

Approche expérimentale pour la quantification des émissions de COVs des enrobés bitumineux en phase d'usage et leur dépendance à la température

Antoine MASSROUA¹, Bogdan MURESAN², Manolis N. ROMANIAS³, Frédéric THEVENET³, Vincent GAUDEFROY¹

¹ Univ Gustave Eiffel, MAST-MIT, F-44344 Bouguenais, France

² Univ Gustave Eiffel, AME-EASE, F-44344 Bouguenais, France

³ IMT Nord Europe, Institut Mines-Télécom, University of Lille, Center for Energy and Environment, F-59000 Lille, France

Contexte

- Qualité de l'air urbain : émissions de COVs en phase d'usage des chaussées [1-3]
- Effet aggravant du réchauffement climatique (+5 °C prévue en 2100) [4-5]
- Connaissances limitées et absence de techniques de mesure dédiées
- Pas de prise en compte de ces émissions dans les inventaires de sources de pollution (CITEPA)
- Surfaces bitumineuses : jusqu'à 40% dans les zones urbaines (Nantes Métropole : réseau routier ≈ 35 km² (6%) (estimations)

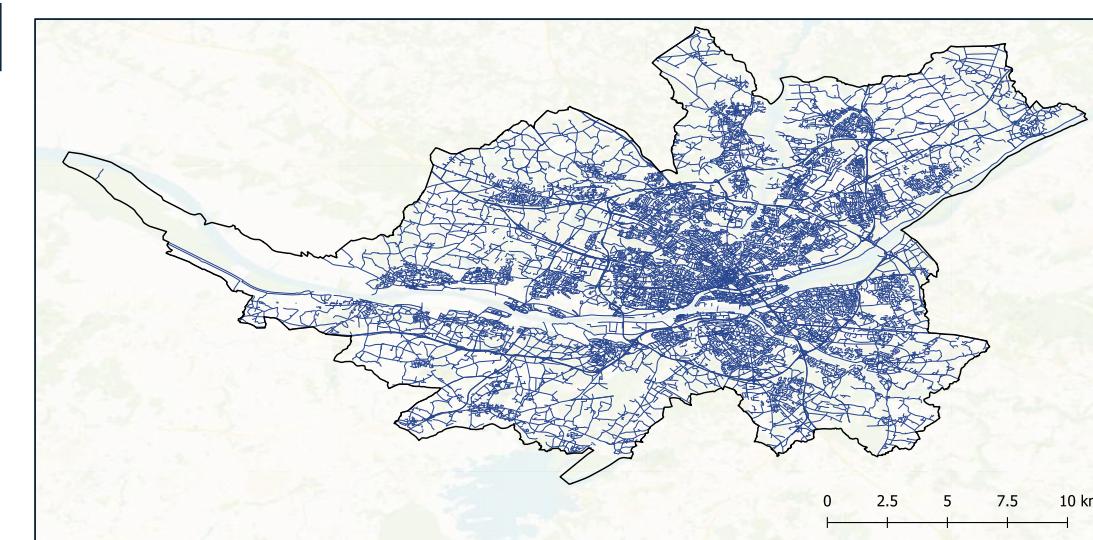


Fig.1 : Exemple d'un réseau routier de Nantes Métropole

Objectifs

- Développer une méthodologie expérimentale de laboratoire (chambre climatique)
- Quantifier les émissions de composés organiques volatiles (COVs) en phase d'usage
- Étudier l'effet de la température et de la formulation des mélanges pour couche de roulement
- Alimenter les inventaires d'analyse de cycle de vie (ACV)

Matériels et méthodes

1. Développement du montage expérimental

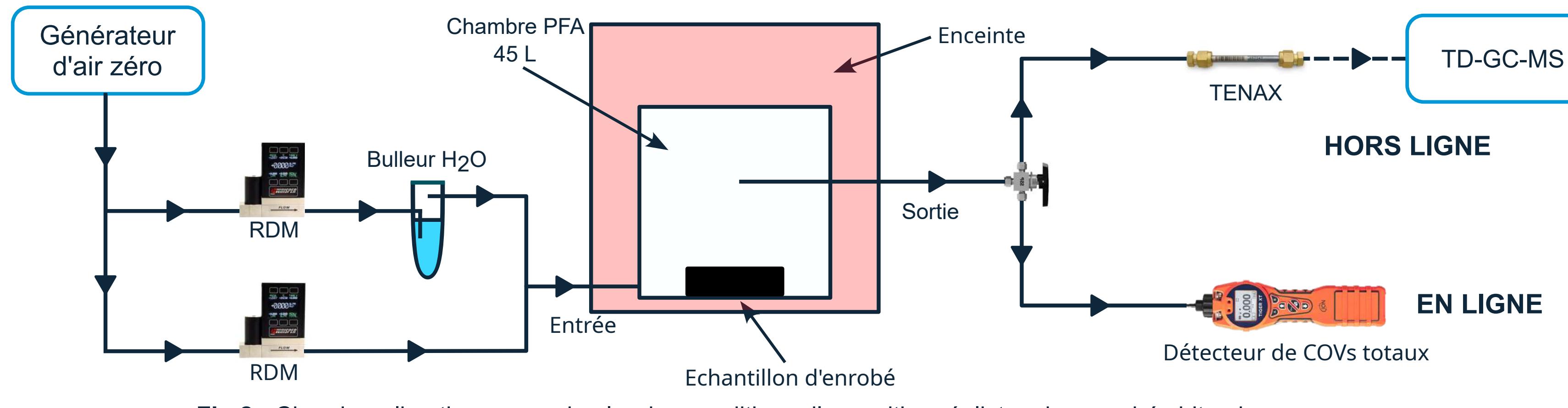


Fig.2 : Chambre climatique pour simuler des conditions d'exposition réalistes des enrobés bitumineux

- ✓ Plage thermique : 20 - 75 °C
- ✓ Plage d'humidité : 0 - >95% RH
- ✓ Débit d'air : jusqu'à 3 L.min⁻¹
- ✓ Détection des COVs en temps réel + hors ligne
- ✓ Compatible avec des échantillons de grande taille
- ✓ Matériaux inertes (PFA + acier inox/Sulfinert)

3. Validation du système

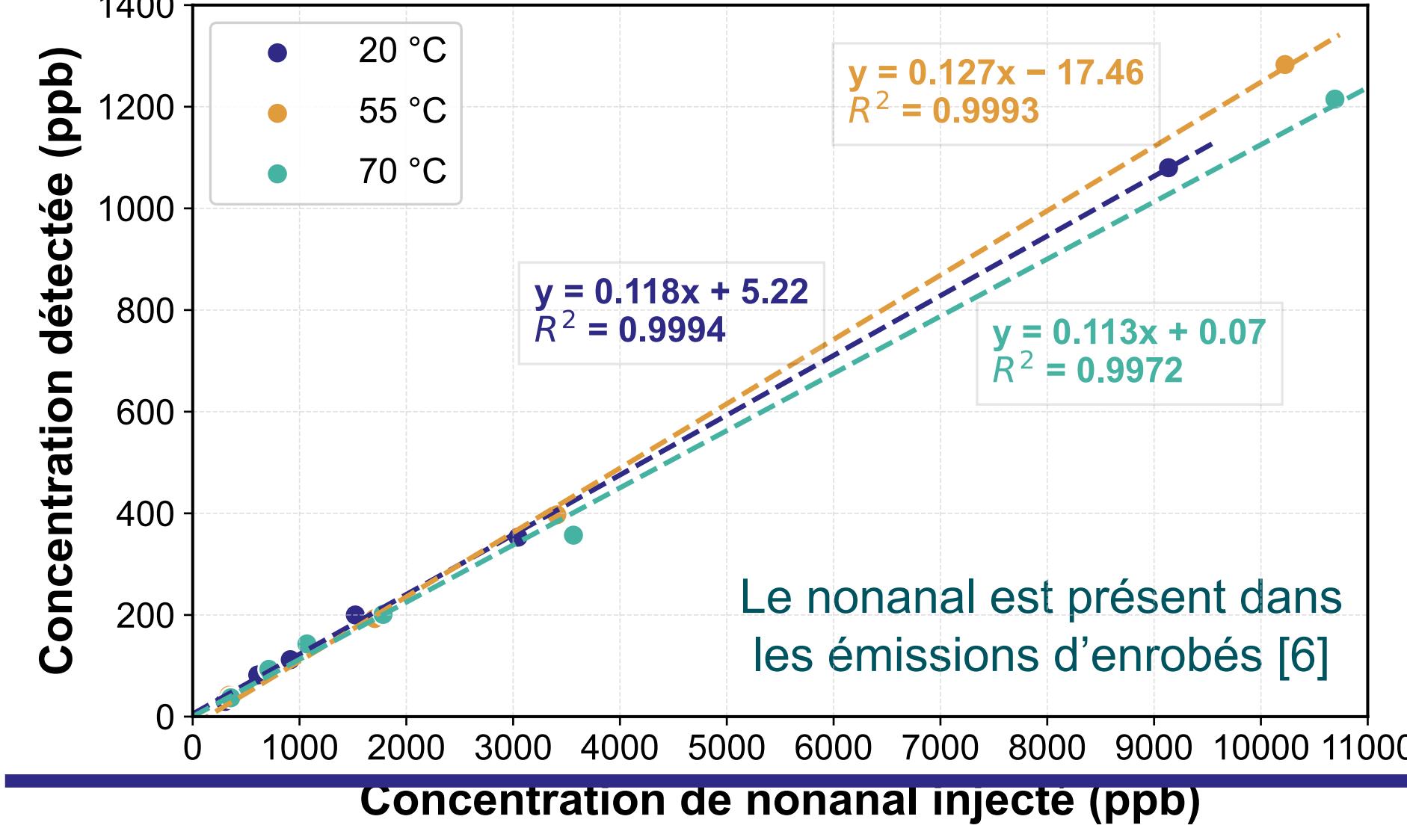


Fig.4 : Droites d'étalonnages obtenues aux différentes températures d'analyse

4. Protocole expérimental à résolution temporelle

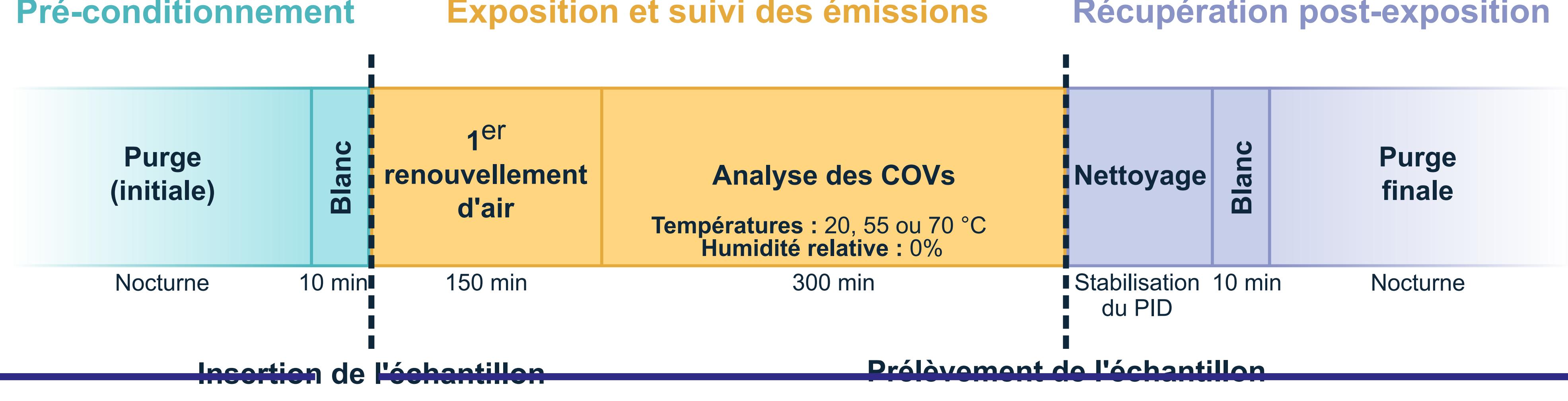


Fig.5 : Cycle d'essai de mesure des COVs émis en fonction du temps avec les durées de phase associées

Calcul des facteurs d'émission et résultats

$$FE_{inst(t)} = C_{(t)} \times 12.187 \times \left(\frac{9 \times 12.01}{273.15 + T} \right) \times \frac{Q \times 10^{-3}}{60 \times S}$$

FE_{inst(t)} : Facteur d'émission instantané ($\mu\text{g eqC.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)

C_(t) : Concentration de COVs détectée (ppb)

Q : Débit d'air (L.min⁻¹)

S : Surface de l'échantillon (m²)

$$FE_{tot} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N FE_{inst,i} \Delta t$$

FE_{tot} : Facteur d'émission total ($\mu\text{g eqC.m}^{-2}.\text{kg}^{-1}$)

Δt : Temps d'aquisition du détecteur (s)

m : Masse de l'échantillon (kg)

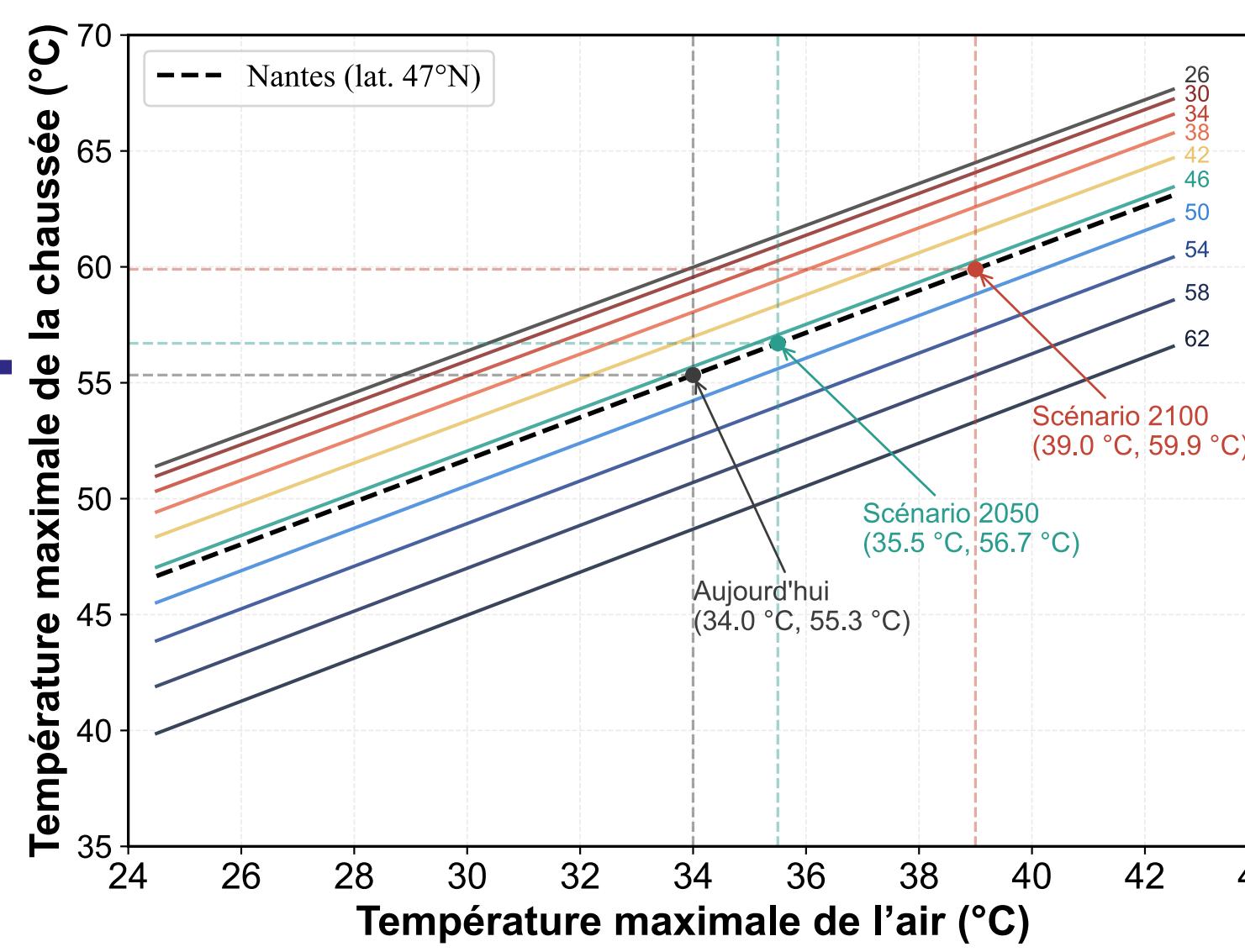


Fig.6 : Température de la chaussée en fonction de la température de l'air et de la latitude [5, 7]

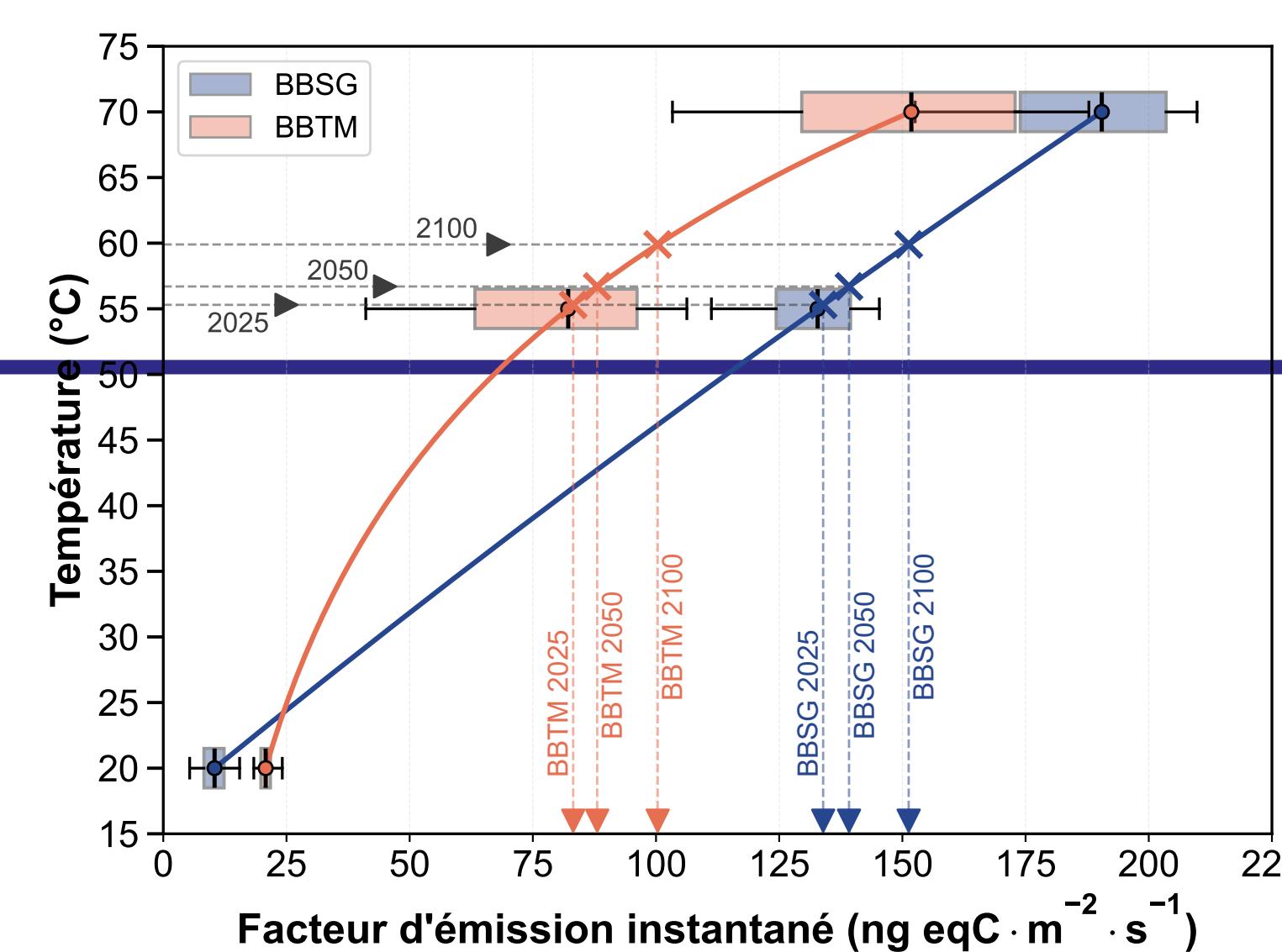


Fig.7 : Facteurs d'émission du BBSG et BBTM avec leurs estimations dans le futur

Pour Nantes Métropole

Masse de COVs émis par an :

✓ 2025 : 60.2 tonnes

✓ Scénario 2050 : 64.9 tonnes (+7.8%)

✓ Scénario 2100 : 73.2 tonnes (+21.6%)

Contribution dans la pollution générée par le trafic routier :

✓ 2025 : 1-5%

✓ Scénario 2050 : 3-12%

✓ Scénario 2100 : 8-25%

Conclusions et perspectives

- Les chaussées sont des sources de COVs
- Dépendance non linéaire des émissions en fonction de la température
- Chambre climatique : préfiguration d'outils pour la normalisation
- Analyse des COVs dans des conditions climatiques complétées (humidité, UV, vieillissement)
- Développement de matériaux plus résilients (par rapport au réchauffement climatique)

Les auteurs remercient la région « Pays de la Loire » pour son financement sous le numéro 2023_05985 et l'ADEME financeur du projet STREETS sous le numéro 2262D0087



Antoine MASSROUA
antoine.massroua@univ-eiffel.fr
Article de revue : MASSROUA et al. 2026

Références

- [1] Khare, P., Machesky, J., Soto, R., He, M., Presto, A. A., & Gentner, D. R. (2020). Asphalt-related emissions are a major missing nontraditional source of secondary organic aerosol precursors. *Science Advances*, 6(36), eabb9785. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9785>
- [2] Lasne, J., Lostier, A., Romanias, M. N., Vassaux, S., Lesueur, D., Gaudion, V., Jamar, M., Derwent, R. G., Dusander, S., & Salameh, T. (2023). VOC emissions by fresh and old asphalt pavements at service temperatures: Impacts on urban air quality. *Environmental Science: Atmospheres*, 3(1601–1619), 10.1039/D3EA00034F. <https://doi.org/10.1039/D3EA00034F>
- [3] Krich, D. M., Crawford, A. C., Smith, L. A., Osborn, L. V., & Krich, A. J. (2022). Characterizing asphalt emissions under in-service conditions. *Atmospheric Environment*: X, 16, 100196. <https://doi.org/10.2139/ssrn.421955>
- [4] European Environment Agency. (2020). Air quality in Europe: 2020 report. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/786656>
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- [6] Lostier, A., Sarica, T., Lasne, J., Roose, A., Sartlet, K., Jamar, M., Gaudion, V., Dusander, S., Lesueur, D., Chen, H., Salameh, T., & Romanias, M. N. (2025). Real-World Asphalt Pavement Emissions: Combining Simulation Chamber Measurements and City Scale Modeling to Elucidate the Impacts on Air Quality. *ACS ES&T Air*, 2(3), 426–435. <https://doi.org/10.1021/acs.estair.4c00323>
- [7] Solaiman, M., & Kennedy, T. W. (1993). Predicting Maximum Pavement Surface Temperature Using Maximum Air Temperature and Hourly Solar Radiation. *Transportation Research Record*, 1417.