



COMPARAISON DE METHODES DE MODELISATION DE L'EXPOSITION A LA POLLUTION DE L'AIR

Organismes d'accueil : [CEREA](#) et [LMD](#), dans le cadre du thème de recherche Composair (composition atmosphérique et qualité de l'air) de l'[IPSL](#)

Profil recherché : Etudiant·e en école d'ingénieur ou en master recherche scientifique

Début et durée du stage : février/avril, 4 à 6 mois à temps plein

Lieux de travail : CEREA (Ecole des Ponts, Champs-sur-Marne) et LMD (Sorbonne Université, Jussieu, Paris)

Rémunération : Gratification de 590 € / mois

CONTEXTE SCIENTIFIQUE

L'Île-de-France est une zone urbaine dense qui connaît régulièrement des épisodes de dépassements des seuils réglementaires relatifs à la pollution de l'air, notamment pour le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules (PM_{2.5} et PM₁₀). Pour le dioxyde d'azote, le rapport 'Bilan 2019 de la qualité de l'air en Île-de-France' d'Airparif estime le nombre de Franciliens exposés au dépassement du seuil annuel à 500 000 personnes, dont 10% des Parisiens, en particulier sur les grands axes routiers. Devant une connaissance accrue depuis quinze ans sur les conséquences sanitaires de l'exposition à la pollution de l'air et des mécanismes biologiques sous-jacents, l'OMS a par ailleurs abaissé la quasi-totalité des seuils recommandés pour les principaux polluants en 2021.

A l'échelle nationale l'évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS) publiée en 2016 par Santé publique France estime ainsi la mortalité liée aux particules fines PM_{2.5} à 48000 décès prématurés par an, soit 9% de la mortalité en France et une perte d'espérance de vie de 2 ans à 30 ans (Medina, Pascal, and Tillier 2016). Cette évaluation s'appuyait sur les concentrations en polluants déterminées par le modèle de qualité de l'air CHIMERE (Mailler et al. 2017). De plus, une EQIS menée en Belgique a montré que la prise en compte des dynamiques des populations par un modèle multi-agent de mobilité dans ces évaluations avait un impact à l'échelle locale sur les mortalités estimées (Dhondt et al. 2012).

Les études sanitaires s'appuyant sur l'épidémiologie et des estimations de l'exposition mettent en évidence les conséquences sanitaires de l'exposition aux particules fines et au dioxyde d'azote. L'évaluation de l'exposition aux polluants et de ses effets sur la santé humaine peut reposer sur les observations de surveillance de la qualité de l'air ou bien sur la modélisation. Cette dernière présente l'avantage de permettre la simulation de scénarios de politiques publiques sous forme de projections.

Afin d'évaluer l'effet des politiques publiques de transport sur la qualité de l'air et l'exposition, des chaînes de modélisation ont ainsi été développées récemment et appliquées à la région Île-de-France : modèle Olympus (Elessa Etuman, Coll, and Rivera Salas 2021), modèle EXPLUME (Valari et al. 2020). Cependant la question des incertitudes associées aux chaînes de modélisation mobilité-émissions-qualité de l'air, notamment pour les expositions aux polluants, demeure encore peu étudiée.

SUJET DU STAGE ET OBJECTIFS

Le stage s'inscrit dans une démarche d'analyse de sensibilité dans le calcul des expositions aux polluants dans le cas de l'utilisation d'une **chaîne de modélisation mobilité - émissions - qualité de l'air - exposition**. Pour le cas d'étude considéré la mobilité sera représentée à l'aide du modèle multi-agents MATSim (Axhausen and ETH Zürich 2016), les émissions seront évaluées via le modèle HBEFA et la qualité de l'air par une approche multi-échelles (Polyphemus (Mallet et al. 2007) et/ou CHIMERE / MUNICH (Kim et al. 2022)) visant à déterminer les concentrations de polluants dans l'atmosphère de fond urbain et la proximité du trafic en zone urbaine dense. L'exposition à la pollution de l'air sera enfin estimée à partir des données d'activité de MATSim et des concentrations en air extérieur des polluants, en tenant compte de l'infiltration dans les bâtiments et les micro-environnements de transport à partir des ratios intérieur-extérieur estimés dans EXPLUME.

L'objectif du stage sera de réaliser des **analyses de sensibilité** par rapport à différents aspects méthodologiques de la chaîne de modélisation de l'exposition à la pollution de l'air ainsi obtenue. On définit l'**exposition** globale d'une population simulée comme l'ensemble des scénarios d'activité journalière d'une cohorte d'individus simulés croisé avec une distribution spatiale et temporelle des concentrations en polluants dans les milieux fréquentés. Cette analyse de sensibilité inclura donc la **méthode mise en œuvre pour générer les scénarios d'activité** journalière, mais également la façon d'exploiter l'information sur les concentrations dans l'air en y incluant une représentation des espaces extérieurs et intérieurs.

- L'approche de modélisation basée sur le modèle multi-agents de mobilité MATSim génère de façon cohérente les **émissions** de polluants engendrées par la mobilité simulée puisque les émissions sont allouées le long des trajets explicitement réalisés par les agents. Dans la version actuelle d'EXPLUME par contre la demande de mobilité des individus est évaluée indépendamment des émissions de polluants qui sont évaluées par ailleurs.
- Concernant l'évaluation des concentrations en environnement intérieur, différents **coefficients d'infiltration d'air extérieur en intérieur** pourront être comparés, notamment concernant la résolution spatiale de ces coefficients (coefficient moyen vs coefficients spatialisés issus du modèle de bâtiment). Ces variations concernent le bâti, mais aussi les transports en commun.
- L'utilisation d'un modèle régional et d'un modèle local offre la possibilité d'estimer les **concentrations en air extérieur en fond urbain et en proximité de la source trafic**. Cette dernière sera également exploitée pour des tests de sensibilité de la chaîne exploitant différentes combinaisons de ces informations.

La comparaison portera en pratique sur les expositions globales de la population simulée, les variabilités en son sein et la sensibilité des cartes d'exposition (exposition ramenée à la commune d'habitation ou exposition ramenée à un lieu) engendrées par les différents choix méthodologiques.

QUALITES ET COMPETENCES SOUHAITEES

- Bonne maîtrise de la programmation avec Python requise, C++ serait apprécié
- Intérêt pour les questions environnementales
- Capacité à travailler de manière autonome et à travailler en équipe (collaboration entre deux laboratoires de l'IPSL)

ENCADREMENT DU STAGE

Le stage repose sur une collaboration entre plusieurs laboratoires situés en Île-de-France : le Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) et le Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique (CEREA), membres de l'Institut Pierre Simon Laplace, et le Laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT).

Le stage sera hébergé conjointement au CEREA et au LMD avec l'encadrement de Marjolaine Lannes (CEREA/LVMT), Yelva Roustan (CEREA), Myrto Valari (LMD) et Nicolas Coulombel (LVMT).

Merci d'envoyer votre candidature (CV et lettre de motivation) par e-mail à :

marjolaine.lannes@enpc.fr ; yelva.roustan@enpc.fr ; myrto.valari@lmd.ipsl.fr ;
nicolas.coulombel@enpc.fr

BIBLIOGRAPHIE

- Axhausen, Kay W. and ETH Zürich. 2016. *The Multi-Agent Transport Simulation MATSim*. Edited by ETH Zürich, Andreas Horni, Kai Nagel, and TU Berlin. Ubiquity Press. <https://doi.org/10.5334/baw>.
- 'Bilan 2019 de La Qualité de l'air En Île-de-France'. 2020. Airparif. <https://airparif.asso.fr/bilan/2020/bilan-de-la-qualite-de-lair-en-ile-de-france-en-2019>.
- Dhondt, Stijn, Carolien Beckx, Bart Degraeuwe, Wouter Lefebvre, Bruno Kochan, Tom Bellemans, Luc Int Panis, Cathy Macharis, and Koen Putman. 2012. 'Health Impact Assessment of Air Pollution Using a Dynamic Exposure Profile: Implications for Exposure and Health Impact Estimates'. *Environmental Impact Assessment Review* 36 (September): 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.03.004>.
- Elessa Etuman, Arthur, Isabelle Coll, and Virna Rivera Salas. 2021. 'OLYMPUS: An Emission Model to Connect Urban Form, Individual Practices and Atmospheric Pollutant Release'. *Atmospheric Environment* 245 (January): 118013. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118013>.
- Kim, Youngseob, Lya Lugon, Alice Maison, Thibaud Sarica, Yelva Roustan, Myrto Valari, Yang Zhang, Michel André, and Karine Sartelet. 2022. 'MUNICH v2.0: A Street-Network Model Coupled with SSH-Aerosol (v1.2) for Multi-Pollutant Modelling'. *Geoscientific Model Development* 15 (19): 7371–96. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-7371-2022>.
- Mailler, Sylvain, Laurent Menut, Dmitry Khvorostyanov, Myrto Valari, Florian Couvidat, Guillaume Siour, Solène Turquety, et al. 2017. 'CHIMERE-2017: From Urban to Hemispheric Chemistry-Transport Modeling'. *Geoscientific Model Development* 10 (6): 2397–2423. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-2397-2017>.
- Mallet, V., D. Quélo, B. Sportisse, M. Ahmed de BIASI, É. Debry, I. Korsakissok, L. Wu, et al. 2007. 'Technical Note: The Air Quality Modeling System Polyphemus'. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7 (20): 5479–87. <https://doi.org/10.5194/acp-7-5479-2007>.
- Medina, S., M. Pascal, and C. Tillier. 2016. 'Impacts de l'exposition Chronique Aux Particules Fines Sur La Mortalité En France Continentale et Analyse Des Gains En Santé de Plusieurs Scénarios de Réduction de La Pollution Atmosphérique'. *Santé Publique France, Santé environnement*, June.
- Valari, Myrto, Konstandinos Markakis, Emilie Powaga, Bernard Collignan, and Olivier Perrussel. 2020. 'EXPLUME v1.0: A Model for Personal Exposure to Ambient O₃ and PM_{2.5}'. *Geoscientific Model Development* 13 (3): 1075–94. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-1075-2020>.