, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste.* 2016;20(4).
45. de Nazelle A, Fruin S, Westerdahl D, et al. A travel mode comparison of commuters' exposures to air pollutants in Barcelona. *Atmos Environ.* 2012;59:151-159.
46. Fruin SA, Winer AM, Rodes CE. Black carbon concentrations in California vehicles and estimation of in-vehicle diesel exhaust particulate matter exposures. *Atmos Environ.* 2004;38(25):4123-4133.
47. Tan SH, Roth M, Velasco E. Particle exposure and inhaled dose during commuting in Singapore. *Atmos Environ.* 2017;170:245-258.
48. Dons E, Temmerman P, Van Poppel M, Bellemans T, Wets G, Int PL. Street characteristics and traffic factors determining road users' exposure to black carbon. *The Science of the total environment.* 2013;447:72-79.
49. Paunescu AC, Attoui M, Bouallala S, Sunyer J, Momas I. Personal measurement of exposure to black carbon and ultrafine particles in schoolchildren from PARIS cohort (Paris, France). *Indoor Air.* 2017;27(4):766-779.

**How to cite this article:** Hachem M, Bensefa-Colas L, Lahoud N, Akel M, Momas I, Saleh N. Cross-sectional study of in-vehicle exposure to ultrafine particles and black carbon inside Lebanese taxicabs. *Indoor Air.* 2020;00:1-9. <https://doi.org/10.1111/ina.12703>

## II.2. Concentrations des PUF, du BC, du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle de taxis à Paris et déterminants de ces concentrations par trajet

Ce travail a fait l'objet d'une publication en révision sous forme d'article original dans la revue scientifique *Indoor air* et d'une communication affichée, qui sont résumées ci-dessous :

- article:

**Hachem M**, Saleh N, Bensefa-Colas L\*, Momas I\*. Determinants of exposure to ultrafine particles, black carbon, nitrogen dioxide and carbon monoxide concentrations inside vehicles in Paris area: PUF-TAXI study. *Indoor Air*.

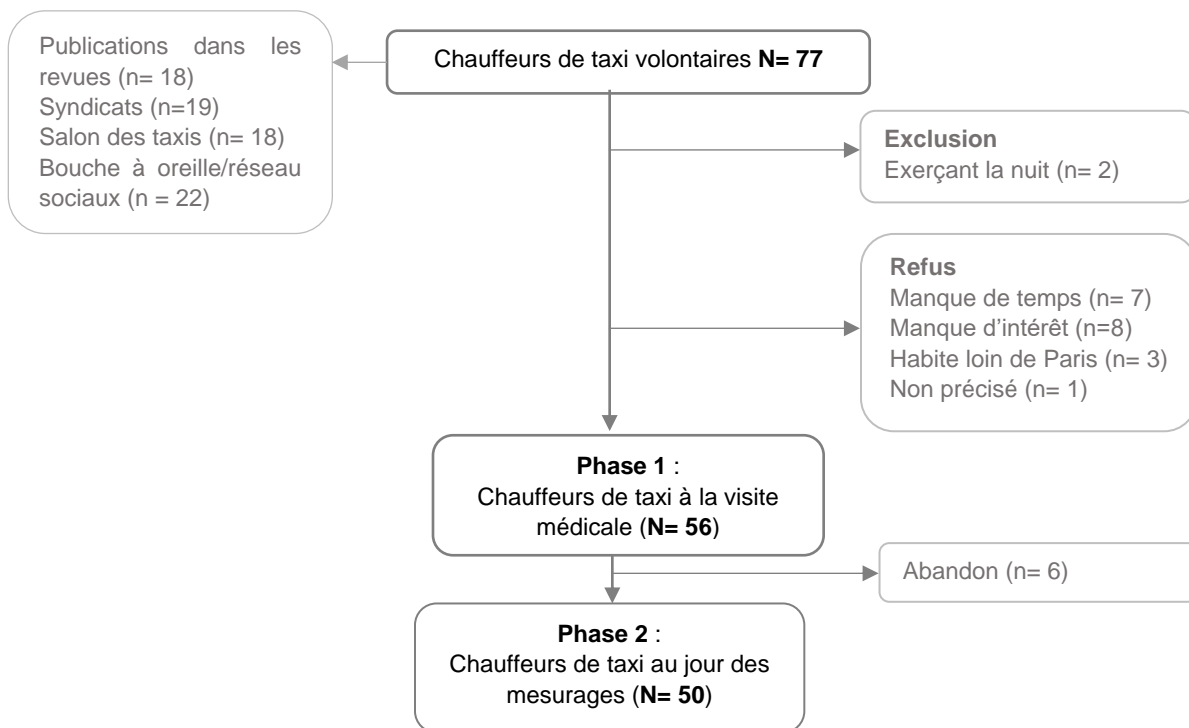
\* *Equal contribution*

- communication affichée:

**Hachem M**, Saleh N, Bensefa-Colas L\*, Momas I\*. Determinants of exposure to ultrafine particles (PUF) and black carbon (BC) inside Parisian taxi vehicles, the PUF-TAXI project. *International Society for Environmental Epidemiology virtual conference*, Washington (United States), août 2020 (e-poster).

\* *Equal contribution*

Nous présentons dans la figure 40, le diagramme de flux de l'échantillon des chauffeurs de taxi franciliens autour duquel ce travail s'articule.



**Figure 40.** Organigramme de l'échantillon des chauffeurs de taxi franciliens, étude princeps PUF-TAXI à Paris.

En France, le secteur routier contribue considérablement au total des émissions nationales de polluants atmosphériques, et pour certains, il en est la source principale. Les émissions liées au trafic routier évoluent avec le parc automobile. Elles constituent un cocktail de polluants particulaires et gazeux, dont certains, malgré leurs dangers sanitaires potentiels, ne sont toujours pas réglementés à l'heure actuelle, comme les PUF et le BC. Par ailleurs, ces émissions diffusent au voisinage immédiat de la population générale au cours de ses activités quotidiennes à proximité du trafic, et s'infiltrent dans des espaces confinés, comme « l'habitacle des véhicules ». De ce fait, les professionnels de la conduite sont exposés à ce type de polluants fortement au cœur du trafic et longtemps au cours de la journée. L'évaluation de leur exposition est primordiale. En France, très peu d'études ont été réalisées sur la qualité de l'air autour des axes routiers (28) et encore moins sur la qualité de l'air dans l'habitacle des véhicules. Dans ce contexte, l'objectif de ce travail a été de quantifier les concentrations des PUF, du BC, du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle de taxis, au cours d'une journée de travail et d'identifier les déterminants liés aux modalités d'exercice des concentrations de ces polluants mesurés à chaque trajet, en IDF.

Pour résumer, les PUF, le BC, le NO<sub>2</sub> et le CO ont été quantifiés, pendant une journée de travail (en moyenne 9 heures), à l'intérieur de 50 véhicules taxis pendant 499 trajets par des capteurs portatifs, de même que les paramètres d'ambiance (température, humidité et CO<sub>2</sub>). Les données spatio-temporelles ont été enregistrées par un GPS. Les caractéristiques relatives aux véhicules et aux trajets réalisés ont été recueillies par des auto-questionnaires. Afin d'identifier les déterminants spécifiques par trajet de chaque polluant mesuré dans l'habitacle des véhicules, des modèles multivariés (GEE) ont été utilisés.

Les véhicules taxis se distinguaient par onze différentes marques, Toyota étant la plus commune (42%), réparties presque équitablement entre véhicules à moteur essence (48%) et à moteur diesel (52%). L'année de la première immatriculation de ces véhicules variait entre 2010 et 2019, avec une moyenne d'âge de  $3,6 \pm 2,1$  ans. Parmi les 50 véhicules taxis, la moitié étaient hybrides. Durant la journée de mesurage des expositions, les chauffeurs de taxi avaient parcouru en moyenne  $136,7 \pm 48,7$  km/h pour en moyenne 10 trajets dont 53% ont été effectués dans Paris intramuros. Les concentrations dans l'habitacle des taxis étaient de l'ordre de  $29,7 \pm 18,5 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup> pour les PUF, de  $3,1 \pm 1,3$  µg/m<sup>3</sup> pour le BC, de  $231 \pm 307$  µg/m<sup>3</sup> pour NO<sub>2</sub> et de  $488 \pm 949$  µg/m<sup>3</sup> pour le CO. Trois grands types de déterminants des concentrations des polluants à l'intérieur des taxis ont été identifiés : (1) les facteurs ambiants (météorologie et pollution de l'air extérieur) – affectant BC, NO<sub>2</sub> et CO ; (2) les caractéristiques des véhicules - affectant tous les polluants gazeux et particulaires et (3) les caractéristiques des trajets– affectant les PUF, le BC et le CO.

En conclusion, ce travail a débouché sur des recommandations pratiques, qui renforcent les résultats antérieurs, pour minimiser les polluants à l'intérieur du véhicule :

- éviter autant que possible les accélérations et les décélérations brusques
- éviter autant que possible le trafic congestionné et garder autant que possible une distance suffisante avec les véhicules à proximité
- fermer les fenêtres et activer l'air conditionné avec la recirculation de l'air dans un trafic congestionné ou dans un tunnel
- assurer une aération adéquate de votre véhicule (en dehors des embouteillages)
- changer le filtre d'habitacle durant le processus de contrôle/maintenance du véhicule et selon les indications du constructeur



**Determinants of ultrafine particles, black carbon, nitrogen dioxide and carbon monoxide concentrations inside vehicles in Paris area: PUF-TAXI study**

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| Journal:                      | <i>Indoor Air</i>   |
| Manuscript ID                 | INA-20-07-248.R2  |
| Wiley - Manuscript type:      | Original Article  |
| Date Submitted by the Author: | n/a   |
| Complete List of Authors:     | Hachem, Melissa; Paris University, CRESS - INSERM UMR_1153, INRAE, HERA team; Lebanese University, Faculty of Public Health, Pharmacoepidemiology Surveillance Unit, CERIPH<br>Saleh, Nadine; Lebanese University, Faculty of Public Health, Pharmacoepidemiology Surveillance Unit, CERIPH; Lebanese University, Faculty of Public Health II, INSPECT-LB<br>Bensefa-Colas, Lynda; AP-HP, Centre – Paris University, Department of Occupational and Environmental Diseases; Paris University, CRESS - INSERM UMR_1153, INRAE, HERA team<br>Momas, Isabelle; Paris University, CRESS - INSERM UMR_1153, INRAE, HERA team |
| Keywords:                     | Taxi drivers, Traffic related air pollutants, Ultrafine particles, Black carbon, Determinants, Occupational exposure  |

SCHOLARONE™  
Manuscripts

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

1 **Determinants of ultrafine particles, black carbon, nitrogen dioxide and carbon**  
2 **monoxide concentrations inside vehicles in the Paris area: PUF-TAXI study.**

3 **Determinants of air pollution inside vehicles**

4 **Melissa Hachem**<sup>a, b</sup>, **Nadine Saleh**<sup>b, c</sup>, **Lynda Bensefa-Colas**<sup>a, d □, \*</sup>, **Isabelle Momas**<sup>a, □</sup>

5 <sup>a</sup> Paris University, CRESS - INSERM UMR\_1153, INRAE, HERA team, Paris, France.

6 <sup>b</sup> Lebanese University, Faculty of Public Health, Pharmacoepidemiology Surveillance Unit,  
7 CERIPH, Fanar, Lebanon.

8 <sup>c</sup> Lebanese University, Faculty of Public Health II, INSPECT-LB, Fanar, Lebanon.

9 <sup>d</sup> Hotel-Dieu Hospital, APHP. Centre – Paris University, AP-HP, Department of Occupational and  
10 Environmental Diseases, Paris, France.

11 \* Corresponding author

12 □ Equal contribution

13 **Corresponding author:**

14 Dr. Lynda Bensefa-Colas, Department of Occupational and Environmental Diseases  
15 APHP. Centre – Paris University, Paris, France.

16 1 Parvis Notre-Dame - Pl. Jean-Paul II, 75004 Paris

17 Phone : +33 1 42 34 86 66 ; fax : +33 1 42 34 80 46

18 E-mail: lynda.bensefa-colas@aphp.fr



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

19 **CRedit authorship contribution statement**

20 **Melissa Hachem:** Validation, Formal analysis, Investigation, Writing – Original Draft. **Nadine Saleh:**

21 Validation, Supervision. **Lynda Bensefa-Colas:** Conceptualization, Validation, Investigation,

22 Supervision, Project Administration. **Isabelle Momas:** Conceptualization, Validation, Resources,

23 Supervision, Project Administration.

24 **Acknowledgements**

25 The authors would like to thank to Dr. Loizeau for helping in the field study. Thanks to Mr. Masson

26 and M. Goupil for data management. Thanks to Dr. Desqueyroux and Mr. Gagnepain for their advice

27 throughout Miss Hachem’s PhD thesis. Special thanks go to Mr. Gagnepain for his invaluable help in

28 providing taxicab technical specifications. Thanks to Mrs. Freza, Mrs. Manceron, M. Asnoun and M.

29 Hocine for helping in taxi driver recruitment. Thanks to Dr. Paunescu for her tireless assistance in

30 setting up the field study (tools and operating instructions for measurement devices). Many thanks to

31 Assistance Publique - Hôpitaux de Paris (AP-HP) for supporting the project. Also, the authors would

32 like to thank all the taxi drivers who participated in the study for their enthusiastic help and valuable

33 collaboration.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

## 34 ABSTRACT

35 This study presents real-time concentrations of traffic related air pollutants during 499 trips conducted  
36 by 50 Parisian taxi drivers from PUF-TAXI project. Ultrafine particles (UFP), black carbon (BC),  
37 nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>)/carbon monoxide (CO) were measured inside vehicles by Diffusion Size  
38 Classifier Miniature<sup>®</sup>, microAeth<sup>®</sup> and Gas-Pro<sup>®</sup>, respectively, for nine hours. Vehicle/trip data  
39 characteristics were collected by questionnaires and on ambient conditions by monitoring stations.  
40 Associations between pollutant levels and their potential determinants were analyzed using  
41 Generalized Estimating Equations model. Determinants of in-vehicle pollutants levels were identified:  
42 (1) ambient factors (meteorology and ambient pollution) – affecting BC, NO<sub>2</sub> and CO; (2) vehicle  
43 characteristics – affecting all pollutants; (3) trip related driving habits - affecting UFP, BC and CO.  
44 We highlight that commuters can, therefore, avoid high in-vehicle air pollutant concentrations mainly  
45 by (1) closing windows and activating air conditioning under air recirculation mode in congested  
46 traffic; (2) smooth driving and (3) maintaining cabin air filters.

47 **Keywords:** taxi drivers, traffic related air pollutants, determinants, ultrafine particles, black carbon,  
48 occupational exposure.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

## 49 PRACTICAL IMPLICATIONS

50 Based on the results of this study, a commuter's exposure to air pollutants inside vehicles may be  
51 reduced by taking a number of measures. These measures include:

- 52 • reducing burst acceleration and deceleration as much as possible.
- 53 • avoiding congested roads and keeping a safe distance from surrounding vehicles as much as  
54 possible.
- 55 • closing windows and activating air conditioning and air recirculation mode in congested traffic and  
56 in tunnels.
- 57 • aerating vehicles through a proper air exchange (not when in traffic congestion).
- 58 • changing cabin air filters during the vehicle maintenance process.

PROOF

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

## 59 1. INTRODUCTION

60 Air pollution remains a very important risk factor for diseases and mortality worldwide. It is one of  
61 the top five leading environmental risk factors contributing to almost one death in every 10 and  
62 reducing life expectancy on average by 20 months <sup>1</sup>. In Europe, air pollution has been associated with  
63 about 400,000 premature deaths per year from cardiovascular and respiratory diseases <sup>1,2</sup>. In France,  
64 levels of particulate matter with aerodynamic diameters  $\leq 10$  micrometers (PM<sub>10</sub>) and nitrogen dioxide  
65 (NO<sub>2</sub>) sometimes exceed European air quality standards, mainly at traffic monitor stations <sup>3</sup>. In fact,  
66 the transport sector contributes to a very large share of pollutant concentrations due to low emission  
67 heights <sup>4</sup>.

68 The transport sector is responsible for various traffic related air pollutants (TRAP) from both exhaust  
69 emissions (combustion process) and non-exhaust emissions (abrasion of vehicle tyres, brakes and  
70 clutch ; evaporation of fuel and resuspension of road dust) <sup>5</sup>. In France, transportation accounted for  
71 64%, 38%, 11%, 2% of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), non-methane volatile organic  
72 compounds (NMVOC), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) of the total national emissions, respectively <sup>6,7</sup>. Regarding  
73 particulate pollutants, the transport sector accounts for 17% of PM<sub>2.5</sub> (aerodynamic diameters  $\leq 2.5$   
74 micrometers) and 14% of PM<sub>10</sub> total emissions <sup>6</sup>. The fine particles that have in particular contributed  
75 to increasing health concerns in recent years are black carbon (BC- component of PM<sub>2.5</sub>) and ultrafine  
76 particles (UFP- size less than 100 nanometers). The unique physical characteristics of UFP (small size-  
77 implicate high surface area and translocation beyond lungs) and the properties of BC chemicals  
78 (adsorbing toxics) might enhance their toxicity <sup>8,9</sup>. Despite their adverse health effects , UFP and BC  
79 are not subject to mandatory monitoring <sup>8-10</sup>. In addition, the amount of pollutants emitted by the  
80 transport sector depends largely on characteristics of the automobile fleet (such as, engine type, age,  
81 technology) and vehicle Euro emission standards (Euro 1 followed by successively stricter standards  
82 to Euro 6).

1  
2  
3 83 In France, out of the total registrations of light duty vehicle fleet, gasoline vehicles represent 48.2%  
4  
5 84 and diesel vehicles 35.2% whereas hybrid and electric cars constitute 10.7% and 5.7%, respectively <sup>11</sup>.  
6  
7  
8 85 Diesel vehicles contribute to 58% of NO<sub>x</sub> emissions compared to 9% from gasoline vehicles  
9  
10 86 (passenger cars and light duty vehicles). Primary particles emitted from road transport are mostly  
11  
12 87 released by diesel vehicles not fitted with particle filters <sup>10,12</sup>. To restrict the use of polluting vehicles,  
13  
14  
15 88 particularly during pollution peaks, the French Government implemented *Crit'air* in 2016 in four  
16  
17 89 metropolitan areas (Grenoble, Strasbourg, Paris et Greater Paris). Nine million out of 38 million  
18  
19 90 vehicles circulating in France have a *Crit'air* certificate <sup>13</sup>. This certificate ranks vehicles, marketed  
20  
21 91 since 1997, into six categories (zero up to five) depending on vehicle type, engine type and the Euro  
22  
23  
24 92 Standard. Polluting cars (*Crit'air* 3,4,5) represent 48% of the automobile fleet, 33% are less polluting  
25  
26 93 with a *Crit'air* 2 whereas 18.3% are highly ranked (*Crit'air* 0-1) with an average age of 10.4 years.  
27  
28  
29 94 The higher-emitting cars represent only 0.7% and they are not eligible for the *Crit'air* vignette <sup>13,14</sup>.  
30  
31  
32 95 Stricter emission standards and technological improvements have decreased vehicle emissions over  
33  
34 96 the last 40 to 45 years <sup>5</sup>. Nevertheless, exposure to transport emissions depends not only on the amount  
35  
36 97 of pollutants emitted but also on the length of time spent in traffic. Thus, exposure of professional  
37  
38  
39 98 drivers to TRAP remains high in spite of these improvements <sup>15</sup>. Indeed, a recent systematic review  
40  
41 99 found that pollutant levels inside taxi vehicles are higher than their background levels <sup>16</sup>. There are  
42  
43 100 relatively few studies assessing taxi drivers' exposure to air pollutants inside their vehicles even though  
44  
45 101 they are at particular risk of higher pollutant intake <sup>16</sup>. Results have indicated that air pollutants inside  
46  
47  
48 102 taxicabs originated mainly from surrounding vehicles <sup>17-20</sup> and smoking in cars <sup>21,22</sup>; and varied  
49  
50 103 according to ventilation settings <sup>19,20,23,24</sup> and meteorological parameters <sup>16-18,22,25,26</sup>. In 2000, Zagury  
51  
52 104 et al <sup>26</sup> showed that 29 Parisian taxi drivers were exposed to high pollutant concentrations inside their  
53  
54  
55 105 vehicles compared to their urban background levels: carbon monoxide (CO):  $3.8 \pm 1.7$  vs  $1 \pm 0.46$   
56  
57 106 ppm; nitrogen monoxide (NO):  $625 \pm 223$  vs  $55 \pm 30$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; NO<sub>2</sub>:  $139 \pm 43$  vs  $72 \pm 22$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; black  
58  
59 107 smoke (BS):  $168 \pm 53$  vs  $44 \pm 29$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Since then, no study has evaluated the exposure of French  
60

1  
2  
3 108 taxi drivers despite the growth of transport and changes in the automobile fleet. In Paris, the taxi fleet  
4  
5 109 (total 17 500 vehicles) is shifting towards newer vehicles (average vehicle age: 2.5 years) and hybrid  
6  
7  
8 110 engines<sup>27</sup>. Hence, this study aims to (1) measure Parisian taxi drivers' exposure inside their vehicles  
9  
10 111 to UFP and BC, as well as to regulated pollutants NO<sub>2</sub> and CO and (2) identify the determinants of  
11  
12 112 each pollutant concentration inside taxicabs.  
13  
14

## 17 113 **2. METHODS**

### 19 114 **2.1. Study design and participants**

21  
22 115 This observational cross-sectional study, part of PUF-TAXI project (*Particules Ultra-Fines – TAXI*),  
23  
24 116 took place in Paris from February 12<sup>th</sup> 2019 to January 10<sup>th</sup> 2020 (weekdays only). It consisted of  
25  
26 117 measuring TRAP (UFP, BC, NO<sub>2</sub>, CO) concentrations inside taxicabs during a typical working day  
27  
28 118 without any restrictions (vehicle speed, ventilation settings, areas covered by trips, etc.).  
29  
30

31  
32 119 Participants were recruited by two taxi trade unions which approached affiliated taxi drivers on our  
33  
34 120 behalf using an advertisement in Taxi magazines/seminars. To be eligible, taxi drivers had to be on  
35  
36 121 full-time day shift and had to have had their job for at least 6 months. Out of 77 taxi drivers, 56 were  
37  
38 122 eligible and 50 participated in the study.  
39  
40

41  
42 123 This study has been declared to the National Commission for Data Protection and Liberties (CNIL) on  
43  
44 124 the following number: 2172757v0. It was approved by the French Institutional Review Board (Île-De-  
45  
46 125 France III Ethics Committee 3593-RM; Research Ethics Number: 2018-A00811-54). Informed written  
47  
48 126 consent was obtained from all participants.  
49  
50

### 52 127 **2.2. Field measurements**

53  
54  
55 128 Taxi drivers picked up the measuring equipment and the questionnaires at Paris Descartes University,  
56  
57 129 Faculty of Pharmacy. The start and end time of each sampling day was determined according to the  
58  
59  
60

1  
2  
3 130 driver's work schedule. The earliest taxi drivers started their journeys was at 6.20 am, ending by 10.00  
4  
5  
6 131 pm at the latest.

### 8 132 **2.2.1. TRAP monitoring inside taxicabs**

10  
11 133 During the sampling day, each taxi driver was issued with a carry case containing four measuring  
12  
13  
14 134 instruments (described in detail below) placed on the shelf under the rear window of the taxi and a  
15  
16 135 GPS fixed on the windscreen to receive an adequate signal (figure S1). UFP and BC were measured  
17  
18 136 by the Diffusion Size Classifier Miniature (DiSCmini<sup>®</sup>- DM, Wohlen, Switzerland and  
19  
20  
21 137 commercialized by Testo SE &Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Germany) and the microAeth<sup>®</sup> Model  
22  
23 138 AE51 (MA, Aethlabs, San Francisco, California, USA), respectively. NO<sub>2</sub> and CO were also registered  
24  
25 139 by Gas-Pro<sup>®</sup> Crowcon (GP, Equipements Scientifiques, Paris, France). CP11<sup>®</sup> (Michel Instruments,  
26  
27  
28 140 Lyon, France) was used to monitor temperature, humidity, and CO<sub>2</sub> inside the vehicle. All devices  
29  
30 141 were logged at one-minute intervals. We should note that the same set of devices was given to all taxi  
31  
32 142 drivers.

#### 35 143 **Measurement devices**

36  
37  
38 144 DM is a battery-powered (lifetime eight hours) compact device (12 x 8 x 4 cm, 0.7 kg). The detection  
39  
40 145 method is based on charging the aerosol in a unipolar diffusion charger followed by two electrometer  
41  
42  
43 146 phases: (1) the diffusion stage when the electrical current, usually of small particles, is measured and  
44  
45 147 (2) the filter stage with HEPA filter when the current of remaining aerosols, more likely larger  
46  
47 148 particles, is measured. This detection method has been described in detail in Fierz et al<sup>28</sup> publication  
48  
49 149 <sup>28,29</sup> and is designed to measure simultaneously the number of particles per cm<sup>3</sup> of air [from 1'000 to  
50  
51  
52 150 1'000'000 particles particles/cm<sup>3</sup>] and particle mean diameter [from 10 to 300 nanometers (nm)] with  
53  
54 151 ± 30% accuracy in size and number. The record is stored on a memory card (SD-card), which can be  
55  
56  
57 152 transferred to a computer in order to be processed by an offline software DiSCmini data conversion  
58  
59 153 tool (version 2.0)<sup>29</sup>.

60

1  
2  
3 154 **MA** is a portable instrument (11.7 x 6.6 x 3.8 cm, 280 g) designed to measure the deposition of aerosol  
4  
5 155 particles in optically absorbing BC components on a Teflon filter T60 in real-time. The instrument's  
6  
7  
8 156 operating parameters are set up at one-minute time-based intervals at a flow rate of 100 mL/min. Using  
9  
10 157 selected operational settings, the device operates for more than 24 hours. The measurement range is  
11  
12 158 between 0 and 1 mg BC/m<sup>3</sup>, with ± 0.1 µg BC/m<sup>3</sup> precision at 1-minute average sampling intervals  
13  
14  
15 159 and 150 mL/min flow rate. Data is uploaded to a PC software microAethCOM (version 2.2.4.0)<sup>30</sup>.  
16  
17  
18 160 **GP** is a portable multi-gas monitor (4.3 x 13 x 8.4 cm, 309 g) equipped with two passive  
19  
20 161 electrochemical sensors detecting real-time concentrations of CO [0 - 500 ppm, resolution 1 ppm] and  
21  
22 162 NO<sub>2</sub> [0 - 20 ppm, resolution 0.05 ppm]. It operates for more than 14 hours under operating temperature  
23  
24  
25 163 ranging from -20°C to +55°C. Data is viewed and downloaded using a PC software Portable-Pro  
26  
27 164 (version 2.2.0)<sup>31</sup>.  
28  
29  
30 165 **CP11** is a handheld instrument (23.4 x 7.7 x 4.2 cm, 200 g) that simultaneously measures CO<sub>2</sub> [0 to  
31  
32 166 5000 ppm], humidity [0 to 100%] and temperature [-20°C to +60°C]. The measurement is based on a  
33  
34  
35 167 non-dispersive infrared principal with an automatic baseline correction with ± 5% accuracy at 23 ±  
36  
37 168 5°C. Data is downloaded on a PC software Rotronic SW21 (version 1.1.0.13115)<sup>32</sup>.  
38  
39  
40 169 **Qstarz GPS BT-Q1000XT** is a travel recorder (7.2 x 4.6 x 2 cm, 64.7 g) that has an accuracy of 3 m  
41  
42 170 and 50 nanoseconds. It has a built-in rechargeable battery operating up to 42 hours. Data is processed  
43  
44  
45 171 by its software Qstarz Data Viewer (version 1.37) which provides vehicle speed every minute and  
46  
47 172 shows the travel path directly on Google Earth<sup>33</sup>.  
48  
49  
50 173 Quality assurance and data processing were described in the Supporting Information.  
51

#### 52 174 **2.2.2. Determination of vehicle and job-related characteristics**

53  
54  
55 175 Throughout the sampling day, taxi drivers had to fill out two questionnaires. The first survey was for  
56  
57  
58 176 collecting specific characteristics of each trip (with or without a passenger) and break: duration, place  
59  
60 177 of departure and destination, smoking, ventilation settings, engine shut-off. GPS data were used to



1  
2  
3 178 ensure the correct completion of this questionnaire. If consistency problems were identified, taxi  
4  
5 179 drivers were asked to correct and improve data quality. The second questionnaire aimed to determine  
6  
7  
8 180 (1) taxi drivers' occupational characteristics: job tenure, working hours per day and working days per  
9  
10 181 week and (2) taxicab features: for example, brand and model, first year of circulation, fuel type, engine  
11  
12 182 type and size, number of horsepower. Additional information about technical vehicle specifications  
13  
14  
15 183 was obtained from the license plate registry.  
16

### 17 18 184 **2.2.3. Ambient monitoring**

19  
20  
21 185 Ambient air quality during each sampling day was reported using ATMO index scaled from one (very  
22  
23 186 good) to ten (very bad). This global air quality index is calculated each day by accredited air quality  
24  
25 187 monitoring associations (AASQA) based on four air pollutant concentrations: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and PM<sub>10</sub>.  
26  
27 188 For each of these pollutants, a sub-index is calculated  
28  
29  
30 189 and the ATMO index of the day is equal to the highest of the four sub-indices.  
31  
32

33 190 Meteorological data were obtained from the ambient weather monitoring station in Montsouris Park.  
34  
35 191 Ambient temperature and humidity were averaged over each sampling period. Wind speed was  
36  
37  
38 192 attributed to each recorded trip.  
39  
40

### 41 193 **2.3. Statistical analysis**

42  
43  
44 194 Two distinct datasets were created: (1) a wide format dataset with a sample of 50 taxi drivers, in which  
45  
46 195 the pollutant levels recorded inside taxicabs were averaged per sampling day– used to perform  
47  
48  
49 196 descriptive analysis and (2) a long format dataset with a sample of 499 trips, in which pollutant levels  
50  
51 197 were averaged per trip - used to identify determinants of pollutant exposure inside taxicabs. Trips are  
52  
53 198 defined as all journeys (long and short in Paris and/or between suburbs) completed by taxi drivers with  
54  
55 199 or without a passenger during the working day.  
56  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3 200 The generalized estimating equations (GEE) model was used which is perfectly suitable for repeated  
4  
5 201 measures. Exchangeable correlation matrix was chosen based on Akaike's information criterion and  
6  
7  
8 202 because correlations between trip variables were homogenous and did not change with time. UFP, BC,  
9  
10 203 NO<sub>2</sub> and CO were selected as dependent continuous variables and were analyzed in separate models  
11  
12 204 in order to identify specific determinants of each pollutant (independent variable). Exposure levels  
13  
14  
15 205 were log transformed to give data a normal distribution. Potential predictive factors were selected  
16  
17 206 according to literature, based on causal diagrams from the *DAGGITY* program<sup>34</sup> (Figure S2), bivariate  
18  
19 207 analysis (Tables S4, S5, S6, S7) and finally Wald test in the multivariate model. Continuous predictors  
20  
21  
22 208 included in models were: ambient humidity (%) and temperature (°C), wind speed (km/h), mileage  
23  
24 209 (km), car age (years), vehicle speed (km/h), trip duration (minutes), number of clients and CO<sub>2</sub> levels  
25  
26 210 inside taxicabs (ppm). Categorical predictors were: seasons (cold vs warm), vehicle Euro emission  
27  
28 211 standards (Euro 5, Euro 6b, Euro 6c, Euro 6d-TEMP), taxicab fuel and hybrid characteristics (petrol  
29  
30  
31 212 hybrid vs diesel non-hybrid vs diesel stop & start cars), ventilation settings (window(s) opened - WO,  
32  
33 213 window(s) closed - WC, WC + air conditioning mode - AC, WC+AC+ air recirculation mode - ARM)  
34  
35 214 and trip destinations (Paris vs Paris and suburbs vs suburbs). Results were presented as adjusted  $\beta$   
36  
37  
38 215 coefficient with the corresponding p-value. The percentage of change in pollutant concentrations  
39  
40 216 relative to each predictor was calculated using  $1 - \exp(\beta)$ . A positive coefficient indicates that as  
41  
42 217 the value of the independent variable increases, the mean of the dependent variable also tends to  
43  
44  
45 218 increase. A negative coefficient suggests that as the independent variable increases, the dependent  
46  
47 219 variable tends to decrease.  
48  
49  
50 220 All statistical analyses were performed using STATA software (V.15; Stata Corporation, College  
51  
52 221 Station, Texas, USA). Statistical significance was considered when  $p < 0.05$ .  
53

54  
55 222  
56  
57  
58  
59  
60

### 3. RESULTS

1  
2  
3 223 Results are given for 50 taxi drivers (one sampling day for each driver) who performed a total of 499  
4  
5 224 trips during the measurement campaign.  
6  
7

### 8 225 **3.1. Participants and measurement campaign characteristics**

9  
10  
11 226 Characteristics of the 50 participants and their taxicabs are described in Table 1. The majority were  
12  
13 men (92%) with an average age of 51.5 years and more than three quarters of them were non-smokers.  
14 227  
15  
16 228 They worked a mean of  $10 \pm 1.3$  hours per day and  $5.7 \pm 0.7$  days per week. Participants used 11  
17  
18 229 different taxi brands (Toyota, Peugeot, Mercedes-Benz, Volkswagen, Skoda, BMW, Lexus, Renault,  
19  
20 Volvo, Ford, and Seat). Toyota was the most common vehicle make (42%), in particular Prius+ model.  
21 230  
22  
23 231 Taxicab first year of circulation ranged from 2010 to 2019, 75% were less than five years old. Taxi  
24  
25 232 vehicles were powered by diesel (52%) and petrol (48%) engines, of which almost half were hybrid.  
26  
27 233 Forty-eight percent were compliant with Euro 6b standard. Additional technical specifications relating  
28  
29 to body styles are described in Table S1.  
30 234  
31

32  
33 235 The field study was carried out in both cold (autumn, winter; 26/50) and warm (summer, spring; 24/50)  
34  
35 236 seasons. Overall taxi drivers travelled a mean of  $136.7 \pm 48.7$  km for ten trips per day. In total, around  
36  
37 237 50% of trips were made exclusively in Paris and each trip lasted for an average of  $31.2 \pm 19.4$  minutes.  
38  
39  
40 238 Windows were opened during half of the trips, while AC mode was activated in only 10% of trips,  
41  
42 239 with windows closed (Table 2).  
43

### 44 240 **3.2. UFP, BC, NO<sub>2</sub> and CO levels inside Parisian taxicabs**

45  
46  
47 241 TRAP were measured inside taxi vehicles for a mean of  $9.4 \pm 1.7$  hours during the working day. Figure  
48  
49 242 1 shows that UFP levels inside taxicabs were highly variable spatially and temporally; the interquartile  
50  
51 range (IQR) varied from  $17.9 \times 10^3$  to  $37.9 \times 10^3$  particles/cm<sup>3</sup> with a median of  $27.9 \times 10^3$   
52 243  
53 particles/cm<sup>3</sup>. However, BC concentrations fluctuated less (IQR: 2.2 - 3.9 µg/m<sup>3</sup>) with a median of 2.9  
54 244  
55 µg/m<sup>3</sup>. A significant moderate positive correlation has been found between UFP and BC ( $r= 0.428$ ;  
56 245  
57  $p=0.002$ ) (Figure S3). For gaseous pollutants, NO<sub>2</sub> and CO levels changed rapidly over short periods  
58  
59 246  
60

1  
2  
3 247 reaching a maximum of 4.23 ppm (4,843  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and 0.89 ppm (1,673  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), respectively. Median  
4  
5 248 concentration of CO was 0.01 ppm (11.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and NO<sub>2</sub> was 0.06 ppm (112.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Figure S4  
6  
7  
8 249 shows real-time in-taxi NO<sub>2</sub> and CO concentrations recorded during one sampling day for one taxi  
9  
10 250 driver. Throughout the measurement campaign, mean temperature and humidity ( $23 \pm 4^\circ\text{C}$ ;  $42 \pm 12$   
11  
12 251 %, respectively) recorded inside taxi vehicles were stable in all seasons. The mean concentration of  
13  
14  
15 252 in-taxi CO<sub>2</sub> was  $1125 \pm 603$  ppm, the range being [530 -3343] ppm (Table S2).  
16  
17

### 18 253 **3.3. Determinants of TRAP exposure inside Parisian taxicabs**

19  
20  
21 254 A detailed presentation of determinants identified for each pollutant measured inside taxicabs is shown  
22  
23 255 in Table 3.  
24  
25

#### 26 256 **Determinants of UFP count inside taxicabs.**

27  
28  
29 257 Table 3 shows that an increase in trip duration of one minute and in vehicle speed of 1 km/h resulted  
30  
31  
32 258 in higher levels of UFP inside taxicabs of around  $1 \times 10^3$  particles/cm<sup>3</sup>. In addition, with every client  
33  
34 259 entering the taxi vehicle, UFP levels increased by 14%. Vehicle features influenced in-taxi UFP count  
35  
36 260 significantly. Compared with sedan and petrol hybrid, large MPV and diesel non-hybrid taxicabs had  
37  
38 261 45% and 42% lower UFP levels, respectively. Moreover, the bigger the engine size, the lower UFP  
39  
40  
41 262 counts inside taxis. UFP levels were reduced by 46% when windows were closed with the AC system  
42  
43 263 turned on and, if recirculation mode was also activated, UFP levels were decreased further by 65%.  
44  
45

#### 46 264 **Determinants of BC concentrations inside taxicabs.**

47  
48  
49 265 Meteorological parameters affected BC concentrations inside taxi vehicles significantly. BC levels  
50  
51 266 increased by 2,3 % with every 1% rise in ambient relative humidity and decreased by 2,8% with every  
52  
53  
54 267 1 km/h increment of wind speed. Poor ambient air quality was significantly associated with an increase  
55  
56 268 in BC concentration inside taxicabs. Regarding vehicle characteristics, BC concentrations inside MPV,  
57  
58 269 large MPV, station wagon and SUV were 27%, 38%, 42%, 43% lower than in sedan body style,  
59  
60

1  
2  
3 270 respectively. Results showed that BC levels inside taxicabs increased with vehicle speed, trip duration  
4  
5 271 and varied according to trip destinations. Ventilation settings had also a significant impact on BC levels  
6  
7  
8 272 inside cabs. Using AC with closed windows reduced BC levels by 34% compared to when windows  
9  
10 273 were open, and BC levels were reduced by 57% when using air circulation mode (Table 3).  
11

#### 12 13 274 **Determinants of NO<sub>2</sub> levels inside taxicabs.**

14  
15  
16 275 NO<sub>2</sub> levels inside taxi vehicles were 91% higher in the cold season than in the warm season. They were  
17  
18  
19 276 affected by ambient air pollution. NO<sub>2</sub> concentrations were negatively associated with ATMO.  
20  
21 277 Regarding vehicle characteristics, firstly higher levels were associated with older taxicabs, diesel  
22  
23 278 stop&start cars as compared to petrol hybrid, and secondly SUV and large MPV body style as  
24  
25  
26 279 compared to sedan body style. However, NO<sub>2</sub> levels were lower in car engines with larger  
27  
28 280 displacement in diesel non-hybrid than in petrol hybrid, and in MPV than in sedan (Table 3).  
29

#### 30 31 281 **Determinants of CO levels inside taxicabs.**

32  
33  
34 282 CO levels decreased by 27% and 16% inside taxicabs with each 1°C increase in temperature and 1%  
35  
36 283 increase in humidity, respectively. CO concentrations were significantly affected by ambient air  
37  
38  
39 284 pollution and were associated with trip destinations. CO levels were 51% lower on journeys between  
40  
41 285 Paris and suburbs than in Paris. Closing windows reduced CO concentrations in taxis. There was also  
42  
43 286 a significant difference in CO levels measured in different bodywork types with higher levels in station  
44  
45  
46 287 wagon and large MPV than in sedan. CO levels increased with vehicle mileage (Table 3).  
47

## 48 49 50 51 289 **4. DISCUSSION**

52  
53  
54 290 To our knowledge, this study is the first to assess air quality inside French taxicabs since the change  
55  
56  
57 291 of emission regulations and technological improvements in the automobile fleet **over** the last 20 years.  
58  
59 292 Our findings document in-taxi real-time concentrations of high priority particulates (UFP, BC) and  
60

1  
2  
3 293 show that regulated gaseous pollutants (NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) did not exceed national occupational exposure  
4  
5 294 standards. Moreover, our results revealed that taxi driver exposure to UFP, BC, NO<sub>2</sub> and CO inside  
6  
7  
8 295 their vehicles varied according to three main groups of determinants: **(1) ambient factors**  
9  
10 296 (meteorological parameters and ambient air pollution) – affecting BC, NO<sub>2</sub> and CO concentrations;  
11  
12 297 **(2) vehicle characteristics** – influencing all pollutants in particular NO<sub>2</sub> and CO levels; **(3) trip-**  
13  
14  
15 298 **related driving habits** that impacted mainly particulate pollutants (UFP, BC) and also CO levels.  
16

#### 17 **4.1. Levels of TRAP inside taxicabs**

##### 18 299 **4.1.1. Particulate pollutants**

19  
20 300  
21  
22  
23 301 In general, mean concentrations of UFP and BC inside Parisian taxi vehicles were lower than those  
24  
25 302 measured in the pilot study conducted inside Lebanese taxicabs (29.7 vs 35.2 x 10<sup>3</sup> particles/cm<sup>3</sup>, 3.1  
26  
27 vs 5.18 µg/m<sup>3</sup>, respectively)<sup>35</sup>. This is possibly because of the difference in vehicle age and fuel types  
28 303 used<sup>36</sup> in the two countries. In Lebanon, taxis were, on average, twice as old as in Paris and mainly  
29  
30 304 powered by gasoline. Median levels of UFP and BC inside Paris taxicabs were also lower than those  
31  
32 305 in Barcelona<sup>37</sup>. Moreno et al<sup>37</sup> suggested that high levels found inside Barcelona taxis were most  
33  
34 306 likely due to the fact that drivers tended to open windows while travelling, thus facilitating TRAP  
35  
36  
37 307 entrance into the cabin. When examining levels measured according to fuel type, UFP count in  
38  
39 308 Barcelona petrol hybrid taxis was twice as high as in Paris taxis (48.4 x 10<sup>3</sup> vs 24.8 x 10<sup>3</sup> particles/cm<sup>3</sup>).  
40  
41 309 This difference could be due to older petrol hybrid vehicles in Barcelona (year of purchase: 2012) that  
42  
43 did not meet Euro-6b standard (PM: 4.5 mg/km; PN: 6.1E+12 particles/km for direct injection petrol  
44 310 engines). Conversely, petrol hybrid taxis in this study were newer; 45% were compliant with Euro-6b  
45  
46 311 standard, 15% with Euro-6c (PN: 6.1E+11 particles/km for direct injection petrol engines) and 30%  
47  
48 312 with Euro-6d TEMP (PN: 6.1E+11 particles/km for direct and non-direct injection petrol engines)<sup>38</sup>.  
49  
50 313 As for diesel taxis, BC concentrations in Barcelona taxis were greater than in Paris taxis (6.5 vs 2.9  
51  
52 µg/m<sup>3</sup>). This difference could be explained by the fact that most Barcelona taxis were purchased before  
53 314 2011, thus prior to the application of Euro 5 standard (January 2011), when all new diesel vehicles  
54  
55 315  
56  
57 316  
58  
59 317  
60 317

1  
2  
3 318 were fitted with particulate filters. These observations highlight the significant contribution of vehicle  
4  
5 319 characteristics to taxi driver in-cabin exposure to particulate pollutants <sup>39</sup>.

#### 8 320 **4.1.2. Gaseous pollutants**

10  
11 321 In the present study, mean CO concentration in Parisian taxicabs did not exceed 8 hour occupational  
12  
13 322 exposure limit values fixed by the Ministry of Labor (0.42 vs 50 ppm) <sup>40</sup>. In addition, the mean CO  
14  
15 323 level in taxis (0.487 mg/m<sup>3</sup>) was lower than CO ambient levels recorded by both background and traffic  
16  
17 324 air monitoring network stations (1 mg/m<sup>3</sup> and 2 mg/m<sup>3</sup>, respectively) <sup>41</sup>. Moreover, Parisian taxi drivers  
18  
19 325 were exposed to lower CO levels (0.42 ± 0.83 ppm) than in a previous study conducted 20 years ago  
20  
21 326 (3.8 ± 1.7 ppm) <sup>26</sup>. In Parisian taxis, CO levels were also the lowest compared to those measured in  
22  
23 327 India (5.33 ± 0.68 ppm) <sup>24</sup>, in China (5.21 ± 1.52 ppm) <sup>17</sup>, in Iran (19.84 ppm) <sup>25</sup> and in United Kingdom  
24  
25 328 (1.05 ± 0.44 ppm) <sup>18</sup>. This is probably due to the evolution of emission regulations and technological  
26  
27 329 improvements over the years <sup>38</sup>. Consistent evidence has shown that CO emissions from new vehicles  
28  
29 330 decreased in recent years, but still depend on driving conditions, and efficiencies of three-way catalytic  
30  
31 331 converters (TWC) <sup>42</sup>. In this research, CO levels inside taxicabs were inversely related to car age (Table  
32  
33 332 3), which might be due to improper functioning of TWC. The increase in diesel cars is related to higher  
34  
35 333 levels of NO<sub>2</sub> emissions <sup>43</sup>. Indeed, this study recorded mean NO<sub>2</sub> levels inside Parisian taxicabs (230.6  
36  
37 334 ± 306.9 µg/m<sup>3</sup>), which are much higher levels than those measured in previous studies conducted in  
38  
39 335 Paris (139 ± 43 µg/m<sup>3</sup>) <sup>26</sup> and in Sweden (48 ± 12 µg/m<sup>3</sup>) <sup>44</sup>. NO<sub>2</sub> peaks in the present study, recorded  
40  
41 336 inside Parisian taxicabs, are observed in congested traffic (Figure S3). Regarding CO<sub>2</sub>, which is  
42  
43 337 produced by the human body through breathing, its concentration inside vehicles reflects human  
44  
45 338 occupancy and air exchange <sup>45</sup>. It is an indicator of indoor air quality (enclosed spaces) regulated by  
46  
47 339 the Ministry of Labor with a 5000-ppm threshold limit value for 8 hours occupational exposure of CO<sub>2</sub>  
48  
49 340 <sup>40</sup>. In the present study, the mean CO<sub>2</sub> level inside Parisian taxicabs (1125 ppm) was lower than  
50  
51 341 occupational limits and comparable with average CO<sub>2</sub> concentrations (1220 ppm) reported inside taxi  
52  
53 342 vehicles in the United States <sup>19</sup>.

1  
2  
3 343 As discussed in this section, comparing particulate and gaseous pollutant levels inside taxicabs  
4  
5 344 amongst- and within- countries cannot be done without accounting for pollutant sources, regulations,  
6  
7  
8 345 ventilation settings, etc. Therefore, in order to interpret Parisian taxi driver exposure to TRAP inside  
9  
10 346 their cabs, all determinants should be taken into consideration.

#### 13 347 **4.2. Determinants of Parisian taxi driver exposure to TRAP inside their vehicles**

14  
15  
16 348 Based on existing scientific literature <sup>16,46</sup>, determinants of TRAP levels inside taxicabs were related  
17  
18 349 either (1) to pollutant sources inside vehicles (ambient air pollution and the vehicle itself through  
19  
20  
21 350 leakage/infiltration of its own exhaust emission) or (2) to travel conditions (trip characteristics and  
22  
23 351 drivers' habits).

#### 24 25 26 352 **Ambient factors**

27  
28  
29 353 This study found that UFP count inside vehicles was not influenced by outside air pollution (Table 3).  
30  
31 354 This may be explained by the fact that ambient air pollution was evaluated by ATMO index, which  
32  
33  
34 355 only considers PM<sub>10</sub> as particulate pollutants. Moreover, PM<sub>10</sub> and UFP levels are poorly correlated  
35  
36 356 <sup>47</sup>. Consequently, ATMO index does not reflect ambient levels of UFP. Numerous studies found that  
37  
38 357 UFP infiltration into vehicles depends largely on penetration factors, ventilation modes and vehicle  
39  
40  
41 358 speed <sup>48-50</sup>. Therefore, it is not surprising to find no association between in-taxis UFP count and  
42  
43 359 ambient air pollution. Regarding meteorological parameters, they were not found to influence UFP  
44  
45 360 levels inside Parisian taxicabs significantly. Similar results were observed in a study conducted in New  
46  
47 361 Zealand, where UFP level inside buses was not affected by ambient temperature nor by wind speed <sup>51</sup>.  
48  
49  
50 362 However, it is important to note that the impact of meteorological parameters on UFP varied across  
51  
52 363 studies and was generally location- and transport mode-dependent <sup>36</sup>.

53  
54  
55 364 As expected, BC concentrations inside taxicabs depended on ambient air pollution (Table 3). Given  
56  
57 365 the context, we should note that mean BC level inside Parisian taxis (3.1 µg/m<sup>3</sup>) was higher than annual  
58  
59 366 BC ambient background level monitored by urban network stations (at Paris 13<sup>ème</sup>: 1.5 µg/m<sup>3</sup>; at



1  
2  
3 367 Gennevilliers:  $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) but lower than annual BC concentrations recorded by traffic monitoring sites  
4  
5 368 (Boulevard Périphérique Est:  $6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Autoroute A1-Saint-Denis:  $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>41</sup>. This suggests that  
6  
7  
8 369 combustion engines are the main source of BC in the Paris area<sup>9</sup>. Furthermore, in-taxi BC  
9  
10 370 concentrations were found to be negatively associated with wind speed and positively associated with  
11  
12 371 relative humidity. This is likely because high wind speed affects dilution of vehicle emissions as well  
13  
14  
15 372 as sweeping away airborne water, resulting in reduced humidity.  
16  
17  
18 373 Before discussing the influence of ambient factors on gaseous concentrations, it is important to mention  
19  
20 374 two elements: (1)  $\text{NO}_2$  and CO play a major role via complex photo-chemical reactions in ground level  
21  
22 375  $\text{O}_3$  production, to which they are negatively associated<sup>5,52,53</sup> and (2) poor air quality during the study  
23  
24  
25 376 was due to  $\text{O}_3$  in 64% of sampling days. Therefore, unsurprisingly both  $\text{NO}_2$  and CO levels were  
26  
27 377 inversely related to ambient air pollution (in relation to  $\text{O}_3$  levels). Regarding the ambient temperature  
28  
29 378 effect,  $\text{NO}_2$  levels were found to be positively related to temperature, consistent with their production  
30  
31 379 from the reaction of nitrogen and oxygen gases in the air at high temperatures. In contrast, CO  
32  
33  
34 380 concentrations decreased by 27% with each  $1^\circ\text{C}$  increase in temperature. Similar trends were observed  
35  
36 381 for CO levels in the Kaur and Nieuwenhuijsen<sup>18</sup> study, in which temperature explained 11% of in-taxi  
37  
38 382 CO level variability. In the present study, wind speed did not significantly affect  $\text{NO}_2$  and CO levels.  
39  
40  
41 383 Conversely, in Zagury et al and in Kaur and Nieuwenhuijsen<sup>18,26</sup> studies, CO levels inside taxi vehicles  
42  
43 384 varied by 5% and 39%, respectively, according to wind speed.  $\text{NO}_2$  concentrations inside taxicabs in  
44  
45 385 the cold season were higher than in the warm season due to residential sectors. Regarding CO levels,  
46  
47  
48 386 they were unexpectedly lower inside taxicabs in cold weather compared to warm season. The only  
49  
50 387 possible explanation is that drivers closed their windows for almost 85% of trips during the cold  
51  
52 388 season, thus preventing the ingress of CO into the cabin. This idea is reinforced by the significant  
53  
54 389 association found in the multivariate analysis revealing that closing windows decreased CO levels by  
55  
56  
57 390 55% (Table 3).  
58  
59  
60

1  
2  
3 391 Overall, UFP count inside taxi vehicles is not related to ambient factors, whereas in-taxi BC, CO and  
4  
5 392 NO<sub>2</sub> concentrations are significantly affected by both ambient air pollution and meteorological  
6  
7  
8 393 parameters.  
9  
10  
11 394 **Vehicle characteristics**  
12  
13  
14 395 Vehicle characteristics such as car structure, vehicle envelope, links to air leakage/infiltration,  
15  
16 396 ventilation system efficiency, are affected by car brands<sup>19,48</sup>. Therefore, all statistical models used for  
17  
18 397 identifying determinants of TRAP exposure inside taxis were adjusted for vehicle brands.  
19  
20  
21 398 All pollutant levels inside taxi vehicles were affected by their body styles. Levels of in-cabin  
22  
23 399 particulate pollutants decreased with larger vehicle volume. Indeed, UFP levels were 45% lower in  
24  
25 400 large MPVs than in sedan cars and BC levels were lower in all types of body styles compared to sedans.  
26  
27  
28 401 This is likely because there is more dispersion of particle pollutants inside large volume vehicles<sup>54</sup>.  
29  
30  
31 402 Gaseous pollutants also varied markedly from one body style to another, though these results are  
32  
33 403 difficult to interpret without precise knowledge of vehicle technical specifications.  
34  
35 404 In relation to fuel-type, UFP and NO<sub>2</sub> levels were higher in petrol hybrid than in diesel non-hybrid taxi  
36  
37 405 vehicles. This result may be explained by the effect of vehicle weight on non-exhaust particle and  
38  
39 406 exhaust gaseous emissions. Since hybrid vehicles combine both electric and thermal engines, they are  
40  
41  
42 407 heavier than vehicles with internal combustion engines and need more energy to move<sup>55,56</sup>.  
43  
44 408 Interestingly, NO<sub>2</sub> levels in diesel stop&start were higher than in petrol hybrid taxis. The European  
45  
46 409 Environment Agency reported that in new diesel vehicles, catalytic converters (used for controlling  
47  
48 410 exhaust air pollutant emissions) are probably not efficient<sup>5</sup>.  
49  
50  
51 411 Regarding engine size, UFP count decreased inside vehicles with larger engines, as well as NO<sub>2</sub> and  
52  
53 412 CO levels. This result may indicate that cars with large displacement are equipped with advanced  
54  
55 413 technology and they tend to have a better engine quality<sup>57</sup>. In contrast, high in-taxi NO<sub>2</sub> and CO levels  
56  
57  
58  
59  
60

1  
2  
3 414 were found in older and high-mileage vehicles, respectively, which corresponds with trends for CO  
4  
5 415 concentrations found by Moreno et al <sup>37</sup>.  
6  
7  
8 416 In total, taxi driver exposure to UFP, NO<sub>2</sub> and CO levels inside their vehicles depended on vehicle  
9  
10 417 features (body and fuel type, car age, engine size, high mileage), whereas in-taxi BC concentrations  
11  
12 418 were only related to body style.  
13

#### 14 15 419 **Trip-related driving habits** 16

17  
18 420 Our study showed that trip-related driving habits were significant determinants of taxi driver exposure  
19  
20  
21 421 to UFP, BC and CO levels. Trip duration was positively associated with in-taxi UFP and BC levels  
22  
23 422 which increased during long trips. Numerous studies have reported that the length of time spent inside  
24  
25 423 transport on TRAP exposure levels is significant <sup>58-62</sup>.  
26

27  
28 424 Driving speed was positively related to UFP and BC levels inside Parisian taxicabs. In fact, Lee et al  
29  
30 425 <sup>48</sup> explained that driving at high speed contributed significantly to high UFP infiltration (in particular  
31  
32 426 leakage at the rear trunk) into the passenger vehicle due to surface pressure. Similar trends have been  
33  
34 427 noted in other studies. At high driving speed, Lim et al <sup>51</sup> reported high occurrence of UFP spikes and  
35  
36  
37 428 Dons et al <sup>63</sup> observed significant variation of BC concentrations inside motorized transport.  
38

39 429 The number of clients was another determinant affecting UFP and BC levels inside taxicabs  
40  
41 430 significantly. This finding may be explained by the fact that when more clients entered the vehicle, the  
42  
43  
44 431 duration of opening taxi vehicle door(s) would tend to be higher. This would improve air exchange  
45  
46 432 rates and thus facilitate transport of UFP and BC inside the cabin. On the other hand, it **would** also  
47  
48 433 deliver fresh air into the cabin, which may partially explain why CO<sub>2</sub> concentrations inside taxicabs  
49  
50  
51 434 were inversely related to UFP and BC levels. This finding is consistent with the Moreno et al <sup>37</sup> study,  
52  
53 435 which reported high UFP counts (> 20,000 particles/cm<sup>3</sup>) and low CO<sub>2</sub> levels (< 570 ppm) inside taxis  
54  
55 436 when windows were open.  
56

57  
58 437 As with previous studies <sup>16,19,20,35-37,46,64-66</sup>, ventilation mode was found to be a key determinant of  
59  
60 438 driver exposure to TRAP inside their vehicles. This study indicates that UFP and BC levels decreased

1  
2  
3 439 considerably when windows were closed with AC mode on and their levels were much lower if ARM  
4  
5  
6 440 was activated. It is important to note that by closing windows, CO levels were reduced. This may  
7  
8 441 emphasize the major role of cabin filters on particle reduction inside the cabin, which is consistent  
9  
10 442 with previous studies <sup>19,23,36,37,52,67,68</sup>.  
11  
12 443 Trip destination affected only BC and CO concentrations inside taxicabs. When taxi drivers travelled  
13  
14  
15 444 in the direction of suburbs or inside suburbs, BC levels inside cabs increased compared to when  
16  
17 445 travelling only in Paris. This is likely due to the impact of trip duration and vehicle speed. Indeed, both  
18  
19 446 driving from Paris towards suburbs or between suburbs involve long-distance travel (extended travel  
20  
21  
22 447 duration) and in general high-speed driving (highways). Lower levels of CO were found during  
23  
24 448 journeys between suburbs compared to in Paris. This finding is consistent with the Alameddine et al  
25  
26 449 <sup>68</sup> study, which reported that in-vehicle CO levels were 10% lower on highways compared to  
27  
28  
29 450 commercial areas.  
30  
31 451 Overall trip-related driving habits significantly influenced UFP, BC and CO levels inside taxicabs  
32  
33 452 without having any impact on NO<sub>2</sub> concentrations.  
34  
35 453 **4.3. Strengths and limitations**  
36  
37  
38 454 The strength of this study lies in its innovation, rigorous method, and data quality. Besides regulated  
39  
40  
41 455 gaseous pollutants, it also provides evidence of concentrations of high priority particulate pollutants  
42  
43 456 (the least documented) inside taxi vehicles in the Paris area for the first time. From a methodological  
44  
45 457 point of view, having a homogeneous and large sample size (compared to other studies in the field)  
46  
47  
48 458 means that this study is fairly representative of current Parisian in-use vehicle fleet. In adopting a  
49  
50 459 standardized methodology for exposure measures, data collection/processing and by using validated  
51  
52 460 measurement devices, the findings demonstrate a high degree of reliability. Also, it is worthwhile  
53  
54  
55 461 highlighting that this is the first extensive effort made to consider a great variety of determinants that  
56  
57 462 could possibly impact pollutant levels inside taxicabs ranging from ambient factors to vehicle factors  
58  
59 463 and trip related driving habits. The awareness of participants regarding their chronic exposure to  
60

1  
2  
3 464 TRAP inside their vehicles, increased commitment to the study. Consequently, the response rate and  
4  
5  
6 465 the data quality collected were satisfactory. Also, data quality was ensured by verifying the  
7  
8 466 completeness of questionnaires; taxi drivers were asked to clarify if inconsistencies were found. Using  
9  
10 467 a digital platform (CleanWeb™) for data entry facilitated data management, improved data quality,  
11  
12 468 and secured data storage.  
13  
14  
15 469 However, there are some limitations to this study. The type of ventilation system installed in the car  
16  
17 470 (hybrid or not) and the fan speed were not documented, though they could provide a better  
18  
19 471 understanding of pollutant level variation. Also, some measurement errors occurred with measurement  
20  
21  
22 472 devices. Out of 28,105 total recorded minutes, 13% were lost for UFP (due to low corona voltage,  
23  
24 473 battery life problems and sometimes because of the rapid change in aerosol concentrations), 3% for  
25  
26 474 BC despite the correction with ONA algorithm and 2% for temperature, humidity and CO<sub>2</sub> (due to  
27  
28  
29 475 battery life). Otherwise, it should be noted that eight taxi drivers could not benefit from NO<sub>2</sub> and CO  
30  
31 476 levels monitoring inside their cabs because the corresponding device GP was unavailable (sent to the  
32  
33 477 manufacturer for calibration).  
34  
35  
36 478

## 37 38 479 **5. CONCLUSION**

39  
40  
41 480 Taxi drivers are highly exposed to TRAP due to their proximity to traffic sources and the significant  
42  
43 481 amount of time spent in traffic. However, studies have to date shown little interest in assessing their  
44  
45  
46 482 exposure, particularly in France.  
47  
48  
49 483 In this study, real-time concentrations of UFP, BC, NO<sub>2</sub>, CO over 499 trips conducted by 50 Parisian  
50  
51 484 taxi drivers were measured. The determinants of each pollutant measured were identified. These  
52  
53 485 findings show that regulated gaseous pollutants (NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>) did not exceed national occupational  
54  
55  
56 486 exposure standards. Furthermore, the results revealed that concentrations of UFP, BC, NO<sub>2</sub> and CO  
57  
58 487 inside taxi vehicles varied according to three main groups of determinants: ambient factors  
59  
60 488 (meteorological parameters and ambient air pollution) affecting BC, NO<sub>2</sub> and CO concentrations;

1  
2  
3 489 vehicle characteristics influencing all pollutants, in particular NO<sub>2</sub> and CO levels; trip-related driving  
4  
5 490 habits that impacted mainly particulate pollutants (UFP, BC) and also CO levels. Based on these  
6  
7  
8 491 results, we provide recommendations in order to reduce commuter exposure to TRAP inside vehicles  
9  
10 492 through driving style, ventilation and good vehicle maintenance.

### 13 493 **Funding**

14  
15 494 This work was supported by ADEME (Contract n° 1666C0006), and the Research call Programme  
16  
17  
18 495 National de Recherche Environnement Santé Travail 2015 (ANSES –French Agency for Food,  
19  
20 496 Environmental and Occupational Health & Safety). MH is co-funded by the French Environment &  
21  
22 497 Energy Management Agency (ADEME) and by the National Council for Scientific Research -  
23  
24  
25 498 Lebanon (CNRS-L). The co-founders were not involved in the writing of this article.

### 27 499 **Declaration of Competing Interests**

28  
29  
30 500 The authors declare no competing financial interest.

31  
32  
33 501 **Patient consent** Written.

### 35 502 **References**

- 36  
37 503 1. HEI. *State of Global Air 2019*. Boston: Health Effects Institute;2019. ISSN 2578-6873.  
38 504 2. WHO. *Burden of disease from the joint effects of household and ambient air pollution for 2016*.  
39 505 World Health Organization;2018a.  
40 506 3. SDES. *Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2018*. France: Ministère de la transition  
41 507 écologique et solidaire;2019.  
42 508 4. EEA. *Air quality in Europe - 2019 report*. Copenhagen: European Environment Agency;2019. No  
43 509 10/2019.  
44 510 5. EEA. *Explaining road transport emissions*. Copenhagen: European Environment Agency; 2016.  
45 511 6. MTES. Pollution de l'air: origines, situation et impacts - Journal de l'exposition "Mieux respirer c'est  
46 512 ça l'idée". 2019; [www.ecologique-solidaire.gouv.fr](http://www.ecologique-solidaire.gouv.fr). Accessed 27/02/2020.  
47 513 7. MTES. Développement des véhicules propres. 2019; [https://www.ecologique-  
48 514 solidaire.gouv.fr/developpement-des-vehicules-propres](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/developpement-des-vehicules-propres). Accessed 28/02/2020, 2020.  
49 515 8. HEI. *Understanding the health effects of ambient ultrafine particles*. Boston, Massachusetts: Health  
50 516 Effects Institute 2013.  
51 517 9. Janssen N, Gerlofs-Nijland M, Lanki T, et al. *Health effects of black carbon*. World Health  
52 518 Organization: regional officer for Europe;2012.  
53 519 10. ADEME. *Les avis de l'ADEME : émissions de particules et de NO<sub>x</sub> par les véhicules routiers*. France:  
54 520 ADEME;2018.  
55 521 11. MTES. Motorisations des véhicules légers neufs: émissions de CO<sub>2</sub> et bonus écologique. *Données et  
56 522 études statistiques 2020*; N°256;[https://www.statistiques.developpement-  
57 523 durable.gouv.fr/publicationweb/265](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/265). Accessed 04/03/2020.  
58 524 12. AIRPARIF. *Bilan 2015 des émissions atmosphériques - Ile-de-France*. AIRPARIF;2019.

- 1  
2  
3 525 13. MTES. Certificats qualité de l'air: Crit'Air. *Principes et modalités du certificat qualité de l'air* 2020; <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/certificats-qualite-lair-critair#e5>. Accessed 28/02/2020, 2020.  
4 526  
5 527  
6 528 14. MTES. *Une voiture sur deux est éligible à la vignette Crit'air 1 ou 2*. Ministère de la transition  
7 529 écologique et solidaire; Decembre 2019 2019.  
8 530 15. Krzyzanowski M, Kuna-Dibbert B, Jürgen S. *Health effects of transport-related air pollution*. World  
9 531 Health Organization 2005.  
10 532 16. Hachem M, Saleh N, Paunescu A-C, Momas I, Bensefa-Colas L. Exposure to traffic air pollutants in  
11 533 taxicabs and acute adverse respiratory effects: A systematic review. *Science of The Total*  
12 534 *Environment*. 2019;693:133439.  
13 535 17. Huang J, Deng F, Wu S, Guo X. Comparisons of personal exposure to PM2.5 and CO by different  
14 536 commuting modes in Beijing, China. *Science of The Total Environment*. 2012;425:52-59.  
15 537 18. Kaur S, Nieuwenhuijsen MJ. Determinants of Personal Exposure to PM2.5, Ultrafine Particle Counts,  
16 538 and CO in a Transport Microenvironment. *Environmental Science & Technology*. 2009;43(13):4737-  
17 539 4743.  
18 540 19. Yu N, Shu S, Lin Y, Zhu Y. Assessing and reducing fine and ultrafine particles inside Los Angeles  
19 541 taxis. *Atmospheric Environment*. 2018;181:155-163.  
20 542 20. Wu D-L, Lin M, Chan C-Y, et al. Influences of Commuting Mode, Air Conditioning Mode and  
21 543 Meteorological Parameters on Fine Particle (PM2.5) Exposure Levels in Traffic Microenvironments.  
22 544 *Aerosol and Air Quality Research*. 2013;13(2):709-720.  
23 545 21. Leung P-L, Harrison RM. Roadside and in-vehicle concentrations of monoaromatic hydrocarbons.  
24 546 *Atmospheric Environment*. 1999;33(2):191-204.  
25 547 22. Jo W-K, Yu C-H. Public Bus and Taxicab Drivers' Work-Time Exposure to Aromatic Volatile  
26 548 Organic Compounds. *Environmental Research*. 2001;86(1):66-72.  
27 549 23. Chan LY, Lau WL, Lee SC, Chan CY. Commuter exposure to particulate matter in public  
28 550 transportation modes in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 2002;36(21):3363-3373.  
29 551 24. Namdeo A, Ballare S, Job H, Namdeo D. Commuter Exposure to Air Pollution in Newcastle, U.K.,  
30 552 and Mumbai, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. 2016;20(4):A4014004.  
31 553 25. Golhosseini SMJ, Kakooei H, Shahtaheri S, Azam K, Panahi D. Occupational Exposure to Carbon  
32 554 Monoxide of Taxi Drivers in Tehran, Iran. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2011;3.  
33 555 26. Zagury E, Le Moullec Y, Momas I. Exposure of Paris taxi drivers to automobile air pollutants within  
34 556 their vehicles. *Occupational and environmental medicine*. 2000;57(6):406-410.  
35 557 27. MTES. *Les taxis et VTC en 2017-2018*. January 2020 2020.  
36 558 28. Fierz M, Burtscher H, Steigmeier P, Kasper M. Field Measurement of Particle Size and Number  
37 559 Concentration with the Diffusion Size Classifier (Disc). 2008.  
38 560 29. MatterAerosol. *DiSCmini Diffusion Size Classifier Miniature: Instruction Manual*. Wholen,  
39 561 Switwerland: Testo company; January 2012 2012.  
40 562 30. AethLabs. *Operating Manual - microAeth Model AE51*. San Francisco, California 2011.  
41 563 31. Crowcon. *Gas-Pro: User & Operator Manual* April 2016 2016.  
42 564 32. Rotronic. *CP11- Manuel simplifié d'utilisateur*. Michell Instruments France; 16/10/2014 2014.  
43 565 33. Qstazr. *BT-Q1000XT A-GPS Travel recoder*. QSTARZ; 2019 2019.  
44 566 34. Textor J, van der Zander B, Gilthorpe MS, Liškiewicz M, Ellison GT. Robust causal inference using  
45 567 directed acyclic graphs: the R package 'dagitty'. *International Journal of Epidemiology*.  
46 568 2017;45(6):1887-1894.  
47 569 35. Hachem M, Bensefa-Colas L, Lahoud N, Akel M, Momas I, Saleh N. Cross-sectional study of in-  
48 570 vehicle exposure to ultrafine particles and black carbon inside Lebanese taxicabs. *Indoor Air*. 2020.  
49 571 36. Knibbs LD, Cole-Hunter T, Morawska L. A review of commuter exposure to ultrafine particles and  
50 572 its health effects. *Atmospheric Environment*. 2011;45(16):2611-2622.  
51 573 37. Moreno T, Pacitto A, Fernández A, et al. Vehicle interior air quality conditions when travelling by  
52 574 taxi. *Environmental Research*. 2019;172:529-542.  
53 575 38. icct. *A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards* International Council on Clean  
54 576 Transportation 2016.  
55 577 39. Campagnolo D, Cattaneo A, Corbella L, et al. In-vehicle airborne fine and ultra-fine particulate matter  
56 578 exposure: The impact of leading vehicle emissions. *Environ Int*. 2019;123:407-416.  
57  
58  
59  
60

- 1  
2  
3 579 40. INRS. *Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France*. Paris: Institut  
4 580 National de Recherche et de Sécurité; October 2016 2016.  
5 581 41. AIRPARIF. *Bilan de la qualité de l'air Année 2018*. AIRPARIF; April 2019 2019.  
6 582 42. Naus S, Röckmann T, Popa ME. The isotopic composition of CO in vehicle exhaust. *Atmospheric*  
7 583 *Environment*. 2018;177:132-142.  
8 584 43. Franco V, Posada Sanchez F, German J, Mock P. *Real-world exhaust emissions from modern disel*  
9 585 *cars*. icct;2014.  
10 586 44. Lewné M, Nise G, Lind M-L, Gustavsson P. Exposure to particles and nitrogen dioxide among taxi,  
11 587 bus and lorry drivers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*.  
12 588 2006;79(3):220-226.  
13 589 45. ANSES. Carbone dioxide (CO2) in indoor air: concentrations and health effects. 2016;  
14 590 <https://www.anses.fr/en/content/carbon-dioxide-co2-indoor-air>. Accessed 01/04/2020.  
15 591 46. Xu B, Chen X, Xiong J. Air quality inside motor vehicles' cabins: A review. *Indoor and Built*  
16 592 *Environment*. 2016;27(4):452-465.  
17 593 47. Kwasny F, Madl P, Hofmann W. Correlation of air quality data to ultrafine particles (UFP)  
18 594 concentration and size distribution in ambient air. *Atmosphere*. 2010;1(1):3-14.  
19 595 48. Lee ES, Stenstrom MK, Zhu Y. Ultrafine particle infiltration into passenger vehicles. Part I:  
20 596 Experimental evidence. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015;38:156-  
21 597 165.  
22 598 49. Shu S, Yu N, Wang Y, Zhu Y. Measuring and modeling air exchange rates inside taxi cabs in Los  
23 599 Angeles, California. *Atmospheric Environment*. 2015;122:628-635.  
24 600 50. Xu B, Zhu Y. Quantitative Analysis of the Parameters Affecting In-Cabin to On-Roadway (I/O)  
25 601 Ultrafine Particle Concentration Ratios. *Aerosol Science and Technology*. 2009;43(5):400-410.  
26 602 51. Lim S, Dirks KN, Salmond JA, Xie S. Determinants of spikes in ultrafine particle concentration  
27 603 whilst commuting by bus. *Atmospheric Environment*. 2015;112:1-8.  
28 604 52. Roberts-Semple D, Song F, Gao Y. Seasonal characteristics of ambient nitrogen oxides and ground-  
29 605 level ozone in metropolitan northeastern New Jersey. *Atmospheric Pollution Research*.  
30 606 2012;3(2):247-257.  
31 607 53. Xue L, Wang T, Gao J, et al. Ozone production in four major cities of China: Sensitivity to ozone  
32 608 precursors and heterogeneous processes. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*.  
33 609 2013;13:27243-27285.  
34 610 54. Rodriguez R, Murzyn F, Mehel A, Larrarte F. Dispersion of ultrafine particles in the wake of car  
35 611 models: A wind tunnel study. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2020;198.  
36 612 55. Timmers VRJH, Achten PAJ. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric*  
37 613 *Environment*. 2016;134:10-17.  
38 614 56. Shiau C-SN, Samaras C, Hauffe R, Michalek JJ. Impact of battery weight and charging patterns on  
39 615 the economic and environmental benefits of plug-in hybrid vehicles. *Energy Policy*. 2009;37(7):2653-  
40 616 2663.  
41 617 57. Flamarz S. Studying the Relation between the Engine Size and Manufacturing Year of Gasoline-  
42 618 Fueled Vehicles and Exhaust Emission Percentages and Concentrations. 2020:196-219.  
43 619 58. Dons E, Int Panis L, Van Poppel M, Theunis J, Wets G. Personal exposure to Black Carbon in  
44 620 transport microenvironments. *Atmospheric Environment*. 2012;55:392-398.  
45 621 59. Ekpenyong CE, Etebong EO, Akpan EE, Samson TK, Daniel NE. Urban city transportation mode  
46 622 and respiratory health effect of air pollution: a cross-sectional study among transit and non-transit  
47 623 workers in Nigeria. *BMJ Open*. 2012;2(5):e001253.  
48 624 60. Dons E, Int Panis L, Van Poppel M, et al. Impact of time-activity patterns on personal exposure to  
49 625 black carbon. *Atmospheric Environment*. 2011;45(21):3594-3602.  
50 626 61. Paunescu A-C, Attoui M, Bouallala S, Sunyer J, Momas I. Personal measurement of exposure to  
51 627 black carbon and ultrafine particles in schoolchildren from PARIS cohort (Paris, France). *Indoor Air*.  
52 628 2017;27(4):766-779.  
53 629 62. de Nazelle A, Fruin S, Westerdahl D, et al. A travel mode comparison of commuters' exposures to air  
54 630 pollutants in Barcelona. *Atmospheric Environment*. 2012;59:151-159.  
55 631 63. Dons E, Temmerman P, Van Poppel M, Bellemans T, Wets G, Int Panis L. Street characteristics and  
56 632 traffic factors determining road users' exposure to black carbon. *Sci Total Environ*. 2013;447:72-79.  
57 633  
58 634  
59 635  
60 636



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

64. Tan SH, Roth M, Velasco E. Particle exposure and inhaled dose during commuting in Singapore. *Atmospheric Environment*. 2017;170:245-258.
65. Onat B, Şahin ÜA, Uzun B, Akın Ö, Özkaya F, Ayvaz C. Determinants of exposure to ultrafine particulate matter, black carbon, and PM<sub>2.5</sub> in common travel modes in Istanbul. *Atmospheric Environment*. 2019;206:258-270.
66. Hudda N, Fruin SA. Models for Predicting the Ratio of Particulate Pollutant Concentrations Inside Vehicles to Roadways. *Environmental Science & Technology*. 2013;47(19):11048-11055.
67. Muala A, Sehlstedt M, Bion A, et al. Assessment of the capacity of vehicle cabin air inlet filters to reduce diesel exhaust-induced symptoms in human volunteers. *Environmental Health*. 2014;13(1):16.
68. Alameddine I, Abi Esber L, Bou Zeid E, Hatzopoulou M, El-Fadel M. Operational and environmental determinants of in-vehicle CO and PM<sub>2.5</sub> exposure. *Science of The Total Environment*. 2016;551-552:42-50.

PROOF

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

645 **Table 1.** Characteristics of Parisian taxi drivers and taxicabs from PUF-TAXI study (N= 50).

| Variables                                       | Mean $\pm$ SD or n (%)           |
|---|----------------------------------|
| <b>Baseline characteristics</b>                 |                                  |
| Age, years [min – max]                          | 51.5 $\pm$ 7.3 [37 – 73]         |
| Sex   |                                  |
| Male  | 46 (92)                          |
| Female  | 4 (8)                            |
| Smoking status                                  |                                  |
| Smokers †                                       | 9 (18)                           |
| Ex-smokers ‡                                    | 19 (38)                          |
| Never smoked                                    | 22 (44)                          |
| <b>Taxi Driver Occupational characteristics</b> |                                  |
| Job tenure as taxi driver, years [min – max]    | 16.1 $\pm$ 7.7 [2 – 35]          |
| Working hours per day (n=48)                    | 10 $\pm$ 1.3                     |
| Working days per week (n=41)                    | 5.7 $\pm$ 0.7                    |
| <b>Taxicab characteristics §</b>                |                                  |
| Car age, years [min – max]                      | 3.6 $\pm$ 2.1 [1 – 10]           |
| Number of engine horsepower                     | 141.6 $\pm$ 40.2 [98 – 265]      |
| Engine size (cm <sup>3</sup> )                  | 1961.5 $\pm$ 301.4 [1498 – 2993] |
| Fuel type                                       |                                  |
| Diesel  | 26 (52)                          |
| Petrol  | 24 (48)                          |
| Hybrid vehicle (n=44)                           |                                  |
| Yes   | 21 (48)                          |
| No  | 14 (32)                          |
| Stop & Start                                    | 9 (20)                           |
| European emission standards (n=44)              |                                  |
| Euro 5  | 7 (16)                           |
| Euro 6b   | 21 (48)                          |
| Euro 6c   | 8 (18)                           |
| Euro 6d-TEMP                                    | 8 (18)                           |
| Bodywork type                                   |                                  |
| Sedan   | 16 (35)                          |
| Station wagon                                   | 5 (11)                           |
| SUV   | 3 (7)                            |
| MPV   | 18 (40)                          |
| Large MPV                                       | 3 (7)                            |

MPV: multi-purpose vehicle; SD: standard deviation; SUV: sport utility vehicle.

† Smokers: current smokers or had quit smoking for less than twelve months.

‡ Ex-smokers: have quit smoking for at least twelve months.

§ All the information provided are retrieved from the license plates.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60650 **Table 2.** Measurement campaign characteristics from PUF-TAXI study in Paris.

| Variables   | N   | Mean ± SD [min – max] or n (%) |
|---|-----|--------------------------------|
| <b>Measurement characteristics per day (N=50)</b>   |     |                                |
| Duration (minutes)                                  | 50  | 561.7 ± 101.6 [305 - 755]      |
| Travelled distance (km)                             | 50  | 136.7 ± 48.7 [45 - 269]        |
| Number of trips                                     | 48  | 10 ± 5 [2 - 29]                |
| Number of work breaks                               | 50  | 2.5 ± 2.4 [0 - 13]             |
| Number of clients                                   | 50  | 10.3 ± 5.4 [1 - 23]            |
| In Seasons  |     |                                |
| Cold season   | 50  | 26 (52)                        |
| Warm season   | 50  | 24 (48)                        |
| <b>Measurement characteristics per trip (N=499)</b> |     |                                |
| Duration (minutes)                                  | 499 | 31.2 ± 19.4 [3 - 108]          |
| Number of clients                                   | 461 | 1.1 ± 0.7 [0 - 4]              |
| Speed according to the driver (km/h)                | 344 | 33.7 ± 22.9 [4 - 99]           |
| Speed according to the GPS (km/h)                   | 437 | 18 ± 12.2 [1 - 80]             |
| Trip destinations                                   |     |                                |
| In Paris  | 496 | 264 (53)                       |
| Between Paris and suburbs †                         | 496 | 157 (32)                       |
| In suburbs †  | 496 | 75 (15)                        |
| Ventilation settings                                |     |                                |
| WO  | 448 | 229 (51)                       |
| WC  | 448 | 160 (36)                       |
| WC+AC   | 448 | 45 (10)                        |
| WC+AC+ARM   | 448 | 14 (3)                         |

651 **SD:** standard deviation; **WO:** window(s) opened; **WC:** window(s) closed; **AC:** air conditioning mode; **ARM:** air recirculation mode.652 † Suburbs include surroundings suburbs (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis and Val-de-Marne) and outer suburbs (Essonne, Seine-et-Marne, Val  
653 d'Oise and les Yvelines).

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60

654 **Table 3.** Determinants of traffic related air pollutant levels inside Parisian taxicabs from PUF-TAXI study:  
655 multivariable linear regression using generalized estimating equations (GEE) models.

|                             | Predictors                                   | Log UFP   | Log BC               | Log NO <sub>2</sub>  | Log CO               |
|-----------------------------|--|---|----------------------|----------------------|----------------------|
|                             |  | (x 10 <sup>3</sup><br>particles/cm <sup>3</sup> ) | (µg/m <sup>3</sup> ) | (µg/m <sup>3</sup> ) | (µg/m <sup>3</sup> ) |
|                             |  | β   | β                    | β                    | β                    |
| Ambient factors             | <b>Season</b>                                |   |                      |                      |                      |
|                             | Warm season (n=253)                          | 0.1597  | Reference            | Reference            | Reference            |
|                             | Cold season (n=246)                          | Reference   | 0.657                | 0.645*               | -1.206*              |
|                             | <b>Ambient humidity</b>                      | 0.0065  | 0.023***             | -0.008               | -0.174***            |
|                             | <b>Ambient temperature</b>                   | 0.0454  | 0.033                | 0.098***             | -0.318***            |
|                             | <b>Wind speed</b>                            | -0.0073   | -0.028***            | -0.008               | -0.059               |
|                             | <b>Ambient air pollution †</b>               | 0.0947  | 0.135*               | -0.328**             | -1.665***            |
| Vehicle characteristics     | <b>Car age</b>                               | -0.0256   | -0.012               | 0.167*               | -0.410*              |
|                             | <b>Mileage</b>                               | 1.3E-06   | 4.4E-07              | 1.8E-06              | 1.2E-04***           |
|                             | <b>Engine size</b>                           | -0.0009**   | 4.2E-04              | -0.011***            | -0.004**             |
|                             | <b>Body styles</b>                           |   |                      |                      |                      |
|                             | Sedan (n=173)                                | Reference   | Reference            | Reference            | Reference            |
|                             | Station wagon (n=58)                         | -0.198  | -0.542***            | 0.042                | 4.284**              |
|                             | SUV (n=30)                                   | 0.036   | -0.561*              | 5.609***             | 0.282                |
|                             | MPV (n=177)                                  | -0.045  | -0.319*              | -1.718***            | 0.268                |
|                             | Large MPV (n=23)                             | -0.601*   | -0.478*              | 6.606***             | 3.973***             |
|                             | <b>Fuel &amp; hybrid</b>                     |   |                      |                      |                      |
|                             | Petrol hybrid (n=215)                        | Reference   | Reference            | Reference            | -                    |
|                             | Diesel non-hybrid (n=133)                    | -0.5493*  | -0.088               | -1.206**             | -                    |
|                             | Diesel stop&start (n=246)                    | -0.5041   | -0.136               | 3.802***             | -                    |
|                             | <b>Fuel</b>                                  |   |                      |                      |                      |
|                             | Petrol                                       | -   | -                    | -                    | 1.560                |
| Diesel                      | -  | -   | -                    | Reference            |                      |
| Trip-related drivers habits | <b>Trip duration</b>                         | 0.0101**  | 0.007**              | 0.001                | 0.007                |
|                             | <b>Number of clients</b>                     | 0.134*  | 0.073*               | 0.011                | 0.189                |
|                             | <b>CO<sub>2</sub> levels inside taxicabs</b> | -0.0005***  | -0.0003***           | -0.0001              | 0.0002               |
|                             | <b>Trip destinations</b>                     |   |                      |                      |                      |
|                             | In Paris                                     | Reference   | Reference            | Reference            | Reference            |
|                             | Between Paris and suburbs ‡                  | 0.077   | 0.276***             | -0.072               | -0.719*              |
|                             | In suburbs                                   | 0.015   | 0.252*               | 0.225                | -0.460               |
|                             | <b>Vehicle speed</b>                         | 0.0102*   | 0.109**              | 0.001                | 0.001                |
|                             | <b>Ventilation settings</b>                  |   |                      |                      |                      |
|                             | WO   | Reference   | Reference            | -                    | -                    |
|                             | WC   | -0.185  | -0.113               | 0.137                | -0.805**             |
|                             | WC+AC  | -0.612***   | -0.422**             | 0.098                | -0.434               |
| WC+AC+ARM                   | -1.026***                                    | -0.846***   | -                    | -                    |                      |

β: coefficient; AC: air conditioning mode; ARM: air recirculation mode; BC: black carbon; CI: Confidence interval; CO: carbon monoxide; GEE: generalized estimating equations; MPV: multi-purpose vehicle; NO<sub>2</sub>: nitrogen dioxide; SUV: sport utility vehicle; UFP: ultrafine particles; WO: window(s) opened; WC: window(s) closed.

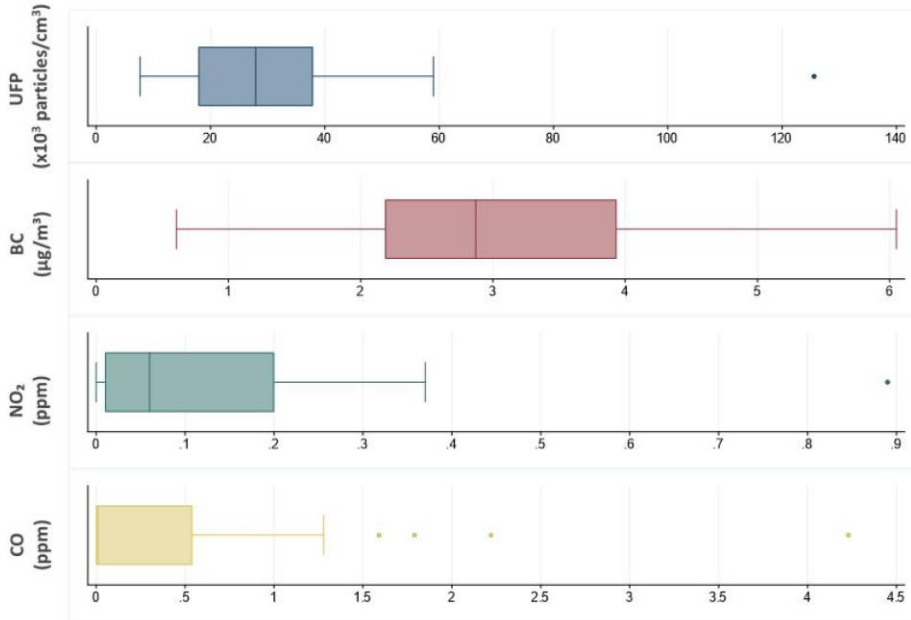
† Ambient air pollution according to ATMO index.

‡ Suburbs include surroundings suburbs (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis and Val-de-Marne) and outer suburbs (Essonne, Seine-et-Marne, Val d'Oise and Yvelines).

\* p-value < 0.05; \*\* p-value < 0.01; \*\*\* p-value < 0.001.

Model adjusted for vehicles brands and for European emission standards.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60



**Figure 1.** Distribution of ultrafine particles - UFP ( $\times 10^3$  particles/cm<sup>3</sup>), black carbon - BC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), nitrogen dioxide - NO<sub>2</sub> (ppm) and carbon monoxide - CO (ppm) levels measured inside Parisian taxi vehicles in PUF-TAXI study.

## Supporting information

\*\*\*

### Determinants of ultrafine particles, black carbon, nitrogen dioxide and carbon monoxide concentrations inside vehicles in Paris area: PUF-TAXI study.

#### Determinants of air pollution inside vehicles

Melissa Hachem <sup>a, b</sup>, Nadine Saleh <sup>b, c</sup>, Lynda Bensefa-Colas <sup>a, d □, \*</sup>, Isabelle Momas <sup>a, □</sup>

#### Contents

|               |   |
|---------------|---|
| Page S2.....  | Quality assurance and data processing   |
| Page S3.....  | Table of Parisian taxicabs technical specifications according to their bodywork types.  |
| Page S3.....  | Table of comfort parameters (temperature, humidity, carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )) inside taxi vehicles.  |
| Page S4.....  | Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle ultrafine particles concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study |
| Page S5.....  | Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle black carbon concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study        |
| Page S6.....  | Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle nitrogen dioxide concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study    |
| Page S7.....  | Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle carbon monoxide concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study     |
| Page S8.....  | Photographs of the field measurement set-up from PUF-TAXI study in Paris.   |
| Page S9.....  | Diagram of the potential predictive factors from DAGGITY program.   |
| Page S10..... | Scatter plot showing the relationship between ultrafine particles (UFP) and black carbon (BC).  |
| Page S11..... | Figure of real time concentrations of nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> ) and carbon monoxide (CO) measured inside one taxi vehicle.                |

### **Quality assurance and data processing**

Before the beginning of each survey day, the proper functioning of all the devices was checked according to the manufacturers. They were turned on for several minutes to stabilize before placing them in the vehicle. After each sampling day, DiSCmini<sup>®</sup> (DM) and microAeth<sup>®</sup> Model AE51 (MA) tubes were rinsed with filtered water and dried by pure air using a compressor. MA quartz filter was changed, and DM impactor was cleaned for one hour in an ultrasonic bath (Branson Model 1800, Fisher Scientific Co.L.L.C., Pittsburgh, PA, USA) with pure water to maintain measurement integrity. DM, MA and Gas-Pro<sup>®</sup> Crowcon were sent to their manufacturers on their calibration due dates.

Regarding data processing, records were downloaded from their respective equipment via their softwares (listed above) and were closely checked after being converted to Microsoft Excel files. Negatives black carbon (BC) values caused by low BC concentrations were corrected by the Optimized Noise-reduction Averaging method available on the supplier's website ([www.aethlabs.com](http://www.aethlabs.com)). For all the other readings, suspicious data were removed. Subsequently, data were averaged to give a single mean value for all the pollutants exposure for each trip made.

All data were entered on a digital platform - electronic case report form (e-CRF) ensuring data management, quality, and security.

**Table S1** Summary of Parisian taxicabs technical specifications according to their bodywork type from PUF-TAXI study (N= 50).

| Variables                                      | Sedan               | Station wagon       | SUV                | MPV                 | Large MPV           |
|--|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Sample, n (%)</b>                           | 16 (35.56)          | 5 (11.11)           | 3 (6.67)           | 18 (40)             | 3 (6.67)            |
| <b>Fuel type, n (%)</b>                        |                     |                     |                    |                     |                     |
| Diesel   | 8 (50)              | 3 (60)              | -                  | 9 (50)              | 3 (100)             |
| Petrol   | 8 (50)              | 2 (40)              | 3 (100)            | 9 (50)              | -                   |
| <b>Hybrid, n (%)</b>                           |                     |                     |                    |                     |                     |
| Yes  | 7 (43.75)           | 3 (60)              | 3 (100)            | 8 (23.53)           | -                   |
| No   | 8 (50)              | -                   | -                  | 4 (47.06)           | 2 (66.67)           |
| Stop & Start                                   | 1 (6.25)            | 2 (40)              | -                  | 5 (29.41)           | 1 (33.33)           |
| <b>Euro standards, n (%)</b>                   |                     |                     |                    |                     |                     |
| Euro 5   | 3 (18.75)           | 2 (40)              | -                  | 2 (11.76)           | -                   |
| Euro 6b  | 6 (37.5)            | 2 (40)              | -                  | 12 (70.59)          | 1 (33.33)           |
| Euro 6c  | 3 (18.75)           | -                   | -                  | 2 (11.76)           | 2 (66.67)           |
| Euro 6d-TEMP                                   | 4 (25)              | 1 (20)              | 3 (100)            | 1 (5.88)            | -                   |
| <b>Year of first circulation, mean ± SD</b>    | 2016.5 ± 2.25       | 2015.4 ± 1.95       | 2019               | 2015.94 ± 2.07      | 2017.33 ± 0.58      |
| <b>Number of engine horsepower, mean ± SD</b>  | 158.13 ± 46.34      | 158.13 ± 46.34      | 162.33 ± 12.7      | 114.82 ± 19.39      | 167.66 ± 20.40      |
| <b>Engine size (cm<sup>3</sup>), mean ± SD</b> | 2039.43 ± 335.1     | 1917.4 ± 108.99     | 2487               | 1786.7 ± 167.25     | 2084.67 ± 101.03    |
| <b>Mileage (km), mean ± SD</b>                 | 122145.3 ± 110206.5 | 167878.2 ± 86617.67 | 22418.67 ± 13735.7 | 143273.3 ± 84419.42 | 105008.7 ± 32082.82 |

MPV: multi-purpose vehicle; SD: standard deviation; SUV: sport utility vehicle.

**Table S2** Summary of comfort parameters (temperature, humidity, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)) inside taxi vehicles from PUF-TAXI study (N= 50).

| Comfort parameters    | Mean | SD  | Minimum | Maximum |
|-----------------------|------|-----|---------|---------|
| Temperature (°C)      | 23   | 4   | 17      | 34      |
| Humidity (%)          | 42   | 12  | 21      | 66      |
| CO <sub>2</sub> (ppm) | 1125 | 603 | 530     | 3343    |

CO<sub>2</sub>: carbon dioxide; SD: standard deviation



**Table S3** Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle ultrafine particles concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study.

|                                    |  | <b>N</b><br><b>(499)</b> | <b>UFP</b><br><b>(x 10<sup>3</sup> particles/cm<sup>3</sup>)</b> |                       |
|------------------------------------|--|--------------------------|--|-----------------------|
|                                    |  |                          | <b>Mean ± SD / r</b>   | <b>p-value</b>        |
| <b>Ambient factors</b>             | <b>Season</b>                                |                          |  |                       |
|                                    | Warm season                                  | 243                      | 38.6 ± 46.7  | p=0.0001 <sup>a</sup> |
|                                    | Cold season                                  | 220                      | 25.2 ± 21.5  |                       |
|                                    | <b>Ambient humidity</b>                      | 459                      | r = - 0.041 <sup>b</sup>   | p= 0.3795             |
|                                    | <b>Ambient temperature</b>                   | 459                      | r = 0.169 <sup>b</sup>   | p= 0.0003             |
|                                    | <b>Wind speed</b>                            | 463                      | r = 0.004 <sup>b</sup>   | p= 0.9364             |
|                                    | <b>Ambient air pollution †</b>               | 463                      | r = 0.048 <sup>b</sup>   | p= 0.3061             |
| <b>Vehicle characteristics</b>     | <b>Car age</b>                               | 463                      | r = - 0.078 <sup>b</sup>   | p= 0.0977             |
|                                    | <b>Mileage</b>                               | 449                      | r = - 0.096 <sup>b</sup>   | p= 0.0413             |
|                                    | <b>Engine size</b>                           | 396                      | r = - 0.014 <sup>b</sup>   | p= 0.7863             |
|                                    | <b>Body styles</b>                           |                          |  |                       |
|                                    | Sedan  | 165                      | 36.9 ± 42.4  | p=0.0022 <sup>c</sup> |
|                                    | Station wagon                                | 56                       | 25.9 ± 17.5  |                       |
|                                    | SUV  | 30                       | 19.4 ± 16.9  |                       |
|                                    | MPV  | 151                      | 30.1 ± 24.7  |                       |
|                                    | Large MPV                                    | 23                       | 61.0 ± 92.5  |                       |
|                                    | <b>Fuel &amp; hybrid</b>                     |                          |  |                       |
| Petrol hybrid                      | 198  | 26.7 ± 20.8              | p=0.0014 <sup>c</sup>  |                       |
| Diesel non-hybrid                  | 122  | 40.1 ± 49.4              |  |                       |
| Diesel stop&start                  | 61   | 46.5 ± 58.9              |  |                       |
| <b>Trip-related drivers habits</b> | <b>Trip duration</b>                         | 463                      | r = 0.159 <sup>b</sup>   | p = 0.0006            |
|                                    | <b>Number of clients</b>                     | 429                      | r = 0.115 <sup>b</sup>   | p = 0.0170            |
|                                    | <b>CO<sub>2</sub> levels inside taxicabs</b> | 459                      | r = - 0.215 <sup>b</sup>   | p < 0.0001            |
|                                    | <b>Trip destinations</b>                     |                          |  |                       |
|                                    | In Paris                                     | 242                      | 26.7 ± 24.4  | p=0.0004 <sup>c</sup> |
|                                    | Between Paris and suburbs ‡                  | 148                      | 37.5 ± 40.8  |                       |
|                                    | In suburbs                                   | 70                       | 39.5 ± 58.2  |                       |
|                                    | <b>Vehicle speed</b>                         | 404                      | r = 0.195 <sup>b</sup>   | p = 0.0001            |
|                                    | <b>Ventilation settings</b>                  |                          |  |                       |
|                                    | WO   | 212                      | 41.9 ± 49  | p=0.0001 <sup>c</sup> |
| WC                                 | 148  | 25.2 ± 21                |  |                       |
| WC+AC                              | 44   | 26 ± 19.7                |  |                       |
| WC+AC+ARM                          | 12   | 8.1 ± 6.5                |  |                       |

**AC**: air conditioning mode; **ARM**: air recirculation mode; **r** : correlation coefficient ; **SD** : standard deviation ; **UFP** : ultrafine particles ; **WO**: window(s) opened; **WC**: window(s) closed.

† Ambient air pollution according to ATMO index.

‡ Suburbs include surroundings suburbs (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis and Val-de-Marne) and outer suburbs (Essonne, Seine-et-Marne, Val d'Oise and Yvelines).

- a. Non-parametric Cochran test
- b. Pearson's correlation coefficient
- c. Non-parametric Kruskal-Wallis rank test

**Table S4** Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle black carbon concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study.

|  |                                | <b>N</b><br><b>(499)</b> | <b>BC</b><br><b>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b> |                       |
|--|--------------------------------|--------------------------|---|-----------------------|
|  |                                |                          | <b>Mean <math>\pm</math> SD / r</b>                       | <b>p-value</b>        |
| <b>Ambient factors</b>                       | <b>Season</b>                  |                          |   |                       |
|  | Warm season                    | 245                      | 3.5 $\pm$ 2.4   | p=0.1199 <sup>a</sup> |
|  | Cold season                    | 246                      | 3.2 $\pm$ 2.1   |                       |
|  | <b>Ambient humidity</b>        | 487                      | r = 0.0113 <sup>b</sup>                                   | p= 0.8032             |
|  | <b>Ambient temperature</b>     | 487                      | r = 0.010 <sup>b</sup>                                    | p= 0.8246             |
|  | <b>Wind speed</b>              | 491                      | r = - 0.196 <sup>b</sup>                                  | p < 0.0001            |
|  | <b>Ambient air pollution †</b> | 491                      | r = 0.180 <sup>b</sup>                                    | p = 0.0001            |
|  | <b>Car age</b>                 | 491                      | r = - 0.019 <sup>b</sup>                                  | p = 0.6682            |
|  | <b>Mileage</b>                 | 477                      | r = - 0.01 <sup>b</sup>                                   | p = 0.8321            |
|  | <b>Engine size</b>             | 424                      | r = 0.069 <sup>b</sup>                                    | p = 0.1586            |
| <b>Vehicle characteristics</b>               | <b>Body styles</b>             |                          |   |                       |
|  | Sedan                          | 173                      | 3.2 $\pm$ 1.9   | p=0.0005 <sup>c</sup> |
|  | Station wagon                  | 50                       | 2.9 $\pm$ 2.4   |                       |
|  | SUV                            | 30                       | 2.2 $\pm$ 1.8   |                       |
|  | MPV                            | 177                      | 3.7 $\pm$ 2.2   |                       |
|  | Large MPV                      | 23                       | 4.4 $\pm$ 2.9   |                       |
|  | <b>Fuel &amp; hybrid</b>       |                          |   |                       |
|  | Petrol hybrid                  | 215                      | 2.9 $\pm$ 1.9   | p=0.0008 <sup>c</sup> |
|  | Diesel non-hybrid              | 133                      | 3.5 $\pm$ 2.3   |                       |
|  | Diesel stop&start              | 68                       | 3.9 $\pm$ 2.4   |                       |
| <b>Trip duration</b>                         | 491                            | r = 0.277 <sup>b</sup>   | p < 0.0001  |                       |
| <b>Number of clients</b>                     | 453                            | r = 0.023 <sup>b</sup>   | p = 0.6231  |                       |
| <b>CO<sub>2</sub> levels inside taxicabs</b> | 487                            | r = - 0.286 <sup>b</sup> | p < 0.0001  |                       |
| <b>Trip-related drivers habits</b>           | <b>Trip destinations</b>       |                          |   |                       |
|  | In Paris                       | 263                      | 2.6 $\pm$ 1.7   | p=0.0001 <sup>d</sup> |
|  | Between Paris and suburbs ‡    | 153                      | 4.3 $\pm$ 2.6   |                       |
|  | In suburbs                     | 72                       | 4 $\pm$ 2.3   |                       |
|  | <b>Vehicle speed</b>           | 429                      | r = 0.328 <sup>b</sup>                                    | p < 0.0001            |
|  | <b>Ventilation settings</b>    |                          |   |                       |
|  | WO                             | 227                      | 3.5 $\pm$ 2.2   | p=0.0001 <sup>d</sup> |
|  | WC                             | 154                      | 3.2 $\pm$ 2   |                       |
|  | WC+AC                          | 45                       | 3.5 $\pm$ 3   |                       |
|  | WC+AC+ARM                      | 14                       | 1 $\pm$ 0.6   |                       |

**AC:** air conditioning mode; **ARM:** air recirculation mode; **BC :** black carbon ; **r:** correlation coefficient ; **SD:** standard deviation ; **WO:** window(s) opened; **WC:** window(s) closed.

† Ambient air pollution according to ATMO index.

‡ Suburbs include surroundings suburbs (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis and Val-de-Marne) and outer suburbs (Essonne, Seine-et-Marne, Val d'Oise and Yvelines).

- Student's T-test
- Pearson's correlation coefficient
- Anova test
- Non-parametric Kruskal-Wallis rank test

**Table S5** Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle nitrogen dioxide concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study

|                             |  | N<br>(499)    | NO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |                       |
|-----------------------------|--|---------------|---|-----------------------|
|                             |  |               | Mean ± SD / r                           | p-value               |
| Ambient factors             | <b>Season</b>                                |               |   |                       |
|                             | Warm season                                  | 166           | 252.4 ± 360.3                           | p=0.0465 <sup>a</sup> |
|                             | Cold season                                  | 205           | 191.1 ± 179.1                           |                       |
|                             | <b>Ambient humidity</b>                      | 367           | r = 0.110 <sup>b</sup>                  | p= 0.0360             |
|                             | <b>Ambient temperature</b>                   | 367           | r = - 0.007 <sup>b</sup>                | p= 0.8965             |
|                             | <b>Wind speed</b>                            | 371           | r = - 0.104 <sup>b</sup>                | p= 0.0448             |
|                             | <b>Ambient air pollution †</b>               | 371           | r = - 0.026 <sup>b</sup>                | p= 0.6229             |
|                             | <b>Car age</b>                               | 371           | r = - 0.067 <sup>b</sup>                | p= 0.1963             |
|                             | <b>Mileage</b>                               | 357           | r = - 0.115 <sup>b</sup>                | p= 0.0298             |
|                             | <b>Engine size</b>                           | 339           | r = 0.136 <sup>b</sup>                  | p= 0.0123             |
| Vehicle characteristics     | <b>Body styles</b>                           |               |   |                       |
|                             | Sedan  | 129           | 284.9 ± 380.9                           | p=0.8252 <sup>c</sup> |
|                             | Station wagon                                | 36            | 179.1 ± 207.1                           |                       |
|                             | SUV  | 9             | 87.7 ± 62.4                             |                       |
|                             | MPV  | 148           | 213.5 ± 205.0                           |                       |
|                             | Large MPV                                    | 17            | 110.6 ± 47.9                            |                       |
|                             | <b>Fuel &amp; hybrid</b>                     |               |   |                       |
|                             | Petrol hybrid                                | 157           | 260.6 ± 233.2                           | p=0.0278 <sup>d</sup> |
|                             | Diesel non-hybrid                            | 98            | 170.9 ± 378.3                           |                       |
|                             | Diesel stop&start                            | 68            | 271.5 ± 242.6                           |                       |
| Trip-related drivers habits | <b>Trip duration</b>                         | 371           | r = 0.053 <sup>b</sup>                  | p= 0.3103             |
|                             | <b>Number of clients</b>                     | 344           | r = 0.021 <sup>b</sup>                  | p= 0.6927             |
|                             | <b>CO<sub>2</sub> levels inside taxicabs</b> | 367           | r = - 0.065 <sup>b</sup>                | p= 0.2113             |
|                             | <b>Trip destinations</b>                     |               |   |                       |
|                             | In Paris                                     | 186           | 218.7 ± 274.8                           | p=0.5349 <sup>d</sup> |
|                             | Between Paris and suburbs ‡                  | 124           | 234.8 ± 312.9                           |                       |
|                             | In suburbs                                   | 58            | 185.4 ± 192.9                           |                       |
|                             | <b>Vehicle speed</b>                         | 325           | r = 0.031 <sup>b</sup>                  | p= 0.5792             |
|                             | <b>Ventilation settings</b>                  |               |   |                       |
|                             | WO   | 173           | 217.7 ± 306.7                           | p=0.7228 <sup>c</sup> |
| WC                          | 123  | 183.1 ± 209.2 |   |                       |
| WC+AC                       | 19   | 157.3 ± 192.4 |   |                       |
| WC+AC+ARM                   | 14   | 142.3 ± 72.9  |   |                       |

AC: air conditioning mode; ARM: air recirculation mode; NO<sub>2</sub>: nitrogen dioxide; r: correlation coefficient; SD: standard deviation; WO: window(s) opened; WC: window(s) closed.

† Ambient air pollution according to ATMO index.

‡ Suburbs include surroundings suburbs (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis and Val-de-Marne) and outer suburbs (Essonne, Seine-et-Marne, Val d'Oise and Yvelines).

- a. Non-parametric Cochran test
- b. Pearson's correlation coefficient
- c. Non-parametric Kruskal-Wallis rank test
- d. Anova test

**Table S6** Bivariate analysis for analyzing relationships between in-vehicle carbon monoxide concentrations and potential determinants from PUF-TAXI study

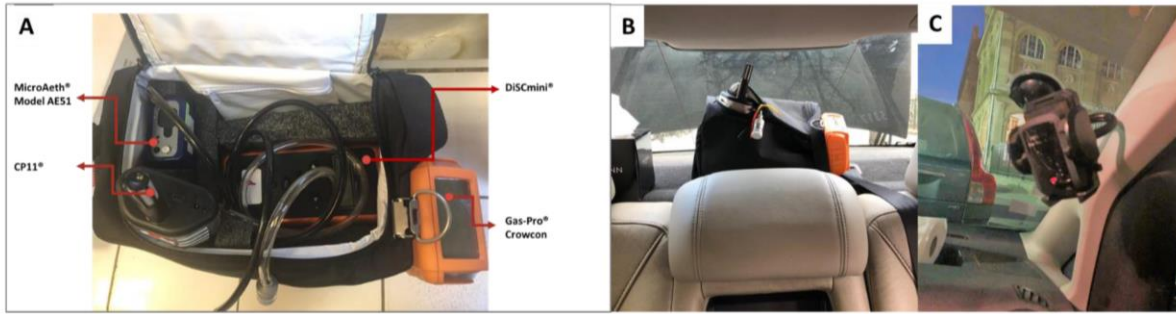
|                             |  | N<br>(499)        | CO<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                         |
|-----------------------------|--|-------------------|------------------------------------|-------------------------|
|                             |  |                   | Mean $\pm$ SD / r                  | p-value                 |
| Ambient factors             | <b>Season</b>                                |                   |                                    |                         |
|                             | Warm season                                  | 166               | 10.4 $\pm$ 39.5                    | p < 0.0001 <sup>a</sup> |
|                             | Cold season                                  | 205               | 902.2 $\pm$ 1452                   |                         |
|                             | <b>Ambient humidity</b>                      | 367               | r = 0.316 <sup>b</sup>             | p < 0.0001              |
|                             | <b>Ambient temperature</b>                   | 367               | r = - 0.319 <sup>b</sup>           | p < 0.0001              |
|                             | <b>Wind speed</b>                            | 371               | r = - 0.052 <sup>b</sup>           | p = 0.3221              |
|                             | <b>Ambient air pollution †</b>               | 371               | r = - 0.179 <sup>b</sup>           | p = 0.0006              |
| Vehicle characteristics     | <b>Car age</b>                               | 371               | r = - 0.157 <sup>b</sup>           | p = 0.0024              |
|                             | <b>Mileage</b>                               | 357               | r = - 0.044 <sup>b</sup>           | p = 0.4057              |
|                             | <b>Engine size</b>                           | 339               | r = - 0.151 <sup>v</sup>           | p = 0.0052              |
|                             | <b>Body styles</b>                           |                   |                                    |                         |
|                             | Sedan  | 129               | 155.7 $\pm$ 479.9                  | p=0.0001 <sup>c</sup>   |
|                             | Station wagon                                | 36                | 1689.2 $\pm$ 2684                  |                         |
|                             | SUV  | 9                 | 33.1 $\pm$ 65.9                    |                         |
|                             | MPV  | 148               | 572.0 $\pm$ 931.1                  |                         |
|                             | Large MPV                                    | 17                | 238.4 $\pm$ 496.5                  |                         |
|                             | <b>Fuel</b>                                  |                   |                                    |                         |
| Petrol                      | 174  | 804.1 $\pm$ 1523  | p < 0.0001 <sup>a</sup>            |                         |
| Diesel                      | 197  | 237.3 $\pm$ 604   |                                    |                         |
| Trip-related drivers habits | <b>Trip duration</b>                         | 371               | r = 0.013 <sup>b</sup>             | p = 0.8004              |
|                             | <b>Number of clients</b>                     | 344               | r = 0.105 <sup>b</sup>             | p = 0.0519              |
|                             | <b>CO<sub>2</sub> levels inside taxicabs</b> | 367               | r = 0.093 <sup>b</sup>             | p = 0.0763              |
|                             | <b>Trip destinations</b>                     |                   |                                    |                         |
|                             | In Paris                                     | 186               | 583.9 $\pm$ 1400                   | p=0.2327 <sup>c</sup>   |
|                             | Between Paris and suburbs ‡                  | 124               | 479.8 $\pm$ 971.4                  |                         |
|                             | In suburbs                                   | 58                | 318.6 $\pm$ 598.2                  |                         |
|                             | <b>Vehicle speed</b>                         | 325               | r = - 0.014 <sup>b</sup>           | p = 0.8020              |
|                             | <b>Ventilation settings</b>                  |                   |                                    |                         |
|                             | WO   | 173               | 164.1 $\pm$ 462                    | p=0.0001 <sup>c</sup>   |
| WC                          | 123  | 901 $\pm$ 1699    |                                    |                         |
| WC+AC                       | 19   | 195.3 $\pm$ 472.3 |                                    |                         |
| WC+AC+ARM                   | 14   | 727.1 $\pm$ 565.1 |                                    |                         |

AC: air conditioning mode; ARM: air recirculation mode; CO : carbon monoxide ; r : correlation coefficient ; SD : standard deviation ; WO: window(s) opened; WC: window(s) closed.

† Ambient air pollution according to ATMO index.

‡ Suburbs include surroundings suburbs (Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis and Val-de-Marne) and outer suburbs (Essonne, Seine-et-Marne, Val d'Oise and Yvelines).

- a. Non-parametric Cochran test
- b. Pearson's correlation coefficient
- c. Non-parametric Kruskal-Wallis rank test



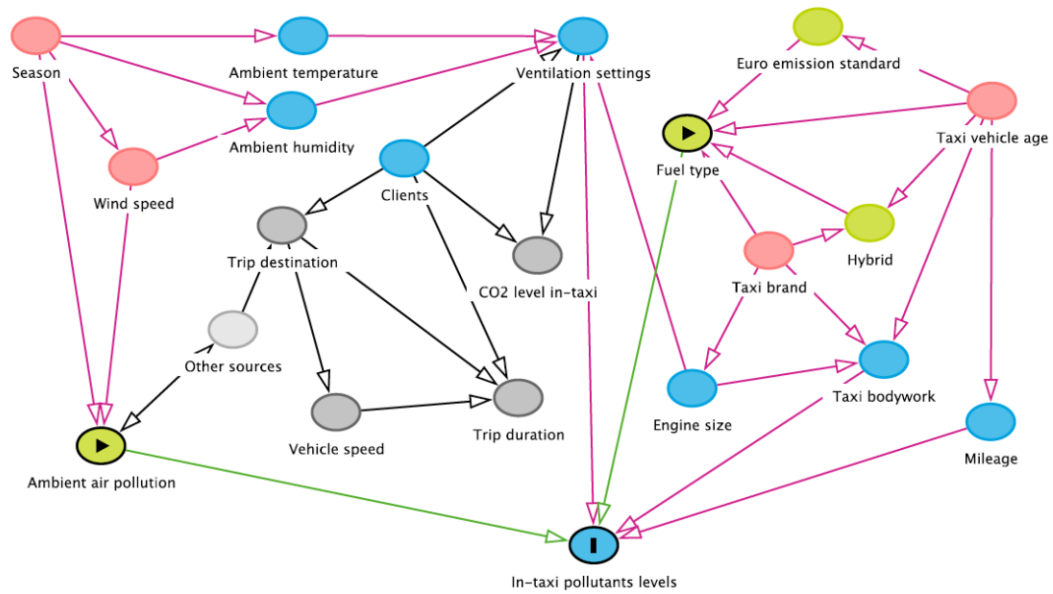
**Figure S1** Photographs of the field measurement setup from PUF-TAXI study in Paris.

A: Carry case containing four measuring devices.

B: Carry case placed inside a taxi vehicle.

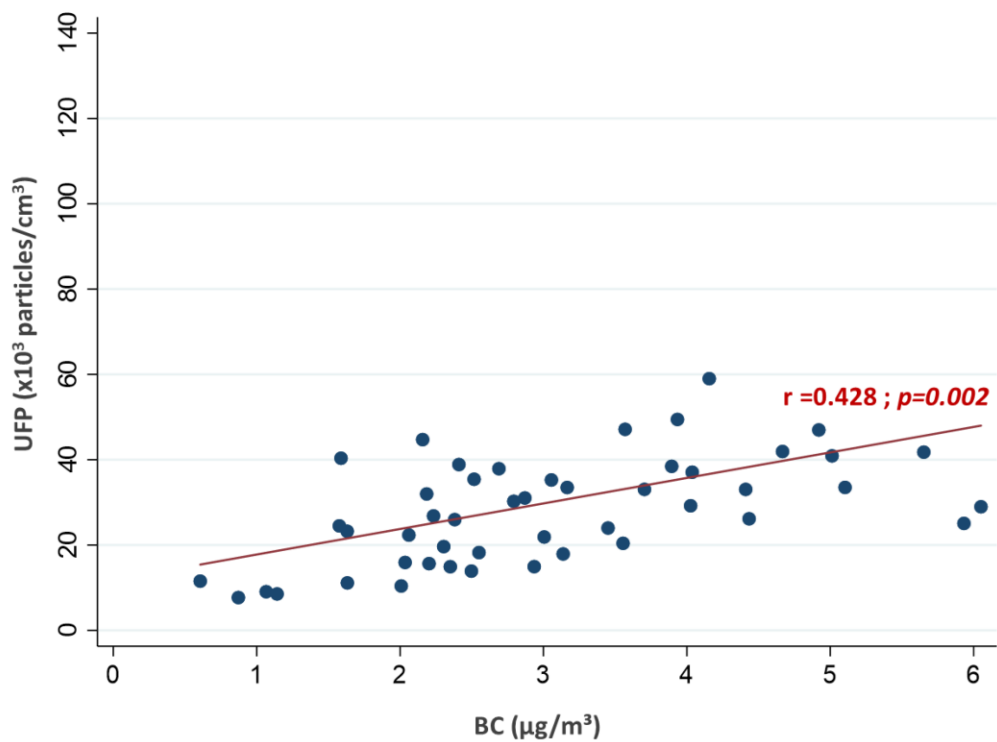
C: GPS fixed inside a taxi vehicle

S8

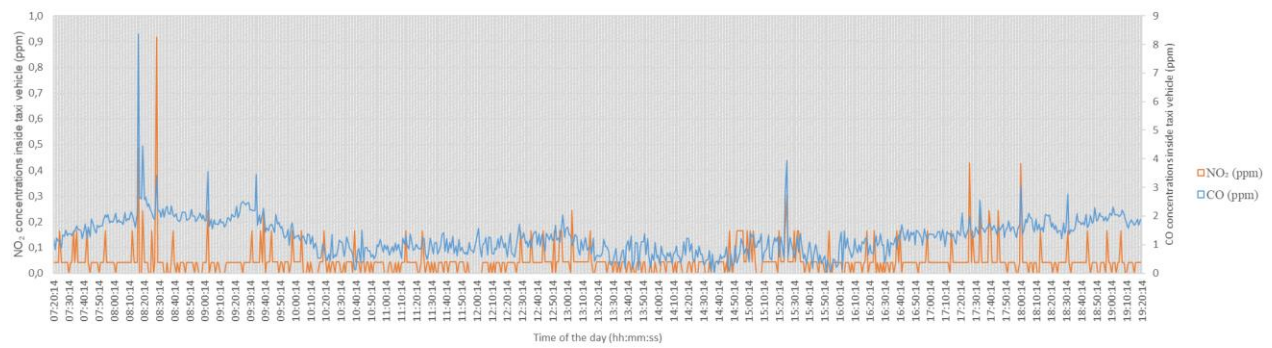


**Figure S2** Directed acyclic graph for estimating the direct of predictors on traffic related air pollutants inside taxicabs from PUF-TAXI study in Paris.

S9



**Figure S3** Correlation scatter plot for ultrafine particles (UFP) and black carbon (BC) from PUF-TAXI study.



**Figure S4** Real time concentrations of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO) measured inside one taxi vehicle by Gas-Pro® (logged - 1 min) during a sampling day from PUF-TAXI study.  
 The measurements presented were done 28/11/2019 for a period of 7 hours and 20 minutes in a Toyota Prius+ powered by a petrol engine.

### II.3. Comparaison des concentrations des PUF, du BC et de leurs déterminants dans l'habitacle des taxis, entre Beyrouth et Paris

Rappelons que l'étude exploratoire au Liban a été conduite en suivant le volet expologique de l'étude princeps francilienne. Les concentrations des PUF et du BC ont été mesurées par les mêmes appareils de mesure, qui ont été transférés à Beyrouth pour les besoins de l'étude. La campagne de mesurage dans les véhicules taxis a été, sur un plan opérationnel, mise en œuvre par le même investigateur. Les questionnaires relatifs aux caractéristiques des véhicules et des trajets effectués ont été transposés au contexte libanais et traduits en arabe. L'adoption de la même méthodologie rend possible la comparaison des résultats entre le Beyrouth et Paris. C'est l'objectif de cette partie. Toutefois, il convient de rappeler que la durée de mesurage des polluants à Beyrouth était raccourcie par rapport à celle à Paris, compte tenu de la faisabilité technique du protocole sur le terrain libanais. Les principales caractéristiques des campagnes de mesure et des spécificités des véhicules taxis à Beyrouth et à Paris, ont été résumées dans le tableau XVI.

**Tableau XVI.** Présentation des caractéristiques de la campagne de mesure et des véhicules taxis à Beyrouth et à Paris.

|  | <b>Beyrouth (N=20)</b><br><b>Moyenne ± ET ou</b><br><b>n (%)</b> | <b>Paris (N=50)</b><br><b>Moyenne ± ET ou</b><br><b>n (%)</b> |
|--|--|---|
| <b>Caractéristiques de la campagne de mesure</b> |  |   |
| <b>Temps de mesure (min)</b>                     | 290 ± 40   | 568 ± 102   |
| <b>Distance parcourue (km)</b>                   | 56 ± 20  | 137 ± 49  |
| <b>Nombre de trajets (par jour)</b>              | 9 ± 3  | 10 ± 5  |
| <b>Caractéristiques des véhicules taxis</b>      |  |   |
| <b>Date de première mise en circulation</b>      | 2012 ± 5   | 2016 ± 2  |
| <b>Carburant</b>                                 |  |   |
| Diesel   | -  | 26 (52%)  |
| Essence  | 20 (100%)  | 24 (48%)  |

ET : écart-type

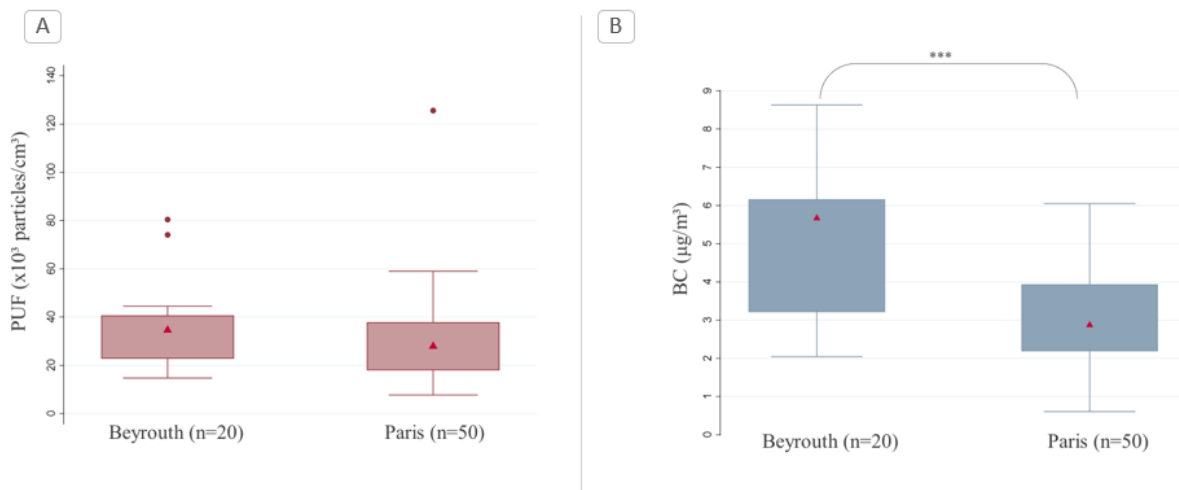
Les chauffeurs de taxi libanais ont été exposés dans leurs véhicules à des teneurs de polluants particulaires supérieures par rapport aux chauffeurs de taxi franciliens (PUF :  $35,2 \pm 17,6$  vs  $29,7 \pm 18,5 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup>,  $p = 0,1383$  ; BC :  $5,2 \pm 1,9$  vs  $3,1 \pm 1,3$  µg/m<sup>3</sup>,  $p < 0,0001$ , respectivement) (Figure 41).

Ces différences pourraient s'expliquer en partie par la dissemblance des véhicules taxis entre le Liban et la France, en termes d'ancienneté et de carburants utilisés, qui reflète les différences des parcs automobiles de ces deux pays. En effet, la totalité des véhicules taxis au Liban était à moteur essence, comme d'ailleurs toutes les automobiles, alors que les poids lourds sont dotés de moteurs diesel, un carburant qui ne répond pas forcément aux normes. L'absence d'application des lois existantes sur les émissions (144), combinée à un parc automobile âgé, fait du secteur du transport routier libanais le principal émetteur des polluants. Toutefois, il ne faut pas négliger de nombreux autres facteurs qui contribuent à augmenter les émissions du vieux parc automobile : (1) les conditions de conduite, qui, souvent indisciplinées, favorisent davantage l'émission des particules hors échappement (usure des freins, des chaussées, etc.) (11); (2) le climat Méditerranéen qui surtout en période estivale (vent de faible vitesse et rayonnement solaire) est propice à



l'accroissement des polluants dans l'air (145) ; (3) la morphologie urbaine (à Beyrouth 60% des routes sont bilatéralement bâties) néfaste à la dispersion des polluants et (4) les groupes électrogènes dispersés à Beyrouth et au Mont-Liban (146). A l'opposé, les véhicules taxis en France sont jeunes, donc *a priori* se distinguent par une meilleure étanchéité et par des filtres d'habitacles moins usés limitant la pénétration des particules de l'extérieur.

Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que les concentrations des PUF à Beyrouth et à Paris ont été influencées par les caractéristiques des trajets (embouteillage apprécié objectivement en France par la vitesse de roulement et rapporté subjectivement au Liban par le chauffeur de taxi) et des habitudes de conduite (ventilation dans les deux pays et fumée de tabac au Liban). Par contre, bien qu'en France les concentrations de BC variaient significativement selon les spécificités techniques des véhicules et les caractéristiques des trajets, nous n'avons pas pu mettre en évidence de déterminant lié au trafic pour le BC au Liban.



**Figure 41.** Comparaison entre les distributions des particules ultrafines (A) et du carbone suie (B) entre Beyrouth et Paris.

BC : black carbon (carbone suie) ; PUF : particules ultrafines.

\*\*\*  $p < 0,0001$

▲ médiane

S'il est important de quantifier les niveaux d'exposition aux polluants d'origine automobile à l'intérieur des véhicules, l'évaluation de leurs effets sur la santé est une priorité. Dans ce contexte, et dans le cadre de ce travail de thèse, nous avons couplé les enregistrements des polluants particuliers (PUF, BC) avec des données sanitaires rapportées et mesurées chez les chauffeurs de taxi franciliens, afin d'étudier l'impact sanitaire à court terme de cette exposition professionnelle au trafic routier.

### III. Volet épidémiologique

#### III.1. Associations entre l'exposition aux PUF et au BC dans l'habitacle de taxis et l'irritation des muqueuses (nez, gorge, yeux) et la variation de la fonction respiratoire chez les chauffeurs de taxi franciliens, au cours d'une journée de travail

Ce travail a fait l'objet d'une publication en révision sous forme d'article original dans la revue scientifique *Environment International*, résumé ci-dessous :

- article:

**Hachem M**, Loizeau M, Saleh N, Momas I\*, Bensefa-Colas L\*. Short-term association of in-vehicle UFP and BC concentration with respiratory health in Parisian taxi drivers. *Environment International*.

\* *Equal contribution*

Les études toxicologiques ont permis d'investiguer les mécanismes biologiques responsables des effets potentiellement délétères des PUF et du BC sur l'appareil respiratoire. Toutefois, les connaissances épidémiologiques n'ont pas pu jusqu'à ce jour, clarifier la relation entre « exposition à court terme et effet » des PUF et du BC, comparativement à celle concernant les polluants réglementés. Plusieurs études ont été conduites auprès des groupes de professionnels travaillant au cœur du trafic. Elles concluent généralement à des associations statistiquement significatives entre l'exposition professionnelle aux polluants traditionnels (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> et CO) et l'augmentation de la prévalence des manifestations respiratoires (crachats, sifflements, gêne respiratoire, toux, douleur thoracique et de la gorge) et la diminution de la fonction respiratoire (CVF, VEMS). La littérature s'avère particulièrement lacunaire chez les chauffeurs de taxi. L'originalité de cette étude réside dans l'évaluation simultanée de l'exposition réelle des chauffeurs de taxi aux PUF et au BC dans l'habitacle de leur véhicule et de l'irritation aiguë des muqueuses et de la variation de la fonction respiratoire au cours d'une journée de travail.

Cette étude a porté sur les 50 chauffeurs de taxi franciliens. Après un examen clinique d'inclusion réalisé dans un hôpital parisien, parallèlement à l'évaluation de leur exposition, ils ont effectué deux mesures spirométriques en début et en fin de poste et ont rapporté les symptômes ressentis survenus durant la journée de travail sur une échelle d'intensité. Des modèles multivariés de régressions linéaires et logistiques ont été utilisés pour étudier l'association entre (1) les indicateurs d'exposition (PUF, BC) et (2) les symptômes et les performances ventilatoires, en tenant compte des facteurs de confusion/d'interaction potentiels.

Les participants, en majorité des hommes (92%), avaient une moyenne d'âge de 51,5 ans ( $\pm 7,3$ ) et 46% d'entre eux rapportaient avoir au moins une maladie respiratoire et/ou allergique. Pendant les 12 derniers mois, 42% avaient présenté des symptômes d'irritation du nez, 38% de la gorge et

36% des yeux. Durant la campagne de mesure, ils avaient travaillé en moyenne 9 heures. L'élévation d'un intervalle interquartile des concentrations en nombre de PUF à l'intérieur de leur véhicule ( $20 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup>) était associée à :

- une augmentation de la survenue de symptômes d'irritation nasale au cours de la journée de travail (ORa = 8.23 ; IC<sub>95%</sub> [1,28 ; 53,1])
- une diminution de la CVF ( $\beta = -3,3\%$  ; IC<sub>95%</sub> [-5,8 ; -0,8]), du VEMS ( $\beta = -4,5\%$  ; IC<sub>95%</sub> [-6,9 ; -0,9]) et du DEM<sub>25-75%</sub> ( $\beta = -7,4\%$  ; IC<sub>95%</sub> [-12,6 ; -2,2]) en fin, par rapport au début du poste de travail.

Ces résultats sont en accord avec le continuum respiratoire (voies aériennes hautes et basses) et suggèrent de possibles conséquences obstructives de ces expositions sur l'appareil respiratoire.

Pour le BC, aucune association n'a été mise en évidence. Les irritations de la gorge et des yeux ressenties n'étaient pas reliées aux concentrations particulières à l'intérieur des véhicules, mais elles dépendaient respectivement de la pollution de l'air ambiant et de l'humidité à l'intérieur du véhicule.

En conclusion, cette étude a permis de mieux appréhender l'effet des PUF à court terme sur la santé respiratoire. Elle suggère également que des manifestations cliniques d'irritations des muqueuses varient en fonction des polluants considérés.

## Environment International

### Short-term association of in-vehicle ultrafine particles and black carbon concentrations with respiratory health in Parisian taxi drivers --Manuscript Draft--

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Manuscript Number:    | ENVINT-D-20-02062   |
| Article Type:         | Research Paper  |
| Keywords:             | Taxi drivers, ultrafine particles, black carbon, mucosal irritation, lung function  |
| Corresponding Author: | Isabelle Momas<br>Université de Paris Faculté de Santé: Université de Paris Faculte de Sante<br>Paris, FRANCE   |
| First Author:         | Melissa Hachem  |
| Order of Authors:     | Melissa Hachem<br>Maxime Loizeau<br>Nadine Saleh<br>Isabelle Momas<br>Lynda Bensefa-Colas   |
| Abstract:             | <p><b>Introduction</b><br/>Professional drivers are exposed inside their vehicles to high levels of air pollutants due to the considerable time they spend close to motor vehicle emissions. Adverse respiratory health effects of regulated pollutants are well documented. However, little is known about ultrafine particles (UFP) or black carbon (BC), although there is some toxicological evidence of their potential harmful respiratory impact.</p> <p><b>Objectives</b><br/>We aimed to study the short-term associations between UFP and BC concentrations inside vehicles and (1) the onset of mucosal irritation and (2) the acute changes in lung function of Parisian taxi drivers during a working day.</p> <p><b>Methods</b><br/>An epidemiological study was carried out on 50 taxi drivers in Paris. UFP and BC were measured inside their vehicles with DiSCmini® and microAeth®, respectively. On the same day, nose, eye, and throat irritations were self-reported by each participant and a spirometry test was performed before and after the work shift. Multivariate analysis was used to evaluate the associations between in-taxis UFP and BC concentrations and mucosal irritation and lung function, after adjustment for potential confounders.</p> <p><b>Results</b><br/>In-taxis UFP concentrations ranged from 17.9 to 37.9 x103 particles/cm3 and BC concentrations from 2.2 to 3.9 µg/m3, during a mean of 9 ± 2 working hours. Significant dose-response relationships were observed between in-taxis UFP concentrations and both nasal irritation and lung function. The increase of in-taxis UFP (for an interquartile range of 20 x 103 particles/cm3) was associated to an increase in nasal irritation (adjusted OR = 8.23; [95% CI: 1.28 to 53.1] and to a reduction in forced expiratory flow at 25–75 % by -7.44 % [95% CI: -12.63 to -2.24], forced expiratory volume in one second by -4.46 % [95% CI: -6.99 to -1.93] and forced vital capacity by -3.31 % [95% CI: -5.82 to -0.80]. Such associations were not found with BC. Incident throat and eye irritations were not related to in-vehicle particles exposure; however, they were associated with outdoor air quality and in-vehicle humidity, respectively.</p> <p><b>Conclusion</b><br/>To our knowledge, our study is the first to show a significant association, within a short-period of time, between in-vehicle UFP exposure and acute respiratory effects in professional drivers.</p> |



### 16 **Abstract**

#### 17 **Introduction**

18 Professional drivers are exposed inside their vehicles to high levels of air pollutants due to the  
19 considerable time they spend close to motor vehicle emissions. Adverse respiratory health effects of  
20 regulated pollutants are well documented. However, little is known about ultrafine particles (UFP) or  
21 black carbon (BC), although there is some toxicological evidence of their potential harmful  
22 respiratory impact.

#### 23 **Objectives**

24 We aimed to study the short-term associations between UFP and BC concentrations inside vehicles  
25 and (1) the onset of mucosal irritation and (2) the acute changes in lung function of Parisian taxi  
26 drivers during a working day.

#### 27 **Methods**

28 An epidemiological study was carried out on 50 taxi drivers in Paris. UFP and BC were measured  
29 inside their vehicles with DiSCmini® and microAeth®, respectively. On the same day, nose, eye,  
30 and throat irritations were self-reported by each participant and a spirometry test was performed  
31 before and after the work shift. Multivariate analysis was used to evaluate the associations between  
32 in-taxis UFP and BC concentrations and mucosal irritation and lung function, after adjustment for  
33 potential confounders.

#### 34 **Results**

35 In-taxis UFP concentrations ranged from 17.9 to 37.9 x10<sup>3</sup> particles/cm<sup>3</sup> and BC concentrations from  
36 2.2 to 3.9 µg/m<sup>3</sup>, during a mean of 9 ± 2 working hours. Significant dose-response relationships were  
37 observed between in-taxis UFP concentrations and both nasal irritation and lung function. The  
38 increase of in-taxis UFP (for an interquartile range of 20 x 10<sup>3</sup> particles/cm<sup>3</sup>) was associated to an  
39 increase in nasal irritation (adjusted OR = 8.23 [95% CI: 1.28 to 53.1]) and to a reduction in forced  
40 expiratory flow at 25–75 % by -7.44 % [95% CI: -12.63 to -2.24], forced expiratory volume in one  
41 second by -4.46 % [95% CI: -6.99 to -1.93] and forced vital capacity by -3.31 % [95% CI: -5.82 to -  
42 0.80]. Such associations were not found with BC. Incident throat and eye irritations were not related  
43 to in-vehicle particles exposure; however, they were associated with outdoor air quality and in-vehicle  
44 humidity, respectively.

#### 45 **Conclusion**

46 To our knowledge, our study is the first to show a significant association, within a short-period of  
47 time, between in-vehicle UFP exposure and acute respiratory effects in professional drivers.

48 **Keywords:** taxi drivers, ultrafine particles, black carbon, mucosal irritation, lung function

**49 1. Introduction**

50 Occupational respiratory diseases reached the third spot among the top three fatal work-related  
51 illnesses, according to the Workplace Safety and Health Institute (WSHI, 2017). Outdoor workers  
52 have been identified to be at high risk of developing respiratory health problems owing to their  
53 continuous exposure to traffic related air pollutants (TRAP) during long period of time close to  
54 vehicular emissions (HEI, 2010; Knibbs and Morawska, 2012). The respiratory health effects of  
55 particulate matter with aerodynamic diameter  $\leq 10$  (PM<sub>10</sub>) and  $\leq 2.5$  micrometers (PM<sub>2.5</sub>), carbone  
56 monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) on traffic policemen, bus drivers,  
57 motorcycle taxi drivers, subway drivers were well documented in the literature (Arphorn et al., 2018;  
58 Bener et al., 1997; Bigert et al., 2011; Brant et al., 2014; Choudhary and Tarlo, 2014; Jones et al.,  
59 2006; Karita et al., 2004; Lawin et al., 2018; Mbelambela et al., 2017; Santos et al., 2016; Shakya et  
60 al., 2016; Zhao et al., 2015; Zhou et al., 2001). Higher prevalence of respiratory symptoms (phlegm,  
61 wheezing, short breath, chest pain, throat pain, cough) (Jones et al., 2006; Mbelambela et al., 2017;  
62 Zhou et al., 2001) and lower lung function (FVC - forced vital capacity, FEV<sub>1</sub>- forced expiratory  
63 volume in one second) (Jones et al., 2006) were observed in outdoor workers compared to control  
64 groups (non-exposed to TRAP). However, very little is known on the effect of TRAP on taxi drivers'  
65 respiratory health, even though they are highly exposed to air pollutants inside their vehicles during  
66 a significant proportion of their daily time (Hachem et al., 2019).

67 Recently, the focus has shifted towards ultrafine particles (UFP) and black carbon (BC), both emitted  
68 by combustion processes, especially by combustion engines (particularly diesel) in urban areas  
69 (Janssen et al., 2012; Morawska et al., 2008). UFP ( $\leq 100$  nm) are small enough to reach alveoli.  
70 They contribute to a large surface area with high deposition efficiency, which facilitates their  
71 penetration through the epithelium and thus translocation to the circulatory system (Gulati and Cullen,  
72 2017; HEI, 2013; Leikauf et al., 2020; Morawska et al., 2019). BC is mainly harmful through carrying  
73 a mix of toxic chemicals deeply into the lungs (Janssen et al., 2012). Epidemiological studies  
74 investigating the link between short-term exposure either to UFP or BC and respiratory health are  
75 still inconclusive. This is due to : (1) the absence of standard methods to measure UFP, making results  
76 difficult to compare (Morawska et al., 2019); (2) the challenges encountered in assessing TRAP  
77 exposure by considering the mixture of traffic pollutants (difficulty to dissociate specific pollutant  
78 effect) and by taking into account all the determinants that may affect their levels. However, there are  
79 some evidence of their adverse health effects on cardiopulmonary hospital admissions, acute  
80 respiratory and cardiovascular morbidity, etc. (HEI, 2013; Janssen et al., 2012; Knibbs et al., 2011;  
81 Paunescu et al., 2019a; Paunescu et al., 2019b).

82 In this respect, the aim of this study is to investigate the short-term associations between in-vehicle  
83 exposure of taxi drivers to UFP and BC during a working day and respiratory health, in particular  
84 mucosal (nose, throat, and eye) irritation symptoms and lung function.

## 85 **2. Methods**

### 86 **2.1. Study design and participants**

87 As part of PUF-TAXI project, this observational study was carried out in Paris between 1<sup>st</sup> of  
88 February 2019 and 10<sup>th</sup> of January 2020, on 50 volunteer taxi drivers recruited prospectively by two  
89 taxi trade unions, and *via* advertising in taxi magazines/seminars. The taxi drivers included had to be  
90 over 18 years of age and to work on full-time day shift with more than 6 months of experience in  
91 their jobs.

92 At the first visit, all participants underwent a physical examination free of charge to evaluate their  
93 general health status in the Occupational and Environmental Diseases Service at Hôtel-Dieu Hospital  
94 in the city of Paris.

95 At the second visit, they were invited to participate in a measurement campaign which consisted of  
96 (1) measuring UFP and BC inside their vehicles throughout a normal working day and (2) evaluating  
97 the occurrence of nose/throat/eye irritation symptoms and the changes in lung function parameters  
98 pre- and post- pollutant sampling period, during the same day (Figure A.1).

99 PUF-TAXI has been declared to the National Commission for Data Protection and Liberties  
100 (2172757v0) and registered in ClinicalTrial.gov (NCT03839537). It was approved by the French  
101 Institutional Review Board (Île-De-France III Ethics Committee 3593-RM; Research Ethics Number:  
102 2018-A00811-54). Informed written consent was obtained from all participants.

### 103 **2.2. Exposure measurements**

104 Particle pollutants and the comfort parameters (temperature, humidity, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)) were  
105 all measured inside taxi vehicles during a typical working day without any restrictions. UFP count  
106 were recorded by the Diffusion Size Classifier Miniature (DiSCmini<sup>®</sup>, Wohlen, Switzerland and  
107 commercialized by Testo SE &Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Germany); BC concentrations by the  
108 microAeth<sup>®</sup> Model AE51 (Aethlabs, San Francisco, California, USA) and temperature, humidity, and  
109 CO<sub>2</sub> concentrations by CP11<sup>®</sup> (Michel Instruments, Lyon, France). All the devices were placed in a  
110 carry case, on the shelf under the rear window of all vehicles.

111 The global outdoor air quality on the sampling day was estimated using the Atmo index calculated  
112 by the Paris air quality monitoring network “Airparif” ([www.airparif.asso.fr](http://www.airparif.asso.fr)), from four sub-indices



113 based on the background concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, ozone (O<sub>3</sub>) and PM<sub>10</sub>. In short, Atmo index is  
114 scaled from 1 (very good) to 10 (very bad) corresponding to the highest sub-index of the four  
115 pollutants.

### 116 **2.3. Health data**

117 During the medical visit, a standardized examination was carried out by an occupational physician at  
118 Hôtel-Dieu Hospital. A skin prick test (SPT) was performed to detect sensitization to the most  
119 common inhalant allergens. The participant's health data (chronic and current respiratory or allergic  
120 diseases) was collected using a standardized medical questionnaire based on the European  
121 Community Respiratory Health Survey II questionnaire (ECRHS II) and the Epidemiological Study  
122 of the Genetics and Environment of Asthma questionnaire (EGEA).

123 On the sampling day – when UFP and BC were measured inside taxicabs, nose, eye, and throat  
124 irritation symptoms were self-reported by each participant at the start and during the working day and  
125 scored from 0 to 10 using a symptom intensity scale. A spirometry test was also performed by the  
126 same experienced technician, pre- and post- pollutant sampling period in every participant, unless  
127 contraindicated. A portable spirometer (Spirobank II®, MIR, Italy) was used according to the  
128 American Thoracic Society and the European Respiratory Society (ATS/ERS) guidelines (Miller et  
129 al., 2005). After explaining the appropriate technique of the test procedure, each driver performed in  
130 a sitting position wearing a nose clip, at least three satisfactory maneuvers. After checking the within-  
131 and between- maneuvers acceptability criteria, the values of the best expiratory flow-volume curve  
132 were chosen (Miller et al., 2005). The predicted values for FVC, FEV<sub>1</sub>, forced expiratory flow at 25–  
133 75% (FEF<sub>25-75</sub>) and peak expiratory flow (PEF) were determined based on sex, age, height and  
134 ethnicity according to ERS standard.

### 135 **2.4. Potential confounders and effect modifiers**

136 At the medical visit, sociodemographic data (age, sex); anthropometric data (height, weight); smoking  
137 status (smokers/ex-smokers/never smokers); comorbidities (gastroesophageal reflux disease  
138 (GERD), hypertension, diabetes, asthma, allergic rhinitis, atopy assessed by a positive SPT) and work  
139 characteristics (job tenure, working hours per day, working hours per week, etc.) were recorded on a  
140 standardized questionnaire by the physician.

141 All along the pollutant sampling day, details of each trip (duration, ventilation settings, smoking, etc.)  
142 were self-reported by the participants on a standardized form.

**143 2.5. Statistical analyses**

144 The health and job-related characteristics of the taxi drivers were described, and the distribution of  
145 particle pollutant concentrations was graphically presented by boxplots.

146 The prevalence and the intensity of the nose/throat/eye irritation reported by the taxi drivers were  
147 compared pre- and post- working day using McNemar's test and paired sample t-test, respectively.  
148 An incident irritation was defined as the nasal, throat or eye irritation occurring during the working  
149 day or getting worse compared to the start of the day. Regarding lung function, all spirometry  
150 parameters measured at the start and at the end of the working day were compared using paired sample  
151 t-test. The relative change in lung parameter was calculated as the difference between the post- and  
152 pre-working values reported to the pre-working parameter.

153 The short-term associations of in-vehicle UFP and BC concentrations with both incident irritation  
154 (nose, throat and eye) and relative changes in lung function parameters during a working day were  
155 studied using single- and multiple- pollutant logistic and linear regression models, respectively,  
156 adjusted for potential confounders. Relevant covariates were chosen for each model according to the  
157 literature, to the directed acyclic graphs (DAGs) version 3.0 (Figure A.2, Figure A.3) and to the  
158 bivariate analysis (p-value of  $\leq 0.20$ ): age of the taxi driver (years); sex; body mass index (BMI)  
159 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ); having a GERD (yes/no); having atopic tendency (positive SPT and/or asthma and/or allergic  
160 rhinitis), the global outdoor air quality index (Atmo); exposure duration (hours); temperature in-taxi  
161 ( $^{\circ}\text{C}$ ); humidity in-taxi (%); ventilation settings (the duration in minutes of opening windows and air-  
162 conditioning activation). Results were expressed as adjusted odd ratios (ORa) or beta coefficients ( $\beta a$ )  
163 and their 95% confidence intervals (CI) for an interquartile range (IQR) increase in UFP and BC  
164 concentrations.

165 Potential modification effects by comorbidities (atopic tendency and GERD) were tested by  
166 introducing multiplicative interaction terms in the models. All analyzes were conducted using  
167 STATA® /SE (version 15.1) (StataCorp, College Station, Texas, United-States). The statistical  
168 significant level was  $p < 0.05$ .

**169 3. Results****170 3.1. Participants**

171 The mean age of the participants was  $51.5 \pm 7.3$  years, the majority were men (92%) and less than a  
172 quarter of the drivers were current smokers (18%). Out of 50 taxi drivers, 20 (40%) reported having  
173 at least one chronic respiratory or allergic disease (29% allergic rhinitis, 16% asthma and 16%  
174 eczema) of whom 12 (60%) had a positive skin prick test (SPT) to at least one inhalant allergen (Table

6

175 1). Most of the taxi drivers declared experiencing nose (42%), eye (38%) and throat irritation (36%)  
 176 during the last 12 months. The job-related characteristics of the taxi drivers are presented in table 2.

177 **Table 1.** Baseline characteristics of Parisian taxi drivers in PUF-TAXI study in Paris (N= 50)

| Variables   | Mean ± SD or n (%)   |
|---|----------------------|
| <b>General characteristics</b>                              |                      |
| Age, years [min - max]                                      | 51.5 ± 7.3 [37 - 73] |
| Sex   |                      |
| Male  | 46 (92)              |
| Female  | 4 (8)                |
| Smoking status  |                      |
| Smokers <sup>a</sup>  | 9 (18)               |
| Ex-smokers <sup>b</sup>                                     | 19 (38)              |
| Never smokers   | 22 (44)              |
| <b>Health data at physical examination</b>                  |                      |
| Height (cm)   | 175.2 ± 7.8          |
| Weight (kg)   | 82 ± 14.8            |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )                                    | 26.7 ± 4.3           |
| Skin prick tests (SPT) <sup>c</sup>                         |                      |
| Atopy by a positive SPT (N=38)                              | 18 (47)              |
| Reported respiratory and allergic diseases                  |                      |
| Asthma ever   | 8 (16)               |
| Current <sup>d</sup> asthma                                 | 8 (16)               |
| Allergic rhinitis ever                                      | 14 (29)              |
| Current allergic rhinitis                                   | 4 (8)                |
| Eczema ever   | 8 (16)               |
| Current eczema  | 4 (8)                |
| Atopy ever  | 12 (24)              |
| Other reported diseases                                     |                      |
| Hypertension  | 7 (14)               |
| Diabetes  | 3 (6)                |
| GERD  | 28 (56)              |
| Reported respiratory and allergic symptoms in the past year |                      |
| Mucosal irritation  |                      |
| Nose <sup>e</sup>   | 21 (42)              |
| Eye <sup>f</sup>  | 19 (38)              |
| Throat <sup>g</sup>   | 18 (36)              |
| Wheezing  | 8 (16)               |
| Breathing difficulties                                      | 14 (28)              |

178 **BMI:** body mass index; **GERD:** gastroesophageal reflux disease; **SD:** standard deviation; **SPT:** skin prick test.

179 a. **Smokers** current smokers or had quit smoking for less than twelve months.

180 b. **Ex-smokers** have quit smoking for at least twelve months.

181 c. **Skin prick test (SPT)** is considered positive if the wheal diameter ≥ 3 mm and at least half the size of the positive histamine  
 182 control (Helaskoski et al., 2017).

183 d. **Current** during the past 12 months.

184 e. **Nose irritation** is defined as sneezing, stuffy or runny nose, itchy nose without any infectious triggers.

185 f. **Eye irritation** is defined as redness, watery or itchy eyes without any infectious triggers.

186 g. **Throat irritation** is defined as hoarseness, irritation, and itching without any infectious triggers.

187

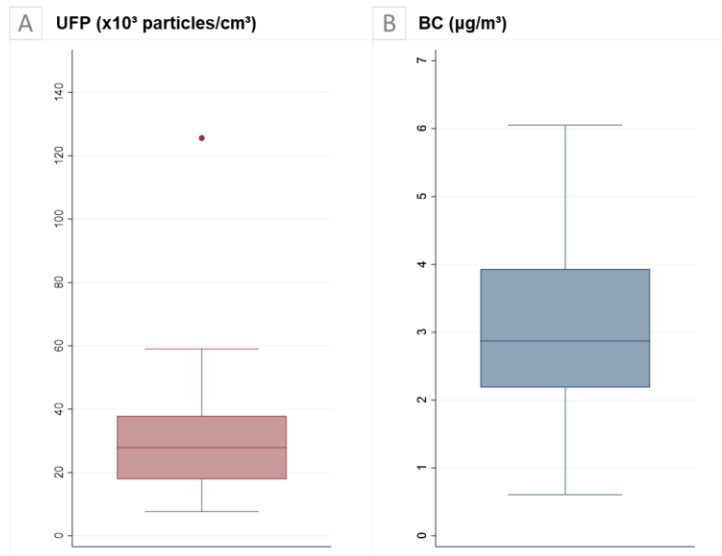
188 **Table 2.** Job and driving-related characteristics of Parisian taxi drivers in PUF-TAXI study in Paris (N= 50)

| Occupational characteristics of taxi drivers | Mean ± SD [min-max] or n (%) |
|--|------------------------------|
| Job tenure, years                            | 16.1 ± 7.7 [2 - 35]          |
| Working hours per day                        | 10 ± 1.3 [7 - 12]            |
| Working days per week                        | 5.7 ± 0.7 [4 - 7]            |
| <b>During the measurement campaign</b>       |                              |
| Working hours per day                        | 9.4 ± 1.6 [5 - 13]           |
| Smoking during the measurement day           | 4 (8)                        |
| Number of trips per day                      | 10 ± 5 [2 - 29]              |
| Duration of opening windows, minutes         | 105.4 ± 134.5 [0 - 473]      |
| Duration of activating AC, minutes           | 131.7 ± 138.5 [0 - 603]      |
| Duration of heating, minutes                 | 79.8 ± 136.2 [0 - 603]       |

189 **AC:** air conditioning; **SD:** standard deviation

### 190 3.2. UFP and BC concentrations inside taxi vehicles

191 In-taxis concentrations ranged from 17.9 to 37.9  $\times 10^3$  particles/cm<sup>3</sup> for UFP and from 2.2 to 3.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
192 for BC (Figure 1), during a mean of  $9.4 \pm 1.6$  working hours. UFP and BC were moderately positively  
193 correlated ( $r = 0.43$ ;  $p < 0.01$ ). The average temperature, humidity and CO<sub>2</sub> levels recorded in taxis  
194 were  $23.4 \pm 3.7$  °C,  $41.6 \pm 11.5$  % and  $1125 \pm 603$  ppm, respectively.



195 **Figure 1.** Distribution of ultrafine particles (A) and black carbon (B) concentrations measured in taxis during  
196 the sampling days in PUF-TAXI study in Paris (N= 50)

197 BC: black carbon; UFP: ultrafine particles.

198 In each box, the thick middle line, top and bottom represent the median value, upper and lower quartile (75th and 25th percentile),  
199 respectively. Whiskers extend to the highest/lowest value within 1.5 times the quartiles and dots if present indicate the outliers.

### 200 3.3. Association between in-taxis UFP and BC concentrations and mucosal irritation

201 Overall, the prevalence and the intensity of the reported eye/nose/throat irritation increased during  
202 the working day significantly compared to the start of the day: 27 (54%) vs 17 (34%),  $p = 0.01$ ;  
203 geometric mean of the intensity irritation score: 4.1 vs 3.8,  $p = 0.04$ .

204 Incident nose irritation was significantly associated with UFP and BC concentrations inside taxis,  
205 when tested in single pollutant models. However, in two-pollutants models only the association with  
206 in-taxis UFP concentrations remained statistically significant (Table 3A). In addition, results showed  
207 significant positive association between nose irritation and working duration. In contrast, nose  
208 irritation was inversely associated with temperature inside vehicles. No interaction was found with  
209 atopic tendency.

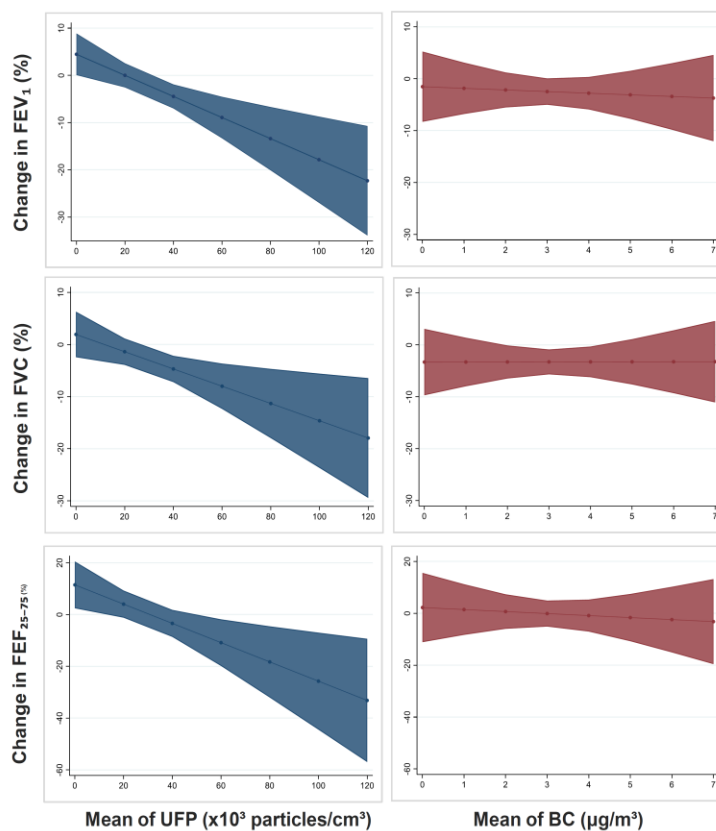
210 Incident throat irritation was not associated with in-taxi UFP and BC concentrations, but increased  
 211 with poor outdoor air quality (Table 3B), this association being modified by GERD (Table A.1).  
 212 Throat irritation in relation with outdoor air quality greatly increased in taxi drivers suffering from  
 213 GERD. Incident eye irritation was not associated to air pollutants (neither outdoor nor inside taxis)  
 214 and appeared to only depend on humidity levels inside taxicabs (Table 3C). Incident eye irritation  
 215 increased with the dryness of the atmosphere.  
 216 **Table 3.** Associations between in-taxi UFP and BC concentrations and the incidence of nose (A), throat (B)  
 217 and eye (C) irritation during the working day in PUF-TAXI project (N=50)

| A<br>Nose irritation <sup>a</sup>                 | Model 1                     |                 | Model 2                     |                 | Model 3                     |                 |
|---|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
|   | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value |
| <b>Exposure</b>                                   |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| IQR of UFP (x10 <sup>3</sup> pt/cm <sup>3</sup> ) | <b>8.23 [1.28 to 53.1]</b>  | <b>0.027</b>    | ---                         | ---             | <b>6.25 [0.97 to 40.42]</b> | <b>0.054</b>    |
| IQR of BC (µg/m <sup>3</sup> )                    | ---                         | ---             | <b>8.02 [1.09 to 59.20]</b> | <b>0.041</b>    | 4.82 [0.63 to 36.9]         | 0.130           |
| Outside air pollution index <sup>b</sup>          | 0.47 [0.14 to 1.59]         | 0.226           | 0.38 [0.11 to 1.31]         | 0.127           | 0.33 [0.09 to 1.22]         | 0.095           |
| Working duration (hour)                           | <b>3.35 [1.07 to 10.46]</b> | <b>0.038</b>    | <b>3.11 [1.17 to 8.28]</b>  | <b>0.023</b>    | <b>3.51 [1.24 to 9.98]</b>  | <b>0.018</b>    |
| <b>Vehicle</b>                                    |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| In-taxi temperature (°C)                          | <b>0.47 [0.23 to 0.96]</b>  | <b>0.038</b>    | <b>0.62 [0.39 to 0.98]</b>  | <b>0.042</b>    | <b>0.49 [0.25 to 0.98]</b>  | <b>0.045</b>    |
| In-taxi ventilation settings                      |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| AC activation time (min)                          | 1.01 [0.99 to 1.02]         | 0.228           | 1.01 [0.99 to 1.02]         | 0.268           | 1.01 [0.99 to 1.03]         | 0.123           |
| <b>Driver</b>                                     |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| Atopic tendency <sup>c</sup>                      | 0.90 [0.05 to 15.86]        | 0.944           | 0.73 [0.07 to 7.49]         | 0.790           | 0.98 [0.06 to 17.29]        | 0.990           |
| B<br>Throat irritation <sup>d</sup>               | Model 1                     |                 | Model 2                     |                 | Model 3                     |                 |
|   | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value |
| <b>Exposure</b>                                   |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| IQR of UFP (x10 <sup>3</sup> pt/cm <sup>3</sup> ) | 1.24 [0.47 to 3.32]         | 0.659           | ---                         | ---             | 1.50 [0.52 to 4.39]         | 0.454           |
| IQR of BC (µg/m <sup>3</sup> )                    | ---                         | ---             | 0.47 [0.11 to 2.09]         | 0.324           | 0.36 [0.07 to 2.00]         | 0.224           |
| Outside air pollution index                       | <b>3.04 [1.22 to 7.63]</b>  | <b>0.017</b>    | <b>4.08 [1.35 to 12.30]</b> | <b>0.013</b>    | <b>4.16 [1.32 to 13.07]</b> | <b>0.015</b>    |
| Working duration (hour)                           | 1.26 [0.71 to 2.24]         | 0.435           | 1.16 [0.66 to 2.02]         | 0.607           | 1.24 [0.69 to 2.23]         | 0.469           |
| <b>Vehicle</b>                                    |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| In-taxi ventilation settings                      |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| WO time (min)                                     | 0.99 [0.99 to 1.003]        | 0.201           | 0.99 [0.99 to 1.003]        | 0.305           | 0.99 [0.99 to 1.003]        | 0.224           |
| <b>Driver</b>                                     |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| GERD  |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| No  | Reference                   |                 | Reference                   |                 | Reference                   |                 |
| Yes   | <b>13.9 [1.3 to 149.4]</b>  | <b>0.029</b>    | <b>17.6 [1.6 to 197.13]</b> | <b>0.029</b>    | <b>17.04 [1.5 to 198.9]</b> | <b>0.024</b>    |
| C<br>Eye irritation <sup>e</sup>                  | Model 1                     |                 | Model 2                     |                 | Model 3                     |                 |
|   | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value | ORa [95% CI]                | <i>P</i> -value | ORa [95% CI]                | <i>p</i> -value |
| <b>Exposure</b>                                   |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| IQR of UFP (x10 <sup>3</sup> pt/cm <sup>3</sup> ) | 1.06 [0.19 to 6.05]         | 0.945           | ---                         | ---             | 1.56 [0.27 to 9.09]         | 0.619           |
| IQR of BC (µg/m <sup>3</sup> )                    | ---                         | ---             | 0.38 [0.03 to 4.14]         | 0.424           | 0.26 [0.01 to 5.38]         | 0.385           |
| Outside air pollution index <sup>f</sup>          |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| Atmo index [1, 2, 3, 4]                           |                             |                 | Reference                   |                 | Reference                   |                 |
| Atmo index [5, 6]                                 | 0.78 [0.06 to 9.89]         | 0.852           | 1.49 [0.09 to 24.9]         | 0.782           | 1.57 [0.08 to 30.02]        | 0.767           |
| Working duration (hour)                           | 1.42 [0.66 to 3.08]         | 0.498           | 1.50 [0.67 to 3.35]         | 0.322           | 1.57 [0.68 to 3.63]         | 0.286           |
| <b>Vehicle</b>                                    |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| In-taxi humidity (%)                              | <b>0.86 [0.76 to 0.98]</b>  | <b>0.018</b>    | <b>0.88 [0.77 to 0.99]</b>  | <b>0.046</b>    | <b>0.88 [0.78 to 0.99]</b>  | <b>0.048</b>    |
| In-taxi ventilation settings                      |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| AC activation time (min)                          | 0.99 [0.98 to 1.01]         | 0.372           | 0.99 [0.98 to 1.01]         | 0.303           | 0.99 [0.98 to 1.01]         | 0.292           |
| <b>Driver</b>                                     |                             |                 |                             |                 |                             |                 |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )                          | 1.35 [0.98 to 1.88]         | 0.070           | 1.31 [0.98 to 1.74]         | 0.068           | 1.34 [0.97 to 1.84]         | 0.074           |

218 **AC:** air conditioning; **BC:** black carbon; **BMI:** body mass index; **GERD:** gastroesophageal reflux disease; **ORa:** adjusted odds ratio;  
 219 **UFP:** ultrafine particles; **WO:** windows opening.  
 220 a. Nose irritation: sneezing, stuffy or runny nose, itchy nose without any infectious triggers.  
 221 b. Outside air pollution defined by Atmo index.  
 c. Throat irritation: hoarseness, irritation, and itching without any infectious triggers.  
 d. Eye irritation: redness, watery or itchy eyes without any infectious triggers.  
 e. Atmo index [1, 2, 3, 4]: very good/good air quality; Atmo index [5, 6]: moderate/poor air quality.  
 IQR of UFP 20 x10<sup>3</sup> pt/cm<sup>3</sup>  
 IQR of BC 1.75 µg/m<sup>3</sup>

222 **3.4. Associations between in-taxi UFP and BC concentrations and relative change in lung**  
 223 **function parameters**

224 During the working day, increasing in-taxi UFP concentrations (for an IQR of  $20 \times 10^3$  particles/cm<sup>3</sup>)  
 225 were associated with a significant reduction in FEV<sub>1</sub> (-7,44 % [95% CI: -12.63 to -2.24]), FEV<sub>1</sub> (-  
 226 4,46 % [95% CI: -6.99 to -1.93]) and FVC (-3,31 % [95% CI: -5.82 to -0.80]) (Figure 2). No  
 227 significant association was found between in-taxi BC concentrations and relative changes in lung  
 228 function parameters measured pre- and post-working day.



229 **Figure 2.** Relative changes in FEV<sub>1</sub>, FVC and FEF<sub>25-75%</sub> before and after work shift according to in-taxi UFP  
 230 and BC concentrations measured throughout the working day in PUF-TAXI project (N=50)  
 231 **BC:** black carbon; **FEV<sub>1</sub>:** forced expiratory volume in one second; **FEF<sub>25-75%</sub>:** forced expiratory flow at 25-75% of the FVC; **FVC:**  
 232 forced vital capacity; **UFP:** ultrafine particles.  
 233 All models are adjusted for age (years), sex, body mass index, temperature inside taxi vehicles (°C) and the quality of the outdoor air  
 234 (Atmo index).  
 235 Blue and red dots represent adjusted  $\beta$  in percentage of change with its 95% confidence interval.

**236 4. Discussion****237 4.1. Key results**

238 This study offers new insights into the associations of short-term exposure to in-vehicle UFP and BC  
239 concentrations with acute mucosal irritation and lung function variation of Parisian taxi drivers during  
240 a working day. The most notable findings were the increase in incident nasal irritation and the  
241 reduction of FEV<sub>1</sub>, FVC and FEF<sub>25-75</sub> after short-term exposure to in-vehicle UFP. No association  
242 was found with BC concentrations. Incident throat and eye irritations were not related to in-vehicle  
243 particles exposure; however, they were associated with outdoor air quality and in-vehicle humidity,  
244 respectively.

**245 4.2. Strengths and limitations**

246 To our knowledge, this is the first study to address the link between in-vehicles UFP and BC exposure  
247 and acute respiratory effects. A major advantage of this research is to study real-world working  
248 conditions, without any restrictions given to the taxi drivers, using individual measurements of  
249 particle concentrations inside each taxicab during a working day. Pollutants were recorded (every  
250 minute) for all participants using the same devices placed in the same position inside taxis. As for  
251 health data, they were also carefully collected following precise standard operating procedures. The  
252 medical examination was performed by a single physician and the spirometry tests before and after  
253 work shift were carried out by the same investigator who underwent a specific training prior to the  
254 study. The use of single and two-pollutant regression models allowed to discern the specific  
255 association of each pollutant with the health outcomes. However, this study has a few limitations.  
256 Randomization of taxi drivers was not possible due to the inaccessibility to an exhaustive sampling  
257 frame. Therefore, the recruitment of participants was based on volunteering resulting in a potential  
258 selection bias. Taxi drivers' motivation to participate in the study might be related to their particular  
259 sensitivity to indoor air issues. Therefore, it was important to complete the reporting of symptoms by  
260 objective measurements of lung function parameters, each participant acting as his own control for  
261 health outcomes before and after work shift comparisons. There were few women participants (n=4)  
262 which is somehow in line with their low representation in this occupation, and we performed  
263 sensitivity analysis with and without women. Results remained unchanged.

**264 4.3. Adverse short-term respiratory effects of in-vehicle exposure to traffic related air  
265 pollutants**

266 We found that a significant proportion of taxi drivers (around 50%) reported having a least one  
267 chronic respiratory/allergic disease and suffering from mucosal irritation during the last year (42%  
268 nose irritation; 38% eye irritation; 36% throat irritation). Occupational epidemiological studies were

269 consistent with our findings. Professional drivers in Congo (Mbelambela et al., 2017), in Shanghai  
270 (Zhou et al., 2001) and in the United Arab Emirates (Bener et al., 1997) (taxi drivers, bus drivers,  
271 motorcycle taxi drivers) had significant higher prevalence of adverse respiratory effects (asthma,  
272 allergic rhinitis, dyspnea, nasal catarrh, cough, phlegm, throat pain) than non-exposed groups  
273 (manual/office/storage workers, high school teachers).

274 Regarding acute respiratory symptoms, this study showed significant dose-response relationships  
275 between in-vehicle UFP and BC exposure and incident nasal irritation irrespective if the participant  
276 had an atopic tendency (asthma, allergic rhinitis, positive SPT). However, when using the two-  
277 pollutant models, it appears that the effect of UFP on nasal mucosa is more robust than that of BC.  
278 Our results are biologically plausible. The major exposure route of particles is via inhalation. Particles  
279 in the range of 1 to 10  $\mu\text{m}$ , including BC < 2.5  $\mu\text{m}$ , tend to deposit in the extra-thoracic region (nose,  
280 pharynx, larynx). Smaller particles < 1  $\mu\text{m}$ , in particular UFP, deposit in nasal and alveolar regions  
281 due to diffusion (HEI, 2013; Oberdörster et al., 2005). Thus, during nasal breathing, the nose mucosa  
282 plays a significant role in cleaning the inspired air by increasing mucus production and ciliary beating,  
283 resulting in nasal discomfort (Brant et al., 2014; ICRP, 1994; Oberdörster et al., 2005; Riechelmann  
284 et al., 2003). Furthermore, Brant et al. (2014) showed that non-smoking commercial motorcyclists,  
285 in an urban city in Brazil, presented a decreased nasal mucociliary clearance in relation with exposure  
286 to air pollutants (Brant et al., 2014). They also reported an increase in sino-nasal symptoms, which is  
287 consistent with our results. Otherwise, UFP appear to be cleared less quickly than larger particles.  
288 Indeed, UFP may penetrate through a layer of relatively low viscosity surrounding the cilia or they  
289 deposit in areas in which mucous is reduced or absent (HEI, 2013; Schürch et al., 1990).  
290 Consequently, the lack of UFP clearance may lead to their accumulation, which may explain the  
291 robust association found between UFP and nasal irritation but not with BC.

292 As for throat irritations, they were not associated with in-vehicle UFP and BC concentrations during  
293 the working day. This outcome was expected given the deposition and the clearance mechanisms of  
294 the corresponding pollutants in the respiratory tract. UFP tend to deposit either in the nose or in the  
295 alveoli but not in the pharynx nor in the larynx. BC appears to be cleared easily from the upper  
296 airways (Oberdörster et al., 2005). Conversely, throat irritation was related to outdoor air pollution.  
297 This is consistent with the United States Environmental Protection Agency (US EPA) publication,  
298 reporting that O<sub>3</sub> can cause sore or scratchy throat (EPA, 2020). Interestingly, we found that outdoor  
299 air pollution may be differently associated with incident throat irritation depending on whether the  
300 taxi driver is suffering from GERD or not. In fact, GERD refers to the passage of gastric contents into  
301 the esophagus reaching the laryngeal and pharyngeal resulting in mucosal injury, which manifests by  
302 extra-esophageal symptoms, including dry and sore throat (Issing and Karkos, 2003; Tauber et al.,



303 2002). In that respect, a possible explanation for our result is that having an irritated mucosa could  
304 increase the effects of outdoor air pollutants.

305 Regarding eye irritation, it was not associated neither with in-vehicle particles nor with ambient air  
306 pollution. Nevertheless, we found that taxi drivers experienced more eye irritation with the decreasing  
307 in humidity inside cabs. The literature supports our result. There is a growing evidence linking eye  
308 irritation to low relative humidity mainly by lacrimal hyper-osmolarity inducing instability of the  
309 lacrimal film (2007; Doan, 2009; Hwang et al., 2016; Wolkoff, 2018). Sunwoo et al. (2006) showed  
310 that under 30% of relative humidity, the subjects reported that their eyes became drier (Sunwoo et  
311 al., 2006).

312 Most attention related to the lung function of professionals exposed to air pollution has focused on  
313 its association with regulated pollutants (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> and CO) (Bigert et al., 2011; Brant et al.,  
314 2014; Jones et al., 2006; Zhao et al., 2015). In São Paulo, outdoor workers (including taxi drivers)  
315 exposed to high concentrations of PM<sub>2.5</sub> (> 39.6 µg/m<sup>3</sup>) had lower FVC (-12.2%; CI% 95: -20% to -  
316 4.4%) and FEV<sub>1</sub> (-9.1 %; CI% 95: -19.1% to -0.9%) compared to those exposed to low PM<sub>2.5</sub>  
317 concentrations (< 25 µg/m<sup>3</sup>) (Santos et al., 2016). In Benin, motorcycle taxi drivers exposed to CO  
318 concentrations above the US EPA air quality standard for 8 hours per day (9 ppm) had lower PEF (-  
319 10%, p=0.02) compared to less exposed group < 9 ppm (Lawin et al., 2018). However, less is known  
320 about UFP and BC. As far as we know, no team has assessed the effect of UFP on professional  
321 drivers' health. Our main findings suggested that short-term exposure to in-vehicle UFP  
322 concentrations during a working day reduced lung function in taxi drivers at the end of the shift  
323 compared to its start. Hence, the association between respiratory effect and UFP exposure might be  
324 considered as a continuum since it initiates with nasal irritation. Regarding BC, there was no  
325 association with changes in lung function during a working day. Only Shayka et al. (2016)  
326 investigated respiratory effect of BC exposure in traffic policemen (Shakya et al., 2016). Contrary to  
327 our study, they found that personal occupational BC exposure was negatively correlated with FEV<sub>1</sub>  
328 (r= - 0.36, p<0.05). This may be due to the high BC concentrations (range from 12.4 to 28.4 µgC/m<sup>3</sup>)  
329 (Shakya et al., 2016) traffic policemen were exposed to, much higher than those we measured inside  
330 Parisian taxicabs (range from 2.2 to 3.9 µg/m<sup>3</sup>) (Shakya et al., 2016). Our results are biologically  
331 plausible. In fact, larger particles appear to be cleared easily from the respiratory tract, whereas  
332 smaller particles tend to remain longer, which may lead to their accumulation in airway tissues (HEI,  
333 2013; Schürch et al., 1990). This phenomenon may cause acute reduction in airway caliber by  
334 increasing airway secretions or stimulating airway smooth muscle or pulmonary vasoconstriction  
335 (Batalha et al., 2002; Brook et al., 2002; Pietropaoli et al., 2004). However, the specific mechanism  
336 remains unknown (HEI, 2013). Nevertheless, this could explain the deterioration of Parisian taxi

337 driver's lung parameters (FVC, FEV<sub>1</sub>, FEF<sub>25-75%</sub>) associated with UFP but not with BC, at the end of  
338 the working day, although the circadian rhythm of lungs improves the pulmonary function in the late  
339 afternoon (Medarov et al., 2008; Nosal et al., 2020). Hence, the associations we observed might have  
340 been underestimated.

341 Lastly, the clinical significance of lung function results must be questioned. According to the  
342 ATS/ERS publication, a real change in lung function is significant if FVC and FEV<sub>1</sub> varied  $\geq 5\%$  and  
343 FEF<sub>25-75%</sub>  $\geq 13\%$  within a day in normal subjects (Pellegrino et al., 2005). In our study, the mean  
344 variations of lung parameters were below these thresholds. We should note, though, that reduction in  
345 FEF<sub>25-75%</sub> and in FEV<sub>1</sub> suggest obstruction in the small and central airways (Pellegrino et al., 2005;  
346 Pietropaoli et al., 2004). Porsbjerg et al. (2015) reported that decline in FEV<sub>1</sub> is associated with  
347 incident asthma in adults (Porsbjerg et al., 2015). Moreover, some evidence has shown that exposure  
348 to air pollutants can trigger the new-onset of asthma or exacerbate existing asthma (Guarnieri and  
349 Balmes, 2014). Our results deserve to be confirmed by further studies.

## 350 **5. Conclusion**

351 In conclusion, this study has shown a significant association, within a short period of time, between  
352 in-vehicle UFP exposure and acute respiratory effects (nasal irritation, lung function) of professional  
353 drivers. Given the considerable time professional drivers spend inside vehicle, further studies are  
354 needed to investigate the adverse respiratory effects of UFP and BC in occupational population. Such  
355 research could further help policy makers to define appropriate limit values for UFP and BC, not  
356 regulated to this day.

## 357 **Patient consent**

358 Written.

## 359 **CRedit authorship contribution statement**

360 **Melissa HACHEM**: Validation, Formal analysis, Investigation, Writing – Original Draft. **Maxime**  
361 **LOIZEAU**: Investigation, Writing - Review & Editing. **Nadine SALEH**: Validation, Supervision,  
362 Writing - Review & Editing. **Isabelle MOMAS**: Conceptualization, Methodology, Validation,  
363 Resources, Writing - Review & Editing, Supervision, Project administration. **Lynda BENSEFA-**  
364 **COLAS**: Conceptualization, Methodology, Validation, Investigation, Supervision, Project  
365 administration, Writing - Review & Editing.

### 366 **Funding**

367 This work was supported by ADEME (Contract n° 1666C0006), and the Research call Programme  
368 National de Recherche Environnement Santé Travail 2015 (ANSES –French Agency for Food,  
369 Environmental and Occupational Health & Safety). MH is co-funded by the French Environment &  
370 Energy Management Agency (ADEME) and by the National Council for Scientific Research -  
371 Lebanon (CNRS-L). The sponsor was Assistance Publique – Hôpitaux de Paris (Département de la  
372 Recherche Clinique et de l'Innovation). The co-founders were not involved in the conduct of this  
373 article.

### 374 **Declaration of Competing Interests**

375 The authors declare no competing financial interest.

### 376 **Acknowledgements**

377 The authors would like to thank to Dr. Aubourg for her valuable insight into assessing the respiratory  
378 effects. Thanks to Mr. Masson and M. Goupil for the data management. Thanks to Dr. Paunescu for  
379 her precious help for setting up the field study (tools and operating instructions for the measurement  
380 devices). Also, the authors extend their thanks to all the taxi drivers who participated in the study.

### 381 **References**

- 382 Methodologies to diagnose and monitor dry eye disease: report of the Diagnostic Methodology  
383 Subcommittee of the International Dry Eye WorkShop (2007). *Ocul Surf* 2007; 5: 108-52.
- 384 Arphorn S, Ishimaru T, Hara K, Mahasandana S. Considering the effects of ambient particulate matter  
385 on the lung function of motorcycle taxi drivers in Bangkok, Thailand. *J Air Waste Manag*  
386 *Assoc* 2018; 68: 139-145.
- 387 Batalha JR, Saldiva PH, Clarke RW, Coull BA, Stearns RC, Lawrence J, et al. Concentrated ambient  
388 air particles induce vasoconstriction of small pulmonary arteries in rats. *Environ Health*  
389 *Perspect* 2002; 110: 1191-7.
- 390 Bener A, Brebner J, Atta MNS, Gomes J, Ozkaragoz F, Cheema MY. Respiratory symptoms and lung  
391 function in taxi drivers and manual workers. *Aerobiologia* 1997; 13: 11-15.
- 392 Bigert C, Alderling M, Svartengren M, Plato N, Gustavsson P. No short-term respiratory effects  
393 among particle-exposed employees in the Stockholm subway. *Scand J Work Environ Health*  
394 2011; 37: 129-35.
- 395 Brant TC, Yoshida CT, Carvalho Tde S, Nicola ML, Martins JA, Braga LM, et al. Mucociliary  
396 clearance, airway inflammation and nasal symptoms in urban motorcyclists. *Clinics (Sao*  
397 *Paulo)* 2014; 69: 867-70.
- 398 Brook RD, Brook JR, Urch B, Vincent R, Rajagopalan S, Silverman F. Inhalation of Fine Particulate  
399 Air Pollution and Ozone Causes Acute Arterial Vasoconstriction in Healthy Adults.  
400 *Circulation* 2002; 105: 1534-1536.
- 401 Choudhary H, Tarlo SM. Airway effects of traffic-related air pollution on outdoor workers. *Curr Opin*  
402 *Allergy Clin Immunol* 2014; 14: 106-12.
- 403 Doan S. Atteinte oculaire et environnement : clinique et physiopathologie. *Revue Française*  
404 *d'Allergologie* 2009; 49: 416-419.
- 405 EPA. Ground-level Ozone pollution. Health Effects of Ozone Pollution. United States Environmental  
406 Protection agency [www.epa.gov](http://www.epa.gov), 2020.

- 407 Guarnieri M, Balmes JR. Outdoor air pollution and asthma. *Lancet* (London, England) 2014; 383:  
408 1581-1592.
- 409 Gulati M, Cullen MR. Lung Diseases, Occupational. In: Quah SR, editor. *International Encyclopedia*  
410 *of Public Health* (Second Edition). Academic Press, Oxford, 2017, pp. 485-490.
- 411 Hachem M, Saleh N, Paunescu A-C, Momas I, Bensefa-Colas L. Exposure to traffic air pollutants in  
412 taxicabs and acute adverse respiratory effects: A systematic review. *Science of The Total*  
413 *Environment* 2019; 693: 133439.
- 414 HEI. Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and  
415 Health effects. HEI Panel on the Health effects of Traffic-Related Air Pollution. Health  
416 Effects Institute, Boston, Massachusetts, 2010, pp. 386.
- 417 HEI. Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles. Review Panel on Ultrafine  
418 Particles. Health Effects Institute, Boston, MA, 2013.
- 419 Helaskoski E, Suojalehto H, Kuuliala O, Aalto-Korte K. Occupational contact urticaria and protein  
420 contact dermatitis: causes and concomitant airway diseases. *Contact Dermatitis* 2017; 77:  
421 390-396.
- 422 Hwang SH, Choi Y-H, Paik HJ, Wee WR, Kim MK, Kim DH. Potential Importance of Ozone in the  
423 Association Between Outdoor Air Pollution and Dry Eye Disease in South Korea. *JAMA*  
424 *Ophthalmology* 2016; 134: 503-510.
- 425 ICRP. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. 24. ICRP, 1994, pp. 492.
- 426 Issing WJ, Karkos PD. Atypical manifestations of gastro-oesophageal reflux. *Journal of the Royal*  
427 *Society of Medicine* 2003; 96: 477-480.
- 428 Janssen N, Gerlofs-Nijland M, Lanki T, Salonen R, Cassee F, Hoek G. Health effects of black carbon  
429 copenhagen, denmark: WHO. Regional Office for Europe 2012: 1-86.
- 430 Jones AY, Lam PK, Dean E. Respiratory health of bus drivers in Hong Kong. *Int Arch Occup Environ*  
431 *Health* 2006; 79: 414-8.
- 432 Karita K, Yano E, Tamura K, Jinsart W. Effects of working and residential location areas on air  
433 pollution related respiratory symptoms in policemen and their wives in Bangkok, Thailand.  
434 *Eur J Public Health* 2004; 14: 24-6.
- 435 Knibbs LD, Cole-Hunter T, Morawska L. A review of commuter exposure to ultrafine particles and  
436 its health effects. *Atmospheric Environment* 2011; 45: 2611-2622.
- 437 Knibbs LD, Morawska L. Traffic-related fine and ultrafine particle exposures of professional drivers  
438 and illness: An opportunity to better link exposure science and epidemiology to address an  
439 occupational hazard? *Environment International* 2012; 49: 110-114.
- 440 Lawin H, Fanou LA, Kpangon AA, Hinson AV, Balmes J, Wanjiku J, et al. Comparison of  
441 motorcycle taxi driver's respiratory health using an air quality standard for carbon monoxide  
442 in ambient air: a pilot survey in Benin. *The Pan African medical journal* 2018; 30: 113-113.
- 443 Leikauf GD, Kim S-H, Jang A-S. Mechanisms of ultrafine particle-induced respiratory health effects.  
444 *Experimental & Molecular Medicine* 2020; 52: 329-337.
- 445 Mbelambela EP, Hirota R, Eitoku M, Muchanga SMJ, Kiyosawa H, Yasumitsu-Lovell K, et al.  
446 Occupation exposed to road-traffic emissions and respiratory health among Congolese transit  
447 workers, particularly bus conductors, in Kinshasa: a cross-sectional study. *Environmental*  
448 *Health and Preventive Medicine* 2017; 22: 11.
- 449 Medarov BI, Pavlov VA, Rossoff L. Diurnal variations in human pulmonary function. *International*  
450 *journal of clinical and experimental medicine* 2008; 1: 267-273.
- 451 Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of  
452 spirometry. *European Respiratory Journal* 2005; 26: 319-338.
- 453 Morawska L, Ristovski Z, Jayaratne R, Keogh D, Ling X. Ambient nano and ultrafine particles from  
454 motor vehicle emissions: Characteristics, ambient processing and implications on human  
455 exposure. *Atmospheric Environment* 2008; 42.
- 456 Morawska L, Wierzbicka A, Buonanno G, Cyrus J, Schnelle-Kreis J, Kowalski M, et al. Ambient  
457 ultrafine particles: evidence for policy makers. A report prepared by the 'Thinking outside the  
458 box' team, 2019.

- 459 Nosal C, Ehlers A, Haspel JA. Why Lungs Keep Time: Circadian Rhythms and Lung Immunity.  
 460 *Annu Rev Physiol* 2020; 82: 391-412.
- 461 Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from  
 462 studies of ultrafine particles. *Environmental health perspectives* 2005; 113: 823-839.
- 463 Paunescu AC, Casas M, Ferrero A, Pañella P, Bougas N, Beydon N, et al. Associations of black  
 464 carbon with lung function and airway inflammation in schoolchildren. *Environ Int* 2019a;  
 465 131: 104984.
- 466 Paunescu AC, Gabet S, Bougas N, Beydon N, Amat F, Lezmi G, et al. Short-term exposure to  
 467 ultrafine particles is associated with bronchial inflammation in schoolchildren. *Pediatr*  
 468 *Allergy Immunol* 2019b; 30: 657-661.
- 469 Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies  
 470 for lung function tests. *European Respiratory Journal* 2005; 26: 948-968.
- 471 Pietropaoli AP, Frampton MW, Hyde RW, Morrow PE, Oberdörster G, Cox C, et al. Pulmonary  
 472 function, diffusing capacity, and inflammation in healthy and asthmatic subjects exposed to  
 473 ultrafine particles. *Inhal Toxicol* 2004; 16 Suppl 1: 59-72.
- 474 Porsbjerg C, Lange P, Ulrik CS. Lung function impairment increases with age of diagnosis in adult  
 475 onset asthma. *Respir Med* 2015; 109: 821-7.
- 476 Riechelmann H, Rettinger G, Weschta M, Keck T, Deutsche T. Effects of Low-Toxicity Particulate  
 477 Matter on Human Nasal Function. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*  
 478 2003; 45.
- 479 Santos UP, Garcia MLSB, Braga ALF, Pereira LAA, Lin CA, de André PA, et al. Association  
 480 between Traffic Air Pollution and Reduced Forced Vital Capacity: A Study Using Personal  
 481 Monitors for Outdoor Workers. *PloS one* 2016; 11: e0163225-e0163225.
- 482 Schürch S, Gehr P, Im Hof V, Geiser M, Green F. Surfactant displaces particles toward the epithelium  
 483 in airways and alveoli. *Respir Physiol* 1990; 80: 17-32.
- 484 Shakya KM, Rupakheti M, Aryal K, Peltier RE. Respiratory Effects of High Levels of Particulate  
 485 Exposure in a Cohort of Traffic Police in Kathmandu, Nepal. *J Occup Environ Med* 2016; 58:  
 486 e218-25.
- 487 Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and subjective responses  
 488 to low relative humidity. *J Physiol Anthropol* 2006; 25: 7-14.
- 489 Tauber S, Gross M, Issing WJ. Association of laryngopharyngeal symptoms with gastroesophageal  
 490 reflux disease. *Laryngoscope* 2002; 112: 879-86.
- 491 Wolkoff P. Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International Journal of*  
 492 *Hygiene and Environmental Health* 2018; 221: 376-390.
- 493 WSHI. Global estimates of occupational accidents and work-related illnesses 2017. *Workplace Safety*  
 494 *and Health Insitute*, Singapore 2017, pp. 21.
- 495 Zhao J, Bo L, Gong C, Cheng P, Kan H, Xie Y, et al. Preliminary study to explore gene-PM2.5  
 496 interactive effects on respiratory system in traffic policemen. *Int J Occup Med Environ Health*  
 497 2015; 28: 971-83.
- 498 Zhou W, Yuan D, Ye S, Qi P, Fu C, Christiani DC. Health effects of occupational exposures to vehicle  
 499 emissions in Shanghai. *Int J Occup Environ Health* 2001; 7: 23-30.

## Supplementary material

\*\*\*

### Short-term association of in-vehicle ultrafine particles and black carbon concentrations with respiratory health in Parisian taxi drivers

Melissa Hachem <sup>a, b</sup>, Maxime Loizeau <sup>a, c</sup>, Nadine Saleh <sup>b, d</sup>, Isabelle Momas <sup>a, □, \*</sup>,

Lynda Bensefa-Colas <sup>a, c, □</sup>

\* Corresponding author

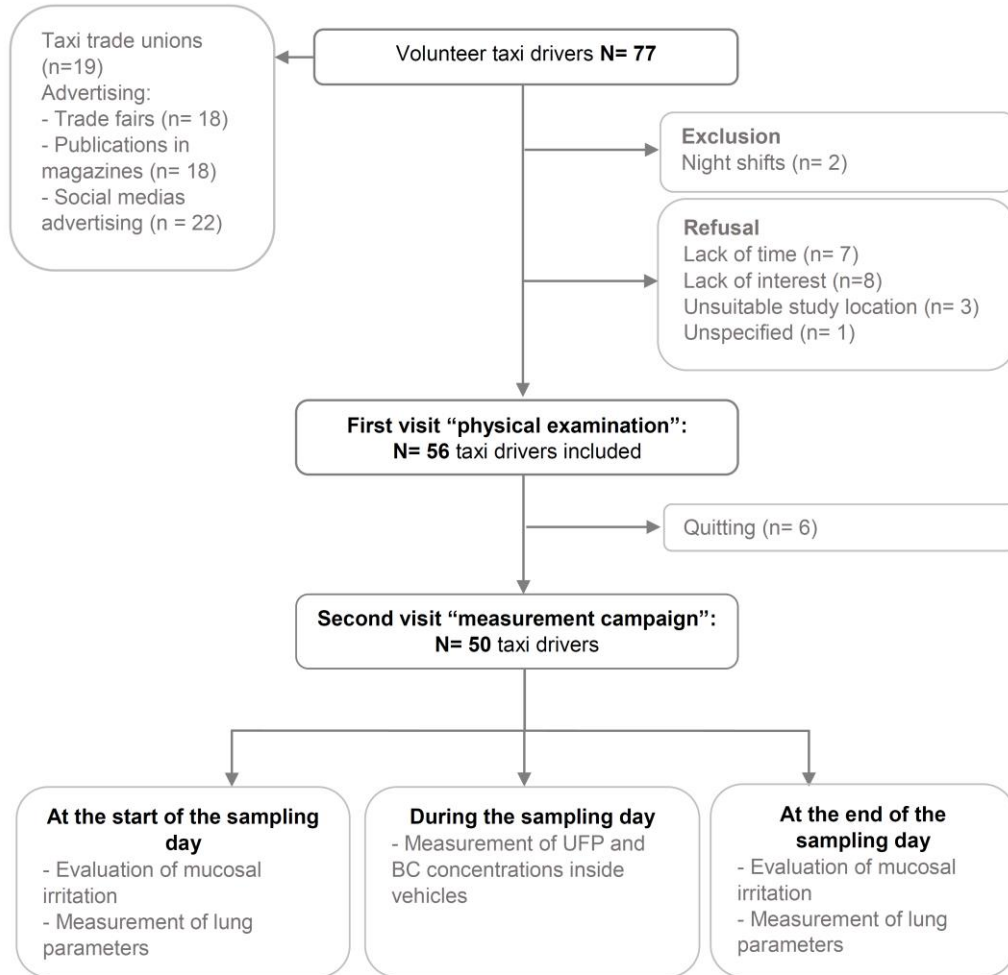
□ Equal contribution

#### Contents

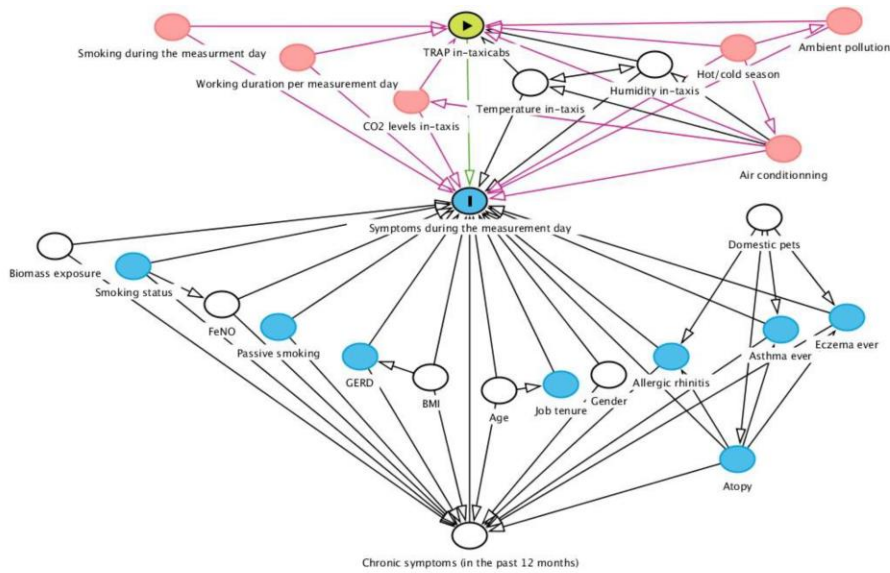
**Page S2**..... Flow chart of PUF-TAXI participants inclusion process and study design

**Page S3**..... Directed acyclic graph for estimating the direct effect of the traffic related-air pollutant concentrations in-taxis on respiratory health during a working day

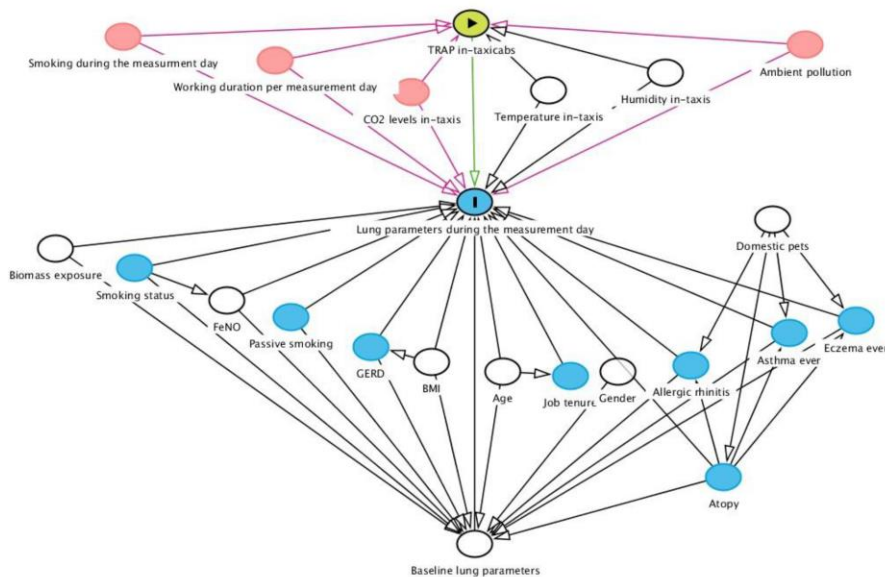
**Page S4**..... Table of the associations between in-taxis ultrafine particles concentrations and the incidence of throat irritation among taxi drivers with and without gastroesophageal reflux disease



**Figure A.1.** Flow chart of PUF-TAXI participants inclusion process and study design  
UFP: ultrafine particles ; BC: black carbon



**Figure A.2.** Directed acyclic graph for estimating the direct effect of the traffic related-air pollutant concentrations in-taxis on the occurrence of mucosal irritation symptoms during a working day. **BMI:** body mass index; **CO<sub>2</sub>:** carbone dioxide; **FeNO:** fractional exhaled nitric oxide; **GERD:** gastroesophageal reflux disease; **TRAP:** traffic related-air pollutants.



**Figure A.3.** Directed acyclic graph for estimating the direct effect of the traffic related-air pollutant concentrations in-taxis on lung function parameters changes during a working day. **BMI:** body mass index; **CO<sub>2</sub>:** carbone dioxide; **FeNO:** fractional exhaled nitric oxide; **GERD:** gastroesophageal reflux disease; **TRAP:** traffic related-air pollutants.



**Table A.1.** Associations between in-taxis UFP concentrations and the incidence of throat irritations among taxi drivers with and without gastroesophageal reflux disease during the working day in PUF-TAXI project (N=50)

|   | Throat irritation          |                |                        |                |
|---|----------------------------|----------------|------------------------|----------------|
|   | With GERD<br>(n=28)        |                | Without GERD<br>(n=22) |                |
|   | ORa [95% CI]               | <i>p-value</i> | ORa [95% CI]           | <i>p-value</i> |
| <b>Exposure</b>                                   |                            |                |                        |                |
| IQR of UFP (x10 <sup>3</sup> pt/cm <sup>3</sup> ) | 2.14 [0.55 to 8.30]        | 0.273          | 2.51 [0.43 to 146.8]   | 0.657          |
| Outside air pollution index                       | <b>6.67 [1.32 to 33.8]</b> | <b>0.022</b>   | 3.05 [0.39 to 23.72]   | 0.287          |
| Exposure duration (min)                           | 1.001 [0.99 to 1.02]       | 0.231          | 0.99 [0.97 to 1.02]    | 0.668          |
| <b>Vehicle</b>                                    |                            |                |                        |                |
| Ventilation settings in-taxi                      |                            |                |                        |                |
| WO time (min)                                     | 0.98 [0.97 to 1.002]       | 0.074          | 1.004 [0.99 to 1.02]   | 0.589          |

**GERD:** gastroesophageal reflux disease; **IQR:** interquartile range; **ORa:** adjusted odd ratio; **UFP:** ultrafine particles; **WO:** windows opening.

**IQR of UFP** 20 x10<sup>3</sup> pt/cm<sup>3</sup>



# **DISCUSSION GÉNÉRALE**

---



L'exposition des professionnels de la conduite aux polluants liés au trafic routier dépend d'une multitude de facteurs susceptibles de faire varier les concentrations des polluants à l'intérieur du véhicule, notamment par leur infiltration. La variabilité spatio-temporelle des polluants en fonction des caractéristiques topographiques, climatiques et des parcs automobiles hétéroclites, rend l'interprétation de cette exposition professionnelle encore plus complexe. Si l'évaluation de l'exposition professionnelle a jusqu'alors essentiellement concerné les polluants réglementés, elle reste lacunaire pour des polluants d'intérêt sanitaire plus récent comme les PUF et le BC. De ce fait, leurs effets respiratoires à court terme se trouvent peu documentés chez les professionnels de la conduite, notamment les chauffeurs de taxi.

### **I. Points forts et points faibles**

Le présent travail a essayé de combler ces lacunes en couplant à la fois deux approches : (1) « expologique » - dans différents contextes géographiques, afin de quantifier les polluants dans l'habitacle des véhicules taxis et identifier leurs déterminants ; et (2) « épidémiologique », afin de mieux comprendre l'impact à court terme de l'exposition aux PUF et au BC sur la santé respiratoire des chauffeurs de taxi.

L'originalité de ce travail de thèse tient dans l'utilisation d'instruments de mesures portatifs développés ces dernières années et permettant de quantifier l'exposition individualisée des chauffeurs de taxi à l'intérieur de leur véhicule, en particulier aux PUF et au BC. La force de ce travail est d'avoir pu déployer, pour la première fois, ces campagnes de mesurages dans deux contextes différents, à Paris et à Beyrouth. La singularité de ce projet réside aussi dans l'identification précise des déterminants des concentrations de chaque polluant mesuré dans l'habitacle de l'automobile. Ainsi, la mise en œuvre de l'étude exploratoire au Liban, à l'instar du volet expologique de l'étude princeps en France, a permis d'explicitier l'influence des caractéristiques territoriales et des spécificités du parc automobile sur les concentrations des PUF et du BC dans l'habitacle du véhicule. Le couplage des enregistrements des PUF et du BC avec des données de morbidité ressentie (irritation des muqueuses) et de morbidité objectivée (performances respiratoires) chez les chauffeurs de taxi a offert l'opportunité rare d'étudier les risques à court terme afférents à ce type de polluant, ce qui n'a jamais encore été décrit dans la littérature. Un atout de cette thèse est aussi d'avoir permis d'établir un nouvel état des lieux concernant les concentrations du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle de taxis, 20 ans après une première campagne de mesure réalisée par notre équipe auprès de chauffeurs de taxi parisiens.

Au-delà du caractère novateur de ce projet, les différents aspects méthodologiques, abordés en détails ci-dessous, constituent un atout. Néanmoins, quelques limites existent et seront aussi discutées successivement au travers de cette section.

### Populations étudiées

Dans ce projet, bien qu'il puisse paraître limité, le nombre de participants (N=50) est parmi les plus importants étudiés jusqu'alors. Dans les études antérieures, l'effectif variait de 7 (147) à 65 (148). Il convient en outre de noter que l'analyse par trajets (N=499) a permis de gagner en précision et en puissance. Malheureusement, la randomisation des sujets n'a pas été possible, faute d'avoir accès à une base de sondage exhaustive. Il en découle sans doute un biais de sélection. On ne peut exclure l'effet du travailleur sain ou « *healthy worker effect* ». A contrario, la motivation des chauffeurs de taxi à participer à ce projet pourrait être liée à leur sensibilité particulière à la problématique de la qualité de l'air. Par ailleurs, les véhicules taxis des chauffeurs recrutés semblent représentatifs des taxis Parisiens. En effet, dans notre étude l'ancienneté des véhicules est de 3,6 ans en moyenne, 52% sont des véhicules diesel et 48 % essence hybrides. Selon le rapport de l'Observatoire national des transports publics particuliers de personnes 2017-2018, la majorité des taxis à Paris ont une moyenne d'âge de 2,5 ans ; 59,2% sont équipés de véhicules diesel et 39% de véhicules hybrides (149).

### Recueil des données – volet expologique

Le recueil des données a été effectué par des auto-questionnaires précis (caractéristiques de chaque trajet) et objectivés par les données techniques spécifiques à chacun des véhicules et obtenues auprès de l'ADEME. Grâce au GPS, les horaires et les destinations des courses ont été contrôlés. Toutes ces mesures ont été prises pour limiter les biais de mémorisation et les données manquantes. Les données climatiques (température, humidité et vent) mesurées par la station météorologique de Montsouris (Paris 14<sup>ème</sup>) et la qualité globale de l'air extérieur *via* « l'indice Atmo » calculé par Airparif ont été également prises en compte. Toutefois, cet indice reste assez grossier car il apprécie globalement la qualité journalière de l'air en fonction de la valeur maximale prise par les sous-indices correspondants aux quatre polluants PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et SO<sub>2</sub>. L'information la plus précise qu'on peut retirer est de connaître le(s) polluant(s) responsable(s) de la dégradation de la qualité de l'air. Une des limites de l'étude est de ne pas avoir considéré les concentrations moyennes de ces polluants durant les jours de mesurage, pour un ajustement qui aurait été sans doute plus précis dans les modèles d'identification des déterminants.

Les mesurages de polluants ont été réalisés par des dispositifs dont la fiabilité a été prouvée antérieurement et qui ont été bien entretenus (en termes de nettoyage et d'étalonnage) tout au long de la campagne de mesure. Les mêmes appareils ont été utilisés pour tous les mesurages, et ont été installés au même endroit dans les habitacles de tous les véhicules. Cette stratégie standardisée constitue un atout important de ce projet et a permis de limiter les biais de mesure. Le pourcentage des données manquantes reste relativement faible. Sur les 28 105 minutes d'enregistrements, le pourcentage des données manquantes était de 13% pour les PUF. En effet, le problème majeur rencontré avec le DiSCmini<sup>®</sup> est dû à l'influence du milieu sur le capteur (température élevée), au faible courant, aux variations brusques des PUF et à la durée de vie de sa batterie. L'appareil ne fonctionnait pas plus de 8 heures, alors que les journées de travail des chauffeurs pouvaient s'étendre jusqu'à 11 heures. Pour le MicroAeth<sup>®</sup>, seulement 3% des minutes ont donné lieu à des valeurs erronées. Pour le Rotronic<sup>®</sup> CP11, nous avons perdu 2% des enregistrements des

paramètres d'ambiance, faute de décharge de l'appareil. Pour le Gas-Pro<sup>®</sup>, 9 chauffeurs n'ont pas bénéficié des mesurages du NO<sub>2</sub> et du CO car l'appareil était en cours d'étalonnage.

### **Recueil des données – volet épidémiologique**

La consultation médicale a été effectuée par deux médecins du travail uniquement, de façon à garantir la standardisation du recueil des informations et des examens. Les données sanitaires ont été recueillies *via* un questionnaire standardisé, basé sur des questions posées dans l'ECRHS II et ont été complétées par des mesures objectives de la sensibilisation allergénique et de la fonction respiratoire. Toutes ces démarches ont permis de limiter les biais d'information.

## **II. Concentrations des polluants particulaires et gazeux dans l'habitacle des véhicules taxis**

L'étude de l'exposition des chauffeurs de taxi aux polluants d'origine automobile à l'intérieur de leur véhicule n'est pas particulièrement un nouveau champ de recherche, mais reste peu documentée. Tout a débuté avec les travaux de Leung et Harrison en 1999. Au début, les équipes de recherche s'intéressaient aux polluants gazeux, puis les polluants particulaires ont commencé à attirer leur attention. Toutefois, cette exposition évolue, d'une part avec l'accroissement de la population et l'utilisation accrue des véhicules et d'autre part, avec le renouvellement du parc automobile. Face à ces changements, ce travail a permis d'apporter un nouvel éclairage sur les niveaux des polluants gazeux (CO, NO<sub>2</sub>) et particulaires (PUF, BC) à l'intérieur des véhicules taxis à Paris en 2019-2020.

Les études dans ce champ de recherche se caractérisent par une grande dissemblance d'un point de vue méthodologique (méthode d'évaluation de l'exposition, dispositifs de mesure, durée de mesure, etc.), ce qui rend difficiles les comparaisons entre elles. L'interprétation des résultats mérite une certaine prudence et doit être considérée avec précaution.

- **Le monoxyde de carbone**

La moyenne des concentrations de CO obtenues à l'intérieur des taxis à Paris était de  $0,42 \pm 0,83$  ppm ( $488 \pm 949$  µg/m<sup>3</sup>). **La valeur moyenne d'exposition professionnelle pour 8 heures (VME) à 20 ppm est largement respectée.** La concentration de CO à l'intérieur des véhicules est relativement faible et inférieure à la valeur limite maximale de 10 000 µg/m<sup>3</sup> (8,73 ppm) sur 8 heures, mentionnée dans la réglementation française et que l'OMS aussi recommande.

Toutefois, cette concentration est nettement supérieure à la moyenne annuelle de CO dans l'air ambiant enregistrée au niveau des stations de fond ( $488$  vs  $228$  µg/m<sup>3</sup>) et est du même ordre de grandeur que celle des stations de trafic ( $488$  vs  $441$  µg/m<sup>3</sup>), au centre de Paris en 2019 (15). Cela peut s'expliquer par le fait que le trafic routier est la source majeure du CO et **l'exposition à ce polluant à l'intérieur du véhicule est liée à l'importance du flux de circulation et aux émissions des véhicules à proximité.**

Au regard de la littérature, la moyenne de CO dans l'habitacle des taxis est considérablement inférieure à celle retrouvée dans les véhicules à Paris il y a 20 ans ( $0,42 \pm 0,83$  vs  $3,8 \pm 1,70$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (150) mais aussi à celles quantifiées dans les taxis au Royaume-Uni (151) ; en Iran (152) ; en Chine (153) et en Inde (154). Indépendamment des différences méthodologiques entre ces études, ces disparités s'expliquent par les évolutions technologiques comme l'introduction du pot catalytique qui transforme le CO, les hydrocarbures et les NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>, en vapeur d'eau et en azote (14). A cela s'ajoute **la diminution des seuils réglementaires d'émission au fil des années** de 2720 mg/km en 1992 (Euro 1) jusqu'à 1000 mg/km (Euro 4 – essence), 500 mg/km (Euro 4 – diesel) en 2005. Tout cela explique les faibles teneurs de CO mesurées actuellement dans les véhicules taxis par rapport aux études antérieures.

On note, par ailleurs, des variations très importantes des concentrations de CO sur de courts laps de temps. Par exemple durant une course de 35 minutes, les niveaux de CO dans l'habitacle du taxi fluctuaient de 0,06 à 6,49 ppm. Ces résultats expliquent pourquoi l'écart-type est supérieur à la moyenne. On peut supposer que ces pics de concentrations correspondent aux conditions de conduite (comme des arrêts en circulation dus à la congestion du trafic ou à la proximité des deux roues).

- **Le dioxyde d'azote**

La moyenne des concentrations de NO<sub>2</sub> obtenues dans l'habitacle des taxis à Paris était de  $0,12 \pm 0,16$  ppm ( $231 \pm 307$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). **Cette moyenne ne dépasse pas la VME fixée à 2 ppm (2500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).** La réglementation française fixe une valeur limite horaire de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et une valeur limite annuelle de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en population générale. Ces niveaux ne sont pas directement comparables aux teneurs sur 9 heures, mesurées dans notre étude. Cependant, il est intéressant de remarquer que la moyenne d'exposition du chauffeur de taxi durant sa journée de travail est quand même légèrement supérieure à la valeur limite horaire (230 vs 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et nettement à la valeur limite annuelle (230 vs 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). **Les chauffeurs de taxi sont donc exposés à des concentrations élevées de NO<sub>2</sub> à l'intérieur de leur véhicule, largement supérieures aux concentrations annuelles maximales de NO<sub>2</sub> enregistrées par les stations de fond (231 vs 34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et les stations du trafic durant l'année 2019 (231 vs 79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (15). Le NO<sub>2</sub> dans les véhicules provient vraisemblablement des voitures avoisinantes.** Le secteur de transport reste le contributeur principal pour les NO<sub>x</sub>, 63% du total des émissions en 2017 (1).

De plus, tout comme pour le CO, les concentrations de NO<sub>2</sub> dans l'habitacle des véhicules fluctuaient très rapidement sur un temps court, illustrant probablement **l'hétérogénéité des conditions de circulation et de topographie.**

Par ailleurs, la moyenne de NO<sub>2</sub> dans cette étude est plus élevée que celle enregistrée, à peu près pendant la même durée, dans les taxis parisiens il y a 20 ans ( $231 \pm 307$  vs  $139 \pm 43$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (150) et encore supérieure à celle retrouvée à l'intérieur des taxis suédois ( $231 \pm 307$  vs  $48 \pm 12$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



(155). Cette observation peut paraître paradoxale pour une flotte automobile, qui dans notre étude est plus moderne que dans les études antérieures. En effet, selon le rapport de l'European Environmental Agency (EEA) et un rapport 2019 de l'Anses, le problème provient des véhicules diesel équipés d'un filtre à particules catalysé. En effet, ce système de post-traitement des gaz d'échappement pouvaient, pour les véhicules Euro 4/IV et Euro 5/V commercialisés entre 2005 et 2015, entraîner des augmentations des émissions de NO<sub>2</sub> de 12 à 70 % (12, 14).

- **Les particules (PUF, BC)**

Les concentrations moyennes en masse de BC et en nombre de PUF dans l'habitacle des taxis à Paris étaient respectivement, de  $3,1 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et de  $29,7 \pm 18,5 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup>. On a constaté pour les différents chauffeurs, des pics de BC et des PUF pouvant atteindre  $33,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $62,8 \times 10^4$  particules/cm<sup>3</sup>, respectivement. C'est pourquoi, les écarts-types des moyennes des PUF et de BC étaient élevés. Ces fortes valeurs ont été fréquemment enregistrées durant les heures de pointes et souvent durant les trajets à destination de l'aéroport de Roissy ou d'Orly, lors d'embouteillages.

**La moyenne des PUF dans l'habitacle des taxis ( $30 \pm 19 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup>) est élevée.** Cassee *et al.* (2019) considèrent qu'un microenvironnement urbain est sain si la concentration moyenne horaire des PUF est inférieure à  $20 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup> (2). La moyenne des PUF dans les taxis est supérieure à celle mesurée dans les sites urbains de fond à Gennevilliers qui est aux alentours de  $14 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup> (28). Toutefois, la concentration moyenne des PUF enregistrée dans les taxis reste inférieure à la teneur des PUF à l'intérieur des véhicules au cours de 282 trajets « domicile-travail » - durant les heures de pointes (7h00-10h00/17h00-20h00) dans Paris et sa banlieue, pendant environ 30 minutes ( $75 \times 10^3$  particules/cm<sup>3</sup>) (156).

**La moyenne du BC dans l'habitacle des taxis ( $3,1 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) n'est pas non plus négligeable.** Elle est supérieure aux moyennes annuelles enregistrées en deux sites de mesure urbains de fond (Paris 13<sup>ème</sup> :  $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ; Gennevilliers :  $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mais reste inférieure aux moyennes enregistrées sur des stations de trafic (boulevard périphérique Est :  $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et autoroute A1 Saint-Denis :  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (15). **A l'heure actuelle, aucune valeur guide ni réglementaire n'est définie pour ces deux polluants, ni par l'OMS, ni par l'Europe, ni par la France.** Cependant, en raison de leurs effets potentiels toxiques pour la santé, l'Anses les a classés dans la catégorie 1 « **polluants prioritaires pour une hiérarchisation en vue d'une surveillance** ». La comparaison de nos résultats n'est alors possible qu'avec les rares études menées antérieurement. À notre connaissance, seules six études (incluant l'étude pilote réalisée au Liban) ont mesuré la concentration des PUF et/ou du BC dans l'habitacle des taxis ; le tableau XVII ci-dessous les récapitule. Dans l'ensemble, les concentrations des PUF et du BC dans les taxis à Paris sont inférieures à celles mesurées dans les taxis au Liban, à Barcelone et à Londres, mais supérieures à celles enregistrés dans les taxis à Los Angeles, à New York et à Singapour. Ces résultats sont difficilement comparables, compte tenu des différents facteurs susceptibles d'influencer ces concentrations particulières (appareils de mesure, durée d'échantillonnage, âge des véhicules et type de motorisations).

**Tableau XVII.** Concentrations des particules ultrafines et du carbone suie à l'intérieur des véhicules taxis.

|   | Hachem <i>et al.</i><br>2020<br>(Paris, France) | Hachem <i>et al.</i><br>2019<br>(Beyrouth,<br>Liban) | Moreno <i>et al.</i><br>2019<br>(Barcelone,<br>Espagne)  | Yu <i>et al.</i> 2018<br>(Los Angeles,<br>EU) | Gany <i>et al.</i><br>2017<br>(New York,<br>EU) | Tan <i>et al.</i> 2017<br>(Singapour,<br>Asie) | Kaur <i>et al.</i> 2005<br>(Londres, RU)                |
|---|---|--|--|---|---|--|---|
| PUF <sup>a</sup><br>(10 <sup>3</sup> particules/cm <sup>3</sup> ) | 29,7 ± 18,5                                     | 35,2 ± 17,6  | 32,1 <sup>b</sup> ; 48,4 <sup>c</sup> ;<br>38,6 <sup>d</sup> ; 45,7 <sup>e</sup> ; 10,6 <sup>f</sup> | 14,6  | -   | 14,4 ± 3,8                                     | 91,9 ± 22,8   |
| Appareil de mesure  | DiSCmini <sup>®</sup><br>1 min                  | DiSCmini <sup>®</sup><br>1 min                       | DiSCmini <sup>®</sup><br>10 s  | CPC <sup>®</sup> 3007<br>5 min                | -   | CPC <sup>®</sup> 3007<br>1s                    | P-TRAK <sup>®</sup> 8525<br>1s                          |
| BC <sup>a</sup> (µg/m <sup>3</sup> )                              | 3,1 ± 1,3                                       | 5,2 ± 1,9  | 6,5 <sup>b</sup>   | -   | 2,4   | 2,9 ± 3,9                                      | -   |
| Appareil de mesure  | MicroAeth <sup>®</sup><br>1 min                 | MicroAeth <sup>®</sup><br>1 min                      | Mini-microAeth <sup>®</sup><br>10 s  | -   | MicroAeth <sup>®</sup><br>1 min                 | MicroAeth <sup>®</sup><br>1s                   | -   |
| Échantillon   | 50 véhicules                                    | 20 véhicules   | 28 véhicules   | 22 véhicules <sup>g</sup>                     | 7 véhicules                                     | 23 trajets                                     | 18 prélèvements <sup>h</sup>                            |
| Dates   | février 2019 -<br>janvier 2020                  | Juillet –<br>août 2019                               | Octobre 2017   | Avril -<br>novembre<br>2013                   | Octobre 2012<br>– avril 2013                    | Avril – juin<br>2013                           | Avril – mai 2003  |
| Durée de mesure   | 9 heures  | 5 heures   | 6 heures   | 6 heures                                      | 6 – 12 heures                                   | 7,6 minutes                                    | 18 minutes  |
| Place des appareils   | Plage arrière                                   | Plage arrière  | Dans le coffre   | Près de la zone<br>respiratoire               | Siège<br>passager<br>avant                      | Près de la zone<br>respiratoire                | Porté par la main<br>ou déposé sur le<br>siège passager |
| Âges des véhicules  | [2010-2019]                                     | [1997-2019]  | [2011 – 2017]  | [2005-2012]                                   | [2003-2012]                                     | [2005 – 2013]                                  |   |
| Type de motorisations   | 52% diesel ;<br>48% essence                     | 100% essence   | 50% diesel ; 50%<br>autres que diesel  | -   | -   | Majorité diesel                                | 100% diesel   |

CPC : Condensation Particle Counter ; EU : États-Unis ; RU : Royaume-Unis

a. Exprimée en moyenne ± écart-type

b. Dans les véhicules diesel (n=14)

c. Dans les véhicules hybride (n=4)

d. Dans les véhicules à gaz de pétrole liquéfié (n= 4)

e. Dans les véhicules au gaz naturel (n= 3)

f. Dans les véhicules électriques (n=4)

g. 4 jours de mesure consécutifs pour chaque chauffeur de taxi

h. Mesure à trois moments différents de la journée (matin 8h30 ; midi 12h00 ; après-midi 15h15)

### III. Déterminants des concentrations des polluants particulaires et gazeux dans l'habitacle des taxis

Pour la première fois, la présente étude met en lumière les différents facteurs, souvent très interdépendants, associés à la variabilité des concentrations des PUF, du BC, du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle des taxis.

La pollution de l'air à l'intérieur des taxis résulte des sources intérieures (matériaux plastiques, tissus, mousse, etc.) et vraisemblablement de l'infiltration des polluants de l'extérieur, émis par les véhicules avoisinants, à travers l'entrée de l'air située en pied de pare-brise du véhicule et selon l'orientation de leur pot d'échappement. Mehel *et al.* (2019) ont aussi montré qu'une distance inter-véhicules inférieure à 4-5 m augmente le taux d'infiltration des polluants dans l'habitacle (42).

- **Facteurs liés aux caractéristiques du véhicule (âge ; type de motorisation ; type de carrosserie)**

Les concentrations des PUF, du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle des taxis ont fluctué significativement en fonction des caractéristiques propres au véhicule dans lequel elles étaient mesurées (âge ; kilométrage ; taille du moteur et type de carrosserie) alors que la concentration de BC à l'intérieur des taxis dépendait uniquement du type de carrosserie.

Certains facteurs propres au véhicule pourraient faciliter la pénétration des polluants. Ainsi, **l'ancienneté des véhicules nuit à leur étanchéité et l'augmentation du kilométrage contribue à leur encrassement. Il s'avère que la taille du moteur liée au niveau de gamme du véhicule, influence le processus d'infiltration.** Les voitures grosses cylindrées, généralement haut de gamme, sont équipées d'un filtre à air plus efficace et se distinguent par une bonne étanchéité. Tout cela garantit en quelque sorte une protection contre les polluants extérieurs. Par ailleurs, **le type de carrosserie joue un rôle non négligeable.** Le grand volume intérieur, comme pour les monospaces ou les grands monospaces, favorise la dispersion des polluants. Cependant, il est difficile d'interpréter finement les différences d'associations avec les types de carrosserie en fonction des polluants mesurés, faute de disposer des spécificités techniques de chaque type qui relèvent d'avis d'experts très spécialisés.

S'il est important d'appréhender l'influence des caractéristiques des véhicules sur l'infiltration des polluants dans l'habitacle, il est tout aussi primordial d'évoquer leur effet sur la qualité de l'air ambiant. L'Anses a montré dans son rapport 2019 que le renouvellement du parc automobile en termes d'évolutions technologiques (généralisation du filtre à particules, recul des motorisations diesel, etc.) à l'horizon 2025 pourrait se traduire par une réduction de -30% allant jusqu'à -60% des émissions des polluants particulaires (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, nombre de particules, BC) et gazeux (NO<sub>2</sub>, COV, ammoniac, CO<sub>2</sub>) du trafic routier (12). Ces évolutions devraient avoir des retentissements sur la qualité de l'air dans l'habitacle des véhicules.

- **Facteurs liés aux trajets et aux habitudes de conduite du chauffeur (durée et vitesse du trajet ; destinations ; ventilation ; clients)**

Les concentrations des PUF, du BC, et du CO à l'intérieur des taxis ont fluctué significativement en fonction des conditions de réalisation des trajets. Par contre, la concentration de NO<sub>2</sub> n'a pas été affectée par ces derniers.

**L'augmentation de la durée du trajet et de la vitesse du véhicule (principalement sur les autoroutes) accroît la concentration des polluants particuliers à l'intérieur du véhicule.** Cette tendance est probablement le résultat de l'augmentation (1) du débit de gaz d'échappement rejetés à des vitesses élevées et (2) des émissions hors échappements, des particules issues des pneumatiques des garnitures de frein, de l'usure des embrayages, de la surface de la route et de leur remise en suspension. L'ADEME souligne : « Au-dessus de 70 km/h, les réductions de vitesse ont un effet plutôt positif sur les émissions de particules et d'oxydes d'azote » (157). Par ailleurs, **la zone géographique s'avère influencer les niveaux de polluants dans l'habitacle du véhicule.** Tout dépend de la nature des polluants émis en zone urbaine et rurale, de la densité du trafic sur l'itinéraire emprunté.

**D'autre part, d'après nos résultats qui renforcent la littérature existante, l'automobiliste pourrait contrôler l'infiltration des polluants dans l'automobile (surtout les polluants particuliers) en fermant les fenêtres, en activant la ventilation et ce, d'autant plus qu'il recycle l'air.** Dans ces configurations, les concentrations des PUF, du BC dans l'habitacle étaient nettement plus faibles que lorsque les fenêtres étaient ouvertes. Toutefois, **une aération régulière est indispensable pour maintenir les teneurs de CO<sub>2</sub> (indicateur de confinement) acceptables,** surtout si plusieurs personnes sont dans le véhicule. **Le nombre d'occupants accroît non seulement les concentrations de CO<sub>2</sub> mais aussi les concentrations particulières à l'intérieur du véhicule, possiblement par la remise en suspension des particules déposées sur les matériaux.**

Finally, this work has highlighted the determinants of pollutant concentrations in the vehicle cabin, which clearly differ according to the type of pollutants. The characteristics of the fleet influenced the concentrations of particulate and gaseous pollutants. More precisely, particulates (PUF, BC) in the interior of the automobile varied especially as a function of the characteristics of the trips and driving habits, whereas the gases (NO<sub>2</sub>, CO) fluctuated as a function of ambient conditions.

#### **IV. Associations entre l'exposition professionnelle des chauffeurs de taxi aux PUF et au BC dans l'habitacle de leur véhicule et leur santé respiratoire, au cours d'une journée de travail**

Ce travail de thèse a permis tout d'abord de documenter l'état de santé d'un échantillon de chauffeurs de taxi professionnels ne bénéficiant pas d'une surveillance spécifique par les services de santé au travail. La prévalence des maladies chroniques rapportée était élevée. Plus de la moitié des chauffeurs de taxi (56%) signalaient avoir un RGO qui pourrait être lié aux stress résultant des contraintes de la profession (longue durée de travail, horaires atypiques, difficultés de circulation, etc.) (158, 159). Un peu moins de 50% ont rapporté avoir au moins une maladie respiratoire ou allergique. S'agissant des symptômes, les chauffeurs de taxi signalaient en chronique avoir des irritations du nez (42%), des irritations de la gorge (36%) et des irritations des yeux (38%), survenant essentiellement pendant les horaires de travail. Ces irritations augmentaient en fréquence et en intensité au cours de la journée de travail et avaient des origines différentes. L'augmentation des concentrations de PUF dans l'habitacle des taxis était significativement associée à la survenue des irritations nasales durant les horaires de travail et à la diminution des paramètres respiratoires en fin de journée de travail. Ces résultats sont cohérents avec la diffusion des PUF dans les zones nasales et alvéolaires (3, 160) et suggèrent un effet « continuum respiratoire » entre ces deux zones. En effet, ces symptômes nasaux sont évocateurs d'une rhinite allergique, qui selon la littérature précède fréquemment l'asthme (161). **On ne peut donc exclure que ces professionnels développent un asthme ultérieurement.** Pour les irritations de la gorge, aucune association n'a été trouvée avec les teneurs des polluants particuliers dans l'habitacle des taxis. Toutefois, il est intéressant de remarquer que **l'occurrence des irritations de la gorge durant la journée de travail était liée à la pollution de l'air ambiant chez les chauffeurs de taxi, notamment ceux ayant un RGO.** En effet, ces derniers présentent une muqueuse irritée susceptibles d'amplifier les effets des polluants. A notre connaissance, la présente étude est la première à décrire cette association. L'irritation des yeux pendant le travail n'était associée ni à la pollution de l'air ambiant ni aux teneurs des polluants particuliers dans l'habitacle du véhicule. En revanche, les problèmes oculaires étaient **liés à l'air sec dans l'automobile, vraisemblablement par altération du film lacrymal.** La littérature conforte nos résultats (162-165).



# **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

---





*When you can measure what you are speaking about and express it in numbers, you know something about it. If you cannot measure it, you cannot improve it.*

*Lord Kelvin (1824-1907)*

### **Apports principaux de cette thèse**

Les travaux de cette thèse constituent un apport à double titre :

- **théorique** d'abord, par l'amélioration des connaissances sur l'exposition professionnelle aux PUF et au BC, de manière spécifique dans l'habitacle des véhicules, et son association avec la santé respiratoire ;
- **opérationnel** ensuite, par l'élaboration de recommandations en matière de prévention pour une meilleure qualité de l'air à l'intérieur des véhicules automobiles.

### **En termes de production de connaissances**

Notre revue systématique centrée sur l'exposition spécifique des chauffeurs de taxi aux polluants liés au trafic, une première dans la littérature, a mis en avant (1) une exposition importante des chauffeurs de taxi aux polluants réglementés (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, COV) dans l'habitacle de leur véhicule, mais une exposition hétérogène selon les habitudes de conduite et les caractéristiques territoriales et topographiques ; (2) les lacunes en matière d'évaluation de l'exposition de ces professionnels aux PUF et au BC et (3) en conséquence la méconnaissance des conséquences sanitaires à court-terme de cette exposition. Ce travail de thèse apporte une contribution pour combler ces insuffisances.

- ***D'un point de vue environnemental***

Les concentrations des PUF et du BC ont été quantifiées, pour la toute première fois, dans l'habitacle des véhicules taxis au Liban et en France. Ce sont des informations précieuses, tant les mesures des PUF et du BC dans l'air ambiant et dans les microenvironnements sont rares.

Vingt ans après une première campagne de mesure auprès de chauffeurs de taxi Parisiens, un nouvel état des lieux a été dressé concernant les concentrations du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle du véhicule, dans un contexte marqué par des progrès technologiques et l'évolution de la flotte automobile. **Les niveaux de NO<sub>2</sub> dans l'habitacle des taxis ont augmenté, sans doute en lien avec la taille des moteurs et les dispositifs de post-traitement des gaz d'échappement, notamment dans les nouveaux véhicules diesel. A l'inverse, les concentrations de CO ont diminué à la faveur du développement des pots catalytiques.**

Les déterminants spécifiques des concentrations des PUF, du BC, du NO<sub>2</sub> et du CO ont été clairement mis en évidence et classés en trois grandes catégories :

- (1) **les facteurs liés aux conditions ambiantes (météorologie ; pollution extérieure)** affectent les concentrations du BC, du NO<sub>2</sub> et du CO dans l'habitacle des véhicules mais pas celles des PUF :
  - a. Les teneurs de BC à l'intérieur du véhicule augmentent avec la dégradation de la qualité de l'air ambiant et diminuent avec des vents forts.
  - b. Les teneurs de NO<sub>2</sub> les plus fortes sont mesurées en saison froide, en raison de la contribution du secteur tertiaire résidentiel et celles du CO, en saison chaude probablement en lien avec une circulation plus intense des deux roues.
  
- (2) **les facteurs liés aux caractéristiques du véhicule (âge ; type de motorisation ; type de carrosserie)** affectent principalement les concentrations des PUF, du NO<sub>2</sub> et du CO.
  - a. Les teneurs des particules (PUF, BC) dans les véhicules à grand volume sont moins élevées par un probable effet de dispersion.
  - b. Le NO<sub>2</sub> croît avec l'âge du véhicule et le CO, avec l'encrassement de l'automobile.
  - c. Le véhicule haut de gamme semble fournir une meilleure protection contre l'infiltration des polluants de l'extérieur, par une bonne étanchéité et par des dispositifs de dépollution plus récents, et donc moins usés, et plus efficaces (filtre à charbon actif).
  
- (3) **les facteurs liés aux trajets et aux habitudes de conduite du chauffeur (durée et vitesse du trajet ; destinations ; clients ; ventilation)** affectent les concentrations des PUF, du BC et du CO.
  - a. Les teneurs des PUF et du BC augmentent avec la durée du trajet et la vitesse du véhicule.
  - b. Les teneurs des PUF, du BC et du CO diminuent dans l'habitacle du véhicule suite à la fermeture des fenêtres et avec l'utilisation de l'air conditionné, en mode recyclé les concentrations des particules sont davantage réduites.
  - c. Les teneurs du BC et du CO varient en fonction de la zone géographique.
  - d. Les teneurs des PUF et du BC sont inversement associées à celles du CO<sub>2</sub> (indicateur de confinement).

Par ailleurs, l'étude pilote PUF-TAXI au Liban, conduite à l'exemple du volet expologique de l'étude principes, a permis d'explicitier l'influence des différences territoriales et topographiques sur la variation des polluants particuliers à l'intérieur du véhicule. **Les concentrations des PUF et du BC dans les véhicules taxis au Liban étaient plus élevées qu'en France**, principalement à cause : (1) d'un plus vieux parc automobile ; (2) de la défaillance en matière d'application des normes d'émissions et (3) des probables émissions des groupes électrogènes (dispositifs de fourniture d'électricité fortement utilisés dans la région). **En outre, un déterminant des concentrations des PUF dans l'habitacle du véhicule, particulier au contexte libanais, a été identifié : « la fumée de tabac ».**

- *D'un point de vue clinique*

En évaluant conjointement l'exposition réelle des chauffeurs de taxi aux PUF et au BC dans l'habitacle de leur véhicule pendant une journée de travail et la survenue d'effets respiratoires, notre approche met en évidence, pour la première fois, **des associations avec l'irritation des muqueuses et la fonction pulmonaire fluctuant selon le type de polluant particulaire.**

- (1) L'exposition à court terme aux PUF est associée à la fois à la survenue d'irritations nasales au cours de la journée de travail et à la diminution des performances respiratoires en fin de service, indépendamment du terrain atopique. La cohérence de ces associations et leur plausibilité biologique plaident pour un « **continuum respiratoire** » **dans les effets des PUF.**
- (2) La dégradation de la qualité de l'air ambiant est en relation avec la survenue d'irritations de la gorge chez les chauffeurs de taxi, notamment chez ceux ayant un RGO.
- (3) La faible teneur en humidité relative dans le taxi est reliée à la survenue d'irritation oculaire au cours de la journée de travail.

Au vu de ces résultats, certains éléments se dégagent.

Les symptômes relevés au niveau du nez sont évocateurs d'une rhinite, affection inflammatoire des voies aériennes supérieures, et lorsqu'il s'agit d'une rhinite allergique elle est fréquemment associée à un asthme et inversement (166, 167). **Les chauffeurs de taxi professionnels pourraient ainsi être à risque de développer une atteinte bronchique, voire un asthme, en lien avec leur exposition quotidienne aux PUF.** Bien que potentiellement considérées comme « infracliniques », les anomalies des performances ventilatoires observées méritent d'être surveillées.

- *D'un point de vue santé au travail*

Les enseignements de ces travaux apportent une utile contribution à la question de recherche de l'APR du PNREST : « Evaluation de l'exposition et des risques afférents aux particules présentes dans l'air, notamment de lieux peu étudiés, comme les moyens de transport ».

Par ailleurs, l'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) et le conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD), dans leur rapport N°2018-050R sur la régulation du secteur du transport public particulier de personnes (T3P), soulignent la carence en matière d'évaluation des risques professionnels auprès des chauffeurs de taxi au niveau national : « *s'il existe des études étrangères assez nombreuses qui documentent l'exposition aux risques professionnels et les conditions de travail des chauffeurs de taxi, il en existe peu dans notre pays* ». Ils reconnaissent également l'exposition potentiellement importante à la pollution de l'air liée au trafic de ces professionnels « *les chauffeurs du T3P sont exposés à l'inhalation permanente des composants de la pollution urbaine et des gaz d'échappement de la circulation automobile* », sans toutefois avoir **des enquêtes quantitatives indispensables pour justifier de nouvelles mesures d'encadrement des conditions de travail.**

Nos résultats leurs seront d'une grande utilité puisqu'ils apportent des informations précieuses à la fois sur la qualité de l'air dans l'habitacle et son impact sanitaire. Nos travaux ont permis de documenter leur niveau d'exposition aux polluants particulaires et gazeux liés au trafic dans l'habitacle de leur véhicule. Par ailleurs, ils montrent que les chauffeurs de taxi rapportent une symptomatologie respiratoire chronique cohérente avec les symptômes ressentis pendant leur journée de travail, en lien avec leur exposition aux PUF.

Nos données constituent des arguments solides qui devraient interpeller les autorités compétentes impliquées dans la santé et la sécurité au travail en France afin d'instaurer une surveillance médicale spécifique pour ces professionnels artisans, qui à l'heure actuelle ne sont bénéficiaires que des visites médicales de contrôle du permis de conduire professionnel, tous les 5 ans. Nos résultats nous incitent à élaborer des recommandations visant à définir la surveillance médicoprofessionnelle des travailleurs de la conduite, et pouvant reposer sur un examen médicale adaptée aux risques et centré sur la sphère ORL et respiratoire. Il est en effet indispensable de préserver la santé de ces travailleurs tout au long de leur parcours professionnel.

### **En termes de recommandations**

- *Sur le plan réglementaire*

Vu que les PUF et le BC ne sont pas sujets à une surveillance nationale continue, ni à une réglementation, nos données s'ajoutent à la littérature existante et viennent en appui aux recommandations de l'Anses qui préconise d'inclure dans la surveillance de la qualité de l'air les PUF et le BC.

- *Sur les principes généraux de prévention*

Les résultats apportés par cette thèse, renforcent les conclusions des travaux antérieurs et peuvent être mis à contribution dans la pratique en santé au travail mais également en santé publique.

Les fruits de nos analyses fournissent des recommandations opérationnelles simples mais efficaces, à destination des professionnels de conduite mais aussi de tous les automobilistes, pour minimiser les polluants à l'intérieur du véhicule :

- éviter autant que possible les accélérations et les décélérations brusques
- éviter autant que possible le trafic congestionné et garder autant que faire se peut une distance avec les véhicules à proximité
- fermer les fenêtres et activer l'air conditionné avec la recirculation de l'air dans un trafic congestionné ou dans un tunnel
- assurer une aération adéquate et régulière du véhicule (en dehors des embouteillages)
- changer régulièrement le filtre à habitacle durant le processus de contrôle/maintenance, selon les recommandations du fournisseur
- éviter de fumer à l'intérieur du véhicule

### **Perspectives de recherche**

Ce travail de thèse débouche sur de nombreuses perspectives de recherche. Dans un premier temps et dans le cadre du projet PUF-TAXI en France, une deuxième campagne de mesure des expositions, distincte de la première (printemps-été / automne-hiver) avec les mesures spirométriques (en début et en fin de poste) vient de s'achever. Elle correspond au suivi longitudinal de la cohorte de chauffeurs de taxi constituée. Chaque sujet sera son propre témoin. L'exploitation des données issues de ces campagnes sera utile d'un point de vue expologique (1) pour mettre en évidence d'éventuels profils saisonniers des concentrations des polluants particuliers et gazeux dans l'habitacle du véhicule, (2) pour approfondir la recherche des déterminants de ces concentrations et (3) d'un point de vue épidémiologique, pour affiner les associations à court-terme entre l'exposition aux polluants liés au trafic routier et la santé respiratoire.

Dans le contexte actuel lié au *Coronavirus – Covid-19*, cette deuxième campagne menée post-confinement permettra également d'examiner l'impact des mesures imposées par l'épidémie, d'une part sur les conditions de travail (activité, mesures de protection, mesures d'hygiène pour la flotte) et d'autre part, sur les niveaux des polluants mesurés.

Suite à la réussite de l'étude pilote au Liban en termes de faisabilité, une investigation à plus grande échelle est prévue avec application du volet épidémiologique. Elle offrirait l'opportunité de poursuivre l'étude des comparaisons entre Paris et Beyrouth, tant sur le volet expologique que sur le volet épidémiologique.

La mise en évidence de l'efficacité de la ventilation comme moyen de prévention contre l'infiltration des polluants ambiants dans l'habitacle du véhicule mériterait une étude plus détaillée de l'influence des différentes modalités de ventilation (mode de ventilation hybride, vitesse du ventilateur...).



# **BIBLIOGRAPHIE**

---





1. Citepa. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France - Format Secten France 2019 N°1632sec/2019.
2. Cassee F, Morawska L, Peters A, Wierzbicka A, Buonanno G, Cyrus J, et al. White Paper: Ambient ultrafine particles: evidence for policy makers. European Federation of Clean Air and Environmental Protection Associations (EFCA): 2019.
3. Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect.* 2005;113(7):823-39. PubMed PMID: 16002369.
4. AIRPARIF. Le carbone suie: enjeu présent et futur. 2014 42.
5. HEI. Understanding the health effects of ambient ultrafine particles. Boston, MA: Health Effects Institute, 2013.
6. Janssen N, Gerlofs-Nijland M, Lanke T, Salonen R, Cassee F, Hoek G. Health effects of black carbon copenhagen, denmark: WHO. Regional Office for Europe. 2012:1-86.
7. Cepeda M, Schoufour J, Freak-Poli R, Koolhaas CM, Dhana K, Bramer WM, et al. Levels of ambient air pollution according to mode of transport: a systematic review. *The Lancet Public Health.* 2017;2(1):e23-e34.
8. Hachem M, Saleh N, Paunescu A-C, Momas I, Bensefa-Colas L. Exposure to traffic air pollutants in taxicabs and acute adverse respiratory effects: A systematic review. *Sci Total Environ.* 2019;693.
9. AIRPARIF. Bilan des émissions atmosphériques en Île-de-France - année 2015. France: AIRPARIF, 2019.
10. AIRPARIF. Répartition géographique des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre Airparif; 2014 [12/06/2020]. Available from: <https://www.airparif.asso.fr>.
11. ADEME. Émissions de particules et de NOx par les véhicules routiers France: ADEME, 2018.
12. ANSES. Particules de l'air ambiant extérieur - Impact sur la pollution atmosphérique des technologies et de la composition du parc de véhicules automobiles circulant en France. France: ANSES, 2019 Contract No.: 2014-SA-0156.
13. Citepa. Rapport OMINEA. Paris, France: 2020 Mars 2020. Report No.: 1789omi/ 2020.
14. EEA. Explaining road transport emissions Copenhagen 2016.
15. AIRPARIF. Bilan de la qualité de l'air - année 2019. France: AIRPARIF, 2019.
16. France. Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air. Paris: Journal officiel de la République Française; 2010.
17. Directive 2008/50/CE du Parlement Européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. Journal officiel de l'Union européenne p. 44.
18. Directive 2004/107/CE du Parlement Européen et du conseil du 15 décembre 2004. Journal officiel de l'Union européenne.
19. OMS. Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre Genève, Suisse: OMS, 2005 Contract No.: WHO/SDE/PHE/OEH/06.02.
20. Décret n° 2019-1487 du 27 décembre 2019 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelles contraignantes pour certains agents chimiques.
21. EPA. Particulate Matter (PM) Basics: Environmental Protection Agency; 2020 [cited 2020]. Available from: [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
22. Van der Gon HAD, Visschedijk A, Johansson C, Ntziachristos L, Harrison R. Size-resolved pan-European anthropogenic particle number inventory International Aerosol Conference; Helsinki, Finland, 2010.

23. Friedlander SK. Smoke, Dust, and Haze: Fundamentals of Aerosol Dynamics: Oxford University Press; 2000.
24. HEI. Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects: Health Effects Institute; 2010.
25. Barbusse S, Plassat G. Les particules de combustion automobile et leurs dispositifs d'élimination. France: ADEME, 2005 Contract No.: 5728.
26. Collin F. Détermination des signatures granulométriques et chimiques de particules prélevées à l'échappement de moteurs Diesel et en atmosphère urbaine: Université Pierre-et-Marie-Curie; 2000.
27. Schraufnagel DE. The health effects of ultrafine particles. *Experimental & Molecular Medicine*. 2020;52(3):311-7.
28. LCSQA/Ineris. Mesure des particules ultrafines au sein du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. 2019.
29. Richter H, Howard JB. Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and their growth to soot—a review of chemical reaction pathways. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2000;26(4):565-608.
30. Citepa. Contrôle des émissions: vers des procédures d'essai plus réalistes. France: Citepa, 2016.
31. MTES. Contrôle des émissions de polluants France MTES; 2019 [20/06/2020]. Available from: [www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr).
32. Al-Arkawazi Flamarz S. Studying the Relation between the Engine Size and Manufacturing Year of Gasoline-Fueled Vehicles and Exhaust Emission Percentages and Concentrations. 2020:196-219.
33. Deletraz G. Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne. Incidences des émissions d'oxydes d'azote en vallées d'Aspe et de Biriadou (Pyrénées): Université de Pau et des Pays de l'Adour; 2002.
34. Ahn K, Rakha H. The effects of route choice decisions on vehicle energy consumption and emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2008;13(3):151-67.
35. Gonzalez F, Kindelan C, Zapata E. Influence of driving style on fuel consumption and Emissions in diesel-powered passenger car. 8th International Symposium Transport and Air Pollution, TAP 2010; Dunbendorf, Suiza, 2010. p. 1-6.
36. Muslim NH, Keyvanfar A, Shafaghat A, Abdullahi MaM, Khorami M. Green driver: travel behaviors revisited on fuel saving and less emission. *Sustainability*. 2018;10(2).
37. Arnold T, Sabate S. Study to define cold and hot start emissions final investigate report. California: California air resources board, 1997.
38. Gao J, Tian G, Sorniotti A, Karci AE, Di Palo R. Review of thermal management of catalytic converters to decrease engine emissions during cold start and warm up. *Applied Thermal Engineering*. 2019;147:177-87.
39. Redolfi M. Etude de l'oxydation de différents types d'hydrocarbures par des procédés utilisant des techniques de décharges électriques non-thermiques à pression atmosphérique: application à la problématique du démarrage à froid. . Paris, France: Université Paris-Nord; 2007.
40. W Hucho a, Sovran G. Aerodynamics of Road Vehicles. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 1993;25(1):485-537.
41. Knibbs LD, De Dear RJ, Atkinson SE, editors. Automobile hvac systems: Air flow, leakage and their effects on in-vehicle air quality. IAQVEC 2007 Proceedings - 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings: Sustainable Built Environment; 2007.

42. Mehel A, Murzyn F, Cuvelier P, Deville Cavellin L, Baudic A, Patta-Rouland B, et al. Caractérisation et analyse des polluants issus du transport automobile s'infiltrant dans les habitacles des véhicules. ADEME, AIRPARIF, CORIA, 2019.
43. AAA DATA. Automobiles 2020. Available from: [www.aaa-data.fr](http://www.aaa-data.fr).
44. MTES. Données sur les immatriculations des véhicules In: SDES, editor. 2019.
45. MTES. Certificats qualité de l'air : Crit'Air 2020. Available from: <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/certificats-qualite-lair-critair>.
46. ADEME, Rincenc A, Pouponneau M, Forestier B, Cape F. Les zones à faibles émissions (Low Emission Zones) à travers l'Europe : déploiement, retours d'expériences, évaluation d'impacts et efficacité du système - Rapport. ADEME, 2019.
47. Carteret M, Michel A, Pasquier A. Méthode d'estimation des parcs automobiles et de l'impact de mesures de restriction d'accès sur les émissions de polluants - projet Za-ParC - Rapport final. ADEME, 2014.
48. MTES. Le parc de véhicules selon leur catégorie Crit'air dans les zones à faibles émissions (ZFE) 2019 [11/07/2020]. Available from: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-de-vehicules-selon-leur-categorie-critair-dans-les-zones-faibles-emissions-zfe>.
49. MoE/UNDP/GEF. Lebanon's third Biennial Update Report (BUR) to the UNFCCC. Beirut, Lebanon 2019.
50. Baayoun A, Itani W, El Helou J, Halabi L, Medlej S, El Malki M, et al. Emission inventory of key sources of air pollution in Lebanon. Atmospheric Environment. 2019;215:116871.
51. MoE/UNDP/GEF. Lebanon's third national communication to the UNFCCC. Beirut, Lebanon: 2016.
52. MoE/UNDP/GEF. Lebanon's first biennial update report to the UNFCCC. Beirut, Lebanon: 2015.
53. MoE/URC/GEF. Lebanon Technology Needs Assessment report for Climate Change Beirut, Lebanon 2012.
54. El Houry N, Aboujaoude LK, Kadehjina K. Road Transport Sector and Air pollution: Case of Lebanon. IPT; 2016. p. 46.
55. Wanger J, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation de la mesure des volumes pulmonaires. Revue des Maladies Respiratoires. 2007;24(3):51-64.
56. Miller M, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation de la spirométrie. Revue Des Maladies Respiratoires. 2007;24.
57. Patel AR, Patel AR, Singh S, Singh S, Khawaja I. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease: The Changes Made. Cureus. 2019;11(6):e4985-e.
58. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo R, Burgos F, Casaburi R, et al. Stratégies d'interprétation des explorations fonctionnelles respiratoires. Revue Des Maladies Respiratoires. 2007;24:83-108.
59. Carvalho TC, Peters JI, Williams RO, 3rd. Influence of particle size on regional lung deposition-what evidence is there ? International journal of pharmaceuticals. 2011;406(1-2):1-10.
60. ICRP. Human respiratory tract model for radiological protection. A report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP. 1994;24(1-3):1-482.
61. BIT. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail du BIT: Organisation International de Travail; 2004.

62. Graham UM, Dozier AK, Oberdörster G, Yokel RA, Molina R, Brain JD, et al. Tissue Specific Fate of Nanomaterials by Advanced Analytical Imaging Techniques - A Review. *Chemical Research in Toxicology*. 2020;33(5):1145-62.
63. Marano F. Les particules atmosphériques fines et ultrafines: l'apport de la toxicologie dans l'évaluation des risques pour la santé. *Pollution atmosphérique*. 2010 Septembre 2010:8.
64. Sweileh WM, Al-Jabi SW, Zyoud SeH, Sawalha AF. Outdoor air pollution and respiratory health: a bibliometric analysis of publications in peer-reviewed journals (1900 – 2017). *Multidisciplinary Respiratory Medicine*. 2018;13(1):15.
65. Charpin D, Pairon JC, Annesi-Maesano I, Caillaud D, de Blay F, Dixsaut G, et al. La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire. Document d'experts du groupe pathologies pulmonaires professionnelles environnementales et iatrogéniques (PAPPEI) de la Société de pneumologie de langue française (SPLF). *Rev Mal Respir*. 2016;33(6):484-508.
66. Chinet T. Effets sur l'appareil respiratoire de la pollution atmosphérique. EMC (Elsevier Masson SAS). 2007 (Pneumologie):10.
67. Kurt OK, Zhang J, Pinkerton KE. Pulmonary health effects of air pollution. *Current opinion in pulmonary medicine*. 2016;22(2):138-43.
68. OMS. Air quality guidelines for Europe Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2000 9789289013581.
69. Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM, et al. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2001;164(10):1860-6.
70. Kyung SY, Jeong SH. Particulate-Matter Related Respiratory Diseases. *Tuberc Respir Dis (Seoul)*. 2020;83(2):116-21.
71. Laumbach RJ, Kipen HM. Respiratory health effects of air pollution: update on biomass smoke and traffic pollution. *J Allergy Clin Immunol*. 2012;129(1):3-13.
72. Madureira J, Brancher EA, Costa C, Aurino de Pinho R, Teixeira JP. Cardio-respiratory health effects of exposure to traffic-related air pollutants while exercising outdoors: A systematic review. *Environmental Research*. 2019;178:108647.
73. EPA. Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM): EPA; 2020 [27/07/2020]. Available from: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>.
74. Hegseth MN, Oftedal BM, Höper AC, Aminoff AL, Thomassen MR, Svendsen MV, et al. Self-reported traffic-related air pollution and respiratory symptoms among adults in an area with modest levels of traffic. *PLOS ONE*. 2019;14(12):e0226221.
75. Delfino RJ, Sioutas C, Malik S. Potential role of ultrafine particles in associations between airborne particle mass and cardiovascular health. *Environ Health Perspect*. 2005;113(8):934-46.
76. Duffin R, Tran L, Clouter A, Brown D, MacNee W, Stone V, et al. The Importance of Surface Area and Specific Reactivity in the Acute Pulmonary Inflammatory Response to Particles. *Ann Occup Hyg*. 2002;46.
77. Adar SD, Adamkiewicz G, Gold DR, Schwartz J, Coull BA, Suh H. Ambient and microenvironmental particles and exhaled nitric oxide before and after a group bus trip. *Environ Health Perspect*. 2007;115(4):507-12.
78. Rossner P, Jr., Svecova V, Milcova A, Lnenickova Z, Solansky I, Santella RM, et al. Oxidative and nitrosative stress markers in bus drivers. *Mutation research*. 2007;617(1-2):23-32.

79. Larsson B-M, Sehlstedt M, Grunewald J, Sköld CM, Lundin A, Blomberg A, et al. Road tunnel air pollution induces bronchoalveolar inflammation in healthy subjects. *European Respiratory Journal*. 2007;29(4):699-705.
80. Jacobs L, Nawrot TS, de Geus B, Meeusen R, Degraeuwe B, Bernard A, et al. Subclinical responses in healthy cyclists briefly exposed to traffic-related air pollution: an intervention study. *Environmental health : a global access science source*. 2010;9:64.
81. Strak M, Boogaard H, Meliefste K, Oldenwening M, Zuurbier M, Brunekreef B, et al. Respiratory health effects of ultrafine and fine particle exposure in cyclists. *Occupational and environmental medicine*. 2010;67(2):118-24.
82. Vinzents PS, Møller P, Sørensen M, Knudsen LE, Hertel O, Jensen FP, et al. Personal exposure to ultrafine particles and oxidative DNA damage. *Environ Health Perspect*. 2005;113(11):1485-90.
83. Zuurbier M, Hoek G, Oldenwening M, Meliefste K, van den Hazel P, Brunekreef B. Respiratory Effects of Commuters' Exposure to Air Pollution in Traffic. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2011;22(2).
84. McCreanor J, Cullinan P, Nieuwenhuijsen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L, et al. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *The New England journal of medicine*. 2007;357(23):2348-58.
85. Sinharay R, Gong J, Barratt B, Ohman-Strickland P, Ernst S, Kelly FJ, et al. Respiratory and cardiovascular responses to walking down a traffic-polluted road compared with walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomised, crossover study. *Lancet*. 2018;391(10118):339-49.
86. Larsson BM, Grunewald J, Sköld CM, Lundin A, Sandström T, Eklund A, et al. Limited airway effects in mild asthmatics after exposure to air pollution in a road tunnel. *Respiratory medicine*. 2010;104(12):1912-8.
87. Sehlstedt M, Behndig AF, Boman C, Blomberg A, Sandström T, Pourazar J. Airway inflammatory response to diesel exhaust generated at urban cycle running conditions. *Inhalation toxicology*. 2010;22(14):1144-50.
88. Sawant AA, Cocker IIIDR, Miller JW, Taliaferro T, Diaz-Sanchez D, Linn WS, et al. Generation and Characterization of Diesel Exhaust in a Facility for Controlled Human Exposures. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2008;58(6):829-37.
89. U.S.EPA. Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (Final Report, 2019). Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2019 Contract No.: EPA/600/R-19/188.
90. Andersen ZJ, Wahlin P, Raaschou-Nielsen O, Ketzler M, Scheike T, Loft S. Size distribution and total number concentration of ultrafine and accumulation mode particles and hospital admissions in children and the elderly in Copenhagen, Denmark. *Occupational and environmental medicine*. 2008;65(7):458-66.
91. Halonen JI, Lanki T, Yli-Tuomi T, Kulmala M, Tiittanen P, Pekkanen J. Urban air pollution, and asthma and COPD hospital emergency room visits. *Thorax*. 2008;63(7):635-41. PubMed PMID: 1.
92. Samoli E, Andersen ZJ, Katsouyanni K, Hennig F, Kuhlbusch TAJ, Bellander T, et al. Exposure to ultrafine particles and respiratory hospitalisations in five European cities. *European Respiratory Journal*. 2016;48(3):674-82.
93. Peel JL, Tolbert PE, Klein M, Metzger KB, Flanders WD, Todd K, et al. Ambient Air Pollution and Respiratory Emergency Department Visits. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2005;16(2).

94. Andersen ZJ, Loft S, Ketzler M, Stage M, Scheike T, Hermansen MN, et al. Ambient air pollution triggers wheezing symptoms in infants. *Thorax*. 2008;63(8):710-6.
95. von Klot S, Wölke G, Tuch T, Heinrich J, Dockery DW, Schwartz J, et al. Increased asthma medication use in association with ambient fine and ultrafine particles. *The European respiratory journal*. 2002;20(3):691-702. PubMed PMID: 12358349.
96. Osunsanya T, Prescott G, Seaton A. Acute respiratory effects of particles: mass or number? *Occupational and environmental medicine*. 2001;58(3):154-9.
97. de Hartog JJ, Hoek G, Peters A, Timonen KL, Ibaldo-Mulli A, Brunekreef B, et al. Effects of fine and ultrafine particles on cardiorespiratory symptoms in elderly subjects with coronary heart disease: the ULTRA study. *American journal of epidemiology*. 2003;157(7):613-23.
98. Penttinen P, Timonen KL, Tiittanen P, Mirme A, Ruuskanen J, Pekkanen J. Ultrafine particles in urban air and respiratory health among adult asthmatics. *European Respiratory Journal*. 2001;17(3):428-35.
99. Strak M, Janssen NAH, Godri KJ, Gosens I, Mudway IS, Cassee FR, et al. Respiratory Health Effects of Airborne Particulate Matter: The Role of Particle Size, Composition, and Oxidative Potential -The RAPTES Project. *Environ Health Perspect*. 2012;120(8):1183-9.
100. Tobias A, Karanasiou A, Reche C, Amato F, Alastuey A, Querol X. Effects of black carbon on respiratory health in the city of Barcelona. *European Respiratory Journal*. 2014;44(Suppl 58):2923.
101. Tomić-Spirić V, Kovačević G, Marinković J, Janković J, Čirković A, Milošević Đerić A, et al. Evaluation of the Impact of Black Carbon on the Worsening of Allergic Respiratory Diseases in the Region of Western Serbia: A Time-Stratified Case-Crossover Study. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(6):261.
102. Jansen KL, Larson TV, Koenig JQ, Mar TF, Fields C, Stewart J, et al. Associations between health effects and particulate matter and black carbon in subjects with respiratory disease. *Environ Health Perspect*. 2005;113(12):1741-6.
103. Paunescu A-C, Casas M, Ferrero A, Pañella P, Bougas N, Beydon N, et al. Associations of black carbon with lung function and airway inflammation in schoolchildren. *Environment International*. 2019;131:104984.
104. IARC. World Cancer Report 2014. France: International Agency for Research on Cancer, 2014 978-92-832-0429-9.
105. Rezaei Hachesu V, Naderyan Fe'li S, Kargar Shouroki F, Mehrparvar AH, Zavar Reza J, Azimi M, et al. Carbon load in airway macrophages, DNA damage and lung function in taxi drivers exposed to traffic-related air pollution. *Environmental science and pollution research international*. 2019;26(7):6868-76.
106. Aprajita PN, Sharma R. A study on the lung function tests in petrol-pump workers. *J Clin Diag Res*. 2011;5(5):1046-50.
107. Lipsett M, Campleman S. Occupational exposure to diesel exhaust and lung cancer: a meta-analysis. *American journal of public health*. 1999;89(7):1009-17.
108. Hart JE, Laden F, Schenker MB, Garshick E. Chronic obstructive pulmonary disease mortality in diesel-exposed railroad workers. *Environ Health Perspect*. 2006 Jul;114(7):1013-7.
109. Zhang LP, Zhang X, Duan HW, Meng T, Niu Y, Huang CF, et al. Long-term exposure to diesel engine exhaust induced lung function decline in a cross sectional study. *Ind Health*. 2017;55(1):13-26.
110. Somayeh Rahimi M, Mahdi A, Mahmood M, Narges K, Ali G. The effect of occupational exposure to petrol on pulmonary function parameters: a review and meta-analysis. *Reviews on Environmental Health*. 2019;34(4):377-90.

111. Zafar M. Correlation of respiratory symptoms and spirometric lung pattern among petrol pump workers Karachi, Pakistan: Cross-sectional survey. *International Journal of Health System and Disaster Management*. 2016;4(1):36.
112. Habert C, Garnier R. Effets sur la santé des émissions des moteurs diesel : revue des connaissances. *Revue des Maladies Respiratoires*. 2015;32(2):138-54.
113. Brant TCS, Yoshida CT, Carvalho TdS, Nicola ML, Martins JA, Braga LM, et al. Mucociliary clearance, airway inflammation and nasal symptoms in urban motorcyclists. *Clinics (Sao Paulo)*. 2014;69(12):867-70.
114. Bigert C, Alderling M, Svartengren M, Plato N, Gustavsson P. No short-term respiratory effects among particle-exposed employees in the Stockholm subway. *Scandinavian journal of work, environment & health*. 2011;37(2):129-35.
115. Zhao J, Bo L, Gong C, Cheng P, Kan H, Xie Y, et al. Preliminary study to explore gene-PM2.5 interactive effects on respiratory system in traffic policemen. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*. 2015;28(6):971-83.
116. Shakya KM, Rupakheti M, Aryal K, Peltier RE. Respiratory Effects of High Levels of Particulate Exposure in a Cohort of Traffic Police in Kathmandu, Nepal. *Journal of occupational and environmental medicine*. 2016 Jun;58(6):e218-25.
117. Santos UP, Garcia MLSB, Braga ALF, Pereira LAA, Lin CA, de André PA, et al. Association between Traffic Air Pollution and Reduced Forced Vital Capacity: A Study Using Personal Monitors for Outdoor Workers. *PloS one*. 2016;11(10):e0163225-e.
118. Lawin H, Fanou LA, Kpangon AA, Hinson AV, Balmes J, Wanjiku J, et al. Comparison of motorcycle taxi driver's respiratory health using an air quality standard for carbon monoxide in ambient air: a pilot survey in Benin. *Pan Afr Med J*. 2018;30.
119. Gao ZY, Li PK, Zhao JZ, Jiang RF, Yang BJ, Zhang MH, et al. [Effects of airborne fine particulate matter on human respiratory symptoms and pulmonary function]. *Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases*. 2010;28(10):748-51.
120. Estévez-García JA, Rojas-Roa NY, Rodríguez-Pulido AI. Occupational exposure to air pollutants: particulate matter and respiratory symptoms affecting traffic-police in Bogotá. *Revista de salud publica (Bogota, Colombia)*. 2013;15(6):889-902.
121. Jones AY, Lam PK, Dean E. Respiratory health of bus drivers in Hong Kong. *International archives of occupational and environmental health*. 2006;79(5):414-8.
122. Zhou W, Yuan D, Ye S, Qi P, Fu C, Christiani D. Health Effects of Occupational Exposures to Vehicle Emissions in Shanghai. *International journal of occupational and environmental health*. 2001;7:23-30.
123. Mbelambela EP, Hirota R, Eitoku M, Muchanga SMJ, Kiyosawa H, Yasumitsu-Lovell K, et al. Occupation exposed to road-traffic emissions and respiratory health among Congolese transit workers, particularly bus conductors, in Kinshasa: a cross-sectional study. *Environ Health Prev Med*. 2017;22(1).
124. Karita K, Yano E, Tamura K, Jinsart W. Effects of working and residential location areas on air pollution related respiratory symptoms in policemen and their wives in Bangkok, Thailand. *European Journal of Public Health*. 2004;14(1):24-6.
125. Arphorn, Ishimaru, Hara, Mahasandana. Considering the effects of ambient particulate matter on the lung function of motorcycle taxi drivers in Bangkok, Thailand. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2018;68(2):139-45.
126. Choudhary H, Tarlo SM. Airway effects of traffic-related air pollution on outdoor workers. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*. 2014;14(2).

127. Zhang YX, Wei QY, Wang J, Qiao TH, Bai HB, Cai LN. [Automobile tyre colloidal particle induced allergic damage of respiratory system in traffic policemen and its allergenicity]. *Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases*. 2007;25(6):346-9.
128. Singh V, Sharma BB, Yadav R, Meena P. Respiratory morbidity attributed to auto-exhaust pollution in traffic policemen of Jaipur, India. *The Journal of asthma : official journal of the Association for the Care of Asthma*. 2009;46(2):118-21.
129. Bener A, Brebner J, Atta MNS, Gomes J, Ozkaragoz F, Cheema MY. Respiratory symptoms and lung function in taxi drivers and manual workers. *Aerobiologia*. 1997;13(1):11-5.
130. Dweik RA, Boggs PB, Erzurum SC, Irvin CG, Leigh MW, Lundberg JO, et al. An official ATS clinical practice guideline: interpretation of exhaled nitric oxide levels (FENO) for clinical applications. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2011;184(5):602-15.
131. Helaskoski E, Suojalehto H, Kuuliala O, Aalto-Korte K. Occupational contact urticaria and protein contact dermatitis: causes and concomitant airway diseases. *Contact Dermatitis*. 2017;77(6):390-6.
132. Bousquet J, Heinzerling L, Bachert C, Papadopoulos NG, Bousquet PJ, Burney PG, et al. Practical guide to skin prick tests in allergy to aeroallergens. *Allergy*. 2012;67(1):18-24.
133. Cooper BG. An update on contraindications for lung function testing. *Thorax*. 2011;66(8):714-23.
134. Culver BH, Graham BL, Coates AL, Wanger J, Berry CE, Clarke PK, et al. Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2017;196(11):1463-72.
135. Fierz M, Burtscher H, Steigmeier P, Kasper M. Field Measurement of Particle Size and Number Concentration with the Diffusion Size Classifier (Disc). SAE International; 2008.
136. Matter Aerosol. DiSCmini Diffusion Size Classifier Miniature: Instruction Manual. Switzerland: Matter aerosol, a testo company, 2012 Contract No.: 101'261-101'760.
137. AethLabs. Operating manual -microAeth Model AE51 San Francisco, California: 2011.
138. Hagler G, Yelverton T, Vedantham R, Hansen A, Turner J. Post-processing Method to Reduce Noise while Preserving High Time Resolution in Aethalometer Real-time Black Carbon Data. *Aerosol and Air Quality Research*. 2011;11:539-46.
139. Crowcon. Gas-Pro - Manuel de l'utilisateur et de l'opérateur. Rotterdam, Pays-Bas: Crowcon, 2016 Contract No.: M07995/Fre.
140. Rotronic. CP11-Short instruction manual Rotronic, 2014.
141. QSTARZ. Travel Recorder XT - extreme 66-CH performance A-GPS Travel Recorder. 2019.
142. James W. H, Joseph M. H. Generalized Estimating Equations, Second Edition: Chapman & Hall/CRC 2013.
143. Deroche C. Diagnostics and Model Selection for Generalized Linear Models and Generalized Estimating Equations, 2015.
144. MOE/UNDP/ECODIT. State and Trends of Lebanese Environment Lebanon: 2011.
145. Saliba NA, Kouyoumdjian H, Roumié M. Effect of local and long-range transport emissions on the elemental composition of PM<sub>10-2.5</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Beirut. *Atmospheric Environment*. 2007;41(31):6497-509.
146. Chelala C, Maignant G, Zaarour R, Saliba N, Abboud M, Farah W. Transports urbains et pollution de l'air à Beyrouth-Municipe (Liban) : Application du modèle STREET. Evaluation environnementale et transports : Concepts, outils et méthodes; Genève, Suisse 2007.



147. Gany F, Bari S, Prasad L, Leng J, Lee T, Thurston GD, et al. Perception and reality of particulate matter exposure in New York City taxi drivers. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 2017;27(2):221-6.
148. Leung P-L, Harrison RM. Roadside and in-vehicle concentrations of monoaromatic hydrocarbons. *Atmospheric Environment*. 1999;33(2):191-204.
149. SDES. Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2018 France: Ministère de la transition écologique et solidaire; 2019. Available from: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2018>.
150. Zagury E, Moullec Y, Momas I. Exposure of Paris taxi drivers to automobile air pollutants within their vehicles. *Occupational and environmental medicine*. 2000;57:406-10.
151. Kaur S, Nieuwenhuijsen M. Determinants of personal exposure to PM<sub>2.5</sub>, ultrafine particle counts, and CO in a transport microenvironment. *Environmental Science & Technology*. 2009;43(13):4737-43.
152. Golhosseini MJ, Kakooei H, Shahtaheri SJ, Azam K, Panahi D. Occupational exposure to carbon monoxide of taxi drivers in Tehran, Iran. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2011;56-62.
153. Huang J, Deng F, Wu S, Guo X. Comparisons of personal exposure to PM<sub>2.5</sub> and CO by different commuting modes in Beijing, China. *Science of the Total Environment*. 2012;425:52-9.
154. Namdeo A, Ballare S, Job H, Namdeo D. Commuter exposure to air pollution in Newcastle, UK, and Mumbai, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. 2016;20(4).
155. Lewné M, Nise G, Lind ML, Gustavsson P. Exposure to particles and nitrogen dioxide among taxi, bus and lorry drivers. *International archives of occupational and environmental health*. 2006 Mar;79(3):220-6.
156. AIRPARIF. Exposition des automobilistes franciliens à la pollution atmosphérique liée au trafic routier. Paris, France: Airparif, 2009.
157. ADEME. Impacts des limitations de vitesse sur la qualité de l'air, le climat l'énergie et le bruit. Synthèse de l'étude. France: ADEME, 2014 Février 2014. Report No.
158. IGAS/CGEDD. La régulation du secteur des voitures de transport avec chauffeur et des taxis. France: 2018 Contract No.: IGAS N°2018-050R /CGEDD N°012070-01.
159. Hossini OL, Abbaouy H, Manar N, Ghailan T, Deschamps F, Hossini CEhL. Perception des risques professionnels, stressseurs et stress des chauffeurs de taxi. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 2020;81(5):657.
160. HEI. Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles. Boston, MA: Health Effects Institute, 2013 January 2013. Report No.
161. Compalati E, Ridolo E, Passalacqua G, Braido F, Villa E, Canonica GW. The link between allergic rhinitis and asthma: the united airways disease. *Expert review of clinical immunology*. 2010;6(3):413-23.
162. Wolkoff P. Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2018;221(3):376-90.
163. Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and subjective responses to low relative humidity. *Journal of physiological anthropology*. 2006 Jan;25(1):7-14. PubMed PMID: 16617203.
164. Hwang SH, Choi YH, Paik HJ, Wee WR, Kim MK, Kim DH. Potential Importance of Ozone in the Association Between Outdoor Air Pollution and Dry Eye Disease in South Korea. *JAMA ophthalmology*. 2016;134(5):503-10.
165. Doan S. Atteinte oculaire et environnement : clinique et physiopathologie. *Revue Française d'Allergologie*. 2009;49(5):416-9.

166. Dutau G, Lavaud F. La rhinite allergique et ses comorbidités. *Revue Française d'Allergologie*. 2019;59(1):32-40.
167. Brożek JL, Bousquet J, Agache I, Agarwal A, Bachert C, Bosnic-Anticevich S, et al. Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma (ARIA) guidelines-2016 revision. *J Allergy Clin Immunol*. 2017;140(4):950-8.

# ANNEXES

## Annexe 1. Stratégie de recherche, revue systématique.

### APPENDIX A

#### Search strategy

The following databases were searched for relevant articles via Pubmed, Embase and Google Scholar up to 5 June 2018.

\*\*\* Pubmed \*\*\*

**Table A.1**

Concept 1 - occupational exposure

| MeSH ( <i>number of articles</i> )      | Keywords   |
|---|--|
| Air Pollutants, Occupational<br>(14417) | Pollutants/ Occupational Air /Occupational Air Pollutants  |
| Inhalation Exposure<br>(8048)           | Exposure Inhalation /Exposures Inhalation / Inhalation Exposures / Inhalation Exposure/ Exposure, Environmental / Environmental Exposures / Exposures, Environmental/ Environmental Exposure   |
| Occupational exposure<br>(5751)         | Exposure, Occupational / Exposures, Occupational / Exposures Occupational / Exposure Occupational /Occupational Exposures / Occupational Exposure/ Occupational, Exposure/ In-vehicle exposures/personal exposure /In-vehicle / In-cabin   |
| Environmental monitoring<br>(110641)    | Monitoring, Environmental/ Monitoring Environmental /Environmental Surveillance / Surveillance, Environmental /Biological Monitoring /Monitoring, Biological / Monitoring Biological /Biomonitoring /Bio-Monitoring / Monitoring, Biologic |
| Ventilation (5242)                      | Ventilations   |

MeSH: Medical Subject Headings

#1 "Air Pollutants, Occupational/adverse effects"[Mesh] OR "Air Pollutants, Occupational/analysis"[Mesh] OR "Air Pollutants, Occupational/etiology"[Mesh] OR "Air Pollutants, Occupational/standards"[Mesh] OR "Air Pollutants, Occupational/toxicity"[Mesh] (12886)

#2 "Inhalation Exposure/adverse effects"[Mesh] OR "Inhalation Exposure/analysis"[Mesh] OR "Inhalation Exposure/prevention and control"[Mesh] OR "Inhalation Exposure/standards"[Mesh] OR "Inhalation Exposure/statistics and numerical data"[Mesh] (4377)

#3 "Occupational Exposure/adverse effects"[Mesh] OR "Occupational Exposure/analysis"[Mesh] OR "Occupational Exposure/complications"[Mesh] OR "Occupational Exposure/diagnosis"[Mesh] OR "Occupational Exposure/epidemiology"[Mesh] OR "Occupational Exposure/etiology"[Mesh] OR "Occupational Exposure/prevention and control"[Mesh] OR "Occupational Exposure/standards"[Mesh] OR "Occupational Exposure/statistics and numerical data"[Mesh] (30479)

#4 "Environmental Monitoring/analysis"[Mesh] OR "Environmental Monitoring/instrumentation"[Mesh] OR "Environmental Monitoring/standards"[Mesh] OR "Environmental Monitoring/statistics and numerical data"[Mesh] (13689)

#5 "Ventilation/analysis"[Mesh] OR "Ventilation/instrumentation"[Mesh] OR "Ventilation/methods"[Mesh] OR "Ventilation/statistics and numerical data"[Mesh] (887)

#6 "Pollutants" [tw] OR "Pollutant" [tw] OR "Occupational Air" [tw] OR "Occupational Air Pollutants"[tw] (226673)

#7 "Exposure Inhalation" [tw] OR "Exposures Inhalation" [tw] OR "Inhalation Exposure" [tw] OR "Inhalation Exposures" [tw] OR "Exposure, Environmental" [tw] OR "Exposures, Environmental" [tw] OR "Exposure Environmental" [tw] OR "Exposures Environmental" [tw] OR "Exposure, Occupational" [tw] OR "Exposures, Occupational" [tw] OR "Exposures Occupational" [tw] OR "Exposure Occupational" [tw] OR "Occupational Exposures" [tw] OR "Occupational Exposure" [tw] OR "Occupational, Exposure" [tw] OR "in-vehicle exposure" [tw] OR "personal exposure" [tw] (66642)

#8 "in-cabin" [tw] OR "in-vehicle" [tw] OR "In-vehicle concentrations" [tw] (4481)

#9 "Monitoring, Environmental" [tw] OR "Monitoring Environmental" [tw] OR "Surveillance, Environmental" [tw] OR "Environmental Surveillance" [tw] OR "Biological Monitoring" [tw] OR "Monitoring, Biological" [tw] OR "Monitoring Biological" [tw] OR "Biomonitoring" [tw] OR "Bio-monitoring" [tw] (9201)

#10 "Ventilations" [tw] (575)

Final set of concept 1 - A:

#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 (297949)

**Table A.2**  
Concept 2 - air pollutants

| MeSH                                   | Keywords  |
|--|---|
| Air pollutants (53731)                 | Pollutants Air / Air Pollutants Environmental/ Environmental Air Pollutants / Environmental Air Pollutant/ Environmental Pollutants Air/ Pollution, Air/ Pollution Air/ Air Pollutions/ air pollution/ air quality/toxic air pollutants   |
| Particulate Matter (52713)             | Airborne Particulate Matter / Particulate Matter, Airborne / Particulate Air Pollutants / Particulate Air Pollutant / Ambient Particulate Matter/ Particulate Matter Ambient /Ultrafine particulate matter  |
| Air pollution (49831)                  |   |
| Vehicle Emissions (8632)               | Emission Vehicle / Emissions Vehicle/Vehicle Emission/Vehicle Emissions/Vehicular Emission/Vehicular Emissions/Vehicular Emissions/Engine Exhaust/Automobile Exhaust/Exhaust automobile/Diesel Exhaust/Exhaust Diesel/Exhaust, Diesel/Diesel vehicle emission/Diesel vehicle emissions/Vehicle exhaust/Road traffic emission/Road traffic emissions/traffic/traffic density |
| Particle size (72585)                  | Particle Sizes / particle size /Size, Particle / Size Particle / Sizes Particle /   |
| Aerosols (28881)                       | Aerosol/Atmospheric aerosol/ Atmospheric aerosol/aerosols   |
| Dust (20479)                           | Dust, dusts   |
| Ultrafine [Supplementary Concept] (53) | fine particles / fine particle/ Particle number / Particles number / Ambient ultrafine particle / Ambient ultrafine particles / particle deposition and distribution/UFP/UFPM/ ultrafine particles/ ultrafine particles   |
| Nanoparticles (93123)                  | Nanoparticle, Nanoparticles   |
| Smoke (20151)                          | Aethalometer/Aethalometer model   |
| Soot (1122)                            | Carbon Black / Black, Carbon/carbon, black/ /Black carbon particles/ Black carbon/BC  |
| Fossil Fuels (21986)                   | Fossil Fuel / Fuel, Fossil/Diesel Exhaust/ Fuels, Fossil  |
| Carbon (161774)                        |   |

MeSH: Medical Subject Headings

#1"Air Pollutants/adverse effects"[Mesh] OR "Air Pollutants/analysis"[Mesh] OR "Air Pollutants/etiology"[Mesh] OR "Air Pollutants/standards"[Mesh] OR "Air Pollutants/statistics and numerical data"[Mesh] OR "Air Pollutants/toxicity"[Mesh] (46546)

#2"Particulate Matter/adverse effects"[Mesh] OR "Particulate Matter/analysis"[Mesh] OR "Particulate Matter/etiology"[Mesh] OR "Particulate Matter/poisoning"[Mesh] OR "Particulate Matter/prevention and control"[Mesh] OR "Particulate Matter/standards"[Mesh] OR "Particulate Matter/statistics and numerical data"[Mesh] OR "Particulate Matter/toxicity"[Mesh] (33603)

#3"Air Pollution/adverse effects"[Mesh:NoExp] OR "Air Pollution/analysis"[Mesh:NoExp] OR "Air Pollution/etiology"[Mesh:NoExp] OR "Air Pollution/prevention and control"[Mesh:NoExp] OR "Air Pollution/standards"[Mesh:NoExp] OR "Air Pollution/statistics and numerical data"[Mesh:NoExp] (16422)

#4"Vehicle Emissions/adverse effects"[Mesh] OR "Vehicle Emissions/analysis"[Mesh] OR "Vehicle Emissions/poisoning"[Mesh] OR "Vehicle Emissions/prevention and control"[Mesh] OR "Vehicle Emissions/toxicity"[Mesh] (6156)

#5"Particle Size/instrumentation"[Mesh] OR "Particle Size/organization and administration"[Mesh] OR "Particle Size/standards"[Mesh] 3

#6"Aerosols/adverse effects"[Mesh:NoExp] OR "Aerosols/analysis"[Mesh:NoExp] OR "Aerosols/instrumentation"[Mesh:NoExp] OR "Aerosols/poisoning"[Mesh:NoExp] OR "Aerosols/standards"[Mesh:NoExp] OR "Aerosols/toxicity"[Mesh:NoExp] (3481)

#7"Dust/adverse effects"[Mesh:NoExp] OR "Dust/analysis"[Mesh:NoExp] OR "Dust/etiology"[Mesh:NoExp] OR "Dust/prevention and control"[Mesh:NoExp] (9277)

#8 Ultrafine [Supplementary Concept] (53)

#9"Nanoparticles/adverse effects"[Mesh:NoExp] OR "Nanoparticles/analysis"[Mesh:NoExp] OR "Nanoparticles/poisoning"[Mesh:NoExp] OR "Nanoparticles/standards"[Mesh:NoExp] OR "Nanoparticles/statistics and numerical data"[Mesh:NoExp] OR "Nanoparticles/toxicity"[Mesh:NoExp] (4796)

#10 "Pollutants Air" [tw] OR "Air Pollutants Environmental" [tw] OR "Environmental Air Pollutants" [tw] OR "Environmental Air Pollutant" [tw] OR "Environmental Pollutants Air"[tw] OR "Pollution, Air" [tw] OR " Pollution Air " [tw] OR "Air Pollutions" [tw] OR "Air Pollution" [tw] OR "air quality" [tw] OR "toxic air pollutants"[tw] (52475)

#11"Airborne Particulate Matter" [tw] OR "Particulate Matter, Airborne" [tw] OR "Particulate Air Pollutant" [tw] OR "Particulate Air Pollutants" [tw] OR "Ambient Particulate Matter"[tw] OR "Particulate Matter Ambient"[tw] OR "Ultrafine particulate matter" [tw] (1764)

#12"Emission Vehicle" [tw] OR "Emissions Vehicle" [tw] OR "Vehicle Emission" [tw] OR "Vehicle Emissions" [tw] OR "Vehicular Emission" [tw] OR "Vehicular Emissions" [tw] OR "Vehicular Emissions" [tw] OR "Engine Exhaust" [tw] OR "Automobile Exhaust" [tw] OR "Exhaust automobile" [tw] OR "Diesel Exhaust" [tw] OR "Exhaust Diesel" [tw] OR "Exhaust, Diesel" [tw] OR "Diesel vehicle emission"[tw] OR "Diesel vehicle emissions"[tw] OR "Vehicle exhaust"[tw] OR "Road traffic emission" [tw] OR "Road traffic emissions" [tw] OR "traffic" [tw] OR "traffic density" [tw] (77148)

- #13"Particle Size" [tw] OR "Particle Sizes" [tw] OR "Size, Particle" [tw] OR "Sizes Particle" [tw] OR "Size Particle"[tw] (94553)
- #14"dust" [tw] OR "dusts" [tw] (40731)
- #15"Atmospheric aerosol" [tw] OR "Atmospheric aerosols" [tw] OR "aerosol" [tw] OR "aerosols" [tw] (46010)
- #16"Nanoparticles" [tw] OR "Nanoparticle" [tw] (147127)
- #17"fine particle" [tw] OR "fine particles" [tw] OR "Particles number" [tw] OR "Particle number" [tw] OR "particle deposition and distribution" [tw] OR "Ambient ultrafine particle" [tw] OR "Ambient ultrafine particles" [tw] OR "ultrafine particle" [tw] OR "ultrafine particles" [tw] OR "UFP" [tw] OR "UFPM" [tw] (6833)
- #18"Smoke/adverse effects"[Mesh] OR "Smoke/analysis"[Mesh] OR "Smoke/poisoning"[Mesh] OR "Smoke/prevention and control"[Mesh] OR "Smoke/standards"[Mesh] OR "Smoke/statistics and numerical data"[Mesh] OR "Smoke/toxicity"[Mesh] (14931)
- #19"Soot/adverse effects"[Mesh] OR "Soot/analysis"[Mesh] OR "Soot/poisoning"[Mesh] OR "Soot/standards"[Mesh] OR "Soot/toxicity"[Mesh] (630)
- #20"Fossil Fuels/adverse effects"[Mesh] OR "Fossil Fuels/analysis"[Mesh] OR "Fossil Fuels/poisoning"[Mesh] OR "Fossil Fuels/standards"[Mesh] OR "Fossil Fuels/statistics and numerical data"[Mesh] OR "Fossil Fuels/toxicity"[Mesh] (8831)
- #21"Carbon/adverse effects"[Mesh] OR "Carbon/analysis"[Mesh] OR "Carbon/standards"[Mesh] OR "Carbon/statistics and numerical data"[Mesh] OR "Carbon/toxicity"[Mesh] (14798)
- #22"carbon black" [tw] OR "black carbon" [tw] OR "carbon black" [tw] OR "black carbon particles" [tw] (3432)
- #23"fossil fuel" [tw] OR "fuel fossil" [tw] OR "diesel Exhaust" [tw] OR "fuels fossil" [tw] (3887)
- #24 "aethalometer" [tw] OR "aethalometer model" [tw] (83)

## Final set of concept 2

**B:** 1OR#2OR#3OR#4OR#5OR#6OR#7OR#8OR#9OR#10OR#11OR#12OR#13OR#14OR#15OR#16OR#17OR#18 (439321)

**C:** #18 OR #19 OR #20 OR #21 OR #22 OR #23 OR #24 (43792)

**Table A.3**

Concept 3 : taxi drivers

| MeSH                       | Keywords   |
|----------------------------|--|
| Automobiles (6400)         | Transit workers/taxi drivers/taxi/ Professional drivers/taxi driver/ Urban taxi drivers/cab drivers /Commuter/ commute/commuters |
| Transportation (62853)     | Transport mode/Transportation modes/   |
| Motor Vehicles (18448)     | Motor Vehicle /Vehicle/Motor Vehicles/Vehicles /Buses/bus/Trucks/ Truck/   |
| Automobile Driving (17586) |  |

MeSH: Medical Subject Headings

- #1"Transportation/adverse effects"[Mesh] OR "Transportation/methods"[Mesh] OR "Transportation/standards"[Mesh] OR "Transportation/statistics and numerical data"[Mesh] (7453)
- #2"Motor Vehicles/standards"[Mesh] OR "Motor Vehicles/statistics and numerical data"[Mesh] (3462)
- #3"Automobiles/instrumentation"[Mesh] OR "Automobiles/statistics and numerical data"[Mesh] (581)
- #4 "Automobile Driving/epidemiology"[Mesh] OR "Automobile Driving/instrumentation"[Mesh] OR "Automobile Driving/prevention and control"[Mesh] OR "Automobile Driving/standards"[Mesh] OR "Automobile Driving/statistics and numerical data"[Mesh] OR "Automobiles/instrumentation"[Mesh] OR "Automobiles/statistics and numerical data"[Mesh] (3665)
- #5 "Transit workers" [tw] OR "taxi drivers" [tw] OR "Professional drivers" [tw] OR "taxi driver" [tw] OR "Urban taxi drivers" [tw] OR "cab drivers" [tw] OR "taxi" [tw] OR "motorcycle taxi"[tw] (1136)
- #6 "Transport mode" [tw] OR "Transportation modes" [tw] (332)
- #7 "buses" [tw] OR "bus" [tw] OR "trucks" [tw] OR "truck" [tw] OR "motorcycle"[tw] OR "motorcycles"[tw] OR "motor vehicle" [tw] OR "motor vehicles" [tw] OR "vehicles" [tw] OR "vehicle" [tw] (131910)
- #8 "Commuter" [tw] OR "commute" [tw] OR "commuters" [tw] (1075)

## Final set of concept 3

**D:** 1#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 (140611)

**Table A.4**

Concept 4 : respiratory health

| MeSH                               | Keywords   |
|------------------------------------|--|
| Respiratory system (452610)        | /Respiratory health /Respiratory System/System, Respiratory / Respiratory Tract/<br>Respiratory Tracts/Tract Respiratory/ Tracts Respiratory   |
| Lung (253823)                      |  |
| Respiration (110012)               |  |
| Respiratory function test (218566) | Function Tests, Respiratory/Respiratory Function Test/ Respiratory Function Tests /Test<br>Respiratory Function/ Tests Respiratory Function/Lung Function Tests / Lung Function<br>Test/Function Test Lung/ Function Tests Lung/ Tests Lung Function/ Test Lung<br>Function/Pulmonary Function Test/ Pulmonary Function Tests/Test Pulmonary Function/<br>Test, Pulmonary Function/ Tests Pulmonary Function/ Function Tests Pulmonary/<br>Function Test Pulmonary |
| Spirometry (20272)                 |  |
| Pulmonary Ventilation (40427)      | Ventilation, Pulmonary/ Ventilation Pulmonary/Respiratory Airflow /Ventilation<br>Tests/Test Ventilation/Tests Ventilation/Ventilation Test/Expiratory Airflow   |
| Lung disease (802554)              | Disease, Lung/Diseases, Lung/Lung Disease/Pulmonary Disease/Disease,<br>Pulmonary/Diseases, Pulmonary/Pulmonary Diseases/ Lung Diseases/   |
| Occupational disease (80298)       | Disease, Occupational/Occupational Disease/ Occupational Diseases/Occupational<br>Illnesses / Illnesses, Occupational/occupational health  |
| Asthma, Occupational (442)         | Occupational Asthma/Occupational Astmas  |
| Respiratory Transport (11828)      |  |

MeSH: Medical Subject Headings

- #1"Respiratory System/abnormalities"[Mesh] OR "Respiratory System/analysis"[Mesh] OR "Respiratory System/diagnosis"[Mesh] (50930)
- #2"Lung/abnormalities"[Mesh] OR "Lung/analysis"[Mesh] OR "Lung/diagnosis"[Mesh] (31427)
- #3"Respiration/abnormalities"[Mesh] OR "Respiration/analysis"[Mesh] OR "Respiration/prevention and control"[Mesh] (12)
- #4"Respiratory Function Tests/adverse effects"[Mesh] OR "Respiratory Function Tests/analysis"[Mesh] OR "Respiratory Function Tests/complications"[Mesh] OR "Respiratory Function Tests/diagnosis"[Mesh] OR "Respiratory Function Tests/epidemiology"[Mesh] OR "Respiratory Function Tests/statistics and numerical data"[Mesh] (3357)
- #5"Spirometry/adverse effects"[Mesh] OR "Spirometry/epidemiology"[Mesh] OR "Spirometry/instrumentation"[Mesh] OR "Spirometry/methods"[Mesh] OR "Spirometry/standards"[Mesh] OR "Spirometry/statistics and numerical data"[Mesh] (3091)
- #6"Pulmonary Ventilation/instrumentation"[Mesh] OR "Pulmonary Ventilation/methods"[Mesh] OR "Pulmonary Ventilation/standards"[Mesh] OR "Pulmonary Ventilation/statistics and numerical data"[Mesh] (119)
- #7"Lung Diseases/analysis"[Mesh] OR "Lung Diseases/diagnosis"[Mesh] OR "Lung Diseases/epidemiology"[Mesh] OR "Lung Diseases/instrumentation"[Mesh] OR "Lung Diseases/pathology"[Mesh] OR "Lung Diseases/prevention and control"[Mesh] OR "Lung Diseases/statistics and numerical data"[Mesh] (39916)
- #8"Occupational Diseases/adverse effects"[Mesh:NoExp] OR "Occupational Diseases/analysis"[Mesh:NoExp] OR "Occupational Diseases/complications"[Mesh:NoExp] OR "Occupational Diseases/diagnosis"[Mesh:NoExp] OR "Occupational Diseases/prevention and control"[Mesh:NoExp] OR "Occupational Diseases/statistics and numerical data"[Mesh:NoExp] OR "Occupational Diseases/toxicity"[Mesh:NoExp] (26395)
- #9"Asthma, Occupational/analysis"[Mesh] OR "Asthma, Occupational/diagnosis"[Mesh] OR "Asthma, Occupational/etiology"[Mesh] OR "Asthma, Occupational/prevention and control"[Mesh] OR "Asthma, Occupational/statistics and numerical data"[Mesh] (384)
- #10"Respiratory Transport/etiology"[Mesh] OR "Respiratory Transport/instrumentation"[Mesh] OR "Respiratory Transport/methods"[Mesh] (32)
- #11"Disease, Occupational" [tw] OR "Occupational Disease" [tw] OR "Occupational Diseases" [tw] OR "Occupational Illnesses" [tw] OR "Illnesses, Occupational" [tw] OR "occupational health" [tw] OR "Occupational Asthma" [tw] OR "Occupational Asthma" [tw] OR "Respiratory Transports" [tw] (124014)
- #12"Respiratory health" [tw] OR "Respiratory System" [tw] OR "System, Respiratory" [tw] OR "Respiratory Tract" [tw] OR "Respiratory Tracts" [tw] OR "Tracts Respiratory" [tw] OR "Tract Respiratory" [tw] (116326)
- #13"Disease, Lung" [tw] OR "Diseases, Lung" [tw] OR "Lung Disease" [tw] OR "Lung Diseases" [tw] OR "Pulmonary Disease" [tw] OR "Disease, Pulmonary" [tw] OR "Pulmonary Diseases" [tw] OR "Diseases, Pulmonary" [tw] (178046)
- #14"Function Tests, Respiratory" [tw] OR "Respiratory Function Test" [tw] OR "Respiratory Function Tests" [tw] OR "Test Respiratory Function" [tw] OR "Tests Respiratory Function" [tw] OR "Lung Function Tests" [tw] OR "Lung Function Test" [tw] OR "Function Test Lung" [tw] OR "Function Tests Lung" [tw] OR "Tests Lung Function" [tw] OR "Test Lung Function" [tw] OR "Pulmonary Function Test" [tw] OR "Pulmonary Function Tests" [tw] OR "Test Pulmonary Function" [tw] OR "Test, Pulmonary Function" [tw] OR "Tests Pulmonary Function" [tw] OR "Function Tests Pulmonary" [tw] OR "Function Test Pulmonary" [tw] (50157)
- #15"breathing" [tw] (67189)
- #16"Ventilation, Pulmonary" [tw] OR "Ventilation Pulmonary" [tw] OR "Respiratory Airflow" [tw] OR "Ventilation Tests" [tw] OR "Ventilation Test" [tw] OR "Tests Ventilation" [tw] OR "Test Ventilation" [tw] OR "Expiratory airflow" [tw] (618)

## Final set of concept 4

**E: 1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12 OR #13 OR #14 OR #15 OR #16**  
(826415)

## Final set of concepts for the research strategy on PUBMED

**#A AND #D AND #E AND (#B OR #C)** (1181)

## \*\*\* EMBASE \*\*\*

Concept 1: occupational exposure

Emtree (Embase subject headings) (number of articles)

- ✓ Population exposure (4053)
- ✓ Dust exposure (3728)
- ✓ Environmental exposure (97593)
- ✓ Occupational exposure (75554)
- ✓ Air monitoring (8176)

**#1** ('occupational exposure'/exp OR 'occupational exposure') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (22 291)

**#2** ('environmental exposure'/exp OR 'environmental exposure') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (19738)

**#3** ('population exposure'/exp OR 'population exposure') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (1088)

**#4** ('dust exposure'/exp OR 'dust exposure') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (1539)

**#5** ('air monitoring'/exp OR 'air monitoring') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (540)

## Final set of concept 1

**A: #1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5** (41755)

Concept 2: air pollutants

Emtree:

- ✓ Air pollutant (67584)
- ✓ Particulate Matter (35144)
- ✓ Air pollution (145268)
- ✓ Exhaust gas (17891)
- ✓ Particle size (142774)
- ✓ Airborne particle (6932)
- ✓ Aerosols (51446)
- ✓ Dust (33299)
- ✓ Nanoparticles (134118)
- ✓ Black carbon (1555)
- ✓ Smoke (12186)
- ✓ Soot (2736)
- ✓ Fossil fuel (4582)

**#1** 'air pollutant\*' AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (3286)

**#2** ('particulate matter'/exp OR 'particulate matter') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (3950)



- #3 ('air pollution'/exp OR 'air pollution') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (11156)
- #4 ('exhaust gas'/exp OR 'exhaust gas') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (1226)
- #5\* ('particle size\*' OR 'particle size') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (4676)
- #6'airborne particle\*' AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (649)
- #7 'aerosol\*' AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (5726)
- #8 ('dust\*' OR 'dust') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (17108)
- #9 'nanoparticle\*' AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) (134118)
- #10 'ultrafine particle\*' OR 'ultrafine particle matter' OR 'fine particle\*' OR 'ambient ultrafine particle\*' OR 'ufp' OR 'ufpm' (9264)
- #11 ('black carbon'/exp OR 'black carbon') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) (2459)
- #12 ('smoke'/exp OR 'smoke') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (17112)
- #13 ('soot'/exp OR 'soot') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (200)
- #14 'fossil fuel\*' AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) (4518)

Final set of concept 2:

**B:** #1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 (178172)

**C:** #11 OR #12 OR #13 OR #14 (24074)

Concept 3: taxi drivers

Emtree:

- ✓ Car driving (23441)
- ✓ Car (13395)
- ✓ Traffic and transport (204068)

- #1 'car\*driving' AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (6066)
- #2 ('car'/exp OR 'car') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (13395)
- #3('traffic and transport'/exp OR 'traffic and transport') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (51074)
- #4'transit worker\*' OR 'taxi driver\*' OR 'taxi' OR 'professional driver\*' OR 'urban taxi driver\*' OR 'cab driver\*' OR 'commuter\*' OR 'commute' (3004)

Final set of concept 3:

**D:** #1 OR #2 OR #3 OR #4 (51074)

Concept 4: respiratory health

Emtree:

- ✓ Respiratory tract disease (2365730)
- ✓ Spirometry (17272)
- ✓ Occupational lung disease (29552)

#1 ('respiratory tract disease'/exp/dm\_co,dm\_di,dm\_ep,dm\_et,dm\_pc OR 'respiratory tract disease') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) (2365730)  
#2('spirometry'/exp OR 'spirometry') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) AND ([adolescent]/lim OR [young adult]/lim OR [adult]/lim OR [middle aged]/lim OR [aged]/lim OR [very elderly]/lim) (17272)  
#3('occupational lung disease'/exp/dm\_co,dm\_di,dm\_ep,dm\_et,dm\_pc OR 'occupational lung disease') AND ([article]/lim OR [article in press]/lim OR [short survey]/lim) AND ([english]/lim OR [french]/lim) (6741)

Final set of concept 4:  
E: #1 OR #2 OR #3 (440361)

**Final set of concepts for the research strategy on EMBASE**  
#A AND #D AND #E AND (#B OR #C) (257)

\*\*\* GOOGLE SCHOLAR \*\*\*

#1 in-vehicle exposure (Respiratory Function Test OR Spirometry OR lung Disease) (automobile OR automobile Driving OR Transit worker OR taxi driver OR professional driver OR Commuter OR commute) (carbon black OR black carbon OR soot OR Ultrafine OR Ultrafine particulate matter OR ultrafine particle OR UFP OR UFPM) (296)

**Annexe 2.** Critères d'éligibilité, revue systématique.**APPENDIX B****Selection procedure****\*\*\* TITLE AND ABSTRACT SCREENING GUIDE \*\*\***

1. Is article language: *English or French*?
  - No → Exclude
  - Yes or uncertain → Get full text
  
2. Is the study: *observational or semi-experimental*?
  - No → Exclude
  - Yes or uncertain → Get full text
  
3. Is study population: *taxi drivers or commuters by taxi*?
  - No → Exclude
  - Yes or uncertain → Get full text
  
4. Report: *a short term health impact*?
  - No → Exclude
  - Yes or uncertain → Get full text
  
5. Report on respiratory outcome of interest: *lung function or respiratory symptoms*?
  - No → Exclude
  - Yes or uncertain → Get full text
  
6. Report on exposition outcome of interest: *in-vehicle levels of pollutants*?
  - No → Exclude
  - Yes or uncertain → Get full text

**Annexe 3. Échelles de qualité, revue systématique.****APPENDIX C****Quality assessment**

\*\*\* Adjusted Newcastle-Ottawa Quality Assessment Scale (NOS) for expology studies \*\*\*

**SELECTION:** (Maximum 2 stars)

1) Representativeness of the sample:

- a) Truly representative of the average in the target population \* (all subjects or random sampling)
- b) Somewhat representative of the average in the target population \* (non-random sampling)
- c) Selected group of users
- d) No description of the sampling strategy

2) Sources of heterogeneity:

- a) Sources of heterogeneity were consistent in the transport modes [e.g. ventilation standards, type of car, windows status and fuel type] \*
- b) Some of the transport mode(s) characteristics were used or described \*
- c) No description of the transport modes characteristics

**COMPARABILITY:** (Maximum 3 stars)

1) Background and meteorological conditions:

- a) Background concentration of the pollutants/meteorological conditions, while measurements were performed, are provided or used for measurements standardization \*
- b) Either background concentration of the pollutants or meteorological conditions, while measurements were performed, are provided or used for measurements standardization \*
- c) Not measured or not provided.

2) Commuting time standards (start time and iterations)

- a) All the pollutant (s) were measured at the same time in the transport mode (s) \*
- b) No description

3) Route(s) standardized (same route followed by all the modes)

- a) Fixed route(s) followed by all the mode (s) of transport \*
- b) The fixed route(s) were not followed by all the mode (s), but were representative of the real condition \*
- c) No description

**OUTCOME:** (Maximum 4 stars)

1) Ascertainment of exposure:

- a) Validated measurement tool (s) (e.g. devices) or they were described precisely \*
- b) No description of the measurement tool.

2) Measure repetition

- a) The exposure (s) was assessed more than once over time \*
- b) The exposure (s) was assessed only one time

3) Ascertainment of outcome

- a) Sampling, device operation and analysis of the samples were performed consistently across all mode (s) of transport to measure air pollutant (s) \*
- b) No description

4) Sample size and dispersion measurements

- a) Average or total trip time and/or number of trips/samples or dispersion data for summary measurements reported for mode(s) of transport/ pollutant(s)\*
- b) Incomplete reporting of trip time or number of trips/samples for the mode(s) of transport

## \*\*\* Adjusted NOS for epidemiological studies \*\*\*

**SELECTION:** (Maximum 3 stars)1) Representativeness of the sample: (*Modesti et al. 2016*)

- a) Truly representative of the average in the target population \* (all subjects or random sampling)
- b) Somewhat representative of the average in the target population \* (non-random sampling)
- c) Selected group of users.
- d) No description of the sampling strategy.

2) Sample size: (*Modesti et al. 2016*)

- a) Justified and satisfactory \*
- b) Not justified.

3) Demonstration that outcome of interest was not present at start of study (no respiratory/allergic diseases): (*NOS standard*)

- a) Yes \*
- b) No

**COMPARABILITY:** (Maximum 1 stars)1) The subjects in different outcome groups are comparable, based on the study design or analysis (*NOS standard*)

- a) The study controls for the age, for smoking status or working characteristics (duration of the job, transit time per trip, number of trips per day, etc.) \*
- b) No control of confounding factors

**OUTCOME:** (Maximum 3 stars)1) Assessment of the outcome: (*NOS standard*) \*

- a) Physician's diagnosis OR objective measurements based on recommendations (e.g. lung function) \*
- b) Validated measurement tool (e.g. questionnaire) \*
- c) Non-validated measurement tool, but the tool is available or described \*
- d) No description.

2) Relationship outcome-exposure:

- a) Relationship between exposure(s) and outcome(s) was assessed \*
- b) No assessment of the relationship

3) Statistical test: (*Modesti et al. 2016*)

- a) The statistical test used to analyze the data is clearly described and appropriate, and the measurement of the association is presented, including confidence intervals and the probability level (p-value). \*
- b) The statistical test is not appropriate, not described or incomplete.

Table C.2

Quality assessment of the epidemiological studies based on NOS

| Epidemiological studies      | Selection<br>(maximum 3 stars) |                |                        | Comparability<br>(maximum 1<br>stars) | Outcome<br>(maximum 3 stars) |                                   |                   |
|------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|                              | Representativeness             | Sample<br>size | Outcome of<br>interest | Confounding<br>factors                | Ascertainment of<br>outcome  | Ascertainment<br>outcome-exposure | Statistical tests |
| Arphorn <i>et al.</i> 2017   | b*                             | b              | b                      | a *                                   | a*                           | a*                                | a*                |
| Bener <i>et al.</i> 1998     | c                              | b              | b                      | a *                                   | a,b*                         | b                                 | b                 |
| Ekpenyong <i>et al.</i> 2012 | c                              | b              | a*                     | a *                                   | a,b*                         | b                                 | a*                |

NOS: Newcastle Ottawa Scale.

## \*\*\* Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Checklist for Quasi-Experimental Studies \*\*\*

1. Is it clear in the study what is the 'cause' and what is the 'effect' (i.e. there is no confusion about which variable comes first)?
2. Were the participants included in any comparisons similar?
3. Were the participants included in any comparisons receiving similar treatment/care, other than the exposure or intervention of interest?
4. Was there a control group?
5. Were there multiple measurements of the outcome both pre and post the intervention/exposure?
6. Was follow up complete and if not, were differences between groups in terms of their follow up adequately described and analyzed?
7. Were the outcomes of participants included in any comparisons measured in the same way?
8. Were outcomes measured in a reliable way?
9. Was appropriate statistical analysis used?

**Table C.3**

Quality assessment of the quasi-experimental studies based on JBI critical appraisal tool

| Items | Yu <i>et al.</i> (2018) | Namdeo <i>et al.</i> (2014) | Wu <i>et al.</i> (2013) | Huang <i>et al.</i> (2012) | Kaur <i>et al.</i> Nieuwenhuijsen. (2009) | Chan <i>et al.</i> (2003) | Lau <i>et al.</i> Chan. (2003) | Chan <i>et al.</i> (2002) | Leung <i>et al.</i> Harrison. (1999) |
|-------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1     | Y                       | Y                           | NA                      | NA                         | NA  | NA                        | NA                             | NA                        | NA                                   |
| 2     | Y                       | Y                           | Y                       | Y                          | Y   | Y                         | Y                              | Y                         | Y                                    |
| 3     | Y                       | Y                           | Y                       | Y                          | Y   | Y                         | Y                              | N                         | Y                                    |
| 4     | NA                      | NA                          | NA                      | NA                         | NA  | NA                        | NA                             | NA                        | NA                                   |
| 5     | Y                       | Y                           | Y                       | Y                          | Y   | Y                         | Y                              | Y                         | Y                                    |
| 6     | Y                       | NA                          | NA                      | NA                         | NA  | NA                        | NA                             | NA                        | Y                                    |
| 7     | Y                       | Y                           | Y                       | Y                          | N   | Y                         | Y                              | Y                         | NA                                   |
| 8     | Y                       | Y                           | Y                       | Y                          | Y   | Y                         | Y                              | Y                         | Y                                    |
| 9     | Y                       | Y                           | Y                       | Y                          | N   | Y                         | Y                              | Y                         | Y                                    |

JBI: Joanna Briggs Institute; N: No; NA: not applicable; Y: Yes.

**Table C.4**

Quality assessment of all the studies included

| Studies (authors, year)                 | Quality assessment Scale        | Total scores |     |       | Quality*     |
|---|---------------------------------|--------------|-----|-------|--------------|
| Arphorn <i>et al.</i> 2017              | NOS for epidemiological studies | 5/7          | 5/7 | 71%   | Fair quality |
| Bahrami <i>et al.</i> 2007              | NOS for expology studies        | 5/9          | 5/9 | 55.5% | Fair quality |
| Bener <i>et al.</i> 1998                | NOS for epidemiological studies | 3/7          | 2/7 | 29 %  | Poor quality |
| Chan <i>et al.</i> 2002                 | JBI Critical Appraisal for QES  | 5/9          | 5/6 | 83%   | Good quality |
| Chan <i>et al.</i> 2003                 | JBI Critical Appraisal for QES  | 6/9          | 6/6 | 100 % | Good quality |
| Ekpenyong <i>et al.</i> 2012            | NOS for epidemiological studies | 4/7          | 4/7 | 57%   | Fair quality |
| Gany <i>et al.</i> 2017                 | NOS for expology studies        | 5/9          | 5/8 | 63%   | Fair quality |
| Golhosseini <i>et al.</i> 2011          | NOS for expology studies        | 6/9          | 6/8 | 75%   | Fair quality |
| Han <i>et al.</i> 2005                  | NOS for expology studies        | 4/9          | 4/9 | 44%   | Fair quality |
| Huang <i>et al.</i> 2012                | JBI Critical Appraisal for QES  | 6/9          | 6/6 | 100%  | Good quality |
| Jo <i>et al.</i> 2001                   | NOS for expology studies        | 6/9          | 6/9 | 67%   | Fair quality |
| Kaur <i>et al.</i> Nieuwenhuijsen. 2009 | JBI Critical Appraisal for QES  | 4/9          | 4/6 | 67%   | Fair quality |
| Lau <i>et al.</i> Chan. 2003            | JBI Critical Appraisal for QES  | 6/9          | 6/6 | 100%  | Good quality |
| Leung <i>et al.</i> Harrison. 1999      | JBI Critical Appraisal for QES  | 6/9          | 6/6 | 100%  | Good quality |
| Lewné <i>et al.</i> 2006                | NOS for expology studies        | 8/9          | 8/9 | 89%   | Good quality |
| Miller-Schulze <i>et al.</i> 2010       | NOS for expology studies        | 6/9          | 6/9 | 67%   | Fair quality |
| Namdeo <i>et al.</i> 2014               | JBI Critical Appraisal for QES  | 7/9          | 7/7 | 100%  | Good quality |
| Son <i>et al.</i> 2004                  | NOS for expology studies        | 4/9          | 4/6 | 67%   | Fair quality |
| Wu <i>et al.</i> 2013                   | JBI Critical Appraisal for QES  | 7/9          | 6/6 | 100%  | Good quality |
| Yo <i>et al.</i> 2018                   | JBI Critical Appraisal for QES  | 8/9          | 8/8 | 100%  | Good quality |
| Zagury <i>et al.</i> 2000               | NOS for expology studies        | 8/9          | 8/9 | 89%   | Good quality |

QES: Quasi-experimental studies; NOS: Newcastle Ottawa Scale; JBI: Joanna Briggs Institute.

Note: \* good quality:  $\geq 78\%$ ; fair quality: [44-77] %; poor quality:  $\leq 43\%$

**Annexe 4.** Lettre d'invitation, étude PUF-TAXI princeps à Paris.

# INVITATION

## PARTICIPATION À L'ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE « PUF-TAXI »



Département Produits de Santé et Santé publique  
EA-4064 Epidémiologie environnementale :  
impact sanitaire des pollutions  
*Pr Isabelle Momas*  
Responsable scientifique

Unité de consultation  
Pathologies Professionnelles et Environnementales  
Hôpital Hôtel-Dieu  
*Dr Lynda Bensefa-Colas*  
Coresponsable scientifique

Madame / Monsieur,

L'équipe de recherche en épidémiologie environnementale de la Faculté de Pharmacie de Paris (Université Paris Descartes) vous invite à participer à une étude épidémiologique qui se déroule actuellement en région parisienne.

Cette étude, parmi les premières effectuées en France, vise à estimer l'exposition des professionnels de la conduite automobile aux particules ultrafines (PUF) et aux particules issues des processus de combustions (carbone suie - CS), mesurée sur le lieu de travail (en l'occurrence dans le véhicule utilisé comme taxi), tout au long d'une journée « classique » de travail.

La participation à cette étude consiste seulement à garder une mallette contenant des capteurs portatifs de mesure des polluants de l'air, un thermomètre-hygromètre (pour mesurer la température et l'humidité) et un GPS, pendant une journée de travail ( $\pm 11$  heures), à l'intérieur de votre taxi et à répondre à trois questionnaires et cela à deux reprises, à 6 mois d'intervalle.

La mallette vous sera remise par un membre de notre équipe, le matin, au début de votre journée de travail et récupérée ensuite, à la fin de vos heures de travail. Deux tests consistant à souffler dans un spiromètre portatif pour mesurer vos capacités respiratoires seront également effectués, au début et à la fin de votre journée de travail. Les deux rendez-vous ne prendront pas plus de 15 minutes, au début et 20 minutes, à la fin de votre programme et auront lieu devant la Faculté de Pharmacie de Paris (**4, Avenue de l'Observatoire, 75006 Paris**).

Vous bénéficierez d'une consultation médicale gratuite (examen clinique, questionnaire médical standardisé, épreuves fonctionnelles respiratoires et tests cutanés allergologiques), d'une durée d'environ 1h-1h30, dans l'Unité de Consultation des pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires Paris Centre – Site Hôtel-Dieu (**1, Place du Parvis Notre-Dame, 75004 Paris** - possibilité de stationnement gratuit) et vous percevrez un dédommagement de 50 euros.

Les mesurages effectués permettront de connaître votre exposition à la pollution liée au trafic routier et son impact sur votre santé respiratoire.

Les connaissances acquises grâce à votre aide précieuse, permettront d'améliorer les pratiques, en vue de minimiser les expositions dans l'habitat des véhicules et d'élaborer des stratégies de prévention pour créer des environnements plus sains et sécuritaires.

**Si vous êtes intéressé(e) à participer, n'hésitez pas à contacter la Coordinatrice logistique de l'étude joignable du lundi au vendredi de 9h00 à 13h00 et de 14h00 à 18h00, à l'adresse suivante :**

*Melissa HACHEM, Doctorante en Santé Publique*  
*Faculté de Pharmacie de Paris (EA 4064)*  
*4, Avenue de l'Observatoire 75006 – PARIS*  
*Tél. : 07 77 97 73 79*  
*E-Mail: [melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr](mailto:melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr)*

**Lors de votre appel, la Coordinatrice logistique de l'étude, vous donnera plus d'informations, répondra à vos questions éventuelles et prendra avec vous, les deux rendez-vous (le premier, pour la consultation médicale, le second, pour le mesurage des expositions).**

Nous vous remercions vivement pour votre participation à cette recherche.

**Pr Isabelle Momas**  
Responsable scientifique de l'étude « PUF-TAXI »

**Dr Lynda Bensefa-Colas**  
Coresponsable scientifique de l'étude « PUF-TAXI »

## Annexe 5. Brochures d'informations, étude PUF-TAXI princeps à Paris.



### PARTICIPER AU PROJET « PUF-TAXI »

Si vous êtes intéressé (e) à participer, n'hésitez pas à contacter la Coordinatrice logistique de l'étude. Elle vous donnera plus d'informations et répondra à vos éventuelles questions.

**NOUS REMERCIONS VIVEMENT TOUTES LES PERSONNES QUI ACCEPTERONT DE PARTICIPER A CETTE RECHERCHE.**

### Vous pensez que votre véhicule est un bouclier anti-pollution ? Vous vous trompez

Les prises d'air sont très proches des pots d'échappement. Situé au cœur de la circulation vous subissez la pollution liée au trafic.

### Souhaitez-vous connaître les niveaux de polluants auxquels vous êtes exposés ?

Le projet « PUF- TAXI » ne vous donne pas seulement la possibilité de connaître votre niveau d'exposition aux polluants du trafic routier, mais permet aussi d'étudier son impact sur votre santé respiratoire.



#### VOTRE CONTACT :

Mme **Melissa HACHEM**  
Coordinatrice logistique

Tél : 07 77 97 73 79

Courriel : [melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr](mailto:melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr)

Du lundi au vendredi de  
9h00 à 13h00  
et de  
14h00 à 18h00

#### Projet « PUF-TAXI »

Epidémiologie  
environnementale :  
impact sanitaire des pollutions

Faculté de Pharmacie de Paris  
4 Avenue de l'Observatoire  
75006 Paris

Pr Isabelle Momas  
Responsable scientifique  
Dr Lynda Benssef-Colis  
Co-responsable scientifique



## Projet « PUF-TAXI »

Exposition professionnelle des chauffeurs de taxi aux particules ultrafines et au carbone suie : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire



### Vous serez informés en priorités !

Vous serez communiqués :

- les résultats de la consultation médicale et en cas de nécessité, vous serez orienté vers des services appropriés ;
- les résultats relatifs à tous les mesurages auxquels vous avez participé (concentrations des polluants mesurés dans l'habitacle de votre véhicule et résultats des tests respiratoires).

A l'issue de la recherche, vous serez en outre informé(e) des résultats globaux.

**Les connaissances acquises grâce à votre aide, permettront d'améliorer les pratiques, en vue de minimiser les expositions dans l'habitacle des véhicules et d'élaborer des stratégies de prévention pour créer des environnements plus sains et sécuritaires**



### C'est très simple !

Votre participation à cette étude consiste seulement à garder une mallette contenant des capteurs portatifs de mesure de polluants de l'air, un thermomètre-hygromètre (pour mesurer la température et l'humidité) et un GPS, pendant une journée de travail, à l'intérieur de votre taxi et à répondre à trois questionnaires et cela à deux reprises, à 6 mois d'intervalle.

### Vous êtes chanceux !

Vous bénéficierez d'une consultation médicale gratuite (examen clinique, questionnaire médical standardisé, épreuves fonctionnelles respiratoires et tests cutanés allergologiques), dans l'Unité de Consultation des pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires Paris Centre – Site Hôtel-Dieu et vous percevrez un dédommagement de 50 euros.





## BROCHURE D'INFORMATION

# PROJET « PUF-TAXI »



**Adressée aux professionnels de la conduite automobile**  
Mesurage des expositions professionnelles des chauffeurs de taxi à la pollution de l'air liée au trafic routier (particules ultrafines – PUF, carbone suie – CS, monoxyde de carbone - CO et dioxydes d'azote – NO<sub>2</sub>) et détermination de leur impact sur la santé respiratoire



### VOTRE CONTACT :

Mme Melissa HACHEM

Coordinatrice logistique de l'étude

Téléphone :  
07 77 97 73 79

E-mail :  
melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr

Faculté de Pharmacie de Paris  
4 Avenue de l'Observatoire  
75006 Paris

Du lundi au vendredi de  
9h00 à 13h00  
et de  
14h00 à 18h00

Epidémiologie  
environnementale :  
impact sanitaire des  
pollutions

Pr Isabelle Momas,  
Responsable scientifique

Dr Lynda Bensefa-Colas,  
Coresponsable scientifique

# BROCHURE D'INFORMATION

|  |     |
|--|-----|
| L'avant-propos de la Responsable scientifique du Projet .....  | 3   |
| Instructions .....   | 4   |
| 1. Détails concernant votre participation à cette étude .....  | 4   |
| 2. Formulaire de consentement et autres questionnaires .....   | 6   |
| 2.1. Note d'information et formulaire de consentement .....  | 6   |
| 2.2. Questionnaire « conducteur – véhicule » .....   | 6   |
| 2.3. Questionnaire « budget espace-temps-activités » .....   | 7   |
| 2.4. Questionnaire « relevé des symptômes » .....  | 7   |
| 3. Appareils de mesure contenus dans la mallette .....   | 7   |
| 3.1. Appareils de mesure de la pollution particulaire de l'air :<br>capteurs microAeth® et DiSCmini® ..... | 7-8 |
| 3.2. GPS (Global Positioning System) .....   | 8   |
| 3.3. Capteur de NO <sub>2</sub> et de CO .....   | 8   |
| 3.4. Thermomètre-hygromètre et capteur de CO <sub>2</sub> .....  | 9   |
| 4. Appareils pour les tests respiratoires .....  | 9   |
| 4.1. Spiromètre portatif .....   | 9   |
| 4.2. Analyseur de CO dans l'air expiré .....   | 9   |
| Quelques consignes .....   | 10  |

*Madame / Monsieur,*

Nous vous remercions d'avoir accepté de participer à cette étude qui se déroule en ce moment à Paris, coordonnée par l'Unité d'épidémiologie environnementale (EA 4064) de la Faculté de Pharmacie de Paris (Université Paris Descartes), en collaboration avec le Service des pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires Paris Centre - Site Hôtel-Dieu.

Cette recherche est parmi les premières effectuées en France, qui vise à estimer l'exposition des professionnels de la conduite automobile aux particules ultrafines (PUF) et aux particules issues des processus de combustions (carbone suie - CS), sur le lieu de travail (en l'occurrence le véhicule que vous utilisez comme taxi), pendant une journée « classique » de travail. Pour vous, il s'agira seulement de garder une mallette contenant des capteurs de pollution de l'air pendant une journée de travail ( $\pm$  11 heures), dans l'habitacle de votre taxi et de répondre à trois questionnaires et cela à deux reprises, à 6 mois d'intervalle. Au début et la fin de cette journée de travail, un technicien vous demandera d'effectuer deux tests respiratoires à l'aide d'appareils portatifs. **Cette étude permettra de connaître votre exposition à la pollution liée au trafic routier et son impact sur votre santé respiratoire.**

Tous les participants bénéficieront d'une consultation médicale gratuite dans l'Unité de Consultation des pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires Paris Centre – Site Hôtel-Dieu et percevront un dédommagement de 50 euros.

Les connaissances acquises grâce à votre aide, permettront d'élaborer des stratégies de prévention pour créer des environnements plus sains et sécuritaires et d'améliorer les pratiques, en vue de minimiser les expositions dans l'habitacle des véhicules.

Si vous avez des questions, des commentaires ou des suggestions au cours de la période d'étude, n'hésitez pas à nous contacter.

Votre participation à cette recherche est entièrement libre et volontaire. Vous pouvez vous retirer à tout moment sans justification et sans conséquences quelconques pour vous.

Le fichier informatique utilisé pour cette recherche a été autorisé par la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL). Conformément à la loi 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification de vos données auprès du Pr Isabelle Momas. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées. Votre dossier médical restera confidentiel et ne pourra être consulté que sous la responsabilité du médecin traitant ainsi que par des personnes dûment mandatées par l'AP-HP pour la recherche et soumises au secret professionnel. Vous pouvez également accéder par l'intermédiaire du Pr Isabelle Momas à l'ensemble des vos données recueillies lors de cette recherche, en application des dispositions de l'article L 1111-7 du Code de la Santé Publique.

Les résultats de la consultation médicale vous seront communiqués et en cas de nécessité vous serez orienté vers les services appropriés. Vous recevrez également, les résultats relatifs à tous les mesurages auxquels vous avez participé (concentrations des polluants mesurés dans l'habitacle de votre véhicule et résultats des tests respiratoires). A l'issue de la recherche et après analyse des données relatives à cette recherche, vous serez en outre informé(e) des résultats globaux, par l'intermédiaire de la Responsable scientifique du projet.

Nous vous remercions vivement pour votre précieuse collaboration.

**Pr Isabelle MOMAS**  
**Responsable scientifique du Projet**

# INSTRUCTIONS

## 1. DETAILS CONCERNANT VOTRE PARTICIPATION A CETTE ETUDE

Vous venez de vous entretenir au téléphone avec la Coordinatrice de l'étude qui vous a présenté le projet et a demandé votre accord de participation.

En cas d'accord, la Coordinatrice de l'étude vous proposera des dates et vérifiera vos disponibilités :

**1/** pour réaliser d'abord, la **consultation médicale gratuite** dans l'Unité de consultation des pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires Paris Centre (Site Hôtel-Dieu : 1, Place du Parvis Notre-Dame, 75004 Paris) - possibilité de stationnement gratuit. Elle vous fournira tous les renseignements nécessaires liés à cet examen de santé qui durera environ 1h-1h30

et

**2/** pour convenir d'une date – d'un jour dans les deux semaines qui suivront la consultation médicale (le mardi ou le jeudi) – pour effectuer les **mesurages des expositions à la pollution de l'air à l'intérieur de votre véhicule** (taxi).

### CONSULTATION MEDICALE (SERVICE DES PATHOLOGIES PROFESSIONNELLES ET ENVIRONNEMENTALES)

Après avoir lu la **Note d'information** et signé le **Consentement de participation** à cette étude, votre état de santé sera étudié par :

- **examen clinique** ;
- **questionnaire médical standardisé** administré face-à-face par le médecin ;
- **explorations fonctionnelles respiratoires (EFR)**, pour mesurer la capacité vitale forcée (CVF), le volume expiratoire maximal par seconde (VEMS), le rapport VEMS/CVF, le débit expiratoire médian (DEM<sub>25-75</sub>) et le débit expiratoire de pointe (DEP) ; ces mesures seront répétées après inhalation d'un bronchodilatateur ;
- **fraction expirée du monoxyde d'azote (FeNO)** qui est le reflet de l'inflammation bronchique chez le sujet asthmatique et/ou allergique ;
- **tests cutanés allergologiques** qui permettent le diagnostic de la sensibilisation allergénique, en utilisant les extraits allergéniques du laboratoire *Stallergènes Greer* (France); une douzaine des pneumallergènes les plus fréquents (acariens, chien, chat, pollens de graminées, bétulacées, armoise, *Alternaria*) seront testés.

**N.B.** En cas de tests cutanés allergologiques positifs, une rougeur / sensation de démangeaisons transitoire peut apparaître à l'endroit testé, sur votre avant-bras, mais elle sera de courte durée.

Le médecin vous communiquera les résultats de votre bilan de santé.

4

## MESURAGES DES EXPOSITIONS A LA POLLUTION DE L'AIR LIEE AU TRAFIC ROUTIER

**LA PARTICIPATION** à cette étape de l'étude consiste à :

- **garder dans l'habitacle de votre véhicule (taxi), tout au long de votre journée de travail, une mallette** (dimensions : 17 x 20 x 30 cm) qui contient des appareils – capteurs de pollution atmosphérique, un GPS, ainsi qu'un thermomètre-hygromètre (pour mesurer la température et l'humidité) ;
- **compléter trois questionnaires** ;
- **souffler dans un spiromètre portatif et dans un analyseur de monoxyde de carbone, à 2 reprises** - au début et à la fin de votre journée de travail, en présence d'un technicien.

### LE DEROULEMENT :

- **Au début de votre journée de travail**

Lors de la conversation téléphonique, la Coordinatrice de l'étude vous a proposé un rendez-vous devant la **Faculté de Pharmacie de Paris (4, Avenue de l'Observatoire, 75006 Paris)**, lieu facilement accessible et où vous pouvez stationner, le matin (heure à préciser), au début de votre journée de travail. Cette rencontre ne prendra pas plus de 15 minutes. À cette occasion, la Coordinatrice de l'étude vous apportera un complément d'information, vous confiera la mallette, les trois questionnaires à remplir et vous effectuera à l'aide d'appareils portatifs, une mesure de la fonction respiratoire et une mesure du niveau de CO dans l'air expiré.

La mallette avec les appareils en état de marche sera installée dans votre voiture, sur le siège passager, à côté de vous. Elle ne doit pas être touchée / déplacée jusqu'à la fin de la période d'enregistrements et c'est seulement la Coordinatrice de l'étude qui la manipulera pour la récupérer, afin de ne pas altérer les enregistrements.

Pendant la durée des enregistrements (votre journée de travail), vous devrez effectuer normalement vos déplacements. Votre journée doit se dérouler comme d'habitude, sans aucun changement

À tout moment, en cas de besoin, vous pouvez communiquer par téléphone, avec la Coordinatrice de l'étude.

- **A la fin de votre journée de travail**

La récupération du matériel se fera au même endroit que lors de la prise en charge, le matin. Cette 2ème rencontre durera environ **20 minutes**. La Coordinatrice de l'étude s'assurera que les trois *Questionnaires* ont été entièrement complétés ; elle récupérera ces documents et la mallette et vous demandera d'effectuer une 2ème mesure de la fonction respiratoire et du niveau de CO dans l'air expiré, à l'aide toujours des mêmes appareils portatifs. Ce moment correspondra à la fin de votre participation à l'**étape 1** de l'étude.

**N.B.** La participation à cette étape de l'étude est sans aucun risque pour vous, ou pour les passagers montés dans votre taxi, aucun effet indésirable n'étant donc à craindre, ni pour vous, ni pour vos clients.

### **A plus long terme ...**

**Dans les deux mois qui suivent votre participation à l'étude**, la Coordinatrice de l'étude vous fera parvenir par courrier électronique, les résultats des enregistrements réalisés dans l'habitacle de votre voiture et ceux des tests respiratoires.

**Six mois plus tard**, la Coordinatrice de l'étude vous contactera à nouveau pour prendre rendez-vous avec vous (**étape 2** de l'étude), dans le but de refaire, pendant une journée, les mêmes mesurages des expositions et des tests respiratoires à l'aide d'appareils portatifs.

**A l'issue de cette recherche**, la Responsable scientifique du Projet vous enverra une compilation des résultats sous forme de note informative.

**Dans les pages qui suivent, vous trouverez des informations supplémentaires concernant les questionnaires et vous pouvez visualiser le contenu de la mallette.**

**MERCI D'EN PRENDRE CONNAISSANCE !**

## **2. FORMULAIRE DE CONSENTEMENT ET AUTRES QUESTIONNAIRES**

**Prenez, s'il vous plaît, le temps de bien remplir ces documents, à fur-et-à-mesure !**

### **2.1. Note d'information et formulaire de consentement**

- ✓ **À lire et à signer avant le début de la consultation médicale et à remettre au médecin**

La note d'information est une synthèse qui présente l'objectif et le déroulement de l'étude ; les bénéfices / les contraintes et les risques éventuels liés à votre participation à cette étude et vous informe sur vos droits relatifs à votre participation. Le formulaire de consentement permet à l'équipe de recherche de recueillir votre consentement de participation à cette étude (consultation médicale et mesurages des expositions à la pollution de l'air liée au trafic routier) et d'avoir votre accord pour pouvoir utiliser les données ainsi enregistrées et rendues « non identifiantes », à des fins d'étude.

### **2.2. Questionnaire « conducteur – véhicule »**

- ✓ **À compléter avant la fin de la journée de travail, le jour des mesurages des expositions**

Ce bref questionnaire recueille une série d'informations concernant :

- 1/ les caractéristiques du véhicule utilisé comme taxi : marque de voiture, type de moteur, capacité, année de fabrication, année d'achat de la voiture, aménagements particuliers, climatisation et/ou chauffage et type de filtres utilisés et
- 2/ les habitudes du chauffeur, en terme de fréquence des contrôles techniques, des changements des filtres et du nettoyage de la moquette ...

## 2.3. Questionnaire « budget espace-temps-activités »

- ✓ **À compléter impérativement à fur-et-à-mesure, le jour des mesurages des expositions !**

Ce questionnaire renseigne d'une façon détaillée :

1/ sur l'emploi du temps du chauffeur de taxi (l'heure du début et de la fin de chaque trajet effectué avec un client, les endroits où le client est monté et descendu, les éventuels trajets effectués par le chauffeur à titre personnel, les temps d'arrêt et autres pauses...);

2/ sur sa conduite automobile lors de ses trajets/arrêts (vitesse moyenne des déplacements, arrêt du moteur pendant le stationnement...) et ses pratiques/comportements à chaque trajet/arrêt [ouverture de(s) fenêtre(s), utilisation de la climatisation ou du chauffage, tabagisme actif ou passif dans la voiture, usage d'aérosols désodorisants ou de nettoyage, recours à un aspirateur pour le nettoyage de la moquette, etc.].

## 2.4. Questionnaire « relevé des symptômes »

- ✓ **À compléter avant la fin de la journée de travail, le jour des mesurages des expositions**

Ce questionnaire recueille une série d'informations concernant vos éventuels symptômes respiratoires et allergiques liés à la pollution de l'air, ressentis en général et en particulier, durant la journée des mesurages.

## 3. APPAREILS DE MESURE CONTENUS DANS LA MALLETTE

### 3.1. Appareils de mesure de la pollution particulaire de l'air : capteurs microAeth® et DiSCmini®

Les deux appareils de mesure de la pollution atmosphérique prennent chacun une mesure par minute et toutes ces données sont stockées sur la carte-mémoire de l'appareil.

#### A) Appareil *microAeth Model AE51* (éthalomètre)

Cet appareil mesure la concentration de carbone suie, exprimée en nanogrammes par mètre cube d'air aspiré (ng/m<sup>3</sup>)

Le microAeth® (fig. 1) pèse 250 g, mesure 11,7 x 6,6 x 3,8 cm et présente une autonomie d'environ 24h. L'appareil analyse la concentration en carbone suie (CS - particules carbonées produites pour la plupart par combustion : moteur diesel, chauffage, four à bois, feux de forêt, cigarette, etc.).



Fig. 1. Appareil "microAeth"

Les particules sont filtrées sur un média filtrant en quartz (fig. 2). Un photodétecteur mesure la quantité de lumière transmise (l'absorbance) ; plus des particules se déposent sur le filtre et plus la transmission de la lumière diminue. L'échantillonnage des particules et leur analyse se font en temps réel.



Fig. 2. Filtre en quartz pour "microAeth"  
(photo d'après le fabricant)

### B) Appareil DiSCmini (Diffusion Size Classifier miniature)

Cet appareil compte le nombre des particules ultrafines par centimètre cube d'air aspiré (pt/cm<sup>3</sup>)

Le DiSCmini® (fig. 3) a été mis au point récemment, à destination des professionnels. L'appareil pèse moins de 700 g, mesure 18 x 9 x 4 cm et dispose d'une autonomie d'environ 8h. L'appareil donne simultanément trois paramètres :

- 1/ le nombre des particules par centimètre cube d'air aspiré (pt/cm<sup>3</sup>),
- 2/ le diamètre moyen (modal) des particules (allant de 20 à 300 nanomètres) et
- 3/ la surface entrant en contact avec la muqueuse pulmonaire - appelée aussi surface de déposition pulmonaire - exprimée en micromètres carrés par cm<sup>3</sup> d'air.



Fig. 3. Appareil "DiSCmini"

### 3.2. GPS (Global Positioning System)

Cet appareil enregistre les informations spatio-temporelles liées à l'exposition

Le GPS enregistreur de données (Qstarz® BT-Q1000XT ; fig. 4) est également de petite taille (7,2 x 4,7 x 2 cm) et présente une autonomie de 42h. L'appareil est adapté aux déplacements en véhicule ; il suit les trajets effectués en continu, à l'aide des données de latitude et longitude. Les coordonnées GPS enregistrées peuvent être importées à l'aide du logiciel de l'appareil DiSCmini®, ce qui permet de les relier aux valeurs de PUF mesurées (au même moment) et de réaliser ainsi la cartographie des trajets, avec le niveau de pollution correspondant.



Fig. 4. Appareil "Qstarz BT-Q1000XT"  
(photo d'après le fabricant)

### 3.3. Capteur de NO<sub>2</sub> et de CO

Cet appareil mesure les niveaux de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et de monoxyde de carbone (CO) à l'intérieur du véhicule

Le capteur de NO<sub>2</sub> – CO (Gas-Pro® Crowcon ; fig. 6) pèse 310g mesure 4,3 x 13 x 8,4 cm et fonctionne sur batterie (autonomie de 125h). Les concentrations de NO<sub>2</sub> et de CO (ppm) sont mesurées à l'intérieur du véhicule et enregistrées en continu sur une carte USB, qui peut ensuite être lue sur ordinateur.



Fig. 6. Appareil "Gas-Pro Crowcon"  
(photo d'après le fabricant)



### 3.4. Thermomètre-hygromètre et capteur de CO2

Cet appareil mesure la température et l'humidité à l'intérieur du véhicule, ainsi que la concentration de dioxyde de carbone (CO2)

Le thermomètre-hygromètre et capteur de CO2 (Rotronic® CP11 ; fig. 5) pèse 290 g, mesure 7,7 x 4,2 x 23,4 cm et fonctionne sur batterie (autonomie de 50h). La température (°C), l'humidité (% humidité relative) et la concentration de CO2 (ppm) sont mesurées à l'intérieur du véhicule et enregistrées en continu sur une carte USB qui peut ensuite être lue sur ordinateur.



Fig. 5. Appareil "Rotronic CP11"  
(photo d'après le fabricant)

## 4. APPAREILS POUR LES TESTS RESPIRATOIRES

### 4.1. Spiromètre portatif

Cet appareil mesure et affiche les principaux paramètres d'évaluation respiratoire (CVF, VEMS, DEP, DEM25-75...)

Le **Spiromètre Spirobank II Basic® MIR** (fig. 7) est un appareil portatif (140 g ; 16 x 5,5 x 2,5 cm), avec port USB, capable d'évaluer la capacité pulmonaire d'un individu, de mesurer les changements de volume des poumons entre l'expiration et l'inspiration et de détecter des dysfonctionnements des voies respiratoires.

En pratique, la personne est assise au calme dans sa voiture et respire tranquillement. Une fois que l'appareil est prêt pour la mesure, la personne inspire profondément pour remplir ses poumons au maximum, puis expire très rapidement et totalement l'air inspiré, dans le tube cartonné (jetable) relié à l'appareil. L'expiration doit durer au moins 3 secondes et idéalement même 6 secondes. Ce test sera réalisé 2-3 fois de suite, en présence d'un membre de l'équipe de recherche.



Fig. 7. Spiromètre portatif "Spirobank II Basic"  
(photo d'après le fabricant)

### 4.2. Analyseur de CO dans l'air expiré

Cet appareil mesure et affiche le niveau de CO (en ppm), dans l'air expiré et celui de carboxyhémoglobine (HbCO) en % (CO fixé dans le sang)

L'analyseur portatif Smokerlyser® micro+™ (fig. 8) est un appareil de petite taille (200 g ; 14 x 7,5 x 3,4 cm), avec port USB. Son utilisation est simple et les résultats sont obtenus en moins de 20 secondes.

Il suffit de lancer le compte à rebours de 15 secondes, d'inspirer et de bloquer sa respiration et au 3ème bip, de souffler lentement pour vider complètement ses poumons dans l'appareil. Ce test sera réalisé aussi 2-3 fois de suite, en présence d'un membre de l'équipe de recherche.



Fig. 8. Analyseur de CO dans  
l'air expiré "micro+"  
(photo d'après le fabricant)

# QUELQUES CONSIGNES : TRES IMPORTANT !

**LA MALLETTE DOIT RESTER EN PERMANENCE SUR LE SIEGE PASSAGER, A COTE DE VOUS !**

**NE MANIPULEZ PAS LA MALLETTE (NE LA DEPLACEZ PAS : NE LA SORTEZ PAS DE LA VOITURE, NE LA METTEZ PAS « PAR TERRE » ET NE L'OUVREZ PAS) !**

**NE PAS POSER D'AUTRES OBJETS PAR-DESSUS LA MALLETTE !**

**NE PAS OBSTRUER LES CAPTEURS PAR DES OBJETS QUELCONQUES (VETEMENTS, SACS, JOURNAUX, ETC.) ! VOUS RISQUEREZ DE FAUSSER LA COLLECTE DES DONNEES ET MEME D'INTERROMPRE LES ENREGISTREMENTS !**

**SOYEZ VIGILANT POUR NE PAS VOUS FAIRE VOLER LA MALLETTE !**

**N'HESITEZ PAS A NOUS TELEPHONER SI VOUS AVEZ DES  
QUESTIONS !**

*L'équipe de recherche vous remercie vivement pour votre participation !*

Annexe 6. Appel à participation dans les magazines, étude PUF-TAXI princeps à Paris.



www.france-gestion.fr

> Extrait K ou Kbis, comment l'obtenir ?

Source : Service-Public-Pro.fr

Toutes les entreprises et tous les professionnels exerçant une activité commerciale ont l'obligation de s'inscrire au registre du commerce et des sociétés (RCS) lors de leur création. Pour attester de cette inscription, il est nécessaire d'obtenir l'extrait K ou Kbis auprès du tribunal de commerce. On vous explique toutes les démarches à suivre.

> Extrait K ou Kbis, de quoi parle-t-on ?

L'extrait K ou Kbis est le document qui atteste de l'immatriculation d'une société commerciale au registre du commerce et des sociétés (RCS). Plus concrètement, ce document peut être assimilé à la « carte d'identité » de l'entreprise. Il atteste de l'identité juridique de la personne physique ou morale inscrite au RCS et contient des informations relatives à l'entreprise.

> Extrait K ou Kbis, quelles entreprises sont concernées ?

L'immatriculation au RCS - matérialisée par l'extrait K ou Kbis - concerne toutes les entreprises et tous les entrepreneurs dont l'activité est commerciale, qu'il s'agisse de personne physique ou morale. Cette distinction entre personne physique et morale conditionne le type d'extrait à requérir :

- l'extrait K est destiné aux personnes physiques (ou L s'il s'agit d'un établissement secondaire) ;
- l'extrait Kbis est destiné aux personnes morales (ou Lbis s'il s'agit d'un établissement secondaire).

À retenir

Pour les sociétés dont l'activité est commerciale, l'immatriculation au RCS est obligatoire. Son absence est considérée comme un délit de travail dissimulé. L'extrait K, L, Kbis ou Lbis ne concerne que les entreprises immatriculées au RCS et ne peut être délivré qu'aux commerçants ou sociétés commerciales : les artisans doivent fournir un extrait D1 et les professions libérales ou les micro-entrepreneurs leur numéro Siren (n° Siret) obtenu auprès de l'Urssaf.

> Extrait K ou Kbis, quelle utilité ?

Au-delà de l'obligation légale, l'extrait K ou Kbis peut être utile dans plusieurs situations. Il est généralement demandé dans les 3 situations suivantes :

- une candidature à un appel d'offres public ;
- une ouverture de compte auprès d'une banque ;
- un achat de matériels professionnels auprès des distributeurs.

À savoir

L'extrait K ou Kbis n'est pas un document « confidentiel », toute personne peut demander l'extrait d'une entreprise. Dans la plupart des cas, pour être opposable et faire foi pour les démarches administratives, l'extrait doit dater de moins de 3 mois.

> Extrait K ou Kbis, comment l'obtenir ?

C'est au greffe du tribunal de commerce dont dépend l'entreprise (ou de la chambre commerciale du tribunal d'instance ou de grande instance en Alsace et en Moselle) que doit être demandé l'extrait K ou Kbis d'une entreprise. La commande peut se faire par courrier, mais aussi directement en ligne (sauf pour les entreprises dont le siège social est situé en Alsace, en Moselle ou en Guyane).

À savoir

Pour les personnes morales, il est possible de souscrire - via le service en ligne - à une option d'envoi périodique et automatique de l'extrait K ou Kbis, selon une périodicité et une durée définies par l'usager (sauf pour les entreprises inscrites auprès du RCS du tribunal d'instance). Le document est alors envoyé automatiquement par courrier.

> Extrait K ou Kbis, combien ça coûte ?

La demande de communication d'un extrait K ou Kbis est payante. Le tarif dépend des modalités de communication du document :

- 2,82 € pour un retrait sur place au greffe ;
- 3,91 € pour un envoi par courrier ;
- 3,53 € pour un envoi électronique (réception par courriel ou en téléchargement).

14  
Données actualisées le 25-11-2019



PROJET PUF-TAXI  
APPEL À VOLONTAIRES



Souhaitez-vous connaître les niveaux de polluants auxquels vous êtes exposés ?

Le projet « PUF-TAXI » ne vous donne pas seulement la possibilité de connaître votre niveau d'exposition aux polluants du trafic routier, mais permet aussi d'étudier son impact sur votre santé respiratoire.

Souhaitez-vous participer au projet « PUF-TAXI » ?

C'est très simple. Il suffit de garder une malette contenant les appareils portatifs de mesure de polluants de l'air, pendant une journée de travail, à l'intérieur de votre véhicule et à répondre à trois questionnaires et cela à deux reprises, à 6 mois d'intervalle.

Quels sont les bénéfices ?

Vous bénéficierez d'une consultation gratuite dans l'Unité de Consultation des pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires Paris Centre- Site Hôtel-Dieu et vous percevrez un dédommagement de 50 euros. Vous serez informés en priorité des résultats relatifs à tous les mesurages auxquels vous avez participé. Les connaissances acquises grâce à votre aide, permettront d'améliorer les pratiques, en vue de minimiser les expositions dans l'habitat des véhicules et d'élaborer des stratégies de prévention pour créer des environnements plus sains et sécuritaires.

> Si vous êtes intéressé(e), veuillez contacter Melissa HACHEM la coordinatrice logistique de l'étude par courriel : [melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr](mailto:melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr) ou par téléphone 07 77 97 73 79.

Université Paris Descartes - Faculté de Pharmacie de Paris Inserm  
UMR 1153 - CRESS, Équipe HERA - Health Environmental Risk Assessment  
4 avenue de l'Observatoire - 75270 PARIS CEDEX 06



Une vitre brisée ? Victime de vandalisme ?

Il est important de remettre rapidement votre véhicule en état !

En cas de vitre brisée, CARGLASS® vous propose :



UNE SOLUTION DANS LA JOURNÉE POUR REMPLACER VOTRE VITRAGE

- > Si la pièce est disponible, CARGLASS® remplace votre vitrage le jour même
- > Si la pièce n'est pas disponible, pour une vitre latérale CARGLASS® protège votre voiture avec une vitre plastique le temps de recevoir celle en verre.

NOS ÉQUIPES SONT À VOTRE DISPOSITION

24h  
24

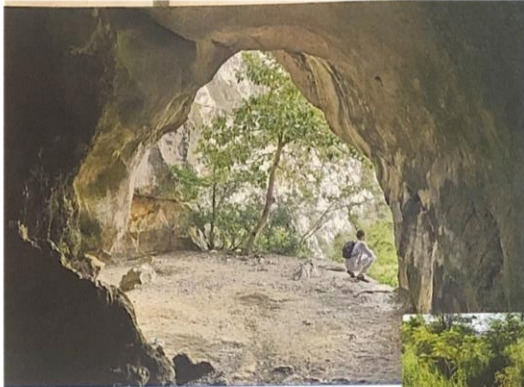
7j  
7

La nuit  
Le dimanche  
Les jours fériés (sauf le 1er mai)

N° Vert 0 800 800 365

Appel gratuit depuis un poste fixe





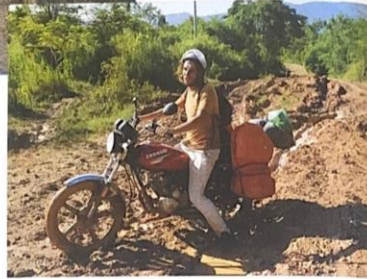
Découverte des grottes dans la région de Kampot

Nous apprendrons plus tard que la région est encore entièrement minée et cela arrive souvent qu'un malheureux animal active l'une d'entre elles en marchant dessus. En effet, la forêt étant peu peuplée, elle n'est pas au cœur des interventions de déminage pratiquées dans une grande partie du pays. Le lendemain, le soleil est enfin au rendez-vous. Le sol est encore imbibé d'eau et c'est une vraie patinoire qui s'offre à nous.

Nous franchissons péniblement les derniers kilomètres qui nous séparent de la route. Éreintés et usés, nous arrivons enfin à bout de cet enfer boueux ! Mais quelle aventure et que de bons souvenirs malgré tout, on en rigole déjà une fois sortis, la bonne humeur reprend sa place et nous sommes prêts pour continuer notre périple.

Julia Mousset

Suivez nos aventures sur Instagram : moussestenvie



Au "boue" du rouleau !



Le calme avant le tempête



Embouteillages sur les routes, le bison futé voit noir en ce jour

**PROJET PUF-TAXI**

**APPEL À VOLONTAIRES**

**Souhaitez-vous connaître les niveaux de polluants auxquels vous êtes exposés ?**

Le projet « PUF-TAXI » ne vous donne pas seulement la possibilité de connaître votre niveau d'exposition aux polluants du trafic routier, mais permet aussi d'étudier son impact sur votre santé respiratoire.

**Souhaitez-vous participer au projet « PUF-TAXI » ?**

C'est très simple. Il suffit de garder une mallette contenant les appareils portatifs de mesure de polluants de l'air, pendant une journée de travail, à l'intérieur de votre véhicule et à répondre à trois questionnaires et cela à deux reprises, à 6 mois d'intervalle.

**Quels sont les bénéfices ?**

Vous **bénéficiez** d'une consultation gratuite dans l'Unité de Consultation des pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires Paris Centre- Site Hôtel-Dieu et vous percevez un dédommagement de 50 euros.

Vous serez informés **en priorités** des résultats relatifs à tous les mesurages auxquels vous avez participé.

Les connaissances acquises **grâce à votre aide**, permettront d'améliorer les pratiques, en vue de minimiser les expositions dans l'habitacle des véhicules et d'élaborer des stratégies de prévention pour créer des environnements plus sains et sécuritaires.

\*\*\*

Si vous êtes intéressé (e) à participer, veuillez contacter Melissa HACHEM la coordinatrice logistique de l'étude par courriel "[melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr](mailto:melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr)" ou par téléphone 07 77 97 73 79

Université Paris Descartes - Faculté de Pharmacie de Paris  
Inserm, UMR 1153 - CRESS, Equipe HERA - Health Environmental Risk Assessment  
4, Avenue de l'Observatoire- 75270 PARIS CEDEX 06, France

FACULTÉ DE PHARMACIE  
DE PARIS



UNIVERSITÉ  
PARIS  
DESCARTES



**La plus grande Piste Indoor de Karting de la région parisienne**

**Dès 7 ans**

Paris Kart Indoor - 6, bd Arago - 91320 Wissous  
01 60 11 13 13 - [www.pariskart.com](http://www.pariskart.com)



GLOBES DU TAXI PRÉSENTATION 100% TAXIS

## ÉTUDE PUF-TAXI : APPEL À VOLONTAIRES

15/04/2018 par 100% News - Taxis | dans ÉQUIPEMENT, DIVERS, Innovation, INTERMED, RÉGION | Poster un commentaire

La gorge qui picote en arrivant Porte de la Chapelle par l'A1 ? Un essoufflement qui s'installe ? Spécialisé dans la recherche épidémiologique environnementale et professionnelle, le laboratoire de santé publique de la faculté de pharmacie de Paris a constitué une équipe afin d'évaluer les expositions aux polluants et leurs conséquences sur la santé respiratoire des taxis parisiens. Baptisé PUF-TAXI, ce projet scientifique offre à la profession une belle occasion de faire valoir son rôle de sentinelle de la société.



De gauche à droite :  
Le docteur Lynda Bensafa-Colas, Melissa Hachem, doctorante et le professeur Isabelle Momas, directrice du laboratoire de Santé publique et Environnement à la faculté de pharmacie de Paris.

### Contribution d'intérêt général

« Nos travaux sont très impliqués dans l'étude des expositions subies par les populations dans leur vie quotidienne, notamment des enfants et des professionnels », explique Isabelle Momas, directrice du laboratoire de Santé publique et Environnement à la faculté de pharmacie de Paris et responsable scientifique du projet PUF-TAXI. Épaulée par le docteur Lynda Bensafa-Colas et Melissa Hachem, elle a choisi la profession comme population d'étude pour plusieurs raisons : « Avec une activité quotidienne de 8 à 11 h en circulation, les chauffeurs de taxis sont particulièrement exposés. Dans les années 1990, une première étude avait montré que les chauffeurs de taxis parisiens étaient exposés à des concentrations significatives de polluants mais nous ne disposons pas alors des outils permettant de mesurer l'exposition aux particules ultrafines et au carbone suie. Aujourd'hui, le projet PUF-TAXI utilise des appareils

portatifs innovants dont les mesures restent encore rares. »

### Mission scientifique

« Pour garantir la valeur scientifique des résultats, un panel de 100 chauffeurs serait idéal... » Melissa Hachem leur propose une mission : embarquer une mallette compacte pour une journée de travail, la rendre en fin de service, renseigner des questionnaires et souffler dans un spiromètre. Recommencer ces mesures, une journée, 9 mois après. « Nous prenons rendez-vous avec les volontaires et évaluons en un quart d'heure leurs performances respiratoires en début et fin de journée. J'installe ensuite la valisette dans l'habitacle afin de mesurer les particules et les gaz ambiants pendant leur activité. Les réponses aux questionnaires permettant d'évaluer les conditions de circulation de la journée (conditions de prise en charge, nombre de passagers transportés...), les caractéristiques des véhicules ainsi que les désagréments que les volontaires pourraient ressentir (toux, gêne, irritation...). La sincérité des réponses est essentielle », explique Melissa Hachem. « Minute après minute, les niveaux ambiants de polluants dans le véhicule seront enregistrés. Ces informations seront ensuite mises en relation avec la localisation GPS qui aura été mémorisée. Notre analyse est scientifique, sans jugement a priori afin de pouvoir évaluer les risques réels », précise le professeur Isabelle Momas.

### Bonus santé

Issus de la combustion des moteurs diesel et essence, particules fines et carbone suie contribuent à véhiculer d'autres contaminants vers nos alvéoles pulmonaires, aggravant les risques d'affections respiratoires, cardiovasculaires ou neurologiques. « Nous avons souhaité que la participation à ce travail collectif pour une étude scientifique offre un avantage direct à la santé personnelle des volontaires. Chacun bénéficiera d'une consultation médicale gratuite ainsi que d'un bilan respiratoire et allergique dans l'unité de consultation de pathologies professionnelles et environnementales des Hôpitaux Universitaires de Paris », précise le docteur Lynda Bensafa-Colas. En outre les conditions de stationnement ont été anticipées et un dédommagement de 50 € est prévu. Une initiative gagnant-gagnant !



Propos recueillis par HIM

Pour participer :

Présentation vidéo – [Regarder](#)

**Annexe 7.** Fiche de précaution pour l'examen clinique, étude PUF-TAXI princeps à Paris.



Hôtel-Dieu- 1, place du Parvis de Notre- Dame – 75004

**Service de Pathologie Professionnelles et Environnementales**

Tél : 01.42.34.86.07 (ou 08) – Fax : 01.42.34.80.46

**Recommandations pour le test cutané allergologiques**

Si vous prenez des médicaments :

- Ne pas arrêter les médicaments pour l'asthme (en inhalation ou en comprimé).
- **Cinq jours** avant le test, arrêter : les antihistaminiques (Clarityne, Aérius, Zyrtec, Telfast, Polaramine, Kestin, etc...).
- **Deux jours** avant le test, arrêter : les calmants, somnifères, sirop contre la toux.

**Recommandations pour l'épreuve fonctionnelle respiratoire**

- Ne pas venir à **JEUN** (essayez de prendre un petit déjeuner/déjeuner avant de venir)
- Ne pas **FUMER** dans les **3 heures** précédant l'examen → pensez à nous informer sur le **nombre de cigarettes fumées avant l'examen** et le **délai** de la dernière cigarette
- Les médicaments suivants sont à arrêter **6 heures** avant l'examen : anti-asthmatiques inhalés (Ventoline, Bricanyl, Atrovent, Bronchodual)
- **Ne pas arrêter les corticoïdes inhalés** (Becotide, Pulmicort, Flixotide, Qvar, etc...)

**NE PAS TENIR COMPTE DE CES RECOMMANDATIONS EN CAS DE CRISE D'ASTHME**

En cas d'annulation, merci de bien vouloir prévenir la coordinatrice logistique du projet au plus tard trois jours avant votre rendez-vous.

**Melissa Hachem**

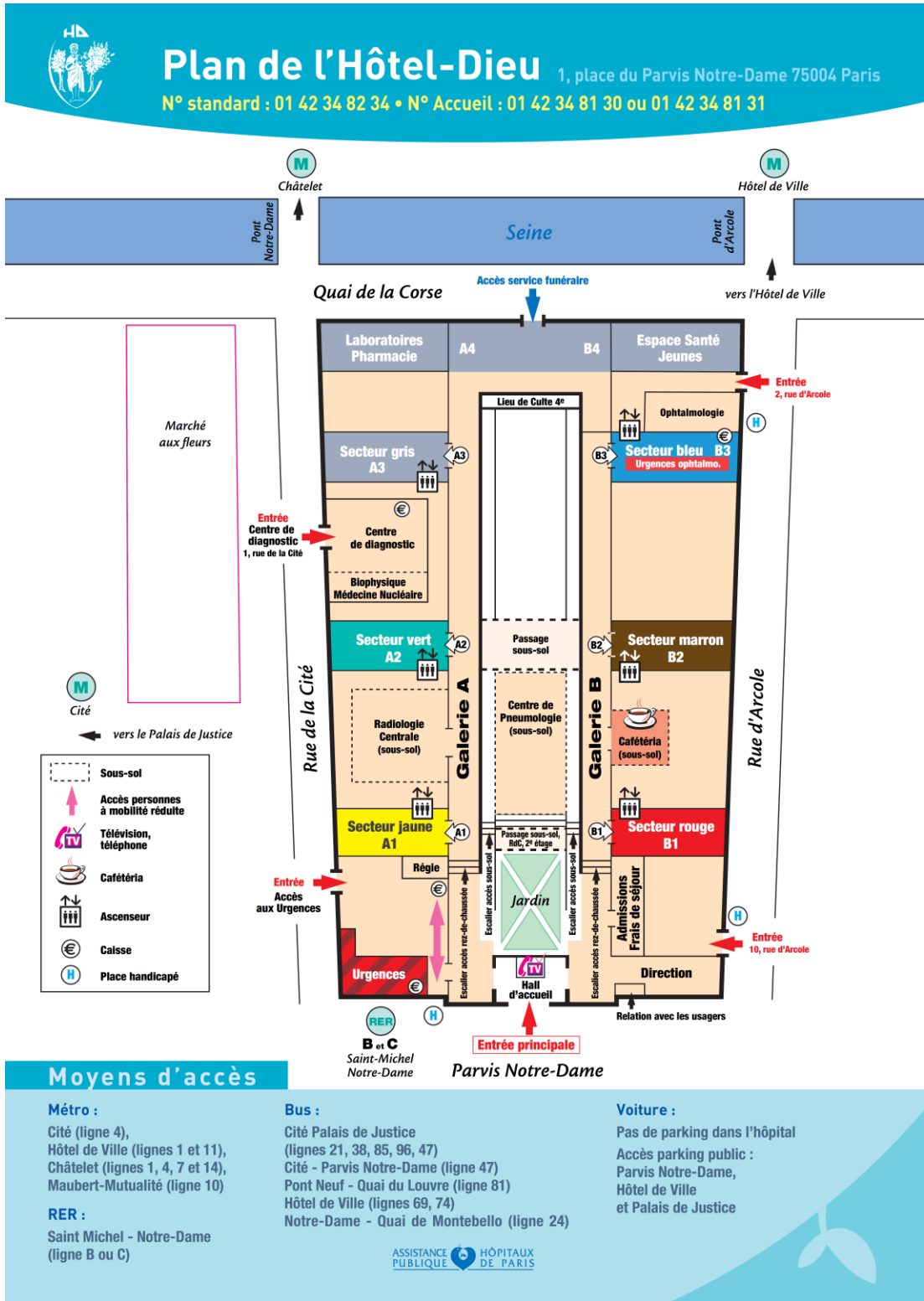
Téléphone : 07 77 97 73 79

E-mail : melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr

Faculté de Pharmacie de Paris

4 Avenue de l'Observatoire ;75006 Paris

Annexe 8. Plan du site Hôpital Hôtel-Dieu, étude PUF-TAXI princeps à Paris.



**Annexe 9.** Note d'informations et formulaire de consentement, étude PUF-TAXI princeps à Paris.



**« EXPOSITION AU CARBONE SUIE ET AUX PARTICULES ULTRAFINES DES CHAUFFEURS DE TAXI PARISIENS : DETERMINANTS DE L'EXPOSITION ET IMPACT SUR LA SANTE RESPIRATOIRE »**

*« PUF-TAXI »  
VI.1 du 30/10/2018*

Cette recherche est promue par l'Assistance Publique - Hôpitaux de Paris  
Délégation à la Recherche Clinique et à l'Innovation  
1 avenue Claude Vellefaux  
75010 Paris

**NOTE D'INFORMATION ADRESSEE AUX PROFESSIONNELS DE LA CONDUITE AUTOMOBILE**

Madame, Monsieur,

Le Docteur ..... (nom, prénom), exerçant à l'hôpital ....., vous propose de participer à une recherche concernant votre état de santé.

Il est important de lire attentivement cette note avant de prendre votre décision ; n'hésitez pas à lui demander des explications.

Si vous décidez de participer à cette recherche, un consentement écrit vous sera demandé.

➤ **Quel est le but de cette recherche ?**

L'étude « PUF-TAXI » permet de mesurer l'exposition réelle à la pollution de l'air liée au trafic routier, dans l'habitacle des voitures utilisées comme taxi et son impact sur la santé respiratoire.

Pour répondre à la question posée dans la recherche, il est prévu d'inclure, à l'Hôpital Hôtel Dieu, 100 chauffeurs de taxis volontaires, exerçant à temps plein, de jour en région parisienne, parmi les membres de la Chambre syndicale des cochers chauffeurs de voitures de place de la région parisienne (C.G.T. Taxis), du Syndicat de défense des conducteurs du taxi parisien (S.D.C.T.P.) et de la Chambre syndicale des sociétés coopératives des chauffeurs de taxi de la région parisienne.

➤ **En quoi consiste cette recherche ?**

- **Des mesurages de polluants atmosphériques :** des particules ultrafines (PUF), de carbone suie (CS) qui résulte des combustions liées au trafic automobile, de monoxyde de carbone (CO), de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et de la température et de l'humidité relative seront réalisés par des appareils portatifs, dans l'habitacle de la voiture utilisée comme taxi. Ces mesurages seront effectués sur une journée de travail (± 11 heures), à deux reprises, à six mois d'intervalle. A chaque fois, ces mesurages seront accompagnés d'une série de trois questionnaires à remplir. Les déplacements seront géo-localisés à l'aide d'un GPS. Au début et la fin de cette journée de travail, deux tests respiratoires, à l'aide d'appareils

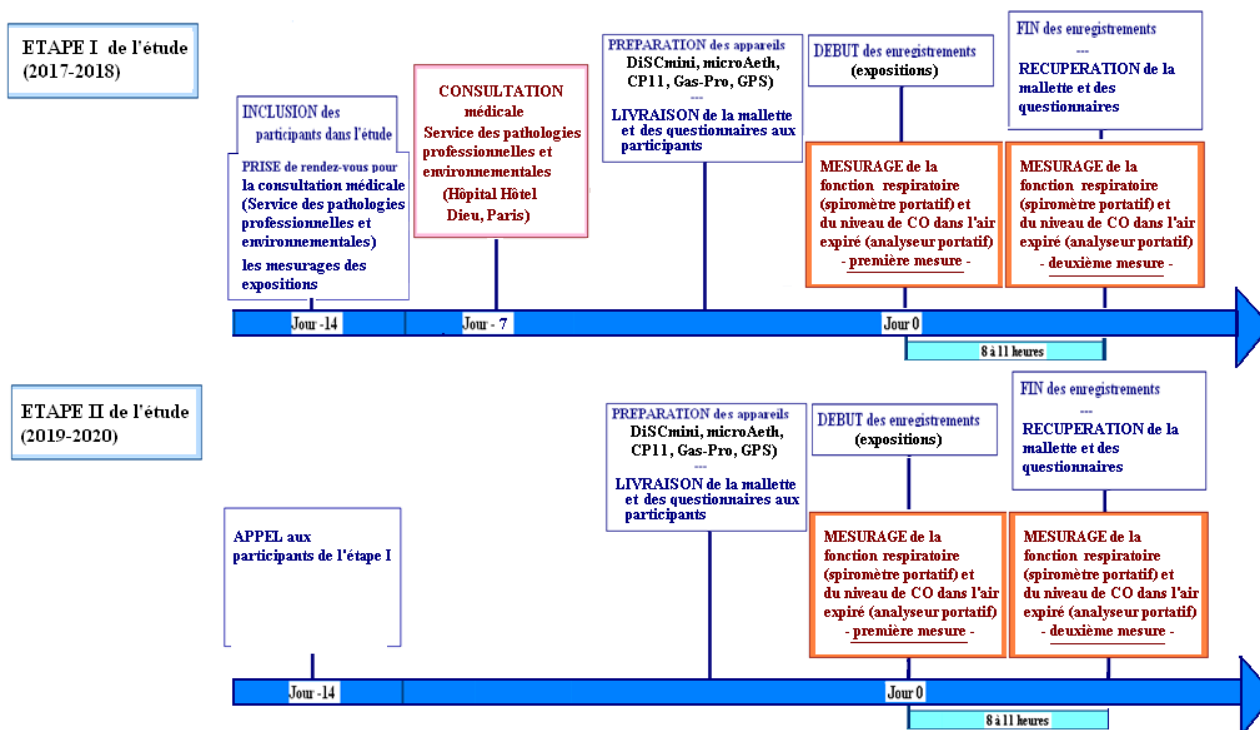


portatifs (un spiromètre et un analyseur de CO dans l'air expiré), seront effectués dans votre véhicule, en présence d'un membre de l'équipe de recherche.

- **Une consultation médicale** qui comprend un examen clinique, des réponses à un questionnaire médical standardisé, des épreuves fonctionnelles respiratoires (spirométrie et mesure de la fraction expirée du monoxyde d'azote) et des tests cutanés allergologiques se fera dans l'Unité de consultation de pathologies professionnelles et environnementales de l'Hôpital Hôtel-Dieu (Paris). **Aucun prélèvement biologique ne sera réalisé.**

### ➤ Quel est le calendrier de cette recherche ?

- L'étude comprendra deux étapes, réalisées à 6 mois d'intervalle. La première étape inclura la consultation médicale en pathologie professionnelle et les mesurages des expositions à la pollution de l'air et la 2<sup>ème</sup> étape inclura un second mesurage des expositions environnementales dans le taxi :



### ➤ Quels sont les bénéfices et les contraintes liés à votre participation ?

#### **Bénéfices :**

- Vous bénéficierez d'une consultation médicale gratuite en pathologie professionnelle.
- Vous aurez une meilleure connaissance de votre propre exposition à la pollution de l'air liée au trafic routier et de son impact sur la santé respiratoire.
- L'étude apportera des éléments pour pouvoir minimiser les expositions dans l'habitacle des véhicules et créer des environnements plus sains et sécuritaires.

#### **Contraintes :**

- Être affilié(e) à un régime de sécurité sociale ou être bénéficiaire d'un régime analogue.
- Participer à toutes les étapes de l'étude : consultation médicale ; mesurages des expositions à deux reprises, sur 6 mois d'intervalle ; remplissage des questionnaires et réalisation des tests respiratoires à l'aide d'appareils portatifs, au début et à la fin de la journée de travail (lors des journées de mesurages des expositions).

- Se rendre à la Faculté de Pharmacie de Paris (4, Avenue de l'Observatoire, 75006, Paris), le jour des mesurages des expositions, à deux reprises, le matin et le soir, pour recevoir, puis rendre la mallette contenant les appareils de mesure des expositions, les questionnaires complétés et passer les tests respiratoires.
- En compensation des contraintes de la recherche, vous recevrez une indemnité d'un montant de 50 euros, à condition de participer à la totalité de la recherche.

### ➤ **Quels sont les risques potentiels liés à la participation à cette étude ?**

- Les appareils portatifs utilisés pour le mesurage des expositions à la pollution de l'air liée au trafic routier ne comportent aucun risque pour les personnes présentes dans le véhicule.
- Les tests cutanés allergologiques positifs (réalisés lors de la consultation médicale), peuvent générer une certaine inflammation / rougeur / sensation de démangeaisons transitoires, de courte durée à l'endroit testé, sur l'avant-bras.

### ➤ **Que vont devenir les données recueillies grâce à cette recherche ?**

- Dans le cadre de la recherche à laquelle l'AP-HP vous propose de participer, un traitement de vos données personnelles va être mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif de cette dernière qui vous a été présenté. A cette fin, les données médicales vous concernant et les données relatives à vos habitudes de vie, seront transmises au Promoteur ou aux personnes ou sociétés agissant pour son compte, en France. Ces données seront identifiées par un numéro de code et vos initiales. Ces données pourront également, dans des conditions assurant leur confidentialité, être transmises aux autorités de santé françaises et à d'autres entités de l'AP-HP.
- Les données médicales vous concernant pouvant documenter un dossier auprès des autorités compétentes pourront être transmises à un industriel afin qu'un plus grand nombre de patients puissent bénéficier des résultats de la recherche. Cette transmission sera faite dans les conditions assurant leur confidentialité.
- Vos données pourront être utilisées pour des recherches ultérieures ou des analyses complémentaires à la présente recherche en collaboration avec des partenaires privés ou publics, en France ou à l'étranger, dans des conditions assurant leur confidentialité et le même niveau de protection que la législation européenne.
- Vous pouvez retirer à tout moment votre consentement à l'utilisation ultérieure de vos données auprès du médecin qui vous suit dans le cadre de cette recherche.
- Pour tout arrêt de participation, les données recueillies précédemment à cet arrêt seront utilisées conformément à la réglementation.

### ➤ **Comment cette recherche est-elle encadrée ?**

- L'AP-HP a pris toutes les mesures pour mener cette recherche conformément aux dispositions du Code de la Santé Publique applicables aux recherches impliquant la personne humaine.
- L'AP-HP a souscrit une assurance (N° d'adhésion : 0100518814033 180040) garantissant sa responsabilité civile et celle de tout intervenant auprès de la compagnie HDI-GERLING par l'intermédiaire de BIOMEDICINSURE dont l'adresse est Parc d'Innovation Bretagne Sud C.P.142 56038 Vannes Cedex.
- L'AP-HP a obtenu l'avis favorable du Comité de Protection des Personnes pour cette recherche [CPP Ile de France III] le 15/05/2018.

### ➤ **Quels sont vos droits ?**

- Votre participation à cette recherche est entièrement libre et volontaire. Votre décision n'entraînera aucun préjudice sur la qualité des soins et des traitements que vous êtes en droit d'attendre.

- Vous pourrez tout au long de la recherche demander des informations concernant votre santé ainsi que des explications sur le déroulement de la recherche au médecin qui vous suit.
- Vous pouvez vous retirer à tout moment de la recherche sans justification ni conséquences. A l'issue de ce retrait, vous pourrez être suivi par la même équipe médicale. Dans ce cas, les données collectées jusqu'au retrait seront utilisées pour l'analyse des résultats de la recherche.
- Votre consentement ne décharge en rien l'investigateur de la recherche de ses responsabilités à l'égard de votre personne. Vous conservez tous les droits garantis par la loi.
- Le fichier informatique utilisé pour cette recherche a été autorisé par la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL). Conformément à la loi 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, **vous disposez d'un droit d'accès et de rectification de vos données** auprès du Pr Isabelle Momas. **Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel** susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées. Ces droits s'exercent auprès du Pr Isabelle Momas.
- Votre dossier médical restera confidentiel et ne pourra être consulté que par le médecin investigateur ou par le médecin de votre choix, ainsi que par des personnes dûment mandatées par l'AP-HP pour la recherche et soumises au secret professionnel. Vous pouvez également accéder, par l'intermédiaire du Dr Lynda Bensefa-Colas, à l'ensemble des vos données médicales recueillies lors de cette recherche, en application des dispositions de l'article L 1122-1 du Code de la Santé Publique.
- Les résultats des enregistrements des polluants atmosphériques vous seront transmis par l'équipe de recherche et à l'issue de cette recherche, les résultats globaux feront l'objet d'une lettre d'information.
- Vous pouvez **à tout moment demander des informations complémentaires :**

**Au médecin investigateur : Dr. Lynda Bensefa-Colas**

Chef d'unité – Unité de consultation de pathologies professionnelles et environnementales  
Hôpital Hôtel-Dieu  
1 place du Parvis Notre-Dame 75004 Paris

**☎ 01 42 34 86 07 ou 08 (secrétariat)**

**Ou à la coordinatrice logistique de l'étude :**

**Mme Mélissa Hachem** - Doctorante en Épidémiologie

Université Paris Descartes / Faculté de Pharmacie de Paris  
EA 4064 - Épidémiologie environnementale : impact sanitaire des pollutions atmosphériques  
4, Avenue de l'Observatoire 75006 Paris

**☎ 07 77 97 73 79**

**Mail : melissa.hachem@etu.parisdescartes.fr**

## FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Je soussigné(e), Mme, M. [rayer la mention inutile] (nom, prénom)..... **accepte librement de participer à la recherche intitulée** « Exposition au carbone suie et aux particules ultrafines des chauffeurs de taxi parisiens : déterminants de l'exposition et impact sur la santé respiratoire » organisée par l'Assistance Publique - Hôpitaux de Paris et qui m'est proposée par le Docteur (nom, prénom, téléphone) ....., médecin dans cette recherche.

- J'ai pris connaissance de la note d'information version 1.0 du 28/02/2018 (4 pages) m'expliquant l'objectif de cette recherche, la façon dont elle va être réalisée et ce que ma participation va impliquer,
- Je conserverai un exemplaire de la note d'information et du consentement,
- J'ai reçu des réponses adaptées à toutes mes questions,
- J'ai disposé d'un temps suffisant pour prendre ma décision,
- J'ai compris que ma participation est libre et que je pourrai interrompre ma participation à tout moment, sans encourir la moindre responsabilité et préjudice pour la qualité des soins qui me seront prodigués.
- J'ai été informé que les données recueillies dans le cadre de la recherche peuvent être réutilisées pour des recherches ultérieures, et que je pouvais m'y opposer à tout moment
- Je suis conscient(e) que ma participation pourra aussi être interrompue par le médecin si besoin, il m'en expliquera les raisons,
- J'ai compris que pour pouvoir participer à cette recherche je dois être affilié(e) à un régime de sécurité sociale ou bénéficiaire d'un tel régime. Je confirme que c'est le cas,
- J'ai été informé(e) que les mesures, effectuées dans le cadre de cette recherche, seront conservés et utilisés ultérieurement à des fins de recherche portant sur l'exposition à la pollution de l'air,
- Mon consentement ne décharge en rien le médecin qui me suit dans le cadre de la recherche ni l'AP-HP de l'ensemble de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

**Signature de la personne participant à la recherche :**

Nom Prénom : .....

Date : .....

Signature : .....

**Signature du médecin :**

Nom Prénom : .....

Date : .....

Signature : .....

*Ce document est à réaliser en 2 exemplaires, dont l'original sera conservé pendant 5 ans par l'investigateur, le 2ème sera remis au participant.*



Document à conserver dans le dossier médical

Participant -----

**CAHIER D'OBSERVATION****CRITÈRES D'INCLUSION - CRITÈRES DE NON-INCLUSION**

| <b>Critères d'inclusion</b>   | <b>OUI</b>               | <b>NON</b>               |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Sujet âgé de plus de 18 ans   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sujet qui déclare être chauffeur de taxis à temps plein (titulaire de la licence) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sujet travaillant depuis plus de 6 mois dans la profession                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sujet affilié à un régime de sécurité sociale ou ayant droit                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sujet ayant signé un formulaire de consentement de participation à l'étude        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

➤ **Si une réponse NON, ne pas inclure le participant**

| <b>Critères de non-inclusion</b>   | <b>OUI</b>               | <b>NON</b>               |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Sujet ayant des troubles de la compréhension de la langue française, à l'appréciation de l'investigateur | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sujet travaillant depuis moins de 6 mois dans la profession  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

➤ **Si une réponse OUI, ne pas inclure le participant**

N° Participant \_\_\_\_\_

**EXAMEN CLINIQUE**

Date (jour // mois // ans) : \_\_//\_\_//20\_\_

Heure / minutes : \_\_/\_\_

Sexe :

Homme

Femme

Âge \_\_ ans

Taille : \_\_\_\_\_ cm

Poids : \_\_\_\_\_ kg

Pression artérielle :      systolique \_\_\_//\_\_\_ diastolique \_\_\_mmHg

**Pour les femmes seulement :**

Êtes-vous enceinte ?

OUI

NON

Êtes-vous en train d'allaiter ?

OUI

NON

**Antécédents personnels :**

|                     | OUI                      | NON                      | Age de diagnostic | Traitement(s) |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| Atopie              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |
| Asthme              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |
| BPCO                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |
| Bronchite chronique | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |
| Emphysème           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |
| Hypertension        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |
| Diabète de type 1   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |
| Diabète de type 2   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                   |               |

Autres (précisez) :

**Observation clinique :**

---

---

---

Médecin investigateur :

Nom, prénom \_\_\_\_\_

Signature \_\_\_\_\_

N° Participant \_\_\_\_\_

## FeNO / SPIROMETRIE

1. Avez-vous fumé une cigarette dans la dernière heure ?

OUI

NON

Si OUI, nombre de cigarettes : \_\_ cigarette(s)

2. Avez-vous utilisé un inhalateur dans la dernière heure ?

OUI

NON

→ Si OUI à la Question 1 ou à la Question 2, retardez si possible le mesurage de la FeNO et de la fonction pulmonaire (une heure après avoir fumé ou après avoir utilisé un inhalateur).

3. Avez-vous eu une infection respiratoire dans les 3 dernières semaines ?

OUI

NON

Si OUI, depuis combien de jours est-elle finie ? \_\_ jours

4. Prenez-vous actuellement un traitement pour améliorer la respiration ?

OUI

NON

Si OUI,

► Lequel : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

► Il y a combien d'heures depuis la dernière prise ? \_\_ heures

► Prise de bêta2 mimétiques de courte durée d'action dans les 4 heures précédant l'examen ?

OUI

NON



► Prise de corticoïdes inhalés ou de bêta2 mimétiques de longue durée d'action dans les 24 heures précédant l'examen ?

OUI

NON

Observations :

---



---



---

## Mesure de la FeNO

La technique utilisée est une expiration unique qui mesure la FeNO en un seul flux expiratoire de 10 secondes, à débit constant ( $50 \pm 5$  ml/s)

Valeur NO ambiant (ppb) :

Valeur FeNO mesurée (ppb) :

Nombre d'essais rejetés \_\_ / nombre de manœuvres \_\_

Problème lors de l'examen :

OUI

NON

Si OUI, lequel ? \_\_\_\_\_

## Spirométrie

### Mesure des paramètres CVF, VEMS, DEM<sub>25-75</sub> et DEP avant bronchodilatateur

La meilleure courbe (VEMS + CVF) est retenue parmi trois courbes réalisées dont l'écart entre les trois valeurs du VEMS est inférieur à 5%. Si une courbe s'en écarte, une quatrième courbe est effectuée, jusqu'à obtenir trois courbes respectant les critères. L'impossibilité d'obtenir ces trois courbes exclut l'examen.

Résultats de l'examen :

|                            | Valeurs du sujet <u>AVANT</u><br>bronchodilatateur | Valeurs théoriques |
|----------------------------|--|--------------------|
| CVF (L)                    |  |                    |
| VEMS (L)                   |  |                    |
| DEM <sub>25-75</sub> (L/s) |  |                    |
| DEP (L/s)                  |  |                    |

Nombre d'essais rejetés \_\_ / nombre de manœuvres \_\_

Problème lors de l'examen :

OUI

NON

Si OUI, lequel ? \_\_\_\_\_

→ Administration de bronchodilatateur

Mesure des paramètres CVF, VEMS, DEM<sub>25-75</sub> et DEP après bronchodilatateur :

Résultats de l'examen :

|                            | Valeurs du sujet <u>APRES</u><br>bronchodilatateur |
|----------------------------|--|
| CVF (L)                    |  |
| VEMS (L)                   |  |
| DEM <sub>25-75</sub> (L/s) |  |
| DEP (L/s)                  |  |

Nombre d'essais rejetés \_\_ / nombre de manœuvres \_\_

Problème lors de l'examen :

OUI

NON

Si OUI, lequel ? \_\_\_\_\_

Observations :

---

---

---

---

---

Médecin investigateur :

Nom, prénom \_\_\_\_\_

Signature \_\_\_\_\_

Date : \_/~/\_/\_/\_\_\_\_

N° Participant \_\_\_\_\_

**TESTS CUTANES ALLERGOLOGIQUES**

Témoin positif : histamine

Témoin négatif : sérum physiologique

| Résultats des <i>prick-test</i> : | Positif | Négatif |
|-----------------------------------|---------|---------|
| D. Pteronyssinus                  |         |         |
| D. Farinae                        |         |         |
| Chat                              |         |         |
| Chien                             |         |         |
| Armoise                           |         |         |
| 5 Graminées                       |         |         |
| Ambroisie                         |         |         |
| Cupressacées                      |         |         |
| Bouleau                           |         |         |
| Alternaria                        |         |         |
| Aspergillus                       |         |         |

Commentaires :

---



---



---



---

Médecin investigateur :

Nom, prénom \_\_\_\_\_

Signature \_\_\_\_\_

Date : \_\_/\_\_/\_\_

N° Participant \_\_\_\_\_

**QUESTIONNAIRE MEDICAL****VEUILLEZ RÉPONDRE AUX QUESTIONS. SI VOUS N'ÊTES PAS SÛR(E) DE LA RÉPONSE, VEUILLEZ CHOISIR « NON »****PROBLEMES RESPIRATOIRES**

1. Avez-vous eu des sifflements dans la poitrine, à un moment quelconque, dans les 12 derniers mois ?

NON OUI

1.1. A quel moment avez-vous eu ces sifflements ?

Pendant le travail :

NON OUI

A la maison :

NON OUI

Autres circonstances : \_\_\_\_\_

2. Vous êtes-vous réveillé(e) avec une sensation de **gêne respiratoire**, à un moment quelconque, dans les **12 derniers mois** ? 

NON OUI

3. Avez-vous été réveillé(e) par une **crise d'essoufflement**, à un moment quelconque, dans les **12 derniers mois** ? 

NON OUI

4. Avez-vous déjà eu une toux sèche, à un moment quelconque de votre vie, alors que vous n'aviez pas d'infection respiratoire (ni rhume, ni rhino-pharyngite, ni grippe, ni virose ...) ?

NON OUI

Si « OUI »,

4.1. Durant les *12 derniers mois*, avez-vous eu de la toux sèche, alors que vous n'aviez pas d'infection respiratoire (ni rhume, ni rhino-pharyngite, ni grippe, ni virose ...) ? 

NON OUI

5. Avez-vous **déjà eu** de l'**asthme** ?

NON OUI

Si « OUI »,

5.1. Votre asthme a-t-il été confirmé par un médecin ?

NON OUI

5.2. Si « OUI », à quel âge ? |\_\_|\_\_| ans

5.3. Avez-vous eu une **crise d'asthme**, dans les **12 derniers mois** ? 

NON OUI

5.4. Avez-vous eu un **traitement pour asthme**, dans les **12 derniers mois** (médicaments inhalés, aérosols, comprimés...)? 

NON OUI

Si « OUI », Lequel ? \_\_\_\_\_

5.5. A quel moment faites-vous des crises d'asthme ?

Pendant le travail :

NON OUI

A la maison :

NON OUI

Autres circonstances : \_\_\_\_\_

6. Toussez-vous **habituellement** en vous levant à la mauvaise saison ? 

NON OUI

7. Toussez-vous **habituellement** pendant la journée ou pendant la nuit à la mauvaise saison ? 

NON OUI

Si « OUI », aux questions 6 ou 7 :

8. Toussez-vous comme cela presque **tous les jours pendant 3 mois de suite chaque année** ? 

NON OUI

8.1. Depuis combien d'années : |\_\_|\_\_| année

8.2. A quel moment toussiez-vous ?

Pendant le travail :

NON OUI

A la maison :

NON OUI

Autres circonstances : \_\_\_\_\_

9. Avez-vous **habituellement** des crachats provenant de la poitrine en vous levant, à la mauvaise saison ?

NON OUI

10. Avez-vous **habituellement** des crachats provenant de la poitrine dans la journée ou la nuit à la mauvaise saison ?

NON OUI

**Si « OUI », aux questions 9 ou 10 :**

11. Crachez-vous comme cela presque **tous les jours pendant 3 mois de suite chaque année** ?

NON OUI

11.1. Depuis combien d'années : |\_|\_| année

12. Un médecin vous a-t-il déjà dit que vous aviez une de ces formes de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) ?

|                                     | NON                      | OUI                      | <b>Si « OUI »,</b> âge du diagnostic |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 12.1. Bronchite chronique           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _ _  ans                             |
| 12.2. Emphysème                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _ _  ans                             |
| 12.3. BPCO<br>(forme non spécifiée) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _ _  ans                             |

13. Avez-vous eu des épisodes/périodes où vos symptômes (toux, crachats, essoufflements) étaient vraiment pires que d'habitude ?

NON OUI

**Si « OUI »,**

13.1. A quel moment ?

Pendant le travail :

NON OUI

A la maison :

NON OUI

Autres circonstances : \_\_\_\_\_

## PROBLEMES DE NEZ

14. Avez-vous **déjà eu** des **éternuements** ou le **nez qui coule** ou le **nez bouché** alors que vous n'étiez pas enrhumé et que vous n'aviez pas la grippe ?

NON OUI

Si « OUI »,

14.1. Depuis quel **âge** avez-vous ces problèmes de nez ? |\_|\_| ans14.2. Avez-vous eu des **éternuements** ou le **nez qui coule** ou le **nez bouché** alors que vous n'étiez pas enrhumé et que vous n'aviez pas la grippe, dans les **12 derniers mois** ? 

NON OUI

Si « OUI »,

14.2.1. Durant les **12 derniers mois**, ces problèmes de nez étaient-ils accompagnés de **larmoiments** (pleurs) ou de **démangeaisons** (envie de se gratter) **des yeux** ? 

NON OUI

14.3. A quel moment avez-vous eu ces problèmes de nez ?  
Pendant le travail : 

NON OUI

A la maison :

NON OUI

Autres circonstances : \_\_\_\_\_

**RHINITE ALLERGIQUE**15. Avez-vous **déjà eu** un **rhume des foins** ou une **allergie aux pollens** ? 

NON OUI

Si « OUI »,

15.1. A quel **âge** a débuté le rhume des foins / allergie aux pollens ? |\_|\_| ans16. Avez-vous **déjà eu** une autre forme de **rhume allergique** (aux poussières, aux acariens, aux animaux ...)? 

NON OUI

Si « OUI »,

16.1. A quel **âge** a débuté ce rhume allergique ? |\_|\_| ans

Si « OUI » à la Question 15 ou à la Question 16,

17. Avez-vous eu un **traitement** pour soigner ces **rhumes allergiques**, dans les **12 derniers mois** ? 

NON OUI

Si « OUI », Lequel ? \_\_\_\_\_

**PROBLEMES DE GORGE**18. Avez-vous **déjà eu** des **problèmes de gorge** (enrouement, démangeaisons, irritations) alors que vous n'aviez pas d'infection (ni rhume, ni grippe, ni angine, ni rhino-pharyngite) ?

NON OUI

Si « OUI »,

18.1. Depuis quel **âge** avez-vous ces problèmes de gorge ? |\_|\_| ans

18.2. Avez-vous eu des **problèmes de gorge** (enrouement, démangeaisons, irritations) alors que vous n'aviez pas d'infection (ni rhume, ni grippe, ni angine, ni rhino-pharyngite), dans les **12 derniers mois** ?

NON OUI

18.3. A quel moment avez-vous eu ces problèmes de gorge ?  
Pendant le travail :

NON OUI

A la maison :

NON OUI

Autres circonstances : \_\_\_\_\_

19. Avez-vous **déjà eu** un **reflux gastro-œsophagien** ?

NON OUI

Si « OUI »,

19.1. Avez-vous eu un **traitement** pour le **reflux**, dans les **12 derniers mois** ?

NON OUI

Si « OUI », Lequel ? \_\_\_\_\_

## PROBLEMES DES YEUX

20. Avez-vous **déjà eu** des **problèmes oculaires** (rougeurs des yeux, irritations) en dehors d'une période d'infection (en l'absence de rhume, grippe, angine, rhino-pharyngite) ?

NON OUI

Si « OUI »,

20.1. Depuis quel **âge** avez-vous ces problèmes oculaires ? |\_|\_| ans

20.2. Avez-vous eu des **yeux rouges ou irrités** dans les **12 derniers mois** ?

NON OUI

20.3. A quel moment avez-vous ces problèmes oculaires ?  
Pendant le travail :

NON OUI

A la maison :

NON OUI

Autres circonstances : \_\_\_\_\_



**PROBLEMES DE PEAU**

21. Avez-vous déjà eu de l'eczéma ?

NON

OUI

Si « OUI »,

21.1. Depuis quel **âge** avez-vous ces problèmes d'eczéma ? |\_|\_| ans

21.2. Avez-vous eu de l'eczéma dans les **12 derniers mois** ?

NON

OUI

**AMELIORATION DE L'ETAT DE SANTE EN PERIODE DE REPOS**

22. Parmi la liste suivante ci-dessous indiquez ce qui va mieux pendant **les jours de repos (week-end ou congés courts < 3 jours)** ou **durant les vacances (pendant les congés prolongés)** ?

|   | Durant les jours de repos (week-end ou congés courts < 3 jours) |                          | Durant les vacances (pendant les congés prolongés) |                          |
|---|---|--------------------------|--|--------------------------|
|   | OUI   | NON                      | OUI  | NON                      |
| a. <b>Toux sèche</b>  | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| b. <b>Crachats</b>  | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| c. <b>Sifflements dans la poitrine</b><br>(si vous n'êtes pas enrhumé ou vous n'avez pas de grippe) | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| d. <b>Respiration</b><br>(dyspnée, essoufflement, gêne respiratoire)                                | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| e. <b>Problèmes de nez</b><br>(éternuements, nez bouché, écoulement, démangeaisons)                 | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| f. <b>Problèmes oculaires</b><br>(rougeur oculaire, écoulement, grattage)                           | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| g. <b>Problèmes de gorge</b><br>(enrouement, démangeaisons, irritations)                            | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| h. <b>Maux de tête</b>  | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |
| i. <b>Crises d'asthme</b>   | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>                           | <input type="checkbox"/> |

**▶ ACTIVITE PROFESSIONNELLE**

23. A quel **âge** avez-vous **commencé à travailler** ? (*1<sup>er</sup> emploi dans votre vie*) /\_\_|\_\_| ans

24. Avez-vous **déjà dû quitter un emploi pour raison de santé** ?

NON OUI

Si « OUI »,

24.1. Quel emploi ? \_\_\_\_\_

24.2. Pour quelle raison de santé ? \_\_\_\_\_

24.3. Etait-ce à cause d'un problème respiratoire ou allergique ?

NON OUI

25. A quel **âge** avez-vous **commencé à travailler** comme **chauffeur de taxi** ? /\_\_|\_\_| ans

26. Avez-vous eu des périodes où vous **vous êtes arrêté(e) de travailler comme chauffeur de taxi** ?

NON OUI

Si « OUI »,

26.1. De quelle date à quelle date (jour/mois/année) ?

De \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ à \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ de \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ à \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

De \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ à \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ de \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ à \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

26.2. Est-ce que c'était pour des **raisons de santé** ?

NON OUI

26.3. Etait-ce à cause d'un problème respiratoire ou allergique ?

NON OUI

## ► TABAGISME

27. Etes-vous : **Fumeur** ou **ayant arrêté depuis moins de 12 mois**

**Ex-fumeur** : ayant arrêté depuis plus de 12 mois

**Non-fumeur**, n'ayant jamais fumé

Si « FUMEUR » ou « EX-FUMEUR »,

28. Fumez-vous / avez-vous fumé des :

Cigarettes  e-Cigarette  Narguilé  Autres : \_\_\_\_\_

28.1. Combien par jour ? \_\_ nombre de cigarettes / jour ; Nombre PA \_\_  
\_\_ nombre de séances de narguilé/jour

28.2. A quel âge avez-vous commencé ? |\_\_|\_\_| ans

28.3. Avez-vous déjà essayé d'arrêter de fumer ?

NON OUI

Si « OUI »,

28.3.1. A quel âge avez-vous arrêté ? |\_|\_| ans

28.3.2. Avez-vous arrêté à cause de vos bronches ?

NON

OUI

29. Avez-vous été **exposé(e) régulièrement** à la **fumée de tabac** (tabagisme passif – au travail, au domicile, etc.) pendant les **12 derniers mois** ? « *Régulièrement* » veut dire *presque tous les jours ou toutes les nuits*

NON

OUI

### ► AUTRES QUESTIONS CONCERNANT LE MODE DE VIE

30. Avez-vous des **animaux à votre domicile** ?

NON

OUI

Si « OUI »,

30.1. Quel animal ?

Chat

Chien

Autre : \_\_\_\_\_

31. Quel type de chauffage utilisé vous dans votre résidence actuelle ?

Pompe à chaleur

Chauffage au gaz

Pompe à chaleur aérothermique

Chauffage au fioul

Chauffage électrique

Chauffage au bois

Chauffage solaire

Géothermie (*système qui puise la chaleur du sous-sol*)

Autres moyens:

Non chauffée

32. Quel est le carburant le plus couramment utilisé pour cuisiner dans votre résidence actuelle ?

Charbon

Bois

Gaz

Produit pétroliers, kérosène

Electricité

Autres : \_\_\_\_\_

**Nous vous remercions d'avoir répondu à ce questionnaire !**

Commentaires :

---



---



---

**Médecin investigateur :**

**Nom, prénom** \_\_\_\_\_

**Signature** \_\_\_\_\_

**Date :** \_\_/\_\_/\_\_\_\_



| VERIFICATION AVANT LE TEST- SPIROMETRIE   |                              |     |   |                              |     |   |
|---|------------------------------|-----|---|------------------------------|-----|---|
|   | DEBUT DE POSTE               |     |   | FIN DE POSTE                 |     |   |
|   | Oui                          | Non | Commentaires  | Oui                          | Non | Commentaires  |
| Ne pas venir à JEUN   |                              |     |   |                              |     |   |
| Ne pas FUMER dans les 3 heures précédant l'examen → pensez à nous informer sur le <u>nombre de cigarettes fumées avant l'examen</u> et le <u>délai de la dernière cigarette</u> |                              |     | Heure de la dernière cigarette :<br>Nombre de cigarettes par jour : |                              |     | Heure de la dernière cigarette :<br>Nombre de cigarettes par jour : |
| Les médicaments suivants sont à arrêter 6 heures avant l'examen : <u>anti-asthmatiques inhalés (Ventoline, Bricanyl, Atrovent, Bronchodual)</u>                                 |                              |     | Bronchodilatateur :<br><br>Date/heure :                             |                              |     | Bronchodilatateur :<br><br>Date/heure :                             |
| Pas d'habit trop serré  |                              |     |   |                              |     |   |
| Retirer dentier s'il n'est pas bien fixé  |                              |     |   |                              |     |   |
| Absence d'infection ORL qui pourrait perturber les résultats  |                              |     |   |                              |     |   |
| VERIFICATION AVANT LE TEST- CO EXPIRE   |                              |     |   |                              |     |   |
|   | DEBUT DE POSTE               |     |   | FIN DE POSTE                 |     |   |
|   | Oui                          | Non | Oui   | Non                          | Oui | Non   |
| Ne pas FUMER dans les 3 heures précédant l'examen → pensez à nous informer sur le <u>nombre de cigarettes fumées avant l'examen</u> et le <u>délai de la dernière cigarette</u> |                              |     | Heure de la dernière cigarette :<br>Nombre de cigarettes par jour : |                              |     | Heure de la dernière cigarette :<br>Nombre de cigarettes par jour : |
| CO-EXPIRE   |                              |     |   |                              |     |   |
|   | DEBUT DE POSTE               |     |   | FIN DE POSTE                 |     |   |
|   | Valeur du CO expiré (en ppm) |     |   | Valeur du CO expiré (en ppm) |     |   |
| Valeur du CO ambiant (en ppm)   |                              |     | Valeur du CO ambiant (en ppm)                                       |                              |     |   |
| Commentaires :  |                              |     |   |                              |     |   |

## SPIROMETRIE

| <b>CRITERES D'ACCEPTABILITE</b>  |   |  |  |   |  |  |
|--|---|--|--|---|--|--|
|  | DEBUT DE POSTE  |  |  | FIN DE POSTE  |  |  |
| L'effort fourni par le patient est maximal   | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  |
| Absence d'artéfacts (toux, efforts de toux, hésitation, etc.)  | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  |
| Absence d'arrêt prématuré (durée $\geq 6s$ )   | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  |
| Avoir un plateau expiratoire (aucun changement du volume ( $< 0,025 l$ ) pendant $\geq 1 s$ - plateau expiratoire) | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  | 1- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  | 2- <input type="checkbox"/>   |  |  |
|  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  | 3- <input type="checkbox"/>   |  |  |
| <b>Meilleure courbe</b>  | 1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> |  |  | 1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> |  |  |
| <b>CRITERES DE REPETABILITE</b>  |   |  |  |   |  |  |
|  | DEBUT DE POSTE  |  |  | FIN DE POSTE  |  |  |
| Écart entre les VEMS $\leq 0,150 L$  |   |  |  |   |  |  |
| Écart entre les CVF $\leq 0,150 L$   |   |  |  |   |  |  |
| Écart entre les DEP $\leq 0,250 L/s$ ( $\leq 5\%$ de la valeur lue)  |   |  |  |   |  |  |
| DEP $\leq 5\%$ ou $0,150 L/s$  |   |  |  |   |  |  |
| DEMM $25-75 \pm 5\%$ ou $\pm 0,200L/s$   |   |  |  |   |  |  |
| <b>Meilleure courbe</b>  | 1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> |  |  | 1- <input type="checkbox"/> 2- <input type="checkbox"/> 3- <input type="checkbox"/> |  |  |
| <b>Commentaires :</b>  |   |  |  |   |  |  |

| <b>Symptômes respiratoires en début de poste de travail</b>                                   |                          |                          |                     |
|---|--------------------------|--------------------------|---------------------|
|   | <b>OUI</b>               | <b>NON</b>               | <b>commentaires</b> |
| <b>Toux sèche</b>   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Crachats</b>   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Sifflements dans la poitrine</b> (si vous n'êtes pas enrhumé ou vous n'avez pas de grippe) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Gêne respiratoire</b>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Problèmes de nez</b> (éternuements, nez bouché, qui coule, qui démange)                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Problèmes oculaires</b> (rougeur oculaire, écoulement, grattage)                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Problèmes de gorges</b> (enrouement, démangeaisons, irritations)                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Maux de tête</b>   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |
| <b>Crise(s) d'asthme</b>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                     |

Commentaires :

---



---

Enquêteur :  
 Nom, prénom \_\_\_\_\_  
 Signature \_\_\_\_\_  
 Date : \_\_\_\_ // \_\_\_\_ //20\_\_



## Annexe 12. Questionnaire « relevé des symptômes », étude PUF-TAXI princeps à Paris.

N° Participant : \_\_\_\_\_

Date : \_\_/\_\_/\_\_

## QUESTIONNAIRE « RELEVÉ DES SYMPTÔMES »

## Morbidity ressentie pendant le mesurage des expositions – « Q1 : étape 1 de l'étude »

Ce questionnaire recueille une série d'informations concernant vos éventuels symptômes respiratoires et allergiques liés à la pollution de l'air, ressentis en général et en particulier, durant la journée des mesurages des expositions. Veuillez, s'il vous plaît, répondre à toutes les questions. Choisissez la réponse qui vous concerne, ou complétez l'information demandée. Aux questions concernant les symptômes ressentis en général, donc, sur une base régulière, vous pouvez répondre tout au long de la journée, tandis qu'aux questions concernant la journée de travail en cause, vous devez attendre la fin de la journée. Merci !

1. De manière générale, sans écouter la météo / les alertes d'AIRPARIF ou autres médias, est-ce que vous vous rendez compte par vous-même que certains jours, l'air est « plus pollué » que d'autres jours ?

Non Oui  : Parfois Souvent Très souvent

- 1.1. Aujourd'hui en particulier, le ressentiez-vous ?

Non Oui 

2. De manière générale, êtes-vous gêné(e) par les :

 fumées  poussières  fumées **et** poussièresNon Oui  : Peu Moyennement Beaucoup

- 2.1. Vous gênent-elles en permanence ? Oui

Seulement de temps en temps 

- 2.2. Dans quelles circonstances ? (indiquez)

- 2.3. Les sentez-vous plus : Le matin  L'après-midi  Le soir  La nuit  ?

En semaine  Le weekend  ?Au printemps  En été  A l'automne  En hiver  ?A Paris  En banlieue  ?

- 2.4. Avez-vous l'impression de vous y habituer au fil des années ?

Non Oui  : Parfois Souvent Très souvent

- 2.5. Aujourd'hui en particulier, étiez-vous gêné(e) ?

 fumées  poussières  fumées et poussièresNon Oui  :Peu Moyennement Beaucoup

**3. De manière générale, êtes-vous gêné(e) par les odeurs de(s) :**

essence  gaz d'échappement  essence **et** gaz d'échappement

Non   
 Oui  : Peu   
 Moyennement   
 Beaucoup

**3.1.** Vous gênent-elles en permanence ? Oui

Seulement de temps en temps

**3.2.** Dans quelles circonstances ? (indiquez) \_\_\_\_\_

**3.3.** Les sentez-vous plus : Le matin  L'après-midi  Le soir  La nuit  ?

En semaine  Le weekend  ?

Au printemps  En été  A l'automne  En hiver  ?

A Paris  En banlieue  ?

**3.4.** Avez-vous l'impression de vous y habituer au fil des années ?

Non   
 Oui  : Peu   
 Moyennement   
 Beaucoup

**3.5. Aujourd'hui** en particulier, étiez-vous gêné(e) par ces odeurs ?

essence  gaz d'échappement  essence **et** gaz d'échappement

Non   
 Oui  : Peu   
 Moyennement   
 Beaucoup

**4. De manière générale, êtes-vous gêné(e) par le bruit du trafic ?**

Non   
 Oui  : Peu   
 Moyennement   
 Beaucoup

**4.1. Aujourd'hui** en particulier, étiez-vous gêné(e) par le bruit du trafic ?

Non   
 Oui  : Peu   
 Moyennement   
 Beaucoup

**5.** Vous arrive-t-il souvent d'être enrhumé(e) ?

Non   
 Oui  : fréquence par année : \_\_\_\_\_ / année

**5.1. Aujourd'hui**, étiez-vous enrhumé(e) ?

Non   
 Oui

**6.** Etes-vous asthmatique ?

Non   
 Oui

Si « OUI »,

**6.1. Aujourd'hui**, avez-vous eu une crise d'asthme ?

Non   
 Oui  : Nombre des crises : \_\_\_\_\_

**6.2. Aujourd'hui**, avez-vous pris de traitement pour améliorer la respiration ?

Non   
 Oui :  : Vous prenez : \_\_\_\_\_  
 Combien de fois par jour ? \_\_\_\_\_ / jour

7. **Aujourd'hui** en particulier, avez-vous eu un de ces symptômes suivants **pendant la journée de travail** ? et à quelle intensité ?

*Si OUI, veuillez entourer ci-dessous le chiffre qui correspond le mieux à ce que vous avez ressenti pendant votre journée de travail*

|  | NON                      | OUI                      |  |
|--|--------------------------|--------------------------|--|
| <b>Toux sèche</b>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| <b>Crachats</b>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| <b>Sifflements dans la poitrine</b><br>(si vous n'êtes pas enrhumé ou vous n'avez pas de grippe) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| <b>Gêne respiratoire</b>   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| <b>Problèmes de nez</b><br>(éternuements, nez bouché, qui coule, qui démange)                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| <b>Problèmes oculaires</b><br>(rougeur oculaire, écoulement, grattage)                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| <b>Problèmes de gorge</b><br>(enrouement, démangeaisons, irritations)                            | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| <b>Maux de tête</b>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |

**MERCI D'AVOIR REPONDU A CE QUESTIONNAIRE !**

Cadre réservé à l'équipe de recherche  
Observations :

---



---



---

**Annexe 13.** Questionnaire « emploi du temps – espace – activités », étude PUF-TAXI princeps à Paris.

## **QUESTIONNAIRE « EMPLOI DU TEMPS – ACTIVITÉS »**

**CADRE RÉSERVÉ À L'ÉQUIPE DE RECHERCHE :**

N° Participant \_\_\_\_\_ Sexe ♂  ♀  Age \_\_ ans

Date participation : \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Heure début : \_\_/\_\_\_ Heure fin : \_\_/\_\_\_

**Kilométrage début : \_\_\_\_\_ km Kilométrage fin : \_\_\_\_\_ km**

**S'il vous plaît, complétez les renseignements demandés dans l'ordre, au fur et à mesure.  
Ces informations concernant tous les trajets avec des clients, les trajets pour aller chercher  
les clients, les trajets personnels, les pauses / temps d'arrêts**

| <b>Trajet 1</b>  |   |
|--|---|
| Nombre des clients _____   |   |
| <p>► <b>Départ</b><br/> Heure : _____</p> <p>Lieu : No _____ Rue _____<br/> Code postal _____</p> <p>► <b>Arrivée</b><br/> Heure : _____</p> <p>Lieu : No _____ Rue _____<br/> Code postal _____</p> | <p>Vitesse moyenne :</p> <p>Fenêtre ouverte pendant le trajet :</p> <p>Climatisation ouverte :</p> <p>Chauffage allumé :</p> <p>Aérosol désodorisant utilisé :</p> <p>Chauffeur ayant fumé dans le taxi :</p> <p>Client ayant fumé dans le taxi :</p> <p>Moteur arrêté pendant le stationnement :</p> <p>Recirculation de l'air :</p> |
| <b>Pause après le trajet 1</b> : OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>   |   |
| <b>SI OUI :</b>  |   |
| De quelle heure à quelle heure ?   | de ____ : ____<br>à ____ : ____   |
| Stationné dans : la rue  | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| un parking aérien  | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| un parking souterrain  | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| un garage  | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| Fenêtre ouverte pendant la pause :   | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| Climatisation ouverte :  | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| Chauffage allumé :   | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| Aérosol désodorisant utilisé :   | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| Avoir fumé dans le taxi :  | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| Moteur arrêté pendant la pause :   | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |
| Nettoyage du taxi pendant la pause :   | oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>   |

| <b>Trajet 2</b>   |  |
|---|--|
| Nombre des clients _____  |  |
| <p>► <b>Départ</b><br/> Heure : _____</p> <p>Lieu : No _____ Rue _____<br/> Code postal _____</p> <p>► <b>Arrivée</b><br/> Heure : _____</p> <p>Lieu : No _____ Rue _____<br/> Code postal _____</p>  | <p>Vitesse moyenne :</p> <p>Fenêtre ouverte pendant le trajet :</p> <p>Climatisation ouverte :</p> <p>Chauffage allumé :</p> <p>Aérosol désodorisant utilisé :</p> <p>Chauffeur ayant fumé dans le taxi :</p> <p>Client ayant fumé dans le taxi :</p> <p>Moteur arrêté pendant le stationnement :</p> <p>Recirculation de l'air :</p>  |
| <b>Pause après le trajet 2</b> : OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>  |  |
| <b>SI OUI :</b>   |  |
| <p>De quelle heure à quelle heure ?</p> <p>Stationné dans : la rue<br/> un parking aérien<br/> un parking souterrain<br/> un garage</p> <p>Fenêtre ouverte pendant la pause :</p> <p>Climatisation ouverte :</p> <p>Chauffage allumé :</p> <p>Aérosol désodorisant utilisé :</p> <p>Avoir fumé dans le taxi :</p> <p>Moteur arrêté pendant la pause :</p> <p>Nettoyage du taxi pendant la pause :</p> | <p>de __ :__</p> <p>à __ :__</p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> <p>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/></p> |

| <b>Trajet 23</b>   |   |
|--|---|
| Nombre des clients _____   |   |
| <p>► <b>Départ</b><br/> Heure : _____<br/> Lieu : No _____ Rue _____<br/> Code postal _____</p> <p>► <b>Arrivée</b><br/> Heure : _____<br/> Lieu : No _____ Rue _____<br/> Code postal _____</p>   | Vitesse moyenne :<br>Fenêtre ouverte pendant le trajet :<br>Climatisation ouverte :<br>Chauffage allumé :<br>Aérosol désodorisant utilisé :<br>Chauffeur ayant fumé dans le taxi :<br>Client ayant fumé dans le taxi :<br>Moteur arrêté pendant le stationnement :<br>Recirculation de l'air :  |
| <b>Pause après le trajet 23 :</b> OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>  |   |
| <b>SI OUI :</b>  |   |
| De quelle heure à quelle heure ?<br>Stationné dans : la rue<br>un parking aérien<br>un parking souterrain<br>un garage<br>Fenêtre ouverte pendant la pause :<br>Climatisation ouverte :<br>Chauffage allumé :<br>Aérosol désodorisant utilisé :<br>Avoir fumé dans le taxi :<br>Moteur arrêté pendant la pause :<br>Nettoyage du taxi pendant la pause : | de __ : __<br>à __ : __<br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/><br>oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> |

**Des observations et / ou commentaires que vous désirez nous faire part :**

-----

-----

-----

**L'équipe de recherche vous remercie vivement d'avoir  
rempli ce questionnaire !**

**Annexe 14.** Questionnaire « conducteur – véhicule », étude PUF-TAXI princeps à Paris.

N° Participant : \_\_\_\_\_

Date : \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**QUESTIONNAIRE « CONDUCTEUR - VEHICULE »**

« Etape 1 de l'étude »

**Ce questionnaire recueille des informations concernant vos habitudes en tant que chauffeur et les caractéristiques du véhicule que vous utilisez comme taxi. Veuillez, s'il vous plaît, répondre à toutes les questions. Choisissez la réponse qui vous concerne, ou complétez l'information demandée. Merci !**

**1. Actuellement, en moyenne, combien d'heures par jour travaillez-vous ?** \_\_\_ heures / jour  
**Et combien de jours par semaine ?** \_\_\_ jours / semaine

**2. Vous travaillez :**

|                           |     |                          |     |                          |
|---------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|
| ▶ principalement, le jour | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> |
| ▶ principalement, la nuit | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> |
| ▶ à cheval, sur les deux  | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> |
| ▶ les deux, en alternance | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> |

**3. Votre zone de prise en charge est (veuillez indiquer) :**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**4. Actuellement, quelle est la marque du véhicule que vous utilisez comme taxi ?**

\_\_\_\_\_

**4.1.** Pays de fabrication du véhicule : \_\_\_\_\_

**4.2.** Année de mise en circulation du véhicule : \_\_\_\_\_

**5. Année de l'achat du véhicule :** \_\_\_\_\_

**5.1.** Si vous n'êtes pas le propriétaire du véhicule, depuis quelle année l'avez-vous en location ? \_\_\_\_\_

**6. A partir de quelle date utilisez-vous ce véhicule comme taxi ?** mois \_\_\_\_\_ année \_\_\_\_\_

**7. Nombre de places dans le véhicule :** \_\_\_\_\_ places

**8. Type de moteur :**

|            |     |                          |     |                          |         |     |                          |     |                          |
|------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|---------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|
| Diesel     | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> | Essence | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> |
| Electrique | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> | Hybride | Oui | <input type="checkbox"/> | Non | <input type="checkbox"/> |

Autre (veuillez indiquer) : \_\_\_\_\_

**9. Capacité du moteur :** \_\_\_\_\_ chevaux

**10. Combien de fois par semaine réalisez-vous le plein de carburant pour votre voiture ?**  
 \_\_\_\_\_ fois /semaine



## 11. Type de carburant utilisé :

|                             |     | OUI | NON |
|-----------------------------|-----|-----|-----|
| Sans plomb<br>SP95 et SP98  | E5  |     |     |
| Sans plomb 95<br>SP95 - E10 | E10 |     |     |
| Éthanol                     | E85 |     |     |
| Gazole                      | B7  |     |     |
| Nouveau gazole              | B10 |     |     |
| Gazole synthétique          | XTL |     |     |
| Hydrogène                   | H2  |     |     |
| GPL                         | LPG |     |     |
| Gaz naturel<br>comprimé     | CNG |     |     |
| Gaz naturel<br>liquéfié     | LNG |     |     |

## 12. Aménagements particuliers dans votre véhicule :

12.1. Climatisation : Oui  Non Si « Oui », type de filtres utilisés : \_\_\_\_\_ ;  
fréquences à laquelle vous changez ces filtres : \_\_\_\_\_ fois / an12.2. Ventilateur d'appoint : Oui  Non 12.3. Chauffage : Oui  Non 

12.4. Utilisez-vous un filtre à particules « anti-pollution » ?

Oui  Non Si « Oui », de quel type de filtre s'agit-il ? \_\_\_\_\_ ;  
fréquence à laquelle vous changez ces filtres : \_\_\_\_\_ fois / an

12.5. Utilisez-vous un lubrifiant ou un autre produit « anti-pollution » ?

Oui  Non 

Si « Oui », de quel type de filtre s'agit-il ? \_\_\_\_\_

12.6. Autres aménagements (veuillez préciser) :


13. Fréquence des contrôles techniques :  fois / an

14. Fréquence des changements d'huile / de lubrifiant :  fois / an

15. Fréquence des changements de pneus :  fois / an

16. Fréquence du nettoyage de la moquette par des professionnels :  
 fois / mois ou  fois / an

17. Fréquence à laquelle vous passez vous-même l'aspirateur :  
 fois / semaine ou  fois / mois

18. Fréquence à laquelle vous lavez les vitres à l'intérieur du véhicule :  
 fois / mois ou  fois / an

19. Utilisez-vous des aérosols désodorisants ? Oui  Non

Si « Oui »,

Avec quelle fréquence ?  fois / jour ou  fois / semaine ou  fois / mois

20. Utilisez-vous des produits de nettoyage contenant des aérosols ? Oui  Non

Si « Oui »,

Avec quelle fréquence ?  fois / jour ou  fois / semaine ou  fois / mois

21. Quand vous conduisez et que la météo le permet, laissez-vous une fenêtre ouverte ?

Oui, toujours  Oui, parfois  Non, jamais

22. Quand vous stationnez et que la météo le permet, aimez-vous garder une fenêtre ouverte ?

Oui, toujours  Oui, parfois  Non, jamais

23. Etes-vous fumeur ? Oui  Non

Si « Oui »,

23.1. Aujourd'hui en particulier, avez-vous fumé pendant votre journée de travail ?

Oui  Non

Si « Oui », combien ?  cigarettes/jour

23.2. Avez-vous l'habitude de fumer dans votre véhicule ?

Oui  Non

Si « Oui », en général avec quelle fréquence ?  fois / jour ;

aujourd'hui avec quelle fréquence ?  fois / jour

23.3. Autorisez-vous vos clients à fumer dans votre véhicule ?

Oui  Non

Si « Oui », en général avec quelle fréquence ?  fois / jour ;

aujourd'hui avec quelle fréquence ?  fois / jour

23.4. Si vous fumez ou un client fume dans le véhicule, ouvrez-vous la fenêtre ?

Oui, toujours  Oui, parfois  Non, jamais

Des observations et / ou commentaires que vous désirez nous faire part : -----

## Annexe 15. Brochure d'informations en arabe, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth.

**مشروع  
« PUF-TAXI »**

تعرض سائقي سيارات الأجرة المهني للملوثات داخل سياراتهم وتأثير هذا التعرض على صحتهم التنفسية

**مشروع  
PUFTAXI**

**للإتصال بنا**

03 - 020 254  
70 - 326 585

**مشروع  
« PUF-TAXI »**

الجامعة اللبنانية  
كلية الصحة العامة  
مجمع بيار الجميل (مبنى كلية العلوم) -  
الطابق السادس - القار

بروفيسور تاجين صالح  
بروفيسور إبراهيم مخلص  
مكتور نبينا يوسف كركس

**PUF-TAXI**

**قل نعم**

**للمشاركة في المشروع  
فقط اتصل بنا**

\*\*\*

**بمساعتكم،**

يمكننا وضع استراتيجيات لتقليل التعرض للملوثات في السيارة  
نتقدم بالشكر والتقدير لجميع الأشخاص الذين سيوافقون على المشاركة في هذا البحث

**أتريد أن تكون جزءاً من مشروع « PUF-TAXI »؟ الأمر بسيط**

ما عليك سوى الحفاظ على حقيبة حمل تحتوي على أجهزة قياس التلوث داخل سيارتك، ليوم عمل واحد فقط، والإجابة على ثلاثة استبيانات

\*\*\*

**أنت دائماً على رأس أولوياتنا**

في نهاية البحث، سيتم اطلاعك على النتائج الإجمالية



**هل تريد أن تعرف مستوى التلوث داخل سيارتك؟ هذه هي فرصتك**

مشروع « PUF-TAXI »

لا يمنحك الفرصة للتعرف على مستوى تعرضك للملوثات فحسب، بل يساعد أيضاً في توضيح تأثيره على صحتك التنفسية

**هل تعتقد أن سيارتك عبارة عن درع مضاد للتلوث؟ أنت على خطأ**

المنافذ الهوائية قريبة جداً من العوادم

...

أنت خاضع لتلوث الهواء الناجم من قطاع النقل



Annexe 16. Questionnaire médical standardisé en arabe, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth.

## استبيان الطبي

يتمّ تعبئته من قبل المنسقة اللوجيستية

المشترك

الإسم:

الشهرة:

رقم الهاتف:

تاريخ الولادة:

رقم المشترك: \_\_\_\_\_



## معيار الإدراج والاستبعاد في المشروع

| كلا | نعم | معيار المشاركة                       |
|-----|-----|--------------------------------------|
|     |     | قد أكمل السنة الثامنة عشرة من عمره   |
|     |     | سائق سيارة أجرة بدوام كامل (مرخص له) |
|     |     | العمل لأكثر من ستّة أشهر في المهنة   |
|     |     | توقيع المشارك إستمارة موافقة للدراسة |

\* إذا كانت إجابة واحدة كلا، لا يُشمل المشارك

| كلا | نعم | معيار عدم المشاركة                       |
|-----|-----|--|
|     |     | العمل لمُدّة تقلّ عن ستّة أشهر في المهنة |

\* إذا كانت الإجابة نعم، عدم شمل المشترك.

|  |
|--|
| رقم المشترك: _____                                 |
| التاريخ (اليوم/الشهر/السنة): _____ / _____ / _____ |
| الوقت الدقيقة: _____: _____                        |

الجنس:  أنثى  ذكر

العمر: \_\_\_\_\_

الطول: \_\_\_\_\_

الوزن: \_\_\_\_\_

ضغط الدم: \_\_\_\_\_

#### للنساء فقط:

هل أنت حامل؟  نعم  كلا

هل ترضعين؟  نعم  كلا

#### التاريخ الطبي:

|        |             |                              |                              |               |
|--------|-------------|------------------------------|------------------------------|---------------|
| العلاج | عمر التشخيص |                              |                              | والمدة        |
|        |             | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | حساسية: _____ |
|        |             | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | الربو: _____  |

|       |                              |                              |                               |
|-------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| _____ | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | الإسداد الرئوي المزمن:        |
| _____ | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | إلتهاب الشعب الهوائية المزمن: |
| _____ | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | إنتفاخ الرئة:                 |
| _____ | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | ارتفاع ضغط الدم:              |
| _____ | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | مرض السكري خلال الطفولة:      |
| _____ | <input type="checkbox"/> كلا | <input type="checkbox"/> نعم | مرض السكري من النوع الثاني:   |
|       |                              |                              | غيره آخر: _____               |
|       |                              |                              | يرجى الذكر: _____             |

\* توفير الأدلة الطبية (فحوصات الدم والتنفس، وصفات طبية وغيرها...)  نعم  كلا

تعليق: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

إذا كان سائق سيارة الأجرة غير متأكد من الجواب، إختيار كلا.



## مشاكل في التنفس

١- هل كان لديك صغير في صدرك في أي وقت من أوقات في غضون الأشهر الإثني عشر الماضية؟

نعم  كلا

إذا كانت الإجابة نعم

١.١ متى حصل هذا الصغير؟

خلال العمل  نعم  كل

في المنزل  نعم  كلا

ظروف أخرى، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

٢- هل استيقظت بسبب صعوبة في التنفس في أي وقت من أوقات في غضون الأشهر الإثني عشر الماضية؟

نعم  كلا

٣- هل استيقظت بسبب عارض أم أزمة ضيق في التنفس في أي وقت من أوقات في غضون الأشهر الإثني عشر الماضية؟

نعم  كلا

٤- هل كان لديك سعال جاف في وقت ما خلال حياتك، بينما لم يكن لديك عدوى في الجهاز التنفسي (لا برد، لا التهاب في البلعوم، لا إنفلونزا، ولا فيروس)؟

نعم  كلا

إذا كانت الإجابة نعم،

٤.١ خلال الأشهر الإثني عشر الماضية، هل كنت تعاني من سعال جاف بينما لم تكن تعاني من عدوى في الجهاز التنفسي؟

كلا  نعم

٥- هل كنت تعاني من الربو سابقًا؟

كلا  نعم

إذا كانت الإجابة نعم،

٥. ١ هل تمّ تأكيد الربو من قبل طبيب؟

كلا  نعم

٥. ٢ إذا كانت الإجابة نعم، كم كان عمرك؟ \_\_\_\_\_

٥. ٣ هل كانت لديك أزمة ربو خلال الأشهر الإثني عشر الماضية؟

كلا  نعم

٥. ٤ هل كان لديك علاج للربو خلال الأشهر الإثني عشر الماضية (أدوية للاستنشاق، حبوب...)?

كلا  نعم

إذا كانت الإجابة نعم، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

٥,٥ في أيّ وقت عانيت من نوبات الربو؟

كلا  نعم  خلال العمل

كلا  نعم  في المنزل

ظروف أخرى، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

٦- هل تسعل عادةً عندما تستيقظ، في موسم معيّن؟

كلا  نعم

٧- هل تسعل عادةً خلال النهار أو خلال الليل في موسم معيّن؟

كلا  نعم

إذا كانت الإجابة نعم على السؤالين ٦ و ٧

٨- هل تسعل هكذا تقريبًا كلّ يوم خلال ثلاثة أشهر متتالية كلّ سنة؟

كلا  نعم

٨. ١ من كم سنة؟ \_\_\_\_\_

٨. ٢ في أي وقت تسعل؟

خلال العمل  نعم  كلا

في المنزل  نعم  كلا

ظروف أخرى، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

٩- هل لديك عادةً بلغم القادم من الصدر عندما تستيقظ في موسم معيّن؟

كلا  نعم

١٠- هل لديك عادةً بلغم القادم من الصدر خلال النهار أو الليل في موسم معيّن؟

كلا  نعم

إذا كانت الإجابة نعم على السؤالين ٩ و ١٠

١١- هل تبصقون هكذا تقريبًا كل يوم خلال ثلاثة أشهر متتالية كلّ سنة؟

كلا  نعم

١.١١ من كم سنة تقريباً \_\_\_\_\_

١٢- هل أخبرك الطبيب بأنّ لديك أيّاً من هذه الإشكالات من مرض الإنسداد الرئوي المزمن؟

١.١٢ التهاب الشعب الهوائية المزمن  نعم  كلا إذا نعم، العمر عند

التشخيص \_\_\_\_\_

٢.١٢ إنتفاخ الرئة  نعم  كلا إذا نعم، العمر عند

التشخيص \_\_\_\_\_

٣.١٢ إنسداد الرئوي المزمن (شكل غير محدد)  نعم  كلا إذا نعم، العمر عند التشخيص

\_\_\_\_\_

١٣- هل كان لديك حلقات/فترات عندما كانت إحدى من أعراضك أسوأ من العادة (سعال، بلغم، ضيق في

التنفس)؟

نعم  كلا

إذا كانت الإجابة نعم، متى؟

خلال العمل  نعم  كلا

في المنزل  نعم  كلا

ظروف أخرى، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

## مشاكل الأنف

١٤- هل سبق أن كان لديك عطس أو سيلان أنف أو لإنسداد أنف بينما لم تكن مصاباً بنزلة برد أو

بالإنفلونزا؟

نعم  كلا

إذا كانت الإجابة نعم،

- ١.١٤ منذ أي عمر وأنت تعاني من مشاكل الأنف؟ \_\_\_\_\_
- ٢.١٤ هل سبق أن كان لديك عطس أنف أو إنسداد أنف أو سيلان أنف بينما لم تكن مصابًا بنزلة برد أو بالإنفلونزا خلال الأشهر الإثني عشر الماضية؟
- نعم  كلا

إذا كانت الإجابة نعم،

- ١.٢.١٤ خلال الأشهر الإثني عشر الماضية، تراكمت مشاكل الأنف بإفراز الدموع أو حكة في العيون؟
- نعم  كلا

٣.١٤ في أي وقت عانيت من مشاكل الأنف؟

- خلال العمل  نعم  كلا
- في المنزل  نعم  كلا

ظروف أخرى، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

## التهاب الأنف التحسسي

١٥- هل حصل لديك حساسية حبوب اللقاح أو حمة القش؟

- نعم  كلا

إذا كانت الإجابة نعم،

١,١٥ منذ أي عمر بدأت تظهر عوارض حمى القش/الحساسية؟ \_\_\_\_\_

١٦- هل كان لديك نوع آخر من حساسية البرد (على الغبار، على العث، على الحيوانات...)

كلا

نعم

إذا كانت الإجابة نعم،

١,١٦ منذ أي عمر بدأت هذه الحساسية؟ \_\_\_\_\_

إذا كانت الإجابة نعم على السؤالين 15 و 16

١٧- هل حصلت يوماً على علاج لحساسية البرد خلال الأشهر الإثني عشر الماضية؟

كلا

نعم

إذا كانت الإجابة نعم، يرجى الذكر \_\_\_\_\_

## مشاكل الحلق

١٨- هل كان لديك مشاكل في الحلق (بحّة في الصوت، حكة أو تهيج) ولم تكن تعاني من أيّ التهاب (لا

برد، لا إنفلونزا...)?

كلا

نعم

إذا كانت الإجابة نعم،

١,١٨ منذ أي عمر وأنت تعاني من مشاكل الحلق؟ \_\_\_\_\_

٢,١٨ هل كان لديك مشاكل في الحلق (بحّة في الصوت، حكة أو حرقة في الحلق) ولم تكن تعاني من أيّ

إلتهاب (لا برد، لا إنفلونزا...) خلال الأشهر الإثني عشر الماضية؟

كلا

نعم

١٨. ٣ في أيّ وقت عانيت من مشاكل الحلق؟

كلا

نعم خلال العمل

كلا

نعم في المنزل

ظروف أخرى، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

١٩- هل حصلت معك مشاكل مرض الإرتجاج المرئي (Reflux Gastro-oesophagien)؟

كلا

نعم

إذا كانت الإجابة نعم، هل كان لديك علاج الحموضة خلال الأشهر الإثني عشرة الماضية؟

كلا

نعم

إذا كانت الإجابة نعم، يرجى الذكر

### مشاكل العين:

٢٠- هل حصلت لديك مشاكل العين (إحمرار العيون، أم حرقه الأعين) ولم تكن لديك إلتهابات (لا برد، لا

كلا

نعم

إنفلونزا...؟)

إذا كانت الإجابة نعم،

٢٠. ١ منذ أي عمر وأنت تعاني من مشاكل العيون؟ \_\_\_\_\_

٢٠. ٢ هل حصلت لديك إحمرار في العيون أم حرقه الأعين خلال الأشهر الإثني عشرة الماضية؟

كلا

نعم

٢٠. ٣ في أي وقت عانيت من هذه المشاكل في العيون؟

كلا

نعم

في المنزل

كلا

نعم

خلال العمل

ظروف أخرى، يرجى الذكر: \_\_\_\_\_

### مشاكل جلدية:

٢١ - هل حصلت لديك الإكزيما؟

كلا

نعم

إذا كانت الإجابة نعم،

٢١. ١ منذ أي عمر وأنت تعاني من مشاكل الإكزيما؟ \_\_\_\_\_

٢١. ٢ هل حصلت لديك الإكزيما خلال الأشهر الإثني عشر الماضية؟

كلا

نعم

### تحسّن الحالة الصحية خلال فترة الراحة

٢٢ - حدّد لكل عارض من القائمة التالية ما الذي سيكون الأفضل خلال أيام الراحة

| خلال العطلة (العطلة الطويلة) | خلال أيام الراحة (نهاية الأسبوع أو الفرص القصيرة < ٣ أيام) |     |  |
|------------------------------|--|-----|--|
|                              | نعم  | كلا |  |
| كلا                          |  |     | سعال جاف                                     |
|                              |  |     | بلغم   |
|                              |  |     | صفير الصدر (إن كنت غير مصاب بالرشح أو البرد) |



|  |  |  |  |   |
|--|--|--|--|---|
|  |  |  |  | التنفس (ضيق في التنفس، صعوبة في التنفس أم صفيير)  |
|  |  |  |  | مشاكل الأنف (تعطيس، إنسداد الأنف، رشح، حكة الأنف) |
|  |  |  |  | مشاكل العيون (إحمرار، تدميع، حكة العين)           |
|  |  |  |  | مشاكل الحلق (بحة، رعيان، حرقة)                    |
|  |  |  |  | وجع الرأس   |
|  |  |  |  | نوبات الربو                                       |

## التدخين

- ٢٣- هل أنت: مدخن أو توقفت عن التدخين من أقل من إثني عشر شهرًا
- مدخن سابق : توقفت عن التدخين منذ أكثر من إثني عشر شهرًا
- غير مدخن: لم تدخن يومًا

إذا كنت مدخن أو مدخن سابق،

٢٤- هل تدخن أو دخنت يومًا:

سجائر  سجائر إلكترونية  نرجيلة  غيرها: \_\_\_\_\_

٢٤. ١ عدد السجائر باليوم: \_\_\_\_\_

عدد رؤوس النرجيلة باليوم: \_\_\_\_\_

٢٤. ٢ عن أي عمر بدأت بالتدخين؟ \_\_\_\_\_

٢٤. ٣ هل حاولت الإقلاع عن التدخين من قبل؟  نعم

كلا

إذا كان الإجابة نعم،

٢٤. ٣. ١ عن أي عمر أقلعت عن التدخين؟ \_\_\_\_\_

كلا

٢٤. ٣. ٢ هل أقلعت بسبب المشاكل التنفسية؟  نعم

٢٥- هل كنت معرض بشكل دائم لدخان التبغ (التدخين من قبل الآخرين) في العمل، في المنزل، خلال الأشهر الإثني عشر الماضية (كل النهار أو كل الليل)؟

كلا

نعم

### أسئلة مختصة بنمط الحياة

٢٦- هل لديك حيوانات في المنزل؟

كلا

نعم

إذا كان الإجابة نعم، حدّد

٢٧- أي نوع من التدفئة تستعمل في إقامتك الحالية؟

المكيّف الهوائي

شوفاج مازوت

الشوفاج الكهربائي

شوفاج الغاز

سوبيا

شوفاج بالأرض

لا تدفئة

٢٨- أي نوع من الوقود تستعمل للطبخ في إقامتك الحالية؟

- الفحم
- الغاز
- الكهرباء
- الخشب

غيرها، يرجى الذكر \_\_\_\_\_

Annexe 17. Questionnaire « conducteur – véhicule » en arabe, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth.

## إستبيان " مركبة - السائق "

يتمّ تعبئته من قبل المنسّقة اللوجيستية في بداية يوم العمل،

بإستثناء الأسئلة باللون الأصفر

المشترك

الإسم \_\_\_\_\_

الشهرة \_\_\_\_\_

هاتف \_\_\_\_\_

تاريخ الولادة: (شهر / سنة): \_\_\_\_ / \_\_\_\_

رقم المشترك: \_\_\_\_\_

طرح الأسئلة باللون الأصفر في نهاية يوم العمل

التاريخ: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

رقم المشترك: \_\_\_\_\_

١- من أي عمر بدأت العمل؟ (اول عمل في حياتك) \_\_ عاماً

٢- هل تركت وظيفة ما بسبب صحي؟ كلا  نعم

إنذا "نعم" ،

١،٢- أي وظيفة؟ \_\_\_\_\_

٢،٢- لأي سبب صحي؟ \_\_\_\_\_

٣،٢- هل السبب هو من مشكلة في الجهاز التنفسي أو الحساسية؟  
كلا  نعم

٣- منذ أي عمر بدأت في العمل كسائق تاكسي؟ \_ \_ عاماً

٤- هل مررت بفترات توقفت عن العمل كسائق تاكسي خلالها؟  
كلا  نعم

إنذا "نعم" ،

٤. ١ تحديد التاريخ

من: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ الى \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

من: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ الى \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

٤. ٢ هل كانت لأسباب صحية؟  
كلا  نعم

٤. ٣ بسبب مشكلة في الجهاز التنفسي او الحساسية :  
كلا  نعم

٥. تقريباً، ما عدد ساعات عملك في اليوم؟ \_ \_ ساعة في اليوم  
وكم نهار في الأسبوع؟ \_ أيام / أسبوع

٦- تعملون : خلال النهار : كلا  نعم

خلال الليل :  كلا  نعم

الدوامان :  كلا  نعم

الإثنين بالتناوب :  كلا  نعم

٧- المناطق لتي تسوق فيها غالباً : \_\_\_\_\_

٨- حالياً ، ما هو نوع و طراز السيارة التي تستعملها ؟ نوع : \_\_\_\_\_ طراز: \_\_\_\_\_

٨.١ بلد صناعة السيارة : \_\_\_\_\_

٨.٢ تاريخ قيد الاستعمال السيارة للمرة الاولى : \_\_\_\_\_ (السنة)

٩- تاريخ الملكية : \_\_\_\_\_ (السنة)

١٠- من اي تاريخ قمت في هذه السيارة كاتكس /\_/\_/\_/\_/\_ (شهر/ سنة)

١١- عدد المقاعد : \_ \_

١٢- نوع المحرك :  ديزل :  كلا  البنزين :  كلا  نعم

١٣- طاقة المحرك: \_ \_ \_ عدد الأحصنة

١٤- كم مرة في الأسبوع تزود سيارتك بالوقود : \_ \_ مرة/ أسبوع

١٥- نوع الوقود المستخدمة :

بنزين خالي من الرصاص 95 :  بنزين خالي من الرصاص 98 :  ديزل :

١٦- التعديلات الخاصة في سيارتك

١٦. ١- هل لديك مكيف آلي : كلا نعم  
إنذا "نعم" ،

كم مرة بالسنة تغير هذا الفلتر: -- مرة / سنة

١٦. ٢- مروحة مساعدة : كلا نعم  
١٦. ٣- سخان : كلا نعم

١٦. ٤- هل تستخدمون أي مواد أو فيلتر خصوصي مضاض للتلوث ؟  
كلا نعم

١٧- مدى تكرار تغير الزيت: -- مرة / سنة

١٨- مدى تكرار تغير الدواليب : -- مرة / سنة

١٩- مدى تكرار تنظيف السيارة: -- مرة / أسبوع أو -- مرة / شهر أو -- مرة / سنة  
٢٠- هل تستعملون روائح معطرة : كلا نعم

إنذا "نعم" ،

كم مرة ؟ -- مرة / يوم أو -- مرة / أسبوع أو -- مرة / شهر

٢١- هل تفتحون النافذة عندما تقودون ويكون الطقس سامح لذلك ؟  
نعم، دائماً :  نعم، أحياناً :  كلا، أبداً :

٢٢- عند الوقوف والطقس سامح ، هل تفضلون ترك النافذة مفتوحة ؟  
نعم، دائماً :  نعم، أحياناً :  كلا، أبداً :

٢٣- هل أنت مدخن ؟ كلا نعم

إنذا "نعم" ،

٢٣. ١ - هل تدخن عادةً في السيارة ؟ كلا  نعم   
 إذا "نعم" ،

خاصةً اليوم، كم مرة؟ \_ \_ مرة / يوم

٢٣. ٢ - هل تسمح للزبائن بالتدخين في سيارتك ؟ كلا  لم   
 إذا "نعم" ،

خاصةً اليوم، كم مرة؟ \_ \_ مرة / يوم

٢٣. ٣ - إذا كنت تدخن أم الزبون يدخن في السيارة هل تفتح الشباك ؟  
 نعم، دائماً :  نعم، أحياناً  كلا  أبداً:

إذا "نعم" ،

خاصةً اليوم، كم مرة؟ \_ \_ مرة / يوم

تعليقات :

---



---



---



---

الباحث

الإسم ، الشهرة :

الإمضاء :

التاريخ : \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_



**Annexe 18.** Questionnaire « emploi du temps – espace – activités » en arabe, étude PUF-TAXI pilote à Beyrouth.



## إستبيان "الجدول الزمني - الأنشطة المهنية"

### المشترك


الإسم:

الشهرة:

وقت البداية: \_\_\_ : \_\_\_ عدد الكيلومترات:

وقت النهاية: \_\_\_ : \_\_\_ عدد الكيلومترات:

## الطريق ١:

عدد الزبائن : 

### الإطلاق

الساعة : \_\_ : \_\_ : المكان : \_\_\_\_\_

### الوصول

الساعة : \_\_ : \_\_ : المكان : \_\_\_\_\_

المنطقة:  بيروت  الجنوب  البقاع  الشمال  المتن

زحمة السير:  سهلة  كثيفة  خانقة

### خلال الرحلة

النافذة مفتوحة  نعم  كلا

مكيف  نعم  كلا

إعادة تدوير الهواء  نعم  كلا

توقيف المحرك أثناء إزدحام السير  نعم  كلا

السائق يدخن في السيارة  نعم  كلا

الزبون يدخن في السيارة  نعم  كلا

الإستراحة بعد الرحلة :  كلا  نعم : من ساعة \_\_ : لساعة \_\_ :  موقف سيارات فوق الأرض  إذا "نعم"، توقيف السيارة : مرآب  على الطريق  موقف سيارات تحت الأرض

النافذة مفتوحة  نعم  كلا

مكيف  نعم  كلا

إعادة تدوير الهواء  نعم  كلا

توقيف المحرك أثناء وقوف السيارات  نعم  كلا

السائق يدخن في السيارة  نعم  كلا



