OFFRE DE THESE EN MECANIQUE DES FLUIDES

Titre : Développement d'un système de gestion intelligente de la ventilation pour l'amélioration de la qualité de l'air habitacle

Mots clefs : HVAC intelligent, Qualité de l'air, Capteurs embarqués, CFD multiphasique, Contrôle adaptatif, Filtration automobile

Offre *:* Doctorat - Université de Paris-Saclay, Laboratoire ESTACA'Lab (Saint-Quentin-en-Yvelines)

Encadrement en collaboration :

ESTACA : Directeur de thèse : Pr Amine MEHEL, Encadrants: Dr Nadir HAFS, Dr Khelil SIDI-BRAHIM

CONTEXTE GENERAL

La pollution de l'air dans les véhicules est une problématique de santé publique de plus en plus reconnue. En effet, plusieurs études ont démontré que les concentrations de polluants dans l'habitacle peuvent atteindre, voire dépasser, celles mesurées à l'extérieur, notamment en situation de circulation dense ou de trafic urbain ***(Mehel et al., 2023 ; Ramos et al., 2021 ; Padró-Martínez et al., 2012).*** Les principales sources de pollution dans l'habitacle proviennent soit de l'extérieur par un process d'infiltration des gaz et particules, soit des émissions internes des composés organiques volatils (COV) issus des matériaux et revêtements des différents équipements intérieurs (tableau de bord, sièges. …)

Dans ce contexte, le projet Amélioration des Connaissances de la qualité de l'Air dans un habitacle automobile **(AmCoAir-*ADEME 2020–2024)*** a été une initiative pionnière visant à mieux caractériser, et d'une manière contrôlée, l'infiltration des polluants dans l'habitacle en fonction des différents paramètres d'influence dont notamment la ventilation. La plateforme expérimentale originale (Bulle de l'Estaca) développée dans le cadre de ce projet a permis de générer une atmosphère contrôlée et homogène, offrant ainsi des conditions de mesure reproductibles et fiables, sans les biais liés aux paramètres environnementaux extérieurs.

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'importance du mode de ventilation (recyclage, prise d'air extérieur, etc.) sur la concentration en particules fines (PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}), en dioxyde d'azote (NO_2) et en COV dans l'habitacle ***(Mehel et al., 2024).*** Ces résultats ont contribué à la définition de protocoles standards pour la mesure embarquée de la qualité de l'air, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles stratégies de filtration active ou de gestion adaptative du système de ventilation.

Face à l'évolution des normes sanitaires et environnementales, les constructeurs automobiles sont de plus en plus incités à intégrer des systèmes intelligents capables de surveiller en temps réel la qualité de l'air et d'adapter les conditions de ventilation afin de préserver la santé des usagers ***(Zhou et al., 2019 ; Wang et al., 2022).***

OBJECTIF

L'objectif principal de cette thèse est de **concevoir et développer un système intelligent de ventilation (HVAC) pour véhicules**, capable de **réguler dynamiquement les flux d'air** dans l'habitacle en fonction des niveaux de pollution mesurés en temps réel, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du véhicule. Ce système visera à améliorer le confort et la santé des occupants en garantissant une qualité d'air optimale dans des conditions de circulation variables.

Pour cela, le projet repose sur **l'intégration de capteurs dynamiques** capables de détecter en continu les concentrations de polluants gazeux (NO_2, CO_2, COV) et particulaires (PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}), et de transmettre ces données à un **algorithme de contrôle adaptatif**. Celui-ci aura pour fonction d'analyser les niveaux de pollution et de **piloter automatiquement les volets de ventilation** ainsi que les systèmes de filtration, en fonction de critères définis (seuils sanitaires, tendances temporelles, préférences utilisateur, etc.).

Les principales tâches consistent donc à :

- Optimiser le choix du capteur en termes de capacité de mesure dynamique sous flux d'air
- Étudier la dynamique des polluants en interaction avec l'écoulement autour et dans le véhicule, via des simulations numériques de l'écoulement multiphasique (CFD), et optimiser le positionnement des capteurs au sein du véhicule pour une mesure fiable et rapide
- Développer le pilotage automatique des volets de ventilation par un algorithme de contrôle adaptatif
- Étudier les systèmes de filtration dans la plateforme expérimentale Bulle de l'Estaca

Cette approche permettra de :

- **Réduire l'infiltration des polluants extérieurs**, notamment lors des pics de pollution, des embouteillages, ou à proximité de sources d'émission comme les tunnels ou les zones industrielles.
- **Limiter l'accumulation de polluants intérieurs**, issus de l'expiration humaine, des matériaux de l'habitacle et liée à la recirculation prolongée.
- **Améliorer l'efficacité énergétique** du système HVAC en optimisant son fonctionnement selon la qualité de l'air réelle, plutôt que sur des réglages fixes.

En complément, le projet explorera des approches de **modélisation prédictive** (par exemple via l'intelligence artificielle ou le machine learning) pour anticiper les évolutions de la qualité de l'air en fonction des conditions de conduite, de la géolocalisation, ou des données météorologiques, afin d'**anticiper les actions de régulation** du système.

L'ensemble de la démarche s'appuiera à la fois sur des **essais expérimentaux** (environnement contrôlé et tests embarqués sur véhicule) et sur des **modélisations numériques des écoulements multiphasiques** (CFD, optimisation), dans un cadre interdisciplinaire mêlant mécanique des fluides, électronique embarquée/automatique, capteurs, et data science.

Le projet s'appuiera sur des outils et infrastructures déjà disponibles au sein du laboratoire ESTACA'LAB, garantissant la faisabilité et la robustesse de la démarche.

LIEU DE TRAVAIL ET ENCADREMENT

La thèse se déroulera au laboratoire ESTACA'LAB, situé dans les locaux de l'ESTACA campus Paris Saclay. Le projet sera dirigé par Pr. Amine MEHEL et encadré par Dr. Nadir HAFS et Dr. Khelil SIDI BRAHIM.

PROFIL & DEBUT THESE

Profil :

- Le candidat idéal est titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou d'un Master 2 en mécanique des fluides, énergétique ou aérodynamique, avec une forte appétence pour les approches numériques et ayant eu au moins une expérience en étude expérimentale.
- Une bonne maîtrise des outils de simulation CFD (Ansys Fluent, OpenFOAM ou équivalents).
- Des compétences en électronique embarquée, acquisition de données et traitement du signal (LabVIEW, Arduino/Raspberry Pi, Python).
- Une familiarité avec les modèles de régulation et/ou les techniques d'apprentissage automatique est un atout supplémentaire.
- Le candidat doit être rigoureux, curieux et capable de travailler de manière autonome dans un environnement de recherche pluridisciplinaire et collaboratif.

REMUNERATION ET LIEU DU POSTE

Le salaire brut mensuel du doctorant sera de **2300€ brut/mois**. Prise en charge des frais de transport (Navigo) à hauteur de 50%

Lieu du déroulement de la thèse :

- ESTACA Saint Quentin-en-Yvelines

CONTACTS

Pr. Amine MEHEL
Directeur de thèse (ESTACA)
Email : *amine.mehel@estaca.fr*

Dr. Nadir HAFS
Encadrant de thèse (ESTACA)
Email : *nadir.hafs@estaca.fr*

Dr. Khelil SIDI-BRAHIM
Encadrant de thèse (ESTACA)
Email : khelil.sidi-brahim@estaca.fr

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Mehel, A., Deville-Cavellin, L., Joly, F., Sioutas, C., Murzyn, F., Cuvelier, Ph. And Baudic, A., *On-board measurements using two successive vehicles to assess in-cabin to on-road pollutants concentration ratios, Atmospheric Pollution Research,* Vol. 14, Issue 2, February 2023.
- Mehel, A., Hafs, N., Djeddou, M., Chevrier, P., Er-Rbib, H., Fokoura, G., Perez, D., Benabed, A., Cuvelier, Ph. et Mostefaoui, M. 2024**.** *Amélioration des connaissances de la qualité de l'air dans un habitacle automobile*. Rapport Projet ADEME, 130 pages.
- Padró-Martínez, L. T., et al. (2012). *Mobile monitoring of particle number concentration and other traffic-related air pollutants in a near-highway neighborhood over the course of a year. Atmospheric Environment*, 61, 253–264.
- Ramos, C. A., Almeida, S. M., & Alves, C. A. (2021). *Indoor air quality in vehicles*. *Environmental Pollution*, 268, 115691.
- Wang, X., et al. (2022). *Development of intelligent HVAC systems for improving in-cabin air quality*. *Sensors*, 22(7), 2601.
- Zhou, Y., et al. (2019). *A review of ventilation system performance in passenger vehicles: Implications for indoor air quality and passenger comfort*. *Building and Environment*, 158, 323–337.