

INVENTAIRE DES EMISSIONS FERROVIAIRES HORS ECHAPPEMENT : ETAT DE L'ART PRELIMINAIRE

*F. Attias^{1, 2}, S. Cibick⁵, I. Cordier¹, L. Dupont³, A. Joubert² et O. Le Bihan^{2, 4}

¹ SNCF SA, Direction sécurité Groupe, 2 place aux Etoiles, 93200 Saint-Denis, France

² IMT Atlantique, GEPEA, CNRS UMR 6144, 44300 Nantes, France

³ SNCF Voyageurs, Ingénierie du Matériel, 1 Rue Camille Moke, 93210 Saint-Denis, France

⁴ LB Environnement, 35200 Rennes, France

⁵ Air Pays de la Loire, Nantes, France

*Courriel de l'orateur : florian.attias@imt-atlantique.fr

TITLE

INVENTORY OF NON-EXHAUST RAILWAY EMISSIONS: PRELIMINARY STATE OF THE ART

RESUME

Le trafic ferroviaire met en oeuvre des forces mécaniques menant à l'émission de particules métalliques dans l'air. Cela concerne à la fois le trafic terrestre et souterrain. Afin de mieux connaître ces émissions et de permettre la mise en place d'actions de diminution, il est important de les recenser via un "inventaire des émissions". Dans ce but, une première étape porte sur un état de l'art, dont l'avancement est présenté ici.

ABSTRACT

Rail traffic generates mechanical forces that lead to the emission of metal particles into the air. This applies to both surface and underground traffic. In order to gain a better understanding of these emissions and enable measures to be taken to reduce them, it is important to record them in an "emissions inventory." To this end, the first step is to review the current state of the art, the progress of which is presented here.

1. Mots-clés : **PARTICULES FINES, EMISSIONS FERROVIAIRES, FACTEURS D'EMISSION, INVENTAIRE D'EMISSION** / Keywords: **PARTICULATE MATTER, RAILWAYS EMISSIONS, EMISSION FACTORS, EMISSION INVENTORY**

1. CONTEXTE

Les Enceintes Ferroviaires Souterraines (EFS) présentent des concentrations en particules significatives, issues du déplacement de véhicules (freinage, usure rail-roue, resuspension, etc.).

Dans le domaine de l'air ambiant, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a mis à jour ses recommandations, amenant la commission européenne à définir une directive plus ambitieuse ; les émetteurs de particules (dont fait partie le secteur ferroviaire) sont au cœur des enjeux et efforts à venir ; cela concerne particulièrement les particules de type PM_{2,5}.

Dans ce double contexte, une bonne modélisation des immissions (concentration dans l'air à un endroit spécifique) et une bonne définition des actions de réduction des émissions, nécessitent un recensement rigoureux et documenté des sources et Facteurs d'Emission (FE), et une mise à disposition *via* des **inventaires des émissions** encore trop peu documentés.

Les acteurs du monde ferroviaire possèdent des bancs d'essai et des spécialistes permettant de produire des données d'émission. Cependant, il existe un besoin notable d'harmonisation des méthodes expérimentales et des calculs exploitant leurs résultats. Par ailleurs, la vision d'ensemble reste à construire : il est nécessaire de mener un travail exhaustif d'identification de données, de collecte, puis d'intégration au sein d'un inventaire via une méthodologie qui reste à ce stade à consolider, voire à reconsidérer.

En préalable à la réalisation d'un tel inventaire, il est indispensable de réaliser une revue des méthodes, de la littérature scientifique et de la littérature grise. Ce travail a été engagé : la présente communication rassemble les premiers résultats obtenus.

2. ETAT DE L'ART

2.1. Des référentiels pour l'air ambiant

Si l'on considère les pratiques dans des pays comme la France et l'Allemagne, il est établi que les émissions ferroviaires figurent dans les inventaires d'émission en air ambiant, et ce à chaque fois grâce à une méthode décrite dans un référentiel public.

2.2. Représenter la réalité, un enjeu

Chaque réseau ferroviaire accueille des flottes différentes, avec par exemple d'une part les trains à grande vitesse, et d'autre part le fret. Par ailleurs, au sein même de ces flottes figurent de nombreuses différences. En conséquence, quel que soit la méthode choisie pour élaborer un inventaire, la représentation des situations d'intérêt est un enjeu majeur, et en l'occurrence est source de nombreuses incertitudes.

A titre d'illustration, on peut par exemple citer le cas d'une publication autrichienne (Fruhwirt et al., 2023), qui rapporte des essais fait avec différents angles d'attaque des roues sur les rails : la variation de ce paramètre semble être décisif, bien plus que la vitesse ou la charge du mobile. Ces résultats sont-ils à considérer dans le cadre du système ferroviaire français, et de quelle manière ?

Autre illustration, le freinage électro-dynamique est une technique de plus en plus répandue, qui permet dans son principe de réduire les émissions. Cependant, il existe encore peu de données sur le sujet. Par ailleurs, il conviendrait de vérifier la proportion de son usage pour chaque train/convoi en étant doté.

2.3. Les données expérimentales

La caractérisation expérimentale des émissions apparaît dans la littérature via une approche en laboratoire ou via des essais en tunnel.

Le territoire allemand dispose d'un inventaire qui est cité en référence par la plupart des acteurs européens (Belgique, France, Grande-Bretagne, Pays-Bas). Cet outil s'appuie principalement sur un rapport suisse (INFRAS, 2007) et sur les travaux plus récents d'une équipe autrichienne (Fruhwirt et al., 2023, 2024, 2025). Ces acteurs européens possèdent également une littérature grise (rapports d'essais par exemple), qui peut être conséquente et très pertinente, mais dont l'identification et l'accès reste à mettre en place.

On relève également une littérature scientifique importante dédiée à la caractérisation des concentrations dans l'air (immission), tout particulièrement au sein des enceintes ferroviaires souterraines.

Par ailleurs, on observe un enjeu, celui de la détermination de la masse volumique des particules ; en effet, ce paramètre joue un rôle important lors de la conversion de données optiques et/ou volumiques (couramment utilisées) vers une masse ou une concentration massique, les particules métalliques ayant une masse volumique élevée.

2.4. Le cas français

La France s'est dotée d'un système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère (SNIEBA), défini notamment par un arrêté en date du 24 août 2011.

Dans ce cadre, le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) joue un rôle central à l'échelle nationale, notamment en ce qui concerne l'aspect méthodologique. A ce titre, il co-signe avec le Ministère de l'Environnement un référentiel décrivant l'organisation du dispositif français (OMINEA, 2022). En complément, un référentiel (LCSQA, 2018) précise la manière avec laquelle construire un inventaire. Il constitue la référence pour les AASQA (Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air). Il consacre son chapitre 10 aux « autres transports », parmi lesquels le transport ferroviaire (SNAP 0802) et « Tramway, métro » (SNAP 0811). Sont notamment abordés la manière de connaître le trafic, de le spatialiser, puis de calculer les émissions (en utilisant des facteurs d'émission).

Les incertitudes sont également discutées. En revanche, point essentiel, les facteurs d'émission (FE) renvoient au référentiel allemand et donc aux travaux suisses datant de 2007.

2.5. Les méthodes de calcul des FE

En termes de méthode, on relève pour l'essentiel deux modes de calcul, d'une part une approche basée sur les données d'« usure » et d'autre part une approche basée sur des observations sur « banc » d'essai.

L'approche « usure » consiste à calculer le volume de matière perdue par abrasion au niveau des principales pièces mécaniques, à savoir les freins, les roues, les rails, les caténaires, etc. Le calcul est alimenté par les données de maintenance. On a ainsi accès à une dimension spatiale et temporelle, à condition que les flux de données de maintenance soient opérationnels à l'échelle d'une région ou d'un pays, ou des réseaux ferroviaires souterrains. On voit donc tout l'intérêt d'une telle démarche. Cependant, un point majeur et sensible est à considérer, à savoir l'étape de calcul permettant de passer du volume de matières perdues, à l'émission de PM₁₀ ou de PM_{2,5} : sur ce point les données semblent très limitées et là apportées par une source unique à savoir les travaux suisses publiés en 2007.

L'approche « banc » consisterait à exploiter des installations expérimentales -principalement européennes- qui visent à mettre en œuvre des pièces dans des conditions d'usage, ceci à l'échelle 1. Le grand intérêt de cette approche est de pouvoir mettre en œuvre des conditions proches des trajets de la flotte en situation réelle. On obtiendrait ainsi des facteurs d'émission par exemple de PM₁₀ et de PM_{2,5} directement issus de ces mesures. En revanche, la réserve principale adressée -à ce stade- à cette approche est le nombre élevé

d'essais et les coûts associés nécessaires pour pouvoir documenter le trafic à l'échelle d'un pays ; cet avis mériterait cependant une vraie discussion en profondeur

3. BILAN ET PERSPECTIVES

A ce stade, le passage en revue des travaux menés par les principaux opérateurs européens sont principalement basés sur l'approche allemande laquelle repose essentiellement sur une étude suisse (INFRAS 2007) désormais ancienne. Ce document de référence suisse nécessiterait une mise à jour majeure car il repose sur des données expérimentales collectées dans la première partie des années 2000 : il passe donc à côté de toutes les évolutions technologiques des installations ferroviaires ayant eu lieu lors de ces 20 dernières années. Il faudrait également développer la prise en compte des spécificités nationales (voire locales) en termes de parc et de structure du réseau. Cela supposerait notamment la réalisation d'essais sur banc.

En conséquence, beaucoup reste à faire pour que ce sujet soit traité de manière consolidée et plus précise. A ce stade, l'approche par « usure » a été privilégiée en grande partie pour des raisons pratiques (temps disponible). Une discussion approfondie doit être menée sur les incertitudes et la qualité de cette approche.

Par ailleurs, un travail de fond est à mener pour assurer le recueil le plus fin possible des données sur le sujet. On recherchera des références éventuelles en dehors du territoire européen, principale source de références à ce stade.

Ce travail permettra de discuter dans le détail des deux approches identifiées (« usure », « banc ») ; il permettra également de discuter la possibilité de nouvelles approches ou en tout cas la possibilité d'associer l'approche « usure » et l'approche « banc » dans une seule méthode : a minima, les données expérimentales devraient pouvoir mener à des coefficients de conversion Masse / PM non « uniques » mais représentatifs d'un spectre plus large de situations.

4. REMERCIEMENTS

Ces travaux sont financés dans le cadre du projet européen Rail4Earth et de la thèse CIFRE de F. Attias (ANRT, SNCF).

5. RÉFÉRENCES

Cha, Y., (2018). Airborne Particles in Railway Tunnels. Thèse au KTH Royal Institute of Technology.

De Falco, G., Russo, G., Ferrara, S., De Soccio, V., D'Anna, A. (2023). Sustainable design of low-emission brake pads for railway vehicles: An experimental characterization. *Atmospheric Environment: X. Volume 18, 100215. ISSN 2590-1621. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2023.100215>*.

Fruhwirt, D., Nöst, T., Leonhardt, P., Leitner, M., Brunnhofer, P., Bode, G., Michael, S., Rodler J. (2025). Emission characteristics of railway tread brakes, *Atmospheric Environment: X. Volume 25, 100320. ISSN 2590-1621. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2025.100320>*

Fruhwirt, D., Nöst, T., Leonhardt, P., Leitner, M., Brunnhofer, P., Bode, G., Michael, S., Rodler J. (2024). Characterization of emissions from axle-mounted rail disc brakes. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 130, 104181. ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104181>*.

Fruhwirt, D., Sturm, P., Bucca, G., Bode, G., Michael, S., & Rodler, J. (2023). Emissions from railways: Results of tests on a pantograph-catenary test bench, *Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 117, 103667. ISSN 361-9209. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103667>*.

Heldstab, J., Kljun, N. (2007). PM10-EMISSIONEN VERKEHR Teil Schienenverkehr Schlussbericht. INFRAS

CITEPA. (2024). Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France (OMINEA). https://www.citepa.org/wp-content/uploads/2024/12/OMINEA_2024.pdf. Dernière visite 24 Novembre 2025.

Peng, L., Li, Z., Zhang, G., Bi, X., Hu, W., Tang, M., Wang, X., Peng, P., & Sheng, G. (2021). A review of measurement techniques for aerosol effective density. *Science of The Total Environment* 778. Pages 146248.

LCSQA. (2018). Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques. <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-lelaboration-des-inventaires-territoriaux-des-emissions>. Dernière visite 24 Novembre 2025.

Tu, M., & Olofsson, U. (2024). Estimating PM levels on an underground metro platform by exploring a new model-based factor research. *Atmospheric Environment: X* 22. Pages 100261.

Tu, M., & Olofsson, U. (2021). PM levels on an underground metro platform: A study of the train, passenger flow, urban background, ventilation, and night maintenance effects. *Atmospheric Environment: X* 12. Pages 100134.