



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



PARTICULES HORS ÉCHAPPEMENT DES VÉHICULES ROUTIERS

« *Rendez-vous Mobilités* » du Cerema
Webinaire mobilités et qualité de l'air

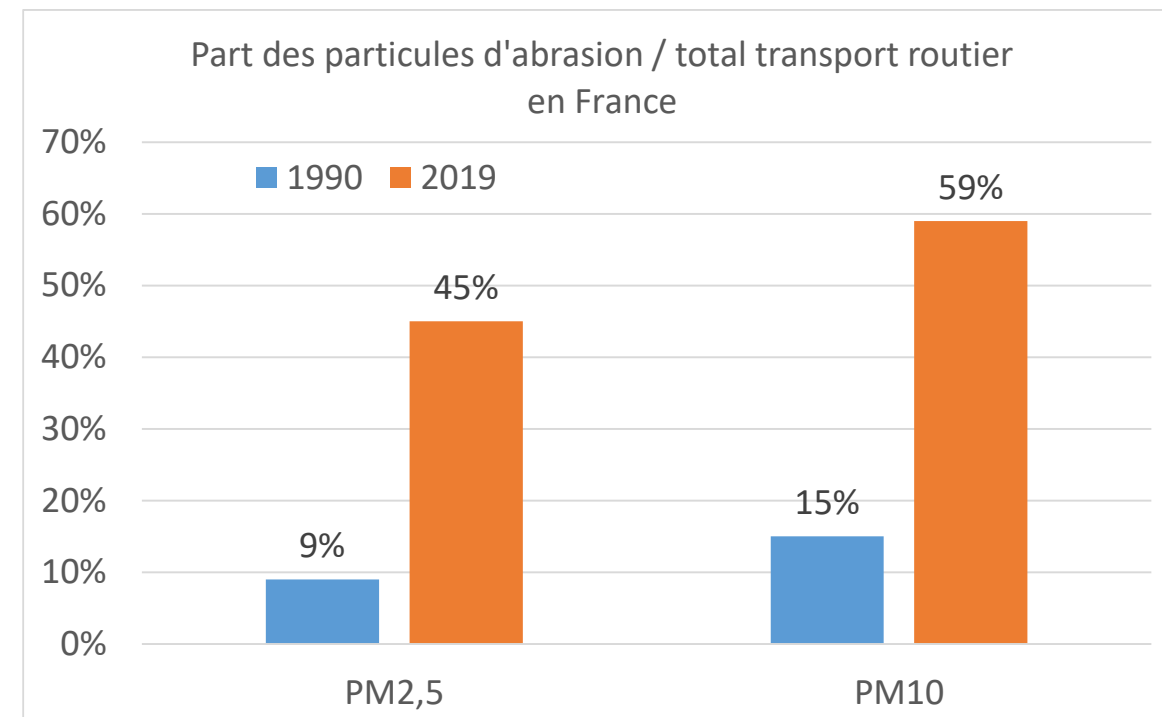
Sommaire

- Quantités de particules hors échappement émises
- Particules de frein
- Particules issues du contact pneu - chaussée
- Ensemble des particules en bord de route
- Impacts sanitaires et environnementaux
- Évolutions réglementaires
- Conclusion



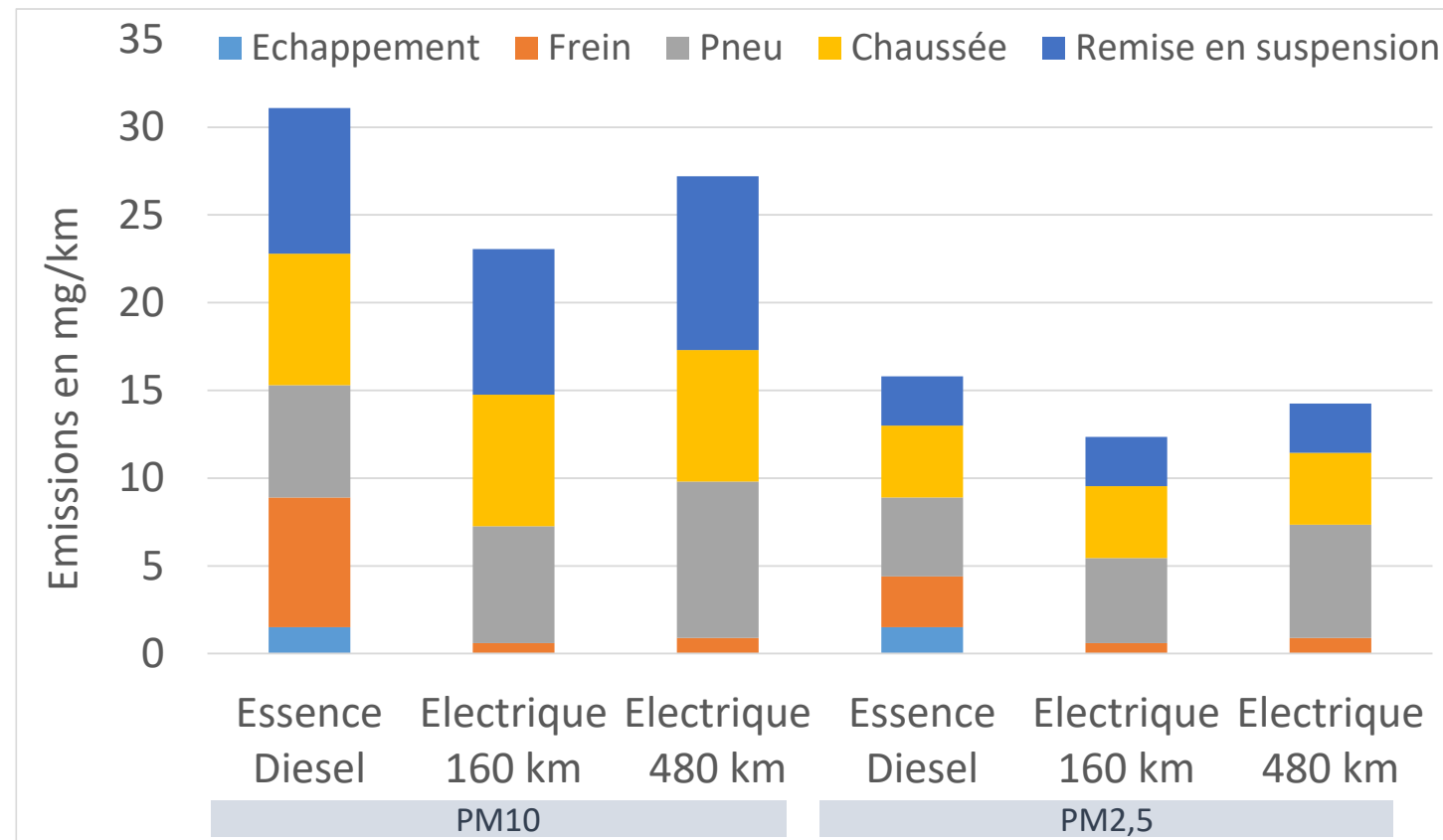
Particules hors échappement / échappement

- En Europe plus de 50 % des particules générées par le trafic routier ne proviennent pas des émissions à l'échappement :
 - Frein : 16 à 55 % des PM10 ; seulement 3 % sur autoroute
 - Pneu / Chaussée : 5 à 30 %
 - Remise en suspension : 28 à 59 %
- Changement entre 1990 et 2019 dû :
 - Baisse émissions à l'échappement :
 - Généralisation du filtre à particules Diesel
 - Sortie progressive du parc des véhicules Diesel anciens non équipés de FàP
 - À un degré moindre, hausse masses véhicules



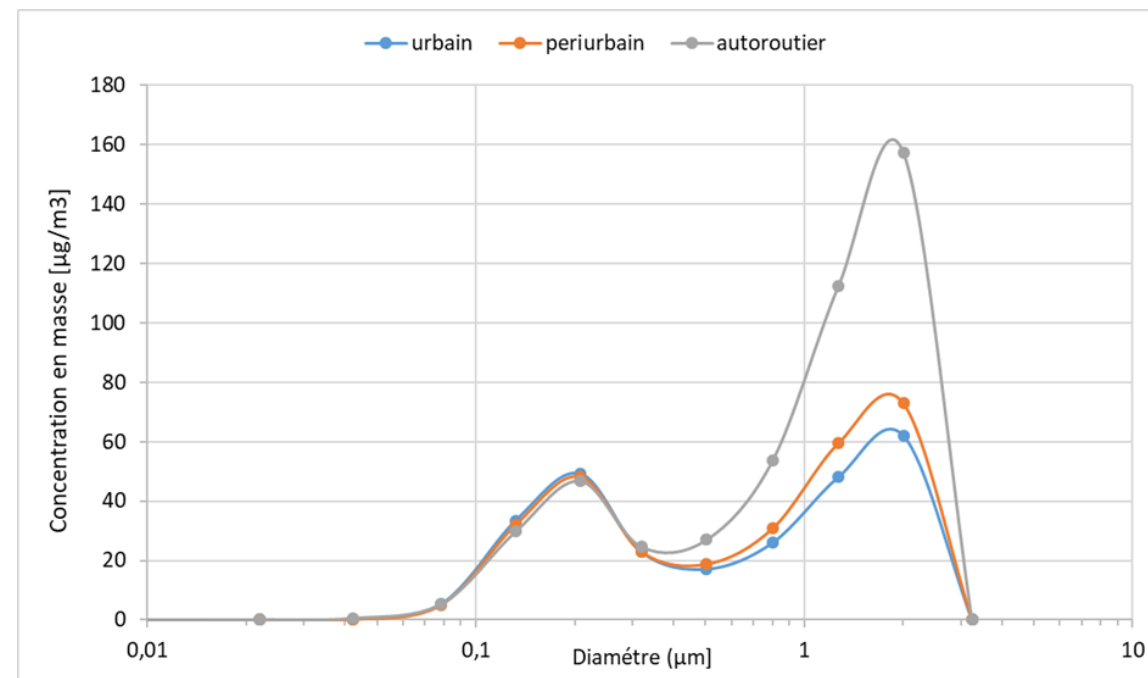
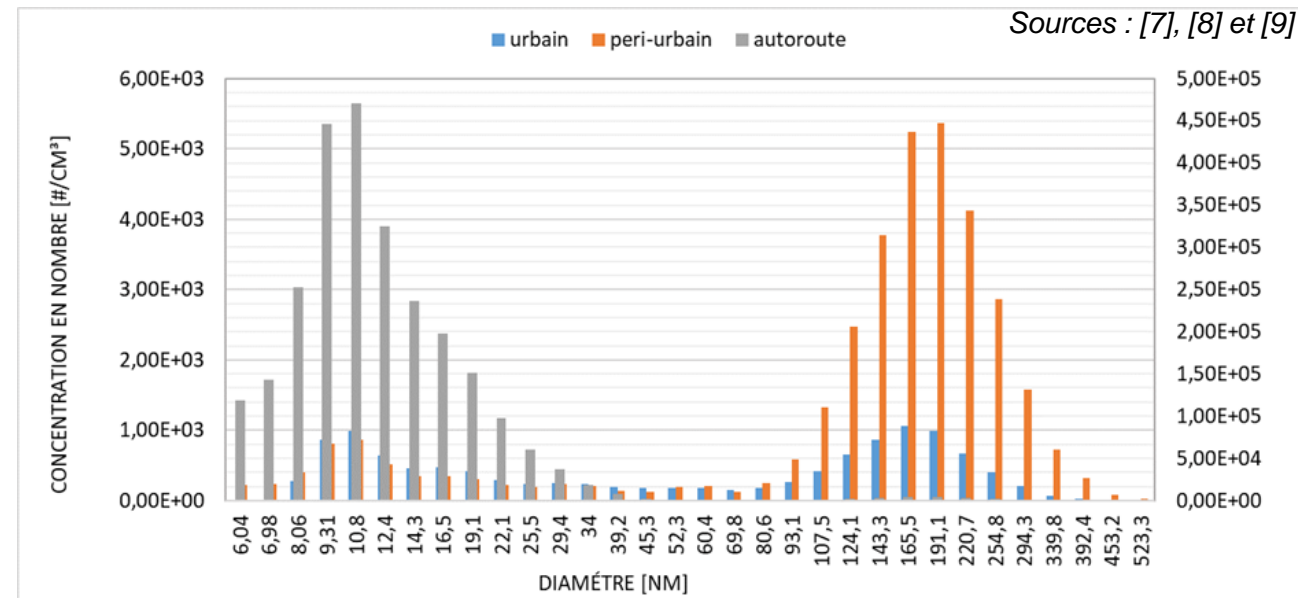
Quantités de PHE émises

- Diminution des particules de frein pour les véhicules électriques (freinage régénératif)
- Masse des véhicules impacte la taille des pneus donc les émissions pneus / chaussée et remise en suspension
- VE : autonomie ↗ = masse et PM ↗
- Peu d'écart entre VE et VT pour les PHE
- *NOTA* : les VT émettent des particules (1 à 2 mg/km) et contribuent à la formation d'aérosols secondaires



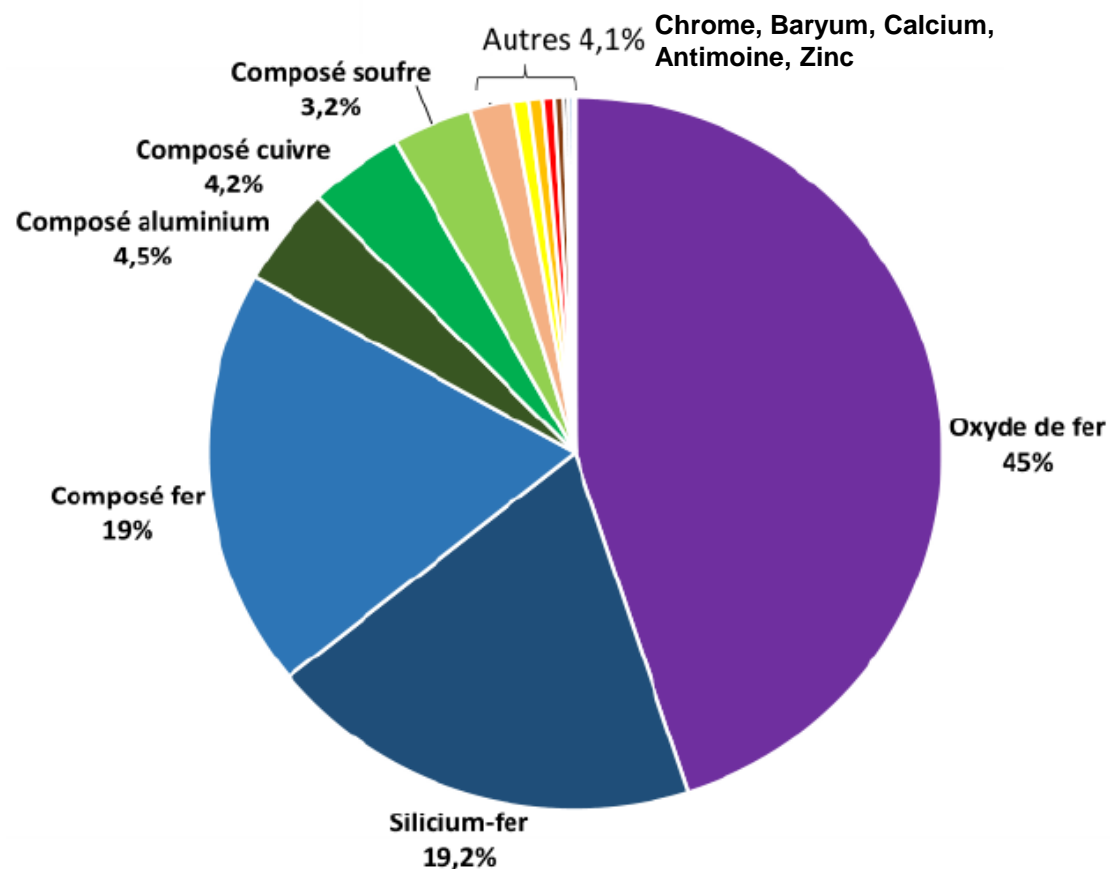
Distribution des tailles de particules de frein

- Distribution bimodale :
 - En nombre : 10 et 200 nm
 - En masse : 200 nm et 2 μ m
- Au cours du freinage :
 - Au début arrachement de matière → particules fines 1 à 2 μ m
 - Puis augmentation de la température → évaporation et condensation des composés carbonés des plaquettes → particules autour de 200 nm
 - Au-delà de 250 °C → particules ultrafines autour de 10 nm

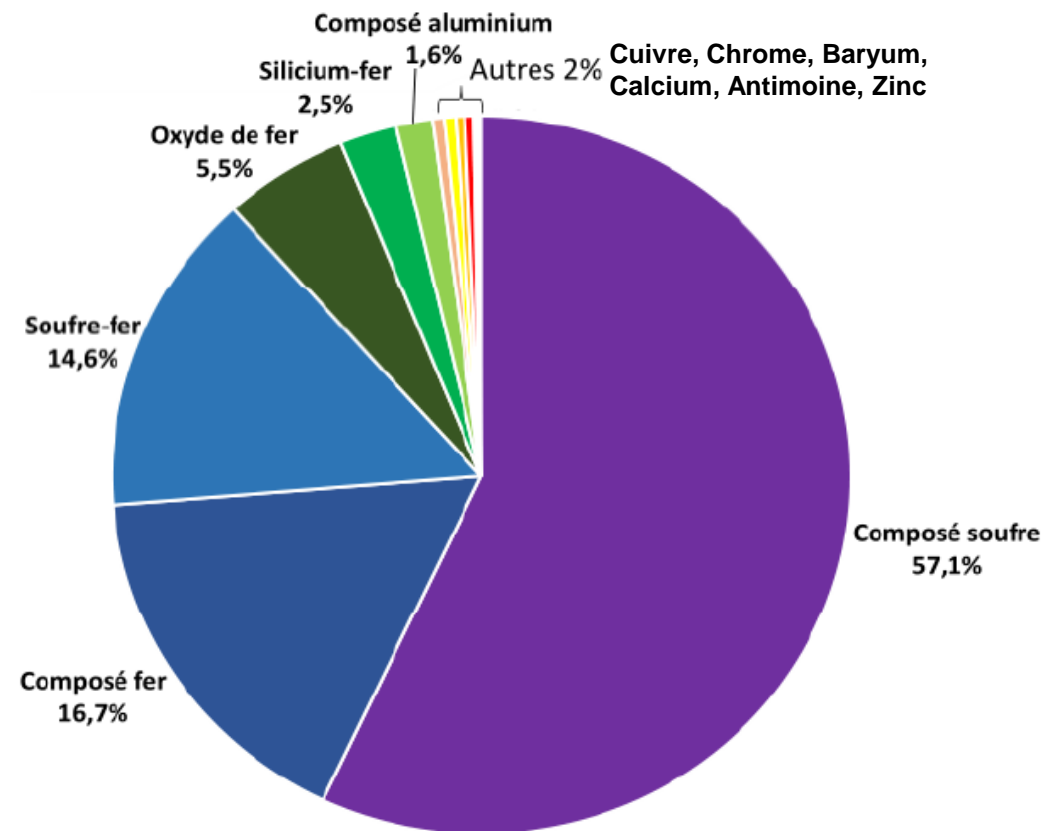


Composition des particules de frein (hors carbone très majoritaire)

Profil urbain

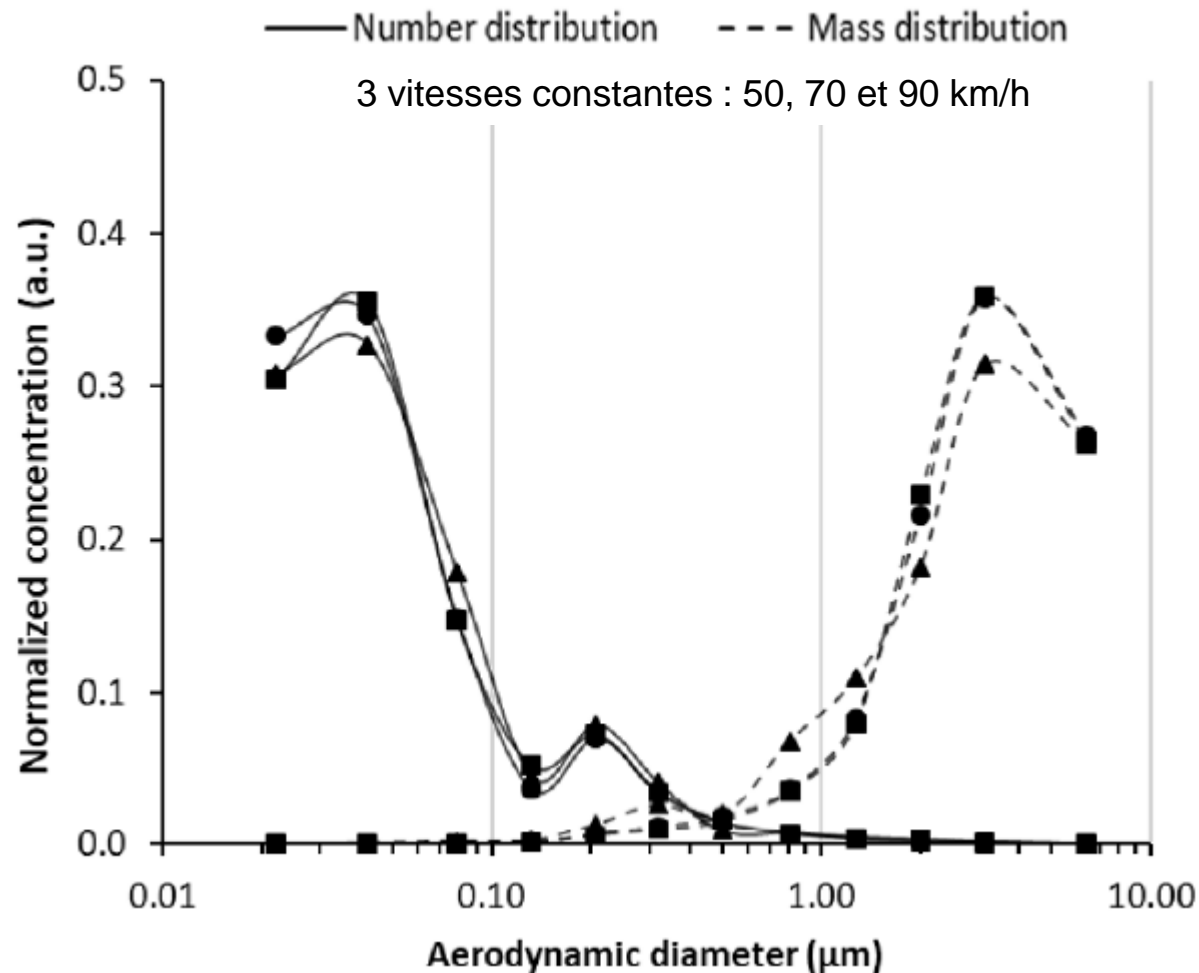


Profil autoroute



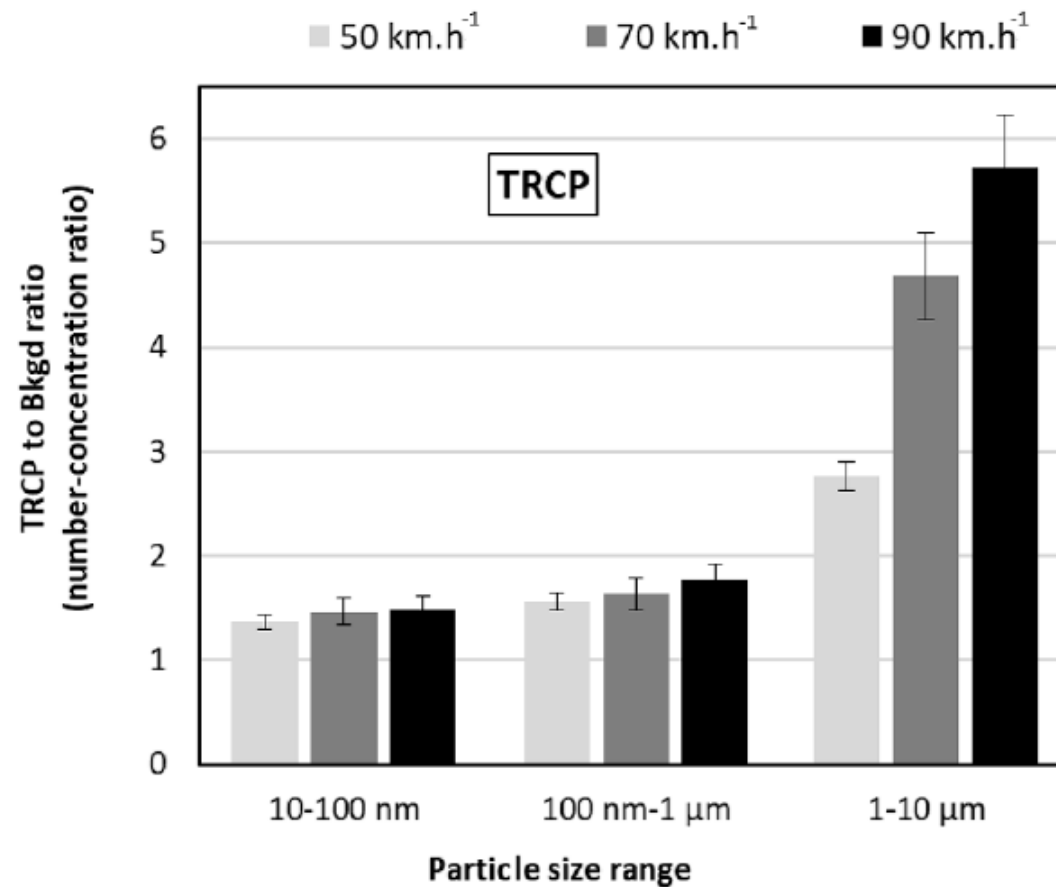
Distribution des tailles de particules contact pneu - chaussée

- Distribution en nombre bimodale :
 - Mode ultrafin majoritaire autour de 30 nm
 - Mode fin autour de 200 nm
- Distribution en masse bimodale :
 - 300 nm
 - Pic majoritaire autour de 2 – 4 μm
- Distribution indépendante de la vitesse constante du véhicule entre 50 et 90 km/h



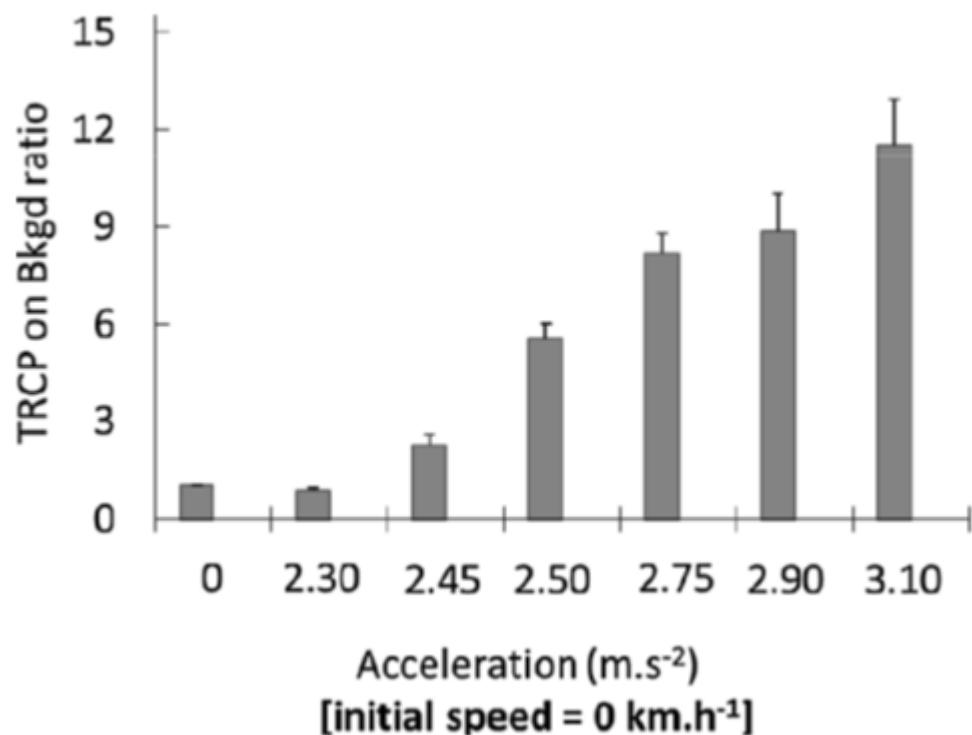
Impact de la vitesse du véhicule

Nombre de particules issues du contact pneu – chaussée rapporté au nombre de particules du fond ambiant

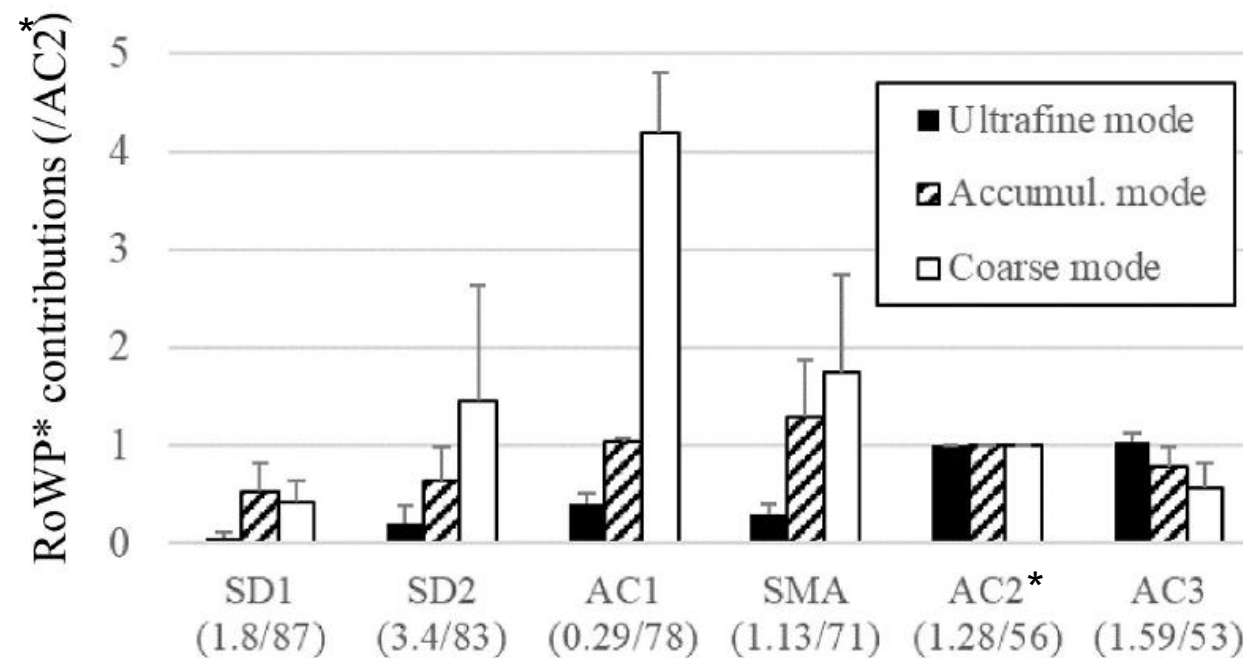


Impact accélérations véhicule et revêtements routiers

Nombre de particules issues du contact pneu – chaussée rapporté au nombre de particules du fond ambiant



Nombre de particules collectées derrière la roue

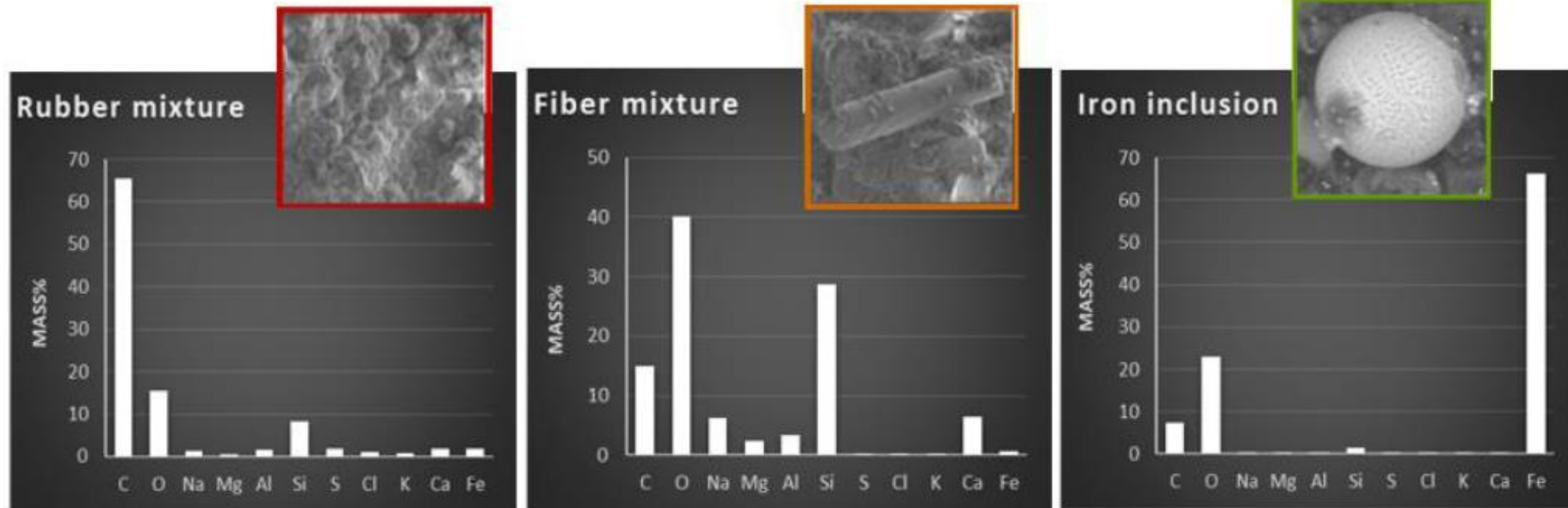


Différents revêtements routiers
(macro / micro-texture en mm / unité arbitraire)

* Béton bitumeux conventionnel le plus répandu en Europe

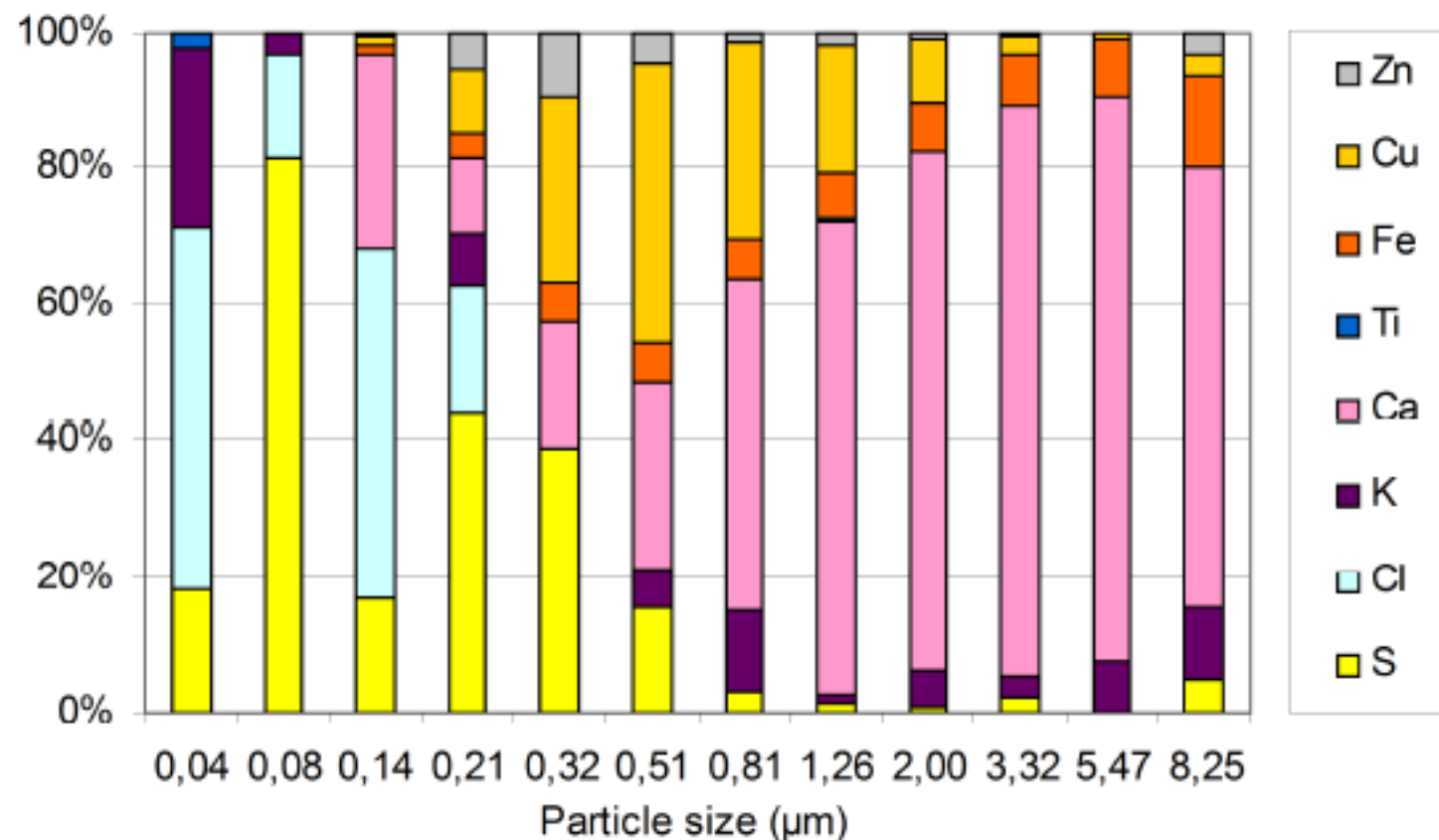
Composition des particules pneus

- Par ordre croissant :
 - Plusieurs métaux ou minéraux (Fe, Al, Mg, Na, Ca, K) provenant de particules présentes sur la chaussée venues se coller à la surface du pneu
 - Soufre
 - Silice
 - Carbone



Composition des PHE en bord de route (hors carbone très majoritaire)

- Zinc : pneu, < à 2 μm
- Fer et cuivre : frein, de 0,1 à 8 μm
- Soufre : frein et pneu, < 0,5 μm
- Chlore : salage des routes, < 0,2 μm
- Potassium : salage des routes
- Calcium : revêtement routier, > 1 μm
- Titane : peinture blanche marquage au sol, ultrafine

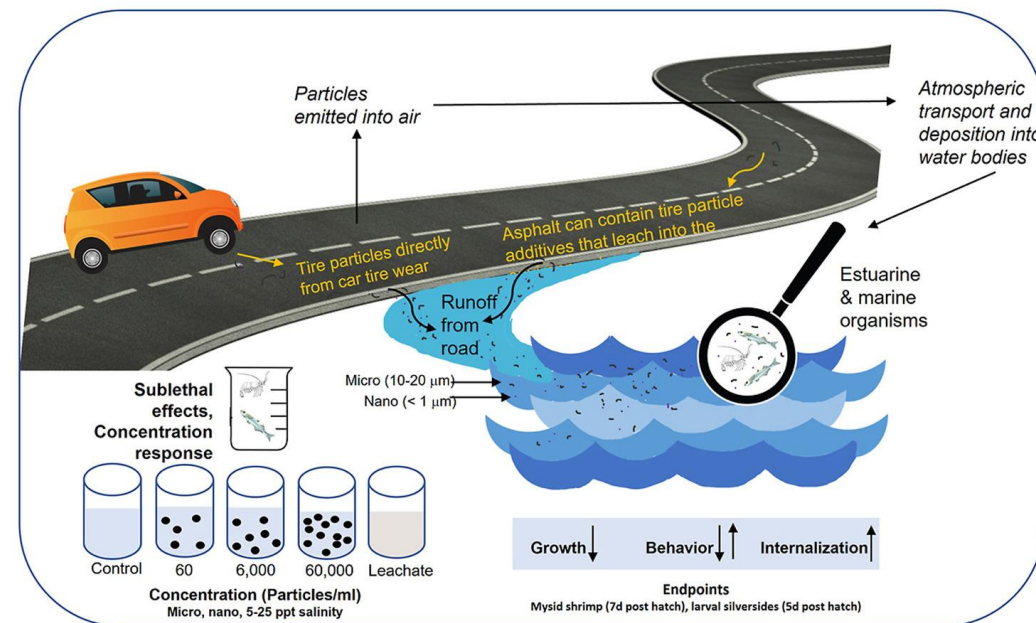


Impact sanitaire

- Études toxicologiques et épidémiologiques des PHE assez limitées
- Trafic routier (proximité, intensité, concentrations de polluants) effet sur la santé mais quel est le rôle joué par les PHE ?
- Pas certain que les concentrations réelles de PHE aient un impact et que leur nuisance soit similaire à celles émises à l'échappement
 - Etudes toxicologiques : présence d'éléments métalliques (Cu, Ba, Zn, Fe ...) dans les PHE -> impact sur la santé
 - Potentiel oxydant des particules de frein serait supérieur à celui des particules Diesel mais pas de stress oxydant ou de réponse inflammatoire au niveau du système respiratoire
- **Travaux en toxicologie et épidémiologie supplémentaires nécessaires**

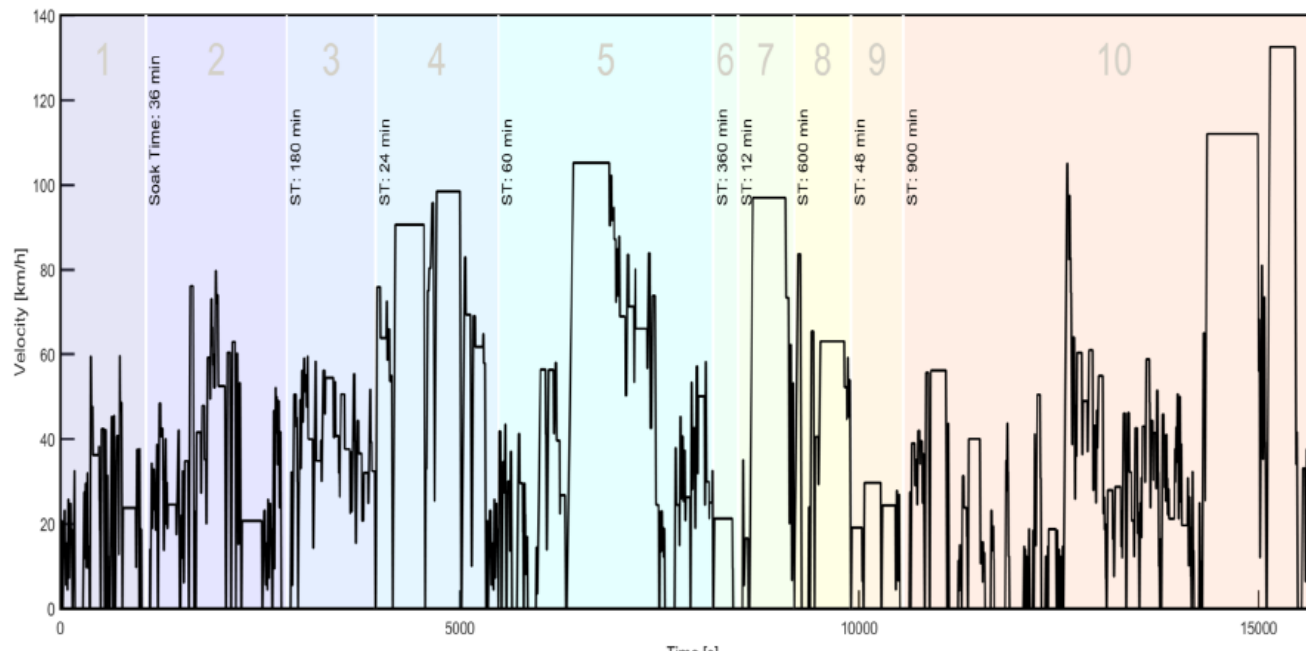
Impact environnemental

- Zones urbaines :
 - Eaux de pluie et de lavage entraînent la pollution vers les stations d'épuration
 - Perturbation des traitements utilisés dans les stations d'épuration
 - Boues d'épuration utilisées comme fertilisants contiennent des éléments métalliques, chlorés, soufrés et des microparticules de pneus
- Zones non imperméabilisées ou rurale
 - Eaux de ruissellement vers les sols, nappes phréatiques, cours d'eaux et océans
- Effets long terme sur écosystèmes peu documentés
- Des soupçons avec l'accumulation de cette pollution dans la chaîne alimentaire



Évolution réglementaire - Particules de frein

- Réglementation pour Euro 7 / VII (2025 – 2026) : fort probable
 - Protocole de mesures défini en test : WLTP-Brake Cycle + banc dynamométrique
 - Seuil limite (mg/km) en cours de définition
 - Uniquement les véhicules légers dans un premier temps



IN BRIEF

- 10 individual trips
- 303 stops over 192 km
- Duration of 4h 24min
- Average speed of 44 km/h and maximum speed of 133 km/h
- Brake phase deceleration range of 0.5 – 2.5 m/s² (mean of 0.97 m/s²)

WLTP-Brake cycle

Évolution réglementaire - Particules de pneu

- Réglementation pour Euro 7 / VII (2025 – 2026) : pas certain
 - Suivi des études sur les caractérisations et la distribution en taille des particules
 - Protocole de test à développer ; projet H2020 LEON-T (2021 -> 2024) : <https://cordis.europa.eu/project/id/955387>
- UNECE (Commission économique pour l'Europe des Nations unies)
 - Création d'une *task force tyre abrasion* en janvier 2022
 - Développement d'une procédure de mesure de l'abrasion des pneus (tests sur véhicules vs banc d'essais)



Conclusion

- Neutralité carbone en 2050 et réduction des PHE, des synergies :
 - Allègement des véhicules -> pneu moins large
 - Véhicules électriques -> freinage régénératif
 - Éco-conduite -> accélération et décélération moins fortes
 - Réduction des vitesses limites autorisées -> freinage moins fort
 - Baisse des déplacements en véhicule individuel -> diminution globale de la circulation
 - Privilégier les modes actifs -> rupture dans les émissions de particules d'abrasion
- La réduction des émissions des PHE est donc possible et sera amplifiée par les réglementations européennes sur les véhicules Euro 7 / VII et suivantes





RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Merci de votre attention



Note et présentation plus détaillées : [https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/5384-emissions-des-vehicules-routiers-les-particules-hors-echappement.html#/44-type de produit-format electronique](https://librairie.ademe.fr/air-et-bruit/5384-emissions-des-vehicules-routiers-les-particules-hors-echappement.html#/44-type-de-produit-format-electronique)

CONTACT :

Direction Villes et Territoires Durables / Service Transports et Mobilité
laurent.gagnepain@ademe.fr

Sources et références bibliographiques (1/2)

- [1] Timmers V.R.J.H., Achten P.A.J., *Non exhaust PM emissions from electric vehicles*, *Atm. Env.* 134 (2016) 10-17, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>
- [2] OCDE (2020), *Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport : An Ignored Environmental Policy Challenge*, Éditions OCDE, Paris, <https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en>
- [3] JRC 2018 : <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/32164/attachments/3/translations/en/renditions/native>
- [4] CITEPA Secten 2021
- [5] Air Quality Expert Group to Defra, UK, *Non-exhaust emissions from road traffic*, 2019 ; https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1907101151_20190709_Non_Exhaust_Emissions_typeset_Final.pdf
- [6] Microplastiques primaires dans les océans, IUCN 2017 et *Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany*, UBA, Report N° (UBA-FB) 002147/E, 2015
- [7] Projet CORTEA 2015 – CAREPAF : Caractérisation des émissions de particules de frein. 2018. Partenaires : CERTAM, GPM, CCM. Contrat ADEME n°15.66.C0002. [Rapport final dans la Librairie ADEME](#)
- [8] Projet CORTEA 2015 – CAPTATUS : Caractérisations physico-chimiques des particules émises hors échappement par les véhicules routiers. 2018. Partenaires : IFSTTAR / EASE, ULCO / LPCA. Contrat ADEME 15.66.C0016. [Rapport final dans Librairie ADEME](#)
- [9] A. Beji, K. Deboudt, S. Khardi, B. Muresan, P. Flament, M. Fourmentin, L. Lumière, *Non-exhaust particle emissions under various driving conditions: Implications for sustainable mobility*, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 81, 2020, 102290, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102290>
- [10] Asma Beji, 2020. Caractérisation physico-chimique des particules émises hors-échappement par le trafic routier (Thèse de doctorat) Université de Lyon
- [11] B. Baensch-Baltruschat, B. Kocher, F. Stock, G. Reifferscheid, *Tyre and road wear particles (TRWP) - A review of generation, properties, emissions, human health risk, ecotoxicity, and fate in the environment*, *Science of The Total Environment*, Volume 733, 2020, 137823, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137823>

Sources et références bibliographiques (2/2)

- [12] A. Beji, K. Deboudt, S. Khardi, B. Muresan, L. Lumière, *Determinants of rear-of-wheel and tire-road wear particle emissions by light-duty vehicles using on-road and test track experiments*, Atmospheric Pollution Research, Vol 12, Issue 3, 2021, Pages 278-291, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.12.014>
- [13] Règlement (UE) 2020/740 du Parlement européen et du Conseil du 25 mai 2020 sur l'étiquetage des pneumatiques en relation avec l'efficacité en carburant et d'autres paramètres, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0740&from=FR>
- [14] WBCSD - The Tire Industry Project (TIP) – Tires Road Wear Particles (TRWP) – Francis Peters - Mars 2015
- [15] M. Kovochich, M. Liong, J. A. Parker, S. Cheun Oh, J. P. Lee, L. Xi, M. L. Kreider, K. M. Unice, *Chemical mapping of tire and road wear particles for single particle analysis*, Science of The Total Environment, Volume 757, 2021, 144085, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144085>
- [16] Projets IMPACTS 2017 : ToxBraKE - Évaluation de la toxicité des particules issues des dispositifs de freinage par friction. 2022. Partenaires : CERTAM, ABTE, GPM, CHU Rouen. Contrat ADEME n°18.66C0129 et TOXinTRANSPORT - Caractérisations toxicologiques *in vitro*, chimiques et physiques de particules prélevées dans l'air d'habitacles de transport en roulage. 2022. Partenaires : INERIS, AEF, IGE, LSCE, DAVID, Unisanté. Contrats ADEME n°19.66.C0001-6. Rapports finaux dans [Librairie ADEME](#)
- [17] COMEAP, *Statement on the evidence for health effects with exposure to non-exhaust particulate matter from road transport*, 2020
- [18] Daellenbach, K.R., Uzu, G., Jiang, J. *et al. Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe. Nature* 587, 414–419 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2902-8>
- [19] UNECE – GRPE PMP IWG ; <https://wiki.unece.org/display/trans/PMP+Workshop+on+Brake+Emissions++Regulation>
- [20] UNECE – GRBP ; <https://wiki.unece.org/pages/viewpage.action?pageId=160694352>
- [21] S. Siddiqui, J.M. Dickens, B.E. Cunningham, S.J. Hutton, E.I. Pedersen, B. Harper, S. Harper, S.M. Brander, *Internalization, reduced growth, and behavioral effects following exposure to micro and nano tire particles in two estuarine indicator species*, Chemosphere, Volume 296, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133934>