

# ETUDE DE LA DISPERSION DE POLLUANTS PARTICULAIRES AUTOUR DES CAMIONS DE CHANTIERS. EVALUATION DES METHODES D'ABATTEMENT DES EMISSIONS ET DE L'INFILTRATION CABINE

## ENTREPRISE

L'ESTACA est une école d'ingénieurs faisant partie du groupe ISAE accréditée par la CTI. Elle est un acteur majeur de la formation d'ingénieurs dans les domaines du transport (aéronautique, automobile, espace, naval et transports guidés). Localisée sur trois sites (Saint Quentin en Yvelines, Laval et Bordeaux), elle accueille plus de 2500 étudiants. Ses équipes de recherche sont regroupées au sein d'ESTACALAB en deux Pôles : S2ET (« Systèmes et Energies Embarqués dans les Transports ») et MSCE (« Mécanique des Structures Composites et Environnement ») et sont réparties sur les trois campus. Le doctorant recruté sera intégré au pôle Mécanique des Structures Composites et Environnement (MSCE) et plus précisément dans l'équipe « Qualité de l'Air et Dépollution » (QUAD) sur le site de Bordeaux.

Le LAMIH UMR CNRS 8201 est une unité mixte de recherche entre l'Université Polytechnique Hauts-de-France et le CNRS qui regroupe environ 140 enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs et techniciens permanents. C'est un laboratoire pluridisciplinaire reconnu dans les domaines du transport et de la mobilité. Il dispose d'une compétence forte dans tout ce qui touche l'homme en interaction avec les systèmes techniques. Les enjeux majeurs de ses recherches concernent la réduction de l'impact environnemental et sociétal des transports et de la mobilité, ainsi que le transport centré sur l'homme et les Personnes à mobilité réduite. Le laboratoire est organisé en 4 départements : Automatique, Informatique, Mécanique et Sciences de l'Homme et du Vivant.

## CONTEXTE ET OBJECTIF

La qualité de l'air est un enjeu de santé publique majeur. En France, le Code de l'Environnement issu de la Loi n°96-1236 sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) reconnaît à chacun le droit de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Pourtant, nous sommes tous particulièrement exposés à des niveaux de concentrations de polluants gazeux (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>...) et particulaires (dénommés PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub> pour des particules ayant des diamètres aérodynamiques inférieurs à 10 microns, 2,5 microns et 1 micron, respectivement) qui excèdent souvent les seuils d'exposition recommandés. Cela est la cause d'affections respiratoires, pulmonaires, de problèmes cardiaques, de cancers, de maladies neuro-dégénératives, d'hypertension ou bien encore de troubles de la fertilité. A l'échelle nationale, selon Santé Publique France, 48000 décès par an y sont directement reliés. En 2020, selon l'Agence Européenne de l'Environnement, la pollution de l'air a causé la mort prématurée d'au moins 238000 européens. En 2012, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a ainsi classé les particules émises par les moteurs Diesel comme cancérigènes certains. Par ailleurs, la détérioration de la qualité de l'air

Campus Paris-Saclay / 12, avenue Paul Delouvrier, 78180 Montigny Le Bretonneux

Tél : +33 (0)1 75 64 50 41

Campus Ouest / Rue Georges Charpak-BP 76121, 53061 Laval cedex 9

Tél : +33 (0)2 43 59 47 00

SIRET 784 259 509 000 80 - CODE APE 8542Z

**ESTACA, CREATEUR DE NOUVELLES MOBILITES**

a été associée en 2015 à des coûts financiers astronomiques évalués à 100 milliards d'euros par an selon une commission d'enquête du Sénat.

Si on se focalise sur le transport routier comme source d'émission, deux origines peuvent être identifiées pour les particules : celles qui proviennent de l'échappement (liée à une combustion imparfaite dans le moteur) et celles émises hors échappement (liées à l'abrasion des pneus au contact de la chaussée, à l'usure des freins et à la remise en suspension des particules reposant déjà sur la route au passage des véhicules). Dans le cadre de cette thèse, nous considérerons le deuxième cas de figure exclusivement.

La connaissance précise des niveaux de concentrations de particules dans l'air est fondamentale et leurs baisses sont essentielles pour l'Union Européenne si elle veut tenir son objectif de réduction de plus de 50% des décès prématurés en 2030 par rapport au niveau de 2005. Compte tenu de leur taille micrométrique, voire nanométrique, ces particules ont une capacité à infiltrer les habitacles, que ce soit par le système de ventilation, par les fenêtres, par les défauts d'étanchéité des véhicules ou bien encore par le coffre. Ce dernier point souligne particulièrement l'importance de bien caractériser l'écoulement qui se développe autour et dans le sillage d'un véhicule (zone de recirculation...). Par ailleurs, nous ne sommes pas exposés aux mêmes seuils de pollution lorsqu'on circule dans une voiture sur une route revêtue (en campagne, sur le périphérique, sur l'autoroute, dans un tunnel ou en centre-ville) ou dans un camion sur une route non revêtue comme ce peut être le cas sur les chantiers de terrassement. Dans ce projet, en plus de ne considérer que les émissions de particules hors échappement, on se concentrera sur ce dernier cas de figure (camion et chantiers de terrassement). Précisément, les camions de chantiers circulant sur des routes non-revêtues, de par l'interaction pneu-route, arrachent des particules au sol et les remettent en suspension dans l'air ambiant. Celles-ci représentent un danger insidieux pour la santé des personnes exposées (travailleurs, voisinage...). A notre connaissance, il n'existe à ce jour aucun moyen efficace, peu coûteux, respectueux de l'environnement et répandu de limiter cette pollution dans de telles situations. Le transport des particules remises en circulation par les engins de chantiers dépend de l'interaction pneu-route, du sillage du véhicule et des conditions atmosphériques comme le vent, l'humidité et la température.

L'étude de ce phénomène complexe comportant de nombreux paramètres peut s'effectuer à l'aide d'un modèle numérique (Computational Fluid Dynamics) qui doit être validé par des mesures de terrain ou par des essais en laboratoire (soufflerie). Pour cette thèse, on ne considèrera que la dernière approche, c'est-à-dire des essais en soufflerie. Son objectif sera d'identifier une solution peu coûteuse et facile à implémenter pour limiter la remise en suspension des particules lors du passage des véhicules de chantier. Des appendices comme des bavettes flexibles et des jupes seront ajoutés au camion et leur efficacité sera évaluée expérimentalement par la caractérisation de la dynamique de l'écoulement proche du véhicule (abattement, dispersion...). La présence de bavettes flexibles donne lieu à des phénomènes complexes d'interactions fluide-structure et cette thèse a également pour but de les caractériser. L'ESTACA et le LAMIH disposent des moyens expérimentaux nécessaires pour réaliser ces travaux : souffleries de dimensions différentes, systèmes de mesures non intrusifs pour la caractérisation des écoulements (vélocimétrie LASER (LDV), vélocimétrie par images de particules (PIV), scanners de pression, système de vélocimétrie temps réel pour la reconstruction de champs de vitesse 3D, générateur et compteur de particules...). Les retombées attendues de cette thèse sont le partage des connaissances sur la thématique de remise en suspension de particules sous l'action du passage d'un véhicule, l'amélioration de la qualité de l'air sur les chantiers et enfin des suggestions d'intégration d'appendices sur tous véhicules pour en limiter les effets nécessaires.

Pour assurer le bon déroulement du projet, on s'appuiera sur les compétences développées conjointement par l'ESTACA et par le LAMIH. Des premiers résultats très intéressants ont été obtenus et publiés en utilisant des maquettes simplifiées et à échelle réduite de véhicules (corps d'Ahmed mono et bicorps, maquettes de véhicules de chantiers) dans des conditions expérimentales idéalisées (thèses de Romain Rodriguez, Camilla Chovet, Baptiste Plumejeau, Oumaima Oussairan, Bachar Obeid, Edwin Duran Garcia en particulier). Si ce dernier point constitue encore une limite à l'extrapolation des résultats aux cas réels, la nouvelle thèse devra nous permettre de progresser dans la compréhension des phénomènes impliqués.

Campus Paris-Saclay / 12, avenue Paul Delouvrier, 78180 Montigny Le Bretonneux

Tél : +33 (0)1 75 64 50 41

Campus Ouest / Rue Georges Charpak-BP 76121, 53061 Laval cedex 9

Tél : +33 (0)2 43 59 47 00

SIRET 784 259 509 000 80 - CODE APE 8542Z

**ESTACA, CREATEUR DE NOUVELLES MOBILITES**

Stratégiquement, en plus de se situer dans la continuité des travaux engagés à l'ESTACA et au LAMIH depuis plusieurs années, ce sujet est très important pour plusieurs raisons :

- Les études réalisées jusqu'à présent ont permis d'apporter des premiers éléments d'informations très utiles concernant le devenir des particules remises en suspension par des véhicules de chantiers évoluant sur des pistes non revêtues (thèses de Mickaël Le Vern et Bachar Obeid). De nombreux outils, dispositifs et des méthodes d'analyses innovantes ont été mis en place avec succès qu'il convient de continuer à développer. Les résultats majeurs tirés de ces travaux ont permis par exemple de souligner successivement les rôles importants que jouent les modes de chargement, les bavettes et la vitesse de circulation des engins sur la dynamique de l'écoulement de sillage. Les résultats ont également fait émerger de nouvelles questions et le besoin de prendre en compte d'autres paramètres justifiant le projet proposé (bavettes flexibles, jupes...). Le projet est donc très cohérent et dans la continuité des travaux engagés ;
- L'ESTACA vient de s'implanter en région Nouvelle Aquitaine. Pour déployer son offre de formation et ses activités de recherche, elle compte sur le développement de nouvelles synergies et collaborations avec le milieu de l'enseignement supérieur et de la recherche. Ce projet constitue une excellente opportunité pour contribuer à l'émergence de telles collaborations, surtout dans la thématique des transports qui est au cœur des préoccupations actuelles environnementales au niveau national ;
- Ce projet est aussi une pierre importante dans la construction d'une collaboration plus étendue avec d'autres partenaires (Université de Rouen et IMT Nord Europe) puisqu'il est envisagé, dans un avenir proche, une autre thèse orientée « numérique » avec ces partenaires. Il est donc fortement envisagé de solliciter un enseignant/chercheur de l'Université de Rouen et/ou de l'IMT Nord Europe pour intégrer le comité de suivi individuel du doctorant recruté.

D'un point de vue organisationnel, il y aura deux phases réparties équitablement entre l'ESTACA et le LAMIH implanté sur le campus de l'Université Polytechnique des Hauts de France à Valenciennes. Le doctorant recruté aura accès aux installations de Bordeaux (ESTACA) et de Valenciennes pour réaliser le travail demandé en utilisant des outils et des moyens de mesure complémentaires. L'équipe d'encadrement (deux personnes à Bordeaux et deux personnes à Valenciennes) a acquis de l'expérience sur le sujet et les moyens matériels qui seront utilisés sont fonctionnels et à disposition. Ceci assurera un démarrage rapide dans de bonnes conditions et permettra d'avoir une bonne vision du temps nécessaire pour réaliser chaque étape identifiée. Des revues d'avancement seront régulièrement organisées pour s'assurer du bon déroulement. Cette organisation est un atout pour la réussite du projet. Dans le cadre des travaux au LAMIH de Valenciennes, le ou la candidat(e) sera rattaché(e) au sein du département de mécanique dans le groupe de recherche scientifique « Dynamique des Matériaux, des Structures et des Fluides ». A l'ESTACA, l'étudiant sera intégré à l'équipe « Qualité de l'air et Dépollution » au sein du pôle MSCE (« Mécanique des Structures Composites et Environnement »).

Si cette thèse doit permettre l'identification et la pertinence de la mise en œuvre des solutions de réduction de la pollution de l'air dans le cadre de la mobilité et des transports sur des routes non revêtues (e.g. chantiers de terrassement et constructions), du point de vue des retombées, plusieurs éléments sont également attendus :

- **Aspect environnemental** : amélioration de la qualité de l'air intérieur (cabine) et extérieur sur les chantiers (travailleurs) et vis-à-vis des résidents et agriculteurs (rendement) aux abords des chantiers, limitation des déperditions en eau et fin de l'utilisation de produits chimiques stabilisants. Importance de ces enjeux clairement identifiés par l'ADEME et le CITEPA ;

Campus Paris-Saclay / 12, avenue Paul Delouvrier, 78180 Montigny Le Bretonneux

Tél : +33 (0)1 75 64 50 41

Campus Ouest / Rue Georges Charpak-BP 76121, 53061 Laval cedex 9

Tél : +33 (0)2 43 59 47 00

SIRET 784 259 509 000 80 - CODE APE 8542Z

**ESTACA, CREATEUR DE NOUVELLES MOBILITES**

- **Aspect scientifique** : amélioration de l'état des connaissances par le biais de publications dans des revues et des conférences, renforcement d'un partenariat fructueux entre l'ESTACA, l'Université Polytechnique des Hauts de France, l'Université de Rouen (CORIA) et l'IMT Nord Europe (LGCgE) permettant d'accroître la visibilité de leurs activités de recherches ;

- **Aspect économique** : préconisations sur le design des véhicules de chantiers et/ou sur leurs conditions de circulation ;

- **Aspect sociétal** : application de la démarche à d'autres types de véhicules (routier, marin, ferroviaire...).

## POSTE ET MISSIONS

Les objectifs principaux de la thèse seront les suivants :

- **Etude bibliographique.** Elle permettra de bien comprendre le contexte, l'état des connaissances, la problématique et les enjeux en s'appuyant sur une base de données disponible (articles, thèses, rapports...) déjà très fournie ;
- **Mesures expérimentales en soufflerie de l'écoulement d'air autour de camions (monophasique).** Différentes configurations seront testées (cas référence, bavettes flexibles ou non, jupes...) avec focus sur les parties en proche paroi/appendices/cabine et latérale. Les résultats seront comparés à ceux disponibles dans la littérature. Deux maquettes de camion seront utilisées correspondantes à deux échelles différentes adaptées aux installations expérimentales. Des mesures de champs de vitesses (moyens et turbulents), de pression et de forces seront principalement réalisées à l'aide de différentes techniques disponibles au sein des laboratoires ;
- **Mesures expérimentales en soufflerie de l'écoulement diphasique.** En fonction de l'avancement des travaux, des mesures diphasiques pourront être effectuées en utilisant un générateur de particules et un compteur de particules à l'ESTACA Bordeaux en reprenant des conditions expérimentales étudiées en soufflerie pour un ou plusieurs cas d'étude. Le lien entre les champs de concentration et la dynamique de l'écoulement pourra être discuté ;
- **Analyse et interprétation de l'ensemble des données collectées** : cette partie pourra s'appuyer sur des moyens déjà développés à l'ESTACA qu'il conviendra d'adapter et/ou d'optimiser ;
- **Rédactions du manuscrit et d'articles** pour des revues et des conférences nationales et/ou internationales.

Pour mener à bien ce travail, le (la) candidat(e) retenu(e) sera accompagné pour la prise en main des installations expérimentales (formation préalable sur les règles de sécurité) sur les deux sites.

## PROFIL

**Diplôme(s) requis :** Diplôme d'ingénieur ou M2 Recherche (mécanique des fluides, turbulence, écoulements, énergétique, aérodynamique, véhicules terrestres...).

Campus Paris-Saclay / 12, avenue Paul Delouvrier, 78180 Montigny Le Bretonneux

Tél : +33 (0)1 75 64 50 41

Campus Ouest / Rue Georges Charpak-BP 76121, 53061 Laval cedex 9

Tél : +33 (0)2 43 59 47 00

SIRET 784 259 509 000 80 - CODE APE 8542Z

**ESTACA, CREATEUR DE NOUVELLES MOBILITES**

**Compétences attendues :** Goût pour les études expérimentales (soufflerie), les techniques de mesures (LDV/PIV/générateurs et compteurs de particules...), motivé(e) par la mécanique des fluides, la turbulence et/ou écoulements de sillage. Intérêt pour l'analyse de données (maîtrise souhaitée d'un logiciel type Matlab, Python, Excel ou autre). Goût pour le travail en équipe, dynamique, autonome, organisé, sens de l'initiative. Très bon niveau d'anglais (lu, écrit, parlé).

Début souhaité : septembre ou octobre 2025

Durée : 36 mois

Le salaire brut mensuel sera d'environ 2160€ (~28k€/an) € et le LAMIH financera la participation à des conférences internationales et nationales. Le candidat(e) doit envoyer un CV ainsi que le nom et l'adresse électronique d'enseignants ou de superviseurs actuels ou anciens acceptant de rédiger des lettres de recommandation. Parallèlement au processus de candidature, le candidat(e) devra postuler pour une habilitation en zone à régime restrictif (LAMIH).

## POLE DE RECHERCHE ET LIEU DU POSTE

**POLE MECANIQUE DES STRUCTURES COMPOSITES ET ENVIRONNEMENT (MSCE)**

Qualité de l'air

Allègement

**POLE SYSTEMES ET ENERGIE EMBARQUES POUR LE TRANSPORT (S2ET)**

Energie et contrôle

Systèmes embarqués

### CAMPUS

Campus Ouest à Laval

Campus Paris-Saclay à Saint-Quentin-en-Yvelines

Campus de Bordeaux

## CONTACTS

Dr Frederic Murzyn, ESTACA Bordeaux, Email: [Frederic.MURZYN@estaca.fr](mailto:Frederic.MURZYN@estaca.fr)

Profile: <https://www.estaca.fr/frederic-murzyn.html>

Dr Emmanuel Binyet, ESTACA Bordeaux, Email: [Emmanuel.binyet@estaca.fr](mailto:Emmanuel.binyet@estaca.fr)

Pr Laurent Keirsbulck, LAMIH UMR CNRS 8201, Université Polytechnique des Hauts de France (Valenciennes), Email : [laurent.keirsbulck@uphf.fr](mailto:laurent.keirsbulck@uphf.fr)

Campus Paris-Saclay / 12, avenue Paul Delouvrier, 78180 Montigny Le Bretonneux

Tél : +33 (0)1 75 64 50 41

Campus Ouest / Rue Georges Charpak-BP 76121, 53061 Laval cedex 9

Tél : +33 (0)2 43 59 47 00

SIRET 784 259 509 000 80 - CODE APE 8542Z

**ESTACA, CREATEUR DE NOUVELLES MOBILITES**

#### REMARQUE :

Financement 100% ESTACA

#### INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES :

Côté ESTACA, Frédéric Murzyn et Emmanuel Binyet assureront l'encadrement au quotidien du doctorant pendant son séjour à Bordeaux. Ils s'assureront qu'il aura bien les moyens matériels et les ressources pour réaliser ses travaux. Ils auront également un rôle de formateur pour l'utilisation des moyens de mesure, en particulier par rapport aux conditions de sécurité. Ils s'assureront également que le doctorant aura bien à disposition tous les moyens informatiques et les ressources bibliographiques permettant la réalisation dans les meilleures conditions possibles de la thèse. Côté LAMIH, Laurent Keirsbulck jouera le même rôle.

L'équipe encadrante au complet sera également là pour s'assurer de la bonne conduite des expériences ce qui sera un atout pour la bonne coordination de la thèse. Au moins un membre de l'équipe encadrante sera toujours disponible.

En plus de l'équipe encadrante, des techniciens seront également disponibles pour aider le doctorant en fonction de ses besoins, pour de l'usinage de maquettes, l'adaptation de dispositifs expérimentaux et pour l'accompagner lors des campagnes de mesures si nécessaire.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Airparif. (2023) Bilan de la qualité de l'air en Ile de France, Rapport technique, Airparif, Paris, France.

Chekrouba, K., Benabed, A. and Mehel, A. (2024) Numerical study of particle dispersion in the wake of a static and rotating cylinder at  $Re=140000$ , Physics of Fluids, 36, 063334.

CITEPA. (2021) Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022 - Format Secten, Rapport technique.

EEA (European Environment Agency) (2020) Air quality in Europe : 2020 report, Rapport technique, Publication office 2020.

Gérardin, F., Gentric, C. and Midoux, N. (2014) Particle dispersion in the near-wake of an isolated rotating wheel: experimental and CFD study, Journal of Aerosol Science, 76, pp. 56-71.

Igali, D., Mukhmetov, O., Zhao, Y., Cheong-Fok, S. and Teh, S.L. (2019) Comparative analysis of turbulence models for automotive aerodynamic simulation and design, International Journal of Automotive Technology.

Keirsbulck, L., Cadot, O., Basley, J. and Lippert, M. (2023) Base suction, entrainment flux, and wake modes in the vortex formation region at the rear of a three-dimensional blunt bluff body, Physical Review E 108 (1), 015101

Keirsbulck, L., Cadot, O., Lippert, M., Boussemart, D., Basley, J., Delprat, S. and Paganelli S. (2024), Underbody flow control for base drag reduction of a real car model, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 252, 105822

Maramizonouz, S., Nadimi, S., Skipper, W. and Lewis, R. (2025) CFD-DEM modelling of particle entrainment in wheel-rail interface: a parametric study on particle characteristics, Railway Engineering Science.

Nadamani, M., Dbouk, T., Obeid, B., Murzyn, F. and Harion, J.L. (2025) CFD analysis of fine clay particles dispersion from a truck operating on unpaved roads, Atmospheric Pollution Research, 16, 102408.

Obeid, B., Muresan-Paslaru, B., Murzyn, F. and Razakamanantsoa, A. (2024) Factors influencing particle resuspension and dispersion: an experimental study using test-track measurements, Transportation Research Part D, 134, 104321.

Obeid, B. (2024) Etudes expérimentales et numériques de l'écoulement de sillage d'un camion de chantier : effet des appendices, de la vitesse et du mode de chargement sur l'envol des particules, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 245 pages.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (2021) WHO global air quality guidelines : particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, Rapport technique, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse.

Oussairan, O. (2023) Etude expérimentale de l'interaction entre deux véhicules automobiles qui se suivent : application à la dispersion de polluants gazeux et particulaires, Thèse de doctorat, Normandie Université, 251 pages

Oussairan, O., Varéa, E., Fokoua, G., Patte-Rouland, B and Murzyn, F. (2023) Interaction between two car models with application to pollutant dispersion, Experimental Thermal and Fluid Science, 1 43, 110815 (doi: <https://doi.org/10.1016/j.exptthermflusci.2022.110815>)

Plumejeau, B., Delprat, S., Keirsbulck, L., Lippert, M. and Abassi, W. (2019) Ultra-local model-based control of the square-back Ahmed body wake flow, Physics of Fluids 31 (8)

Plumejeau, B., Keirsbulck, L., Basley, J., Lippert, M., Delprat, S. and Abassi, W. (2023) Drag mitigation by steady blowing and Coanda effect on a square back Ahmed body, European Journal of Mechanics-B/Fluids 98, 80-91

Plumejeau, B., Keirsbulck, L., Delprat, S., Lippert, M. and Abassi, W. (2020) Behavior of the square-back Ahmed body global modes at low ground clearance, Physical Review Fluids 5 (8), 084701

Rodriguez, R. (2018) Etude expérimentale de la dispersion de particules ultrafines dans le sillage de modèles simplifiés de véhicules automobiles, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, 270 pages

Rodriguez, R., Murzyn, F., Aubry, J., Mehel, A. and Larrarte, F. (2018) An innovative LDV data processing method for statistical error corrections. Application to homogeneous and non-homogeneous seeding, Flow Measurement and Instrumentation, 60, 67-77 (doi: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.02.011>)

Rodriguez, R., Murzyn, F., Mehel, A. and Larrarte, F. (2020) Dispersion of ultrafine particles in the wake of car models: a wind tunnel study, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 198, 104109 (doi: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104109>)