

ÉTUDE

**ENQUÊTE EXCLUSIVE SUR LA
POLLUTION DE L'AIR PAR LES PNEUS :**

LES PNEUS NOUS POMPENT L'AIR

| Octobre 2024



agir
POUR
L'ENVIRONNEMENT

SOMMAIRE

COMMUNIQUÉ DE PRESSE	p.3
❶ LES CONDITIONS D'ANALYSES	p.4
• Descriptif des véhicules utilisés pour les tests	p.4
• Résumé des principaux enseignements de l'enquête	p.5
❷ RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'ENQUÊTE	p.5
• Entre 65 et 151 mg de gomme perdue pour chaque kilomètre effectué	p.5
• Jusqu'à mille milliards (10^{12}) de particules de tailles comprises entre 7 nm et 10 μm libérées dans l'environnement pour chaque kilomètre effectué	p.6
• 99,97 % des micro- et nanoparticules entre 7 nm et 10 μm ne sont pas mesurées par les organismes de qualité de l'air	p.8
• Vingt-cinq composés organiques volatiles identifiés dont certains sont cancérigènes	p.9
• Facteurs impactant la production de micro- et nanoparticules par les pneumatiques	p.11
❸ LES CONSÉQUENCES POUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ	p.13
❹ NOS DEMANDES	p.15

ABRASION DES PNEUS : UN PROBLÈME ÉCOLOGIQUE ET SANITAIRE MAJEUR

Faisant appel à un laboratoire spécialisé, Agir pour l'Environnement a fait analyser la quantité de particules fines et ultrafines - dont la taille est située entre 7 nanomètres et 10 micromètres - générées par l'abrasion des pneus. **Jusqu'à mille milliards (10¹²) de particules dont la taille est comprise entre 7 nm et 10 µm sont libérées dans l'environnement pour chaque kilomètre effectué. Plus de 99,97 % de ces particules échappent aux organismes de contrôles.**

Sur la durée de vie d'une voiture, l'usure des pneus va générer, selon les modèles entre 17 et 40 kilogrammes de particules de plastiques et autres additifs, soit entre 65 et 151 mg de gomme perdue pour chaque kilomètre effectué.

Cette pollution cachée est d'autant plus inquiétante que **la composition des pneus est couverte par le secret industriel et que les additifs chimiques représentent jusqu'à 50 % de leur masse** [Ifremer, 2022]. L'enquête d'Agir pour l'Environnement a ainsi mis en évidence la présence d'au moins 25 composés organiques volatils différents dont certains sont cancérigènes.

Pour **Magali Leroy**, chargée des enquêtes et analyses au sein de l'association Agir pour l'Environnement, « *Les résultats de cette enquête sont particulièrement inquiétants, eu égard à la quantité de particules disséminées dans l'environnement liée à l'abrasion des pneumatiques. La quantité mais aussi et surtout la composition et la taille des particules ultrafines identifiées doivent conduire les organismes de qualité de l'air à mieux estimer la pollution liée au trafic routier* ».

Pour **Oliver Charles**, coordinateur des campagnes « Climat, énergie, transport » de l'association Agir pour l'Environnement, « *Cette enquête, c'est du lourd, au sens propre comme au sens figuré puisque la responsabilité de l'autobésité et de la puissance moteur qui l'accompagne ne semble faire aucun doute sur la quantité de particules fines et ultrafines émises dans l'environnement. Entre les deux véhicules analysés, une Tesla Y et une Fiat 600e, la différence de poids est de 464 kg (+30,5 %), et la différence de puissance moteur est de 105 KW (+91,3 %), 143 chevaux (+91,7 %) et 160 Nm (Newton mètre, +61,5 %); surpoids et motorisation occasionnant un rejet de 86 mg/km de plus d'une voiture à l'autre.* »

Tous les 150 kilomètres, une Tesla Y va rejeter dans l'environnement l'équivalent d'une bouteille plastique d'un litre et demi.

Pour **Stéphen Kerckhove**, directeur général de l'association Agir pour l'Environnement, également membre du Conseil national de l'air, « *Antoine de Saint-Exupéry avait raison : "L'essentiel est invisible pour les yeux", ceci ne pouvant justifier l'attentisme des pouvoirs publics à l'égard de cette pollution cachée ! Nous interpellons ce jour la nouvelle ministre de la Santé, Geneviève Darrieussecq, Agnès Pannier-Runacher, ministre de la Transition écologique ainsi que l'industrie automobile afin qu'ils assument leur responsabilité en levant immédiatement le secret industriel couvrant la composition des pneus* ».

Agir pour l'Environnement appelle les organismes de qualité de l'air à se saisir de ce problème de santé publique.

1 LES CONDITIONS D'ANALYSES

Un laboratoire indépendant a évalué la production de particules pendant des trajets sur autoroute et sur voies urbaines et rurales de deux véhicules électriques équipés des pneus d'origine des constructeurs, un SUV compact (berline) et un SUV citadin : la Tesla modèle Y équipée de pneumatiques Hankook Venus SI Evo 3 EV de 25,5 cm de largeur et la Fiat 600e équipée de pneumatiques Goodyear Efficient Grip+ de 21,5 cm de largeur. Chaque véhicule, conduit par un pilote professionnel entraîné spécifiquement pour ce genre de test à adopter une conduite régulière et reproductible, a parcouru 1149 et 1108 kilomètres, respectivement. Les deux véhicules ont parcouru 398 et 362 kilomètres d'autoroute, et 751 et 746 kilomètres sur routes rurales et urbaines (boucle de 80 km composée de 45 km de routes urbaines et 35 km de routes rurales, répétée plusieurs fois), respectivement.

Durant les parcours, la production de particules a été évaluée de différentes manières. Systématiquement, les 4 pneus des véhicules ont été démontés, nettoyés puis pesés avant et après chaque parcours afin de mesurer le poids de gomme perdue en fonction du nombre de kilomètres parcourus. Pour évaluer la production de micro- et nanoparticules pendant les parcours, le système de collecte BTAS (Brake and Tyre Analysis System) d'Emission Analytics qui permet la capture des particules de pneus et de freins pendant

la conduite, quelle que soit l'orientation des roues, a été couplé soit au spectromètre de taille Dekati ELPI+ (Electrical Low Pressure Impactor) qui permet une mesure en temps réel de la concentration et de la taille des particules entre 10 µm et 7 nm, soit à un filtre de collecte pour une analyse ultérieure en laboratoire. Les systèmes d'analyse en temps réel ont été montés sur les roues motrices des véhicules. Enfin, la composition des pneus en composés organiques volatils (COVs), ainsi que la composition des particules collectées, a été déterminée par analyse en chromatographie gazeuse bidimensionnelle compréhensive (GCxGC) couplée à un spectromètre de masse à temps de vol (time-of-flight mass spectrometer, TOF-MS). Ce système GCxGC/TOF-MS permet l'analyse des COVs présents dans les échantillons. La configuration de GCxGC améliore la capacité de pics, la résolution et le seuil de détection, et permet en moyenne une analyse cinq fois plus sensible tout en obtenant trois fois plus de composés identifiés par rapport à la GC-MS classique. La comparaison de la composition des particules collectées et des pneus montés sur les véhicules permet ensuite d'évaluer la proportion de particules collectées issues des pneus et celles déjà présentes sur la route et captées lors du passage des véhicules.

→ Descriptif des véhicules utilisés pour les tests

Les deux voitures testées sont des véhicules de location dont les spécifications techniques au moment de leur prise en main étaient les suivantes :

Modèle véhicule	Tesla Y	Fiat 600e
Pneumatiques		
modèle	Hankook Venus SI Evo 3 EV	Goodyear Efficient Grip+
taille *	255/45	215/55
structure **	R 19	R 18 (18,5)
pression	42/42 psi	36/36 psi
Année	2022	2024
Odomètre	2367 miles (3787 kms)	1106 miles (1770 kms)
Batterie	60 KWh	54 KWh
Transmission	Propulsion arrière	Traction avant
Poids	1984 Kg	1520 Kg
Puissance max	220 KW (299 ch)	115 KW (156 ch)
Vitesse max	217 km/h	150 km/h
Accélération (0-100 Km/h)	6.9 secondes	9 secondes
Couple max	420 Nm	260 Nm

* - taille : largeur en mm/hauteur (exprimée en pourcentage, correspond au rapport entre la hauteur du flanc et la largeur de section)

** - structure : R = radiale, diamètre de la jante (en pouces, 1 pouce = 2,54 cm)

↑ **Tableau 1.** Descriptif des véhicules et pneumatiques testés.

Les principales différences entre ces deux véhicules sont le poids, la puissance et le couple du moteur : la Tesla modèle Y est plus lourde de 464 kg par rapport à la Fiat 600e (+30,5 %), et a un moteur plus puissant avec 105 KW (+91,3 %), 143 chevaux (+91,7 %) et 160 Nm (+61,5 %) de plus que la Fiat 600e. La Tesla Y est à propulsion arrière alors que la Fiat 600e est à traction avant. En ce qui concerne les pneumatiques, les deux véhicules sont équipés des pneus installés par les constructeurs : des Hankook Venus SI Evo 3 EV de 25,5 cm pour la Tesla Y, plus larges (+18,6 %) que les Goodyear Efficient Grip+ de 21,5 cm qui équipent la Fiat. La Tesla avait un peu plus de kilomètres au compteur lors de la prise en main, mais d'après les données du laboratoire d'analyse et l'observation des pneus, ces derniers sont dans des phases d'usures comparables.

→ Résumé des principaux enseignements de l'enquête

1. Entre 65 et 151 mg de gomme perdue pour chaque kilomètre effectué ;

2. Jusqu'à mille milliards (10^{12}) de micro- et nanoparticules libérées dans l'environnement pour chaque kilomètre effectué ;

3. 99,97 % des particules entre 7 nm et 10 μ m ne sont pas mesurées par les organismes de qualité de l'air ;

4. 25 composés organiques volatiles identifiés et quantifiés dont certains sont cancérigènes.

2 RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'ENQUÊTE

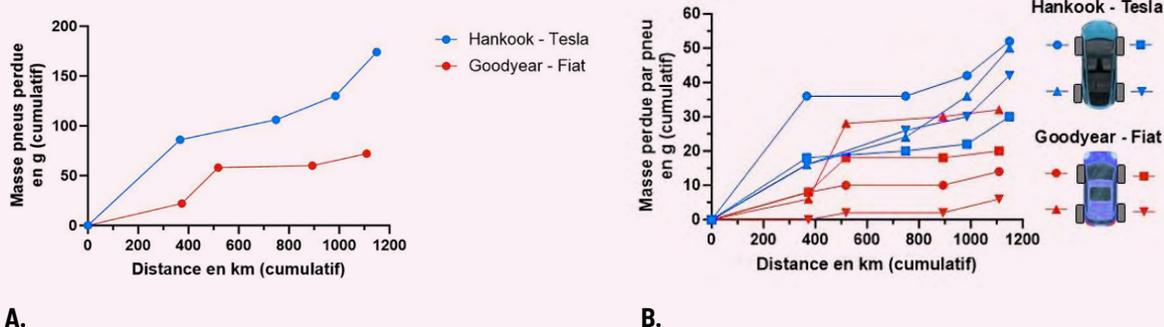
→ Entre 65 et 151 mg de gomme perdue pour chaque kilomètre effectué

La perte de masse des pneus a été mesurée avant et après chaque parcours pendant les 5 jours de tests, sur une distance totale de plus de 1100 kms. Au total, les pneus de la Tesla modèle Y, des Hankook Venus SI Evo 3 EV, ont perdu 174 g en 1149 km parcourus soit **151 mg/km**. Les pneus de la Fiat 600e, des Goodyear Efficient Grip+, ont eux perdu 72 g en 1108 km parcourus soit **65 mg/km**.

La perte de masse mesurée représente l'usure des quatre pneus sur les parcours effectués et est bien supérieure (+132 %) pour les Hankook de la Tesla Y que pour les Goodyear de la Fiat 600e. Connaissant les différences entre ces deux véhicules, nous pouvons émettre l'hypothèse que la perte plus importante de gomme des pneus Hankook de la Tesla est due à la qualité des pneus mais aussi leur largeur, et au poids et à la puissance du moteur qui sont plus importants pour ce véhicule.

Pour une durée d'utilisation moyenne de 29 000 km [Epyx], les pneus Hankook installés sur la Tesla modèle Y vont libérer environ 4,4 kg dans l'environnement, et les Goodyear équipés sur la Fiat 600e vont émettre environ 1,9 kg de débris de pneus dans l'environnement sur leur durée de vie. Les véhicules électriques qui ont une durée moyenne d'utilisation d'environ 250 000 km vont générer sur les 9 sets de pneus nécessaires pour cette distance, **un total de 40 kg et de 17 kg de débris de pneus par véhicule**, respectivement.

Usure des pneumatiques de voiture



↑ **Figure 1. Perte de masse des pneumatiques en fonction de la distance.**

L'accumulation de la perte de masse en grammes est présentée pour les plus de 1100 kilomètres effectués par les Hankook montés sur la Tesla (bleu), et les Goodyear montés sur la Fiat (rouge). Les pneumatiques ont été démontés, lavés puis pesés avec précision avant et après chaque trajet effectué afin de mesurer la perte de masse des pneus en fonction du nombre de kilomètres parcourus. **(A)** Perte de masse cumulée des quatre pneus Hankook de la Tesla (bleu) et des Goodyear de la Fiat (rouge), et **(B)** perte de masse cumulée pour chaque pneu (Avant Gauche - rond, Avant Droit - carré, Arrière Gauche - triangle vers le haut, Arrière Droit - triangle vers le bas).

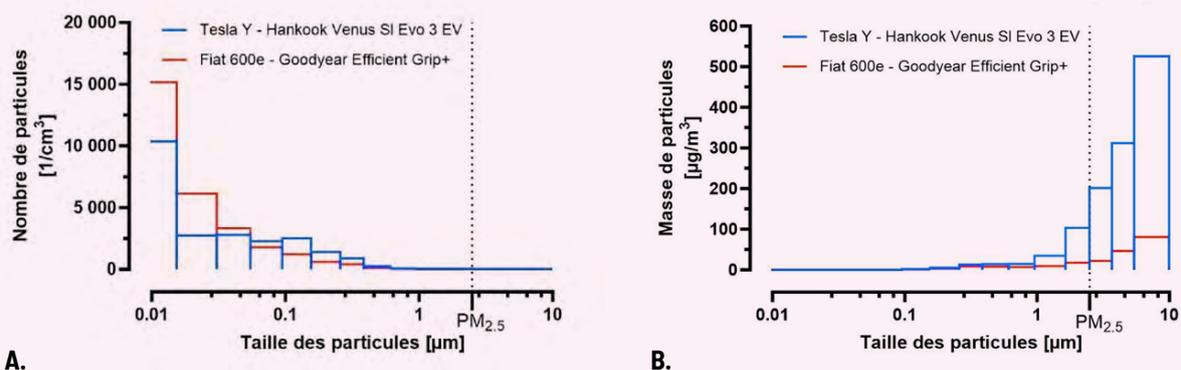
→ Jusqu'à mille milliards (10^{12}) de particules de tailles comprises entre 7 nm et 10 μm libérées dans l'environnement pour chaque kilomètre effectué

Ces mesures mettent en évidence la perte de masse progressive des pneus sur les parcours, cependant ces données ne permettent pas de déterminer la taille des particules produites lors du frottement des pneus sur le revêtement de la route. Pour analyser les populations de micro- et nanoparticules produites par les pneus, celles-ci ont été collectées et analysées en temps réel ou collectées puis analysées en laboratoire post-trajet.

La concentration de micro- et nanoparticules a été mesurée au niveau d'une des roues motrices lors des trajets des véhicules. Les méthodes d'analyses utilisées permettent de mesurer les populations de particules fines, très fines et ultrafines entre 7 nm et 10 μm . Les particules collectées par ce système sont issues des pneus, des freins, et sont déjà présentes sur la route et remises en suspension par le passage des véhicules. En comparant le profil chimique des pneus installés sur les deux véhicules testés et ceux des particules collectées, on peut estimer la proportion de particules

issues des pneus des véhicules testés spécifiquement. D'après nos analyses, 60 % des particules collectées lors des parcours de la Tesla ont un profil chimique assimilable à celui des pneus Hankook installés sur le véhicule, cette proportion descend à 40 % pour les Goodyear de la Fiat 600e. Ces valeurs sont une estimation puisque les particules, une fois détachées des pneus, peuvent se modifier au contact de l'air et leur profil chimique ne plus correspondre à celui des pneus dont elles sont issues, de même, des particules récupérées de la surface de la route peuvent avoir un profil chimique similaire à celui des pneus testés bien qu'elles ne proviennent pas de ceux-ci. Malgré cette incertitude, on peut estimer la concentration réelle de particules générées par les deux marques de pneus : La concentration de particules mesurée en temps réel est de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers par cm^3 d'air capté par le système de mesure et sont principalement des particules dites ultrafines, de diamètre égal ou inférieur à 100 nm. Bien que la proportion des différentes tailles de particules varie légèrement entre les deux véhicules et marques de pneus testés, dans les deux cas, **plus les particules sont de petite taille, plus leur concentration dans l'air est importante.** Les pneus montés d'origine par les constructeurs génèrent une grande quantité de micro- et surtout de nanoparticules avec des concentrations supérieures à 11 600 particules par cm^3 pour les pneus Hankook de la Tesla

et presque 23 000 particules/cm³ pour les Goodyear de la Fiat 600e, et ce uniquement pour les particules mesurées ici soit entre 7 nm et 10 µm. Ces nanoparticules, bien que très nombreuses, ne représentent qu'une infime proportion de la masse de pneus perdue sur la route : plus les particules sont grosses, plus leur poids est important. Les particules micrométriques supérieures à 2,5 µm représentent une infime partie de la population de particules générées (0,03 % de la population de particules mesurée pour les Hankook de la Tesla et 0,003 % pour les Goodyear de la Fiat) mais elles constituent la majorité de la masse de gomme perdue sur la route et dans l'environnement. Les pneus Hankook de la Tesla génèrent 400 µg/m³ de particules de gomme et les Goodyear de la Fiat 600e génèrent environ 100 µg/m³ de particules entre 2,5 µm et 10 µm (PM_{2,5} à PM₁₀).



↑ **Figure 2. Concentration des micro- et nanoparticules produites par les pneumatiques de voiture.**

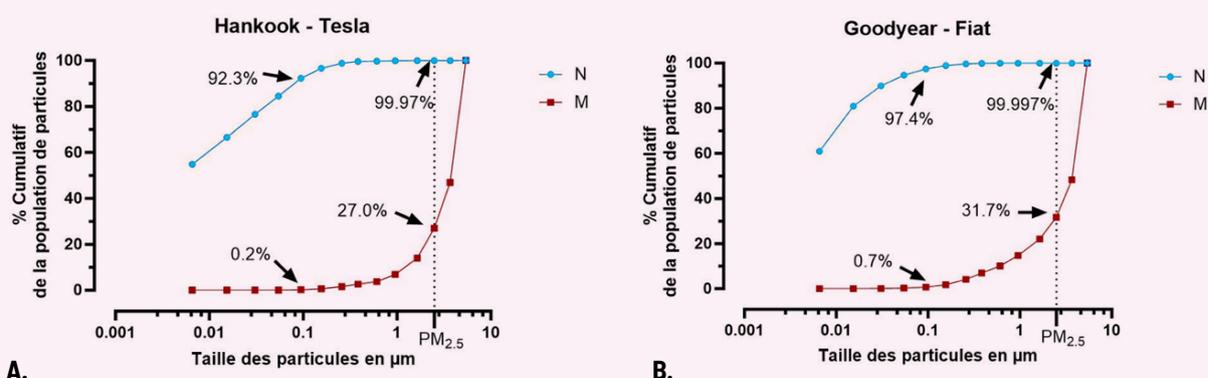
Concentration des micro- et nanoparticules produites par les pneus Hankook Venus SI Evo 3 EV de la Tesla Y (bleu), et les Goodyear Efficient Grip+ de la Fiat 600e (rouge) en : **(A)** Nombre de particules/cm³, **(B)** Masse de particule en µg/m³, en fonction de leur taille en µm (1 nm = 0.001 µm). La ligne en pointillés indique les particules de taille de 2,5 µm (PM_{2,5}) pour référence. (Attention, les volumes ne sont pas les mêmes, la concentration de particules en nombre est mesurée par cm³, la masse est mesurée par m³)

À partir des données collectées sur la masse de pneus perdue au cours des trajets, soit 151 mg/km et 65 mg/km pour les Hankook de la Tesla et les Goodyear de la Fiat respectivement, et en faisant le rapport des concentrations de particules mesurées en temps réel en fonction de leur taille et de leur masse, **on peut estimer la quantité de particules produites par les pneus : chaque véhicule produit entre 10¹² et 10¹³ particules par kilomètre parcouru, soit des milliers de milliards voire des dizaines de milliers de milliards de micro- et nanoparticules par kilomètre (1 000 000 000 000 à 10 000 000 000 000 particules/km).**

Des dizaines de milligrammes de gomme de pneumatiques sous forme de milliers de milliards de micro- et nanoparticules sont engendrés par kilomètre parcouru pour un seul véhicule. Cette quantité est alarmante, d'autant plus si l'on pense au nombre de véhicules circulants actuellement sur les routes. **C'est donc une source de pollution majeure non seulement pour notre environnement mais aussi pour la qualité de l'air que nous respirons et particulièrement aux abords des axes routiers.**

→ **99,97 % des micro- et nanoparticules entre 7 nm et 10 µm ne sont pas mesurées par les organismes de qualité de l'air**

La très grande majorité des particules générées sont des particules fines ou ultrafines inférieures à 2,5 µm (2 500 nm) qui représentent 99,97 % et 99,997 % des particules générées dans cette gamme de taille pour les Hankook de la Tesla et les Goodyear de la Fiat, respectivement.



↑ **Figure 3. Proportion de micro- et nanoparticules produites par les pneumatiques de voiture.**

Le pourcentage cumulé de la population de particules en nombre par cm^3 (bleu) et en poids $[\mu\text{g}]$ par m^3 (rouge) de 7 nm à 10 µm produits par les pneus (A) Hankook de la Tesla, et (B) Goodyear de la Fiat. Les valeurs indiquées représentent la proportion de particules de taille inférieure à 100 nm (0,1 µm) et 2,5 µm ($\text{PM}_{2,5}$).

En regardant la proportion de particules présentes en fonction de leur taille, on voit que la presque totalité des particules collectées et analysées sont des nanoparticules de tailles inférieures à 100 nm. Sur la gamme de taille de 7 nm à 10 µm, les particules ultrafines, inférieures à 100 nm, représentent plus de 92,3 % et 97,4 % des particules collectées. Plus les particules sont petites, plus elles sont nombreuses, et la capacité de résolution des systèmes de collectes utilisés est limitée aux particules supérieures ou égales à 7 nm. Ces particules extrêmement petites sont les plus préoccupantes et aussi les plus nombreuses. En comparaison, les particules de 2,5 µm jusqu'à 10 µm ($\text{PM}_{2,5}$ et PM_{10}) qui sont les standards d'analyse pour la

qualité de l'air notamment, ne représentent que 0,3 % et 0,003 % des particules produites dans la gamme de tailles analysée.

Les particules sont le plus souvent caractérisées à partir de leur taille qui permet de déterminer leur zone de dépôt dans l'arbre respiratoire [Rorat *et al.*, 2020]. On parle de « PM » (Particulate Matter) pour désigner les particules en accolant la taille. Quatre catégories sont le plus souvent considérées :

- **PM_{10}** : particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm ;
- **$\text{PM}_{2,5}$ ou particules fines** : particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm ;

- **PM₁** : particules fines dont le diamètre est inférieur à 1 µm ;
- **PM_{0,1} ou particules ultrafines** : particules dont le diamètre est inférieur à 0.1 µm.

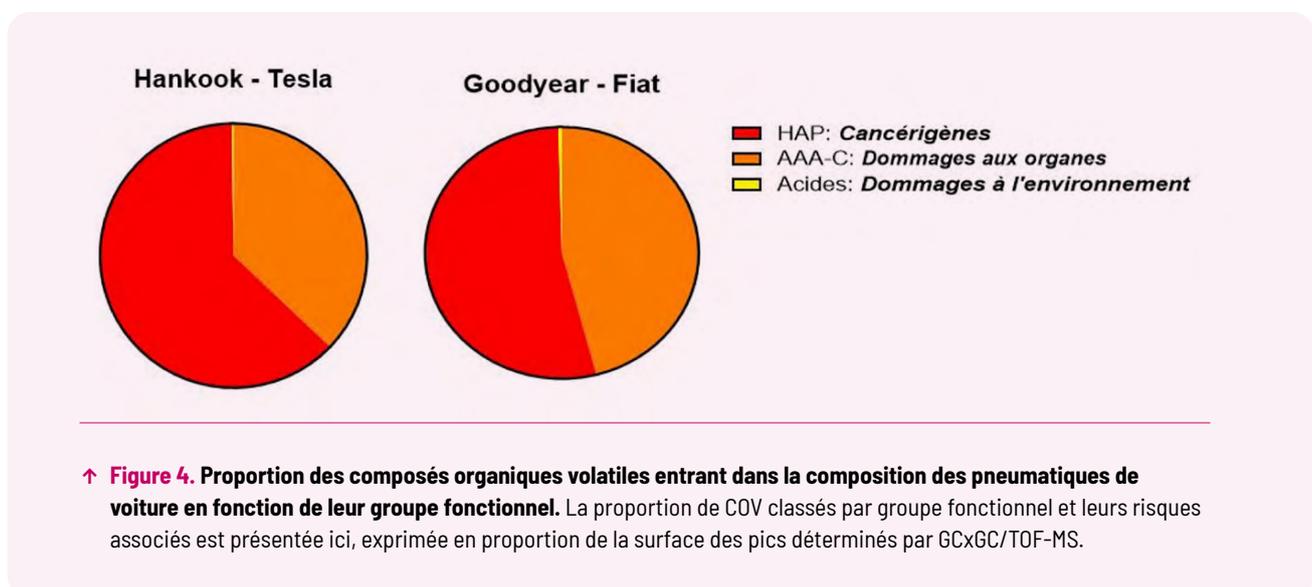
En France, les PM font l'objet d'une surveillance par les Associations Agréées Surveillance Qualité de l'Air (AASQA), qui calculent quotidiennement un indice de la qualité de l'air tenant compte notamment de la concentration en PM_{2,5} et PM₁₀. **Si on se base sur ces méthodes de surveillance de la qualité de l'air qui analysent les particules de 2,5 µm et de 10 µm, on peut voir que ces analyses ne prennent en compte qu'une infime partie des particules générées.**

À l'heure actuelle, aucune ville de plus de 50 000 habitants en France ne respectent les recommandations de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) sur les particules fines PM_{2,5}. L'Agence européenne de l'environnement [Agence Européenne de l'Environnement, 2023] considère la pollution de l'air aux particules fines comme celle ayant le plus d'impact sur les décès prématurés. Cependant, ces mesures et recommandations se limitent aux microparticules supérieures à 2,5 µm et ne tiennent pas compte des populations principalement « invisibles » des nanoparticules produites par les pneus des véhicules.

→ Vingt-cinq composés organiques volatiles identifiés dont certains sont cancérogènes

Une étude de l'IFREMER [Ifremer, 2022] estime que « la part d'additifs chimiques contenus en moyenne dans les objets plastiques est d'environ 7 % de leur masse.

Pour le caoutchouc en particulier, que l'on retrouve principalement sous forme de poussières d'usure de pneus, ils représentent jusqu'à 50 % de sa masse ». La composition exacte des pneus de voitures est souvent inconnue du grand public et couverte par le secret industriel. Ce, alors que la bande roulante des pneus s'use et génère des particules qui ont la même composition et contiennent donc les mêmes composés chimiques que la gomme des pneus dont elles sont issues. Nous avons analysé par GCxGC-TOF-MS les composés organiques volatiles (COV) présents dans les pneus. Les composés organiques sont identifiés par leur liaison Carbone-Hydrogène et peuvent être classés en fonctions de leur groupe fonctionnel qui détermine les risques associés pour la santé chez l'être humain et pour l'environnement. Ces risques dépendent du niveau d'exposition et sont accrus pour des expositions répétées dites chroniques : les acides sont responsables de dommages à l'environnement et surtout aux milieux aquatiques ; les alcanes, alcènes, alcynes et leurs formes cycliques (AAA-C) sont des irritants des muqueuses et causent des dommages aux organes, enfin les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont eux très toxiques et sont classés comme cancérogènes pour l'être humain. Tous les HAP sont considérés comme cancérogènes à des degrés variés pour l'être humain par le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) : cancérogènes avérés (groupe 1), probables (2A) ou possibles (2B).



↑ **Figure 4. Proportion des composés organiques volatiles entrant dans la composition des pneumatiques de voiture en fonction de leur groupe fonctionnel.** La proportion de COV classés par groupe fonctionnel et leurs risques associés est présentée ici, exprimée en proportion de la surface des pics déterminés par GCxGC/TOF-MS.

Plus spécifiquement, la concentration des 25 composés organiques volatils les plus présents dans les pneus de chaque véhicule a été mesurée et constitue l’empreinte chimique des pneus. Cette analyse permet uniquement l’identification des COVs les plus concentrés dans la gomme des pneus et non

la détermination de la composition chimique complète des pneus qui peuvent contenir d’autres COV à de plus faibles concentrations, mais aussi des additifs et composés inorganiques tels que des métaux lourds, du noir de charbon, de la silice, etc.

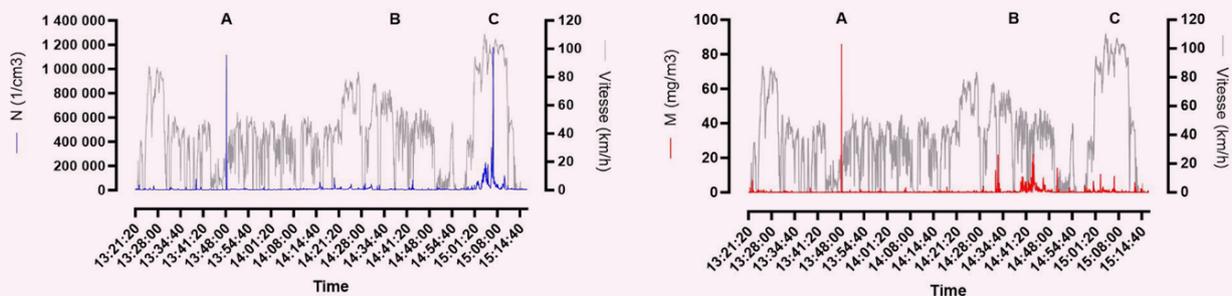
Tesla Y - Hankook Venus SI Evo 3 EV			Fiat 600e - Goodyear Efficient Grip+		
COV identifiés	[mg/kg]	Groupe fonctionnel	COV identifiés	[mg/kg]	Groupe fonctionnel
● 2-Pentène	755,7	AAA-C	● 2-Pentène	353,1	AAA-C
● Benzène	695,5	HAP	● Benzène	251,6	HAP
● 1,3,5,7-Cyclooctatetraène	633,3	AAA-C	● Toluène	235,3	HAP
● 1,3,5-Hexatriène	526,1	AAA-C	● 3-Hexèn-1-ol, (Z)-	208,0	Alcool
● Toluène	486,7	HAP	● 4-Méthyl-2-pentyne	201,7	AAA-C
● p-Xylène	432,7	HAP	● Phénol, 2,5-diméthyl-	155,2	HAP
● 1,3-Pentadiène	343,1	AAA-C	● 1-Tetradécène	151,5	AAA-C
● 1,3-Cycloheptadiène	293,8	AAA-C	● p-Xylène	150,8	HAP
● Ethylbenzène	211,7	HAP	● Styrène	134,7	HAP
● Cyclohexane, ethenylidène-	186,8	AAA-C	● p-Crésol	131,2	HAP
● p-Crésol	172,6	HAP	● D-Limonène	94,7	AAA-C
● α-Méthylstyrène	171,1	HAP	● Phénol, 2-méthyl-	80,1	HAP
● Phénol	145,3	HAP	● Acide 9,12-Octadécadiénoïque (Z,Z)-	79,2	Acide
● D-Limonène	121,4	AAA-C	● Acide n-Hexadécanoïque	70,5	Acide
● Rétène	109,4	HAP	● Nonadécane	70,1	AAA-C
● Phénol, 2,5-diméthyl-	107,2	HAP	● Phénol, 3-ethyl-5-méthyl-	62,1	HAP
● Naphthalène, 1-méthyl	95,6	HAP	● Ethylbenzène	61,2	HAP
● Styrène	94,0	HAP	● Mélézitose	58,4	Alcool
● Acétonitrile	91,6	AAA-C	● Acide Oléique	49,8	Acide
● 1H-Indène, 1-méthyl-	79,2	HAP	● Naphthalène, 1-méthyl	47,5	HAP
● Acide Oléique	76,2	Acide	● Indole	46,7	HAP
● 1-Pentadécène	75,2	AAA-C	● Rétène	43,2	HAP
● Benzène, 1-ethyl-4-méthyl-	67,3	HAP	● Naphthalène, 1,7-diméthyl-	42,5	HAP
● Indène	65,5	HAP	● α-Méthylstyrène	41,7	HAP
● Acide n-Hexadécanoïque	62,8	Acide	● Benzène, 1,2,4-triméthyl-	40,5	HAP

↑ **Tableau 2. Concentration des 25 composés organiques volatils les plus concentrés identifiés dans les pneumatiques des véhicules.** Les 25 COV les plus concentrés dans les pneumatiques testés sont listés avec leur concentration en mg/kg et leur groupe fonctionnel : les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP - **rouge**), les alcanes, alcènes, alcynes et leurs formes cycliques (AAA-C - **orange**), les acides (**jaune**), et les alcools (**violet**).

→ Facteurs impactant la production de micro- et nanoparticules par les pneumatiques

Le suivi en temps réel de la concentration de particules en nombre et en masse, additionné d'un suivi précis de la vitesse du véhicule et des routes empruntées, permet de mettre en évidence les conditions de route et de conduite qui augmentent l'usure des pneumatiques et donc la production et la dispersion de particules dans l'environnement. En prenant pour exemple un trajet mixte (routes urbaines et rurales, et autoroute) effectué par la Tesla Y, on peut voir trois périodes de production accrue de micro- et nanoparticules. Le premier pic de production de particules (**A**) correspond à un tronçon de route urbaine avec une succession de ronds-points où la faible vitesse et le fort braquage imposés par la configuration de la route engendrent

un pic de production de micro- et nanoparticules. On observe une deuxième zone du parcours avec une augmentation légère mais durable de la production de particules (**B**) qui correspond à un tronçon de chaussée où le revêtement de la route est ancien et de mauvaise qualité, et donc plus abrasif sur les pneus. Enfin, on observe une troisième zone du parcours (**C**) avec une augmentation durable de la production de particules accompagnée d'un pic de production important de particules. Cette zone correspond au parcours sur autoroute avec une vitesse de conduite élevée et donc un échauffement des pneus qui mène à une plus importante production de micro- et nanoparticules de manière soutenue, accompagnée d'un pic de production de particules correspondant à un événement de freinage. L'augmentation de l'abrasion des pneus sur autoroute, donc à grande vitesse, était déjà apparent sur la perte de masse des pneus (fig. 1) plus importante après un trajet incluant une voie rapide.



↑ Figure 5. Suivi en temps réel de la concentration de particules générées par les pneumatiques de voiture.

Nombre de particules par cm^3 (bleu), et masse de particules en mg par m^3 (rouge), en fonction de la vitesse du véhicule (gris). Lors de ces mesures, les véhicules étaient équipés d'une borne GPS afin de pouvoir identifier précisément la localisation des pics de production de particules sur routes empruntées. Exemple d'un trajet effectué avec le véhicule Tesla.

La mesure en temps réel de la concentration de particules nous permet d'identifier trois facteurs impactant la concentration de particules générées au cours du trajet : la vitesse du véhicule, et la sinuosité et le revêtement de la route. À cela s'ajoute les conditions climatiques qui impactent les pneus et le revêtement de la route (température, humidité, etc.). Mais, à ces facteurs sur lesquels nous n'avons que peu de prise, s'ajoute d'autres variables telles que le style de conduite, déjà démontré comme très impactant sur l'usure et la production de particules [Emissions Analytics], mais aussi le type de véhicules et de pneumatiques, très important dans la pollution qui est générée.

Ces 45 dernières années, une augmentation importante du poids des véhicules mis sur le marché a été constatée. Le poids à vide des véhicules a augmenté de 52 % passant de 1 099 kg en moyenne en 1980 à 1677 kg en moyenne en 2024, soit 576 kg en plus. Des véhicules plus lourds, et plus puissants, nécessitent des pneumatiques plus larges pour maintenir une bonne adhérence à la route. La taille moyenne des pneus est aussi en constante augmentation depuis les années 1980 passant en moyenne de 17,5 cm à 22,7 cm de nos jours, soit une augmentation de 29,7 %. Plus les pneus sont larges plus la surface de gomme en contact avec le revêtement de la route est importante. L'arrivée sur le marché de véhicules électriques avec de lourdes batteries augmente encore le poids des véhicules mis

en circulation, et de fait, la largeur des pneus augmente elle aussi proportionnellement, combinant deux effets qui impactent la production de particules de pneus lors des trajets. C'est le cas que nous retrouvons dans notre étude avec un véhicule Tesla modèle Y plus lourd de 464 kg (+30,4 %) par rapport à la Fiat 600e et dont les pneus sont plus larges de 4 cm (+18,6 %) avec 25,5 cm de large pour les Hankook qui équipent la Tesla comparés aux 21,5 cm des Goodyear de la Fiat.

La nature des pneus ainsi que les caractéristiques du véhicule qu'ils équipent ont un impact important sur la pollution de l'air qui est générée. Les pneus Hankook montés sur la Tesla modèle Y, plus lourde et plus puissante que la Fiat 600e, perdent plus de masse par kilomètre que les pneus Goodyear qui équipent la Fiat. La masse plus importante de particules produites par les pneus Hankook de la Tesla va, comme tous les plastiques, continuer de se dégrader en particules de plus en plus petites une fois dans l'environnement et donc générer une pollution plus importante. La composition des gommages des pneumatiques est un aspect critique puisque c'est celle-ci qui se fragmente en micro- et nanoparticules dans notre environnement. Nos analyses chimiques de la composition des pneus montrent que les particules issues des pneus de la Tesla, les Hankook Venus SI Evo 3 EV, contiennent plus de composés chimiques dont la toxicité est importante et qui sont cancérigènes pour l'être humain.

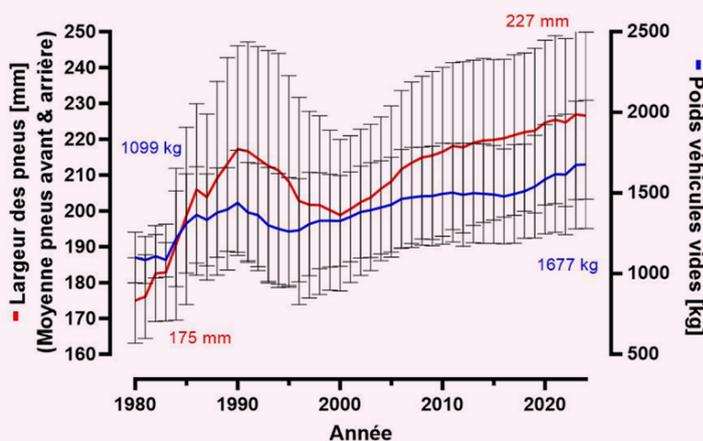


Figure 6. Valeurs moyennes de poids à vide et largeur des pneumatiques des véhicules mis en ventes de 1980 à 2024 dans le monde. Le poids moyen à vide en kg (rouge - axe de droite) et largeur moyenne des pneus en mm (bleu - axe de gauche) des véhicules mis en vente entre 1980 et 2024 sur le marché mondial [E-BDD]. Les barres représentent la déviation standard à la moyenne.

3 LES CONSÉQUENCES POUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ

Les principales routes de contamination par les micro-particules chez l'être humain sont notamment par inhalation avec une moyenne de 99 000 microparticules par an, par ingestion, et par contact épidermique pour les particules nanométriques ultrafines inférieures à 100 nm [Ragusa *et al.*, 2022 ; Gautam *et al.*, 2022]. Les études menées ces dernières années sur la présence de microparticules de plastiques dans le corps humain en ont trouvé dans tous les liquides corporels et organes analysés: dans le sang [Leslie *et al.*, 2022], le lait maternelle [Ragusa *et al.*, 2022 ; Liu *et al.*, 2023], l'urine [Pironti *et al.*, 2023], le sperme [Montano *et al.*, 2023], les fèces [Schwabl *et al.*, 2019 ; Luqman *et al.*, 2021 ; Zhang *et al.*, 2021], la salive et liquide broncho-alvéolaire [Amato-Lourenço *et al.*, 2022 ; Baeza-Martinez *et al.*, 2022], mais aussi dans les poumons [Jenner *et al.*, 2022], le placenta [Ragusa *et al.*, 2021 ; Zhu *et al.*, 2023], le colon [Ibrahim *et al.*, 2020 ; Yan *et al.*, 2022], le foie [Horvatits *et al.*, 2022], les tissus pénis [Codrington *et al.*, 2024], etc., et jusque dans le cerveau avec des quantités supérieures aux autres organes d'après une étude en cours d'évaluation [Campen *et al.*, in review]. Un certain nombre d'études scientifiques montrent l'impact négatif des microparticules de plastiques chez des animaux marins [Wang *et al.*, 2020], chez des mammifères [da Silva Brito *et al.*, 2022] et dans des lignées cellulaires humaines [Yong *et al.*, 2020 ; Gautam *et al.*, 2022 ; Barceló *et al.*, 2023]. D'autres études ont mis en évidence une plus grande quantité de microplastiques chez des patients, comparés à des personnes saines, mais sans pouvoir établir si la pathologie affecte la rétention et l'internalisation des microplastiques, ou si la quantité de microplastiques affecte le développement de la pathologie [Ibrahim *et al.*, 2020 ; Horvatits *et al.*, 2022 ; Yan *et al.*, 2022 ; Codrington *et al.*, 2024 ; Marfella *et al.*, 2024]. **Ces études alarmantes se limitent pourtant aux microplastiques et sont aveugles au problème des nanoparticules, plus abondantes et plus pénétrantes dans l'organisme.**

Les **particules ultrafines**, ou **PM_{0,1}**, sont des particules de taille nanométrique (moins de 0,1 µm de diamètre); si petites qu'elles se comportent comme des gaz. Plus les particules sont petites et plus leur surface d'échange avec les tissus biologiques est importante [Slama, 2022]. Les particules ayant un diamètre inférieur à 2,5 µm peuvent pénétrer dans les ramifications profondes des voies respiratoires (au niveau des

alvéoles pulmonaires), et même atteindre la circulation sanguine [Santé Publique France, 2022a]. Les particules de diamètre inférieur à 0,1µm peuvent, elles, traverser les membranes cellulaires passivement, et donc pénétrer dans les organes et le système sanguin encore plus facilement. Une fois dans le système sanguin, les particules se dispersent à travers tout l'organisme et dans tous les organes du corps humain. Les particules de plastiques ne pouvant pas être dégradées par notre organisme, elles tendent donc à s'y accumuler avec des effets sur la santé qui sont encore mal connus mais qui apparaissent, au fil des études, de plus en plus toxiques pour les organismes vivants et l'environnement.

Bien que l'on se préoccupe de plus en plus des microparticules, peu d'études s'intéressent au cas des particules ultrafines dont la masse est infime, mais le nombre élevé. De par leur taille, ces particules ultrafines sont difficiles à étudier. Néanmoins, la taille n'est pas le seul critère pertinent à prendre en compte lorsque l'on s'intéresse aux effets sanitaires des PM, leur composition chimique joue également un rôle important [Daellenbach *et al.*, 2020]. **Dans le cas de notre étude, nous savons quels sont certains des additifs présents dans ces particules et les propriétés cancérogènes redoutées ou avérées qu'ils ont pour l'être humain.**

Les principaux experts mondiaux réunis par la section des Monographies du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), ont conclu en octobre 2013 avec des preuves suffisantes que l'exposition à la pollution de l'air extérieur augmente le risque de cancer du poumon et de la vessie. En France, le rapport d'évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS) de 2021 soulignait que 40 000 décès annuels et 1 500 cas de cancers du poumon étaient attribuables à l'exposition aux PM_{2,5} [Santé Publique France, 2022b]. Dans le monde, selon le rapport du Global Burden of Disease (GBD) de 2019, les particules en suspension dans l'air constituent le second facteur de risque et sont responsables de 15 % des décès par cancer de la trachée, des bronches et des poumons. Ces nombres sont probablement sous-estimés car les études ne prennent en compte que les pathologies dont le lien de causalité est clairement établi.

La pollution de l'air est une exposition chronique [Pope, 2004 ; Dominici *et al.*, 2019 ; Amadou *et al.*, 2022], et en raison de la capacité des PM à atteindre la circulation sanguine et donc à diffuser dans d'autres tissus et organes, les effets ne se limitent pas à la fonction respiratoire. Les PM contribuent également au développement de maladies telles que le diabète de type 2, les maladies neurodégénératives et cardiovasculaires, et affectent la santé de l'enfant depuis son plus jeune âge [Li *et al.*, 2017 ; Santé Publique France, 2022b]. Au vu de leurs nombreux effets sanitaires, les PM constituent

une des principales causes de décès prématurés et sont associées à une perte considérable d'espérance de vie [Santé Publique France, 2021a & b].

La pollution de l'air extérieur est classée cancérigène certain (groupe 1) par le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) à cause, non seulement des PM, mais aussi des polluants qu'elles contiennent comme le benzène également classé cancérigène par le CIRC [CIRC, 2013] et qui est l'un des COV les plus concentrés dans les pneus que nous avons testés.

Les pneumatiques de voiture génèrent donc un cocktail très toxique : des particules ultrafines produites par l'abrasion des pneus qui se répandent dans l'environnement et pénètrent dans notre organisme, et qui contiennent un mélange de produits toxiques utilisés pour leur fabrication.

🔗 Références :

- Agence Européenne de l'Environnement. 2023. Les niveaux de pollution atmosphérique. <https://www.eea.europa.eu/fr/highlights/les-niveaux-de-pollution-atmospherique>
- Amadou et al. 2022. Multiple xenoestrogen air pollutants and breast cancer risk: statistical approaches to investigate the combined exposures effect. 34th Annual Conf. Int. Soc. Environ. Epidemiol.
- Amato-Lourenço et al. 2021. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *J. Hazard. Mater.*
- Baeza-Martinez et al. 2022. First evidence of microplastics isolated in European citizens' lower airway. *J. Hazard. Mater.*
- Barceló et al. 2023. Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*
- Campen et al. In review. doi: 10.21203/rs.3.rs-4345687/v1
- CIRC. 2013. Monographie du Centre international de Recherche sur le Cancer: Cancérogénicité de la pollution atmosphérique (vol. 109)
- Codrington et al. 2024. Detection of microplastics in the human penis. *Int. J. Impot. Res.*
- da Silva Brito et al. 2022. Consequences of nano and microplastic exposure in rodent models: the known and unknown. *Part. Fibre Toxicol.*
- Daellenbach et al. 2020. Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe. *Nature*
- Dominici et al., 2019. Assessing Adverse Health Effects of Long-Term Exposure to Low Levels of Ambient Air Pollution: Phase 1. *Res. Rep. Health Eff. Inst.*
- E-BDD. Base de données voitures. <https://www.e-bdd.com/base-de-donnees-voitures.html>
- Emissions Analytics. Gaining traction losing thread. <https://www.emissionsanalytics.com/news/gaining-traction-losing-tread>
- Gautam et al. 2022. Evaluation of potential toxicity of polyethylene microplastics on human derived cell lines. *Sci. Total Environ.*
- Epyx. Fleet data shows that EV tyres are lasting 6350 miles fewer than petrol or diesel. <https://www.eypx.co.uk/2023/09/26/fleet-data-shows-that-ev-tyres-are-lasting-6350-miles-fewer-than-petrol-or-diesel/>
- GBD 2019 Respiratory Tract Cancers Collaborators. 2021. Global, regional, and national burden of respiratory tract cancers and associated risk factors from 1990 to 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Respir. Med.*
- Horvatits et al. 2022. Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *EBioMedicine*
- Ibrahim et al. 2020. Detection of microplastics in human colectomy specimens. *J. Gastroenterol. Hepatol.*

- Ifremer. 2022. Chimie du plastique : quand les pneus menacent la vie marine. <https://www.ifremer.fr/fr/presse/chimie-du-plastique-quand-les-pneus-menacent-la-vie-marine>
- Jenner et al. 2022. Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *Sci. Total Environ.*
- Leslie et al. 2022. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ. Int.*
- Li et al. 2017. Association between ambient fine particulate matter and preterm birth or term low birth weight: An updated systematic review and meta-analysis. *Environ. Pollut.*
- Liu et al. 2023. Detection of various microplastics in placentas, meconium, infant feces, breastmilk and infant formula: a pilot prospective study. *Sci. Total Environ.*
- Luqman et al. 2021. Microplastic contamination in human stools, foods, and drinking water associated with Indonesian coastal population. *Environments*
- Marfella et al. 2024. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N. Engl. J. Med.*
- Montano et al. 2023. Raman Microspectroscopy evidence of microplastics in human semen. *Sci. Total Environ.*
- Pironti et al. 2023. First evidence of microplastics in human urine, a preliminary study of intake in the human body. *Toxics*
- Pope. 2004. Air Pollution and Health – Good News and Bad. *N. Engl. J. Med.*
- Ragusa et al. 2021. Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environ. Int.*
- Ragusa et al. 2022. Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. *Polymers*
- Rorat et al. 2020. Exposition aux particules atmosphériques : lien entre caractérisation physicochimique et impact sur la santé. L. Technical Report 18-0677/1A, RECORD
- Santé Publique France. 2021a. Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019
- Santé Publique France. 2021b. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/enquetes-etudes/impact-de-pollution-de-l-air-ambiant-sur-la-mortalite-en-france-metropolitaine.-reduction-en-lien-avec-le-confinement-du-printemps-2020-et-nouvelle>
- Santé Publique France. 2022a. Pollution atmosphérique : quels sont les risques ? <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/pollution-atmospherique-quels-sont-les-risques>
- Santé Publique France. 2022b. Pollution atmosphérique : évaluations quantitatives d'impact sur la santé - EQIS-PA. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/pollution-atmospherique-evaluations-quantitatives-d-impact-sur-la-sante-egis-pa>
- Schwabl et al. 2019. Detection of various microplastics in human stool. *Ann. Intern. Med.*
- Slama. 2022. Relations entre santé humaine et environnement dans l'Anthropocène. Particules fines: effets sur la mortalité et morbidité cardiovasculaire et respiratoire. Collège de France - Sciences de la Vie. https://www.youtube.com/watch?v=P78idgT_Lel
- Wang et al. 2020. Bioavailability and toxicity of microplastics to fish species: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*
- Yan et al. 2022. Analysis of microplastics in human feces reveals a correlation between fecal microplastics and inflammatory bowel disease status. *Environ. Sci. Technol.*
- Yong et al. 2020. Toxicity of microplastics and nanoplastics in mammalian systems. *Int. J. Environ. Res. Public Health*
- Zhang et al. 2021. You are what you eat: Microplastics in the feces of young men living in Beijing. *Sci. Total Environ.*
- Zhu et al. 2023. Identification of microplastics in human placenta using laser direct infrared spectroscopy. *Sci. Total Environ.*

4 NOS DEMANDES

→ ÉVALUER L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SANITAIRE DES PNEUS

Faute d'informations, l'évaluation environnementale et sanitaire des pneumatiques est insuffisante et ne permet pas d'engager une politique de réduction des risques. Au regard de la pollution massive des milieux par les micro- et nanoparticules, il y a urgence à mobiliser l'Agence nationale de sécurité sanitaire et environnementale (ANSES) afin d'assurer un meilleur suivi sanitaire.

→ CARTOGRAPHIER LES ZONES À FORTE EXPOSITION

À l'instar de nombreuses pollutions, le fait de cartographier les zones à forte exposition permet de mieux cibler les actions correctives visant à réduire le risque. En évaluant les territoires exposés à une contamination élevée par les micro- et nanoparticules de pneumatiques, les pouvoirs publics pourraient se donner enfin les moyens d'engager un suivi sanitaire des populations fortement exposées et éventuellement établir des liens entre cette exposition chimique et l'apparition des symptômes. De surcroît, cette cartographie des risques pourrait également éclairer l'avis des décideurs sur les infrastructures routières susceptibles d'accroître la pollution des milieux. Il est donc nécessaire de donner les moyens aux organismes de qualité de l'air de mieux prendre en compte l'émission de ces particules dites « ultrafines ».

→ LEVER LE SECRET INDUSTRIEL SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PNEUS

L'absence d'informations précises sur la composition des pneus rend l'étude des conséquences et le suivi sanitaire et environnemental quasiment impossibles. Les fabricants doivent accepter une levée du secret industriel afin de permettre aux organismes publics d'évaluation environnementale et sanitaire de conduire des études approfondies.

→ SOUMETTRE LA COMMERCIALISATION DES PNEUMATIQUES À UNE AUTORISATION DE MISE SUR LE MARCHÉ

S'il est confirmé que les additifs chimiques représentent jusqu'à 50 % de la masse des pneumatiques, il est de la première importance de soumettre la commercialisation des pneumatiques à une autorisation de mise sur le marché accordée par l'autorité européenne à la suite d'une évaluation environnementale et sanitaire poussée.

→ ÉTIQUETER LES PNEUMATIQUES EN FONCTION DE LEUR DEGRÉ D'ABRASIVITÉ ET DE LA LARGEUR DES PNEUS

Faute d'informations objectives, les consommateurs ne peuvent faire un choix éclairé. Un étiquetage permettant de classer les pneumatiques en fonction de leur degré d'abrasivité et de la largeur des pneus doit voir le jour. Il s'agit d'un moyen simple de guider le choix des consommateurs vers les pneumatiques les moins émetteurs de micro- et nanoparticules.

→ ADOPTER UN BONUS/MALUS ADOSSÉ À L'ÉTIQUETAGE

Les coûts environnementaux et sanitaires ne sont pas pris en considération dans le prix de vente. Faute d'indications tarifaires, le marché est aveugle aux conséquences écologiques et ne guide pas le choix des consommateurs. Parallèlement, faute d'indications claires, les industriels ne sont pas stimulés à mieux prendre en compte les effets « collatéraux » des produits commercialisés. En activant un signal « prix » internalisant les coûts externes, le principe du bonus/malus aurait pour effet de renchérir le prix des pneus dont la largeur et le degré d'usure ont un effet immédiat sur la quantité de particules rejetées dans l'environnement.



AGIR POUR L'ENVIRONNEMENT, ASSOCIATION DE MOBILISATION DE CITOYENNE

Agir pour l'Environnement est une association de **mobilisation citoyenne œuvrant pour une planète vivable** de plus de 20 000 adhérents. L'association fait pression sur les responsables politiques et décideurs économiques en menant des campagnes de mobilisation citoyenne réunissant un réseau d'associations et de citoyens le plus large possible.

Agir pour l'Environnement est une association financièrement indépendante, elle n'accepte aucune subvention ni publique ni privée et aucun don des entreprises.



11 rue du Cher - 75020 Paris



+ 33 1 40 31 02 37



contact@agirpourenvironnement.org



agirpourenvironnement.org

CONTACTS PRESSE

Stéphen Kerckhove

*Directeur général
d'Agir pour l'Environnement*

Tél. 06 06 88 52 66

Oliver Charles

*Coordinateur des campagnes Climat,
Énergie, Transports*

ocharles@agirpourenvironnement.org

Magali Leroy

*Chargée des Enquêtes,
Analyses et Investigations*

