



Zone à faibles émissions mobilité (ZFE-m) dans la métropole du Grand Paris

ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA ZONE À FAIBLES ÉMISSIONS MOBILITÉ
(ZFE-M) MÉTROPOLITAINE ÉTAPE « CRIT'AIR 4 »



ZONE A FAIBLES ÉMISSIONS MOBILITÉ DANS LA MÉTROPOLE DU GRAND PARIS

Évaluation de l'impact de la Zone à Faibles Émissions mobilité (ZFE-m) métropolitaine étape « Crit'Air 4 »

Mai 2024

Pour nous contacter

AIRPARIF - Surveillance de la Qualité de l'Air en Île-de-France

7 rue Crillon 75004 PARIS - Téléphone 01.44.59.47.64 - Site www.airparif.fr

Glossaire

Généralités :

Concentrations : les concentrations de polluants qui caractérisent la qualité de l'air que l'on respire, s'expriment le plus souvent en microgrammes par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Elles sont notamment très influencées par la proximité des sources polluantes.

Émissions : rejets de polluants dans l'atmosphère liés à différentes sources telles que les transports (routier, aérien, fluvial, ferré), les secteurs résidentiel et tertiaire (production de chauffage et d'eau chaude sanitaire), l'industrie...

Parc roulant : caractérise la répartition des véhicules circulant selon cinq types de véhicules : véhicules particuliers (VP) ; véhicules utilitaires légers (VUL) ; poids lourds (PL) ; bus et cars (TC) et deux roues motorisés (2RM).

Parc technologique : caractérise, pour chacun des cinq types de véhicules (VP, VUL, PL, TC et 2RM), la répartition des véhicules en termes de carburant, de norme « euro » et de puissance du moteur (PTAC pour les PL et les TC).

ZFE-m : Zone à Faibles Émissions Mobilité

Normes :

Valeur limite (VL) : un niveau fixé par la réglementation européenne, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint. Ce sont des valeurs réglementaires contraignantes. En cas de dépassement de valeur limite, des plans d'actions efficaces doivent être mis en œuvre afin de conduire à une diminution rapide des teneurs en dessous du seuil de la valeur limite.

Polluants :

NO_x : Oxydes d'azote

NO₂ : Dioxyde d'azote

PM₁₀ : Particules de diamètre inférieur à 10 μm

PM_{2.5} : Particules de diamètre inférieur à 2.5 μm

SOMMAIRE

GLOSSAIRE.....	3
SOMMAIRE.....	4
1. INTRODUCTION.....	5
2. ÉVOLUTION DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES.....	6
2.1. METHODOLOGIE	6
2.2. ANALYSE DES TENDANCES	10
Tendances pour les NO _x et NO ₂	10
Tendances pour les particules PM ₁₀ et PM _{2,5}	11
3. EVOLUTION DU PARC TECHNOLOGIQUE ET GAINS ASSOCIES.....	14
3.1. IMPACT DE LA ZFE-M SUR LE PARC TECHNOLOGIQUE.....	14
Méthodologie	14
Résultats.....	15
3.2. GAINS D'EMISSIONS ASSOCIES.....	17
Méthodologie	17
Résultats.....	17
3.3. AMELIORATION DE LA QUALITE DE L' AIR ASSOCIEE.....	20
Oxydes d'azote (NO _x et NO ₂)	20
Particules PM ₁₀	20
4. CONCLUSION	21

1. Introduction

Déjà déployées dans 315 villes à travers l'Europe, les Zones à Faibles Émissions « mobilité » (ZFE-m) sont considérées comme étant une mesure efficace pour lutter contre la pollution atmosphérique liée au trafic routier. En Ile-de-France, le dispositif de ZFE-m a d'abord été instauré à Paris intra-muros, en 2017 avec l'interdiction des véhicules associés aux vignettes Crit'Air « Non Classé », « Crit'Air 5 ». En juillet 2019, le dispositif de ZFE-m a été étendu à la Métropole du Grand Paris, au périmètre à l'intérieur de l'autoroute A86 (hors A86, dit « périmètre ZFE-m » dans la suite du rapport), avec une première étape la restriction de circulation des véhicules « Non classé » et « Crit'Air 5 ». La deuxième étape de la ZFE-m métropolitaine a été mise en place au 1^{er} juin 2021, étendant la restriction de circulation aux véhicules « Crit'Air 4 ». Ces étapes progressives de restrictions de circulation aux véhicules les plus anciens de la ZFE-m métropolitaine, ont été actées par délibération du Conseil métropolitain du 1^{er} décembre 2020 et en accord avec le PCAEM approuvé en novembre 2018. Elles visent à accélérer le renouvellement du parc de véhicules pour réduire les émissions de polluants atmosphériques issues du trafic routier.

La mise en place de chaque étape est accompagnée d'une **étude prospective évaluant les gains a priori de la ZFE-m**. Airparif a réalisé ces études sur le volet qualité de l'air : gains a priori de la ZFE-m sur les émissions de polluants atmosphériques et de Gaz à Effet de Serre, sur les concentrations de polluants respirés par les Franciliens, et sur l'exposition à la pollution de l'air notamment au regard de seuils réglementaires ou recommandés par l'OMS. Ces indicateurs de qualité de l'air ont permis par ailleurs l'estimation des gains sanitaires réalisée par l'ORS Ile-de-France¹. L'étude des gains a priori de la ZFE-m s'est effectuée en amont de la date de mise en place de chaque étape de la ZFE-m. Les données prospectives utilisées pour l'étude a priori (par exemple pour la composition du parc de véhicules selon les vignettes « Crit'Air ») étaient les plus récentes à la date de l'étude. La dernière étude réalisée par Airparif concerne l'étape « Crit'Air 3 » de la ZFE-m métropolitaine pour une mise en œuvre au 1^{er} janvier 2025 (Airparif – Mai 2024).

L'**étude des gains a posteriori de la ZFE-m** est une évaluation de la ZFE-m à une date donnée après le début de la mise en place de l'étape de la ZFE-m d'intérêt. Elle a pour objectif de quantifier l'impact attribuable à la ZFE-m, distingué des autres facteurs d'influence, sur l'évolution des émissions du trafic routier au sein du périmètre de la ZFE-m, et sur les concentrations mesurées au sein du territoire francilien.

L'étude réalisée par Airparif présentée dans ce rapport, a évalué l'impact des restrictions en vigueur de la ZFE-m métropolitaine. L'analyse de l'évolution des concentrations d'oxydes d'azote (NO_x), de dioxyde d'azote (NO₂) et de particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) dans l'air ambiant repose sur la méthodologie développée dans le cadre de l'étude de l'évolution de la pollution atmosphérique à Paris et Londres entre 2005 et 2016 réalisée conjointement par l'Université King's College et Airparif². L'impact attribuable à la ZFE-m, distingué du renouvellement naturel dit « fil de l'eau » du parc technologique sur les émissions du trafic routier au sein du périmètre de la ZFE-m et sur la qualité de l'air est évalué à partir de la méthodologie d'évaluation de la ZFE-m de Berlin et de Munich en Allemagne³.

¹ Observatoire Régional de Santé – Département santé de l'Institut Paris Région

² A. Font, L. Guiseppin, M. Blangiardo et al., 2019. A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? Environmental Pollution. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118321687>

³ J. Gu V. Deffner, H. Küchenhoff et al., 2021 « Low emission zones reduced PM₁₀ but not NO₂ concentrations in Berlin and Munich, Germany » <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114048>

2. Évolution des polluants atmosphériques

2.1. Méthodologie

Afin d'analyser l'évolution des concentrations des polluants atmosphériques (NO_x, NO₂ et particules PM₁₀, et PM_{2,5}) vis-à-vis du déploiement de la ZFE-m, celle-ci est focalisée sur **trois périodes** : la première entre le 1^{er} janvier 2010 et le 31 décembre 2016, la deuxième entre le 1^{er} janvier 2017 et le 31 décembre 2019 et la dernière entre le 1^{er} janvier 2021 et le 31 décembre 2023.

La première période, et l'historique 2005-2009 ont été étudiés dans l'étude réalisée par l'Université King's College et Airparif. La deuxième correspond à la période à partir de laquelle la ZFE-m parisienne a été officiellement instaurée (interdiction des véhicules « non classés » en janvier 2017, renforcement aux véhicules « Crit'Air 5 » en juillet 2017 puis étendue au périmètre à l'intérieur de l'A86 en juillet 2019) dont les résultats ont été étudiés lors de la première évaluation a posteriori de la ZFE-m métropolitaine effectuée par Airparif en Décembre 2020 ⁴. La troisième période, couvrant les années 2021 à 2023 correspond à la période où la ZFE-m métropolitaine a étendu la restriction de circulation aux véhicules « Crit'Air 4 » en juin 2021.

Sont ainsi étudiées :

- **Une période sans ZFE-m** (2010 - 2016) ;
- **Une période avec mise en œuvre d'une ZFE-m parisienne** (janvier 2017) **puis ZFE-m métropolitaine** (juillet 2019) **jusqu'au niveau « Crit'Air 5 »** au sein du périmètre à l'intérieur de l'autoroute A86 ;
- **Une période avec mise en œuvre d'une ZFE-m métropolitaine** (juin 2021) **étendue au niveau « Crit'Air 4 »** au sein du périmètre à l'intérieur de l'autoroute A86.

L'année 2020 n'a pas été prise en compte dans l'évaluation des tendances sur les concentrations de polluants de l'air de par sa particularité avec la crise sanitaire liée au Covid-19. En effet, cette période inclut notamment la période de confinement survenue entre mars et mai 2020. Le confinement ayant un impact très significatif sur les niveaux de pollution atmosphérique en situation de fond comme à proximité du trafic routier, l'analyse des tendances sur la période aurait en partie mis en évidence l'impact du confinement.

Pour chacune de ces périodes, l'évolution des concentrations de chaque polluant est estimée grâce à la méthodologie utilisée dans l'étude menée par l'Université King's College et Airparif. Elle permet d'évaluer les tendances d'évolution des concentrations de polluants dans l'air ambiant et celle de « l'impact trafic ».

L'impact trafic correspond à la valeur de la concentration d'une station en proximité du trafic routier à laquelle est retranchée la concentration de fond de la station la plus proche. Il permet de mettre en évidence les baisses de concentrations associées aux émissions du trafic routier. En effet, une baisse des concentrations liée à une diminution des émissions du secteur résidentiel serait observée de manière quasi-équivalente sur les stations de fond et de proximité au trafic ; à l'inverse, une baisse des concentrations associée à une diminution des émissions du trafic routier serait plus marquée au niveau des stations de proximité au trafic. Ainsi, **une évolution de « l'impact trafic » peut être directement reliée à une évolution des émissions du trafic routier.**

⁴ « Evaluation de l'impact de la Zone à Faibles Emissions-mobilité (ZFE-m) Métropolitaine mise en œuvre 2019 » <https://www.airparif.fr/etudes/2021/etude-zone-faibles-emissions-mobilite-zfe-m-dans-la-metropole-du-grand-paris>

La méthode repose sur le calcul de tendances linéaires des concentrations moyennes mensuelles par la méthode de Theil-Sen (pour plus de détails, cf. article « A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? »). Les concentrations moyennes mensuelles sont calculées à partir des moyennes horaires et désaisonnalisées en appliquant la méthode des moyennes mobiles, afin de faire apparaître de manière plus visible la tendance, indépendamment des variations pouvant être observées au cours d'une année. Elles ont été calculées en imposant un taux minimum de disponibilité des données de 75 %, à partir des mesures horaires sur les stations de fond et de trafic du réseau Airparif. Les tendances de l'impact du trafic routier sont calculées en soustrayant la concentration de fond à chaque mesure horaire des stations à proximité du trafic routier : pour les stations à proximité du trafic routier au sein de Paris, la concentration de fond soustraite est celle de Paris 1^{er} les Halles ; pour les stations à proximité du trafic routier hors Paris, la concentration de fond soustraite est celle de la station de fond la plus proche géographiquement.

Le jeu de données mesurées comprend un total de 46 stations en Ile-de-France réparties en 32 sites de fond et 14 stations de typologie « trafic routier » (Figure 1). La grande majorité des stations respectivement de fond et de proximité au trafic routier se situe au sein de la Métropole du Grand Paris.

Le Tableau 1 liste l'ensemble des stations fixes du réseau d'Airparif et indique la typologie de la station, ainsi que les polluants mesurés à cette station parmi les quatre polluants pour la période 2021-2023 dont les résultats sont présentés ci-dessous. Pour connaître la typologie et les polluants mesurés du réseau de stations fixes d'Airparif sur les périodes précédentes (2010-2016 et 2017-2019), se référer respectivement à « A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? »² et « Evaluation de l'impact de la Zone à Faibles Emissions-mobilité (ZFE-m) Métropolitaine mise en œuvre 2019 »⁴.

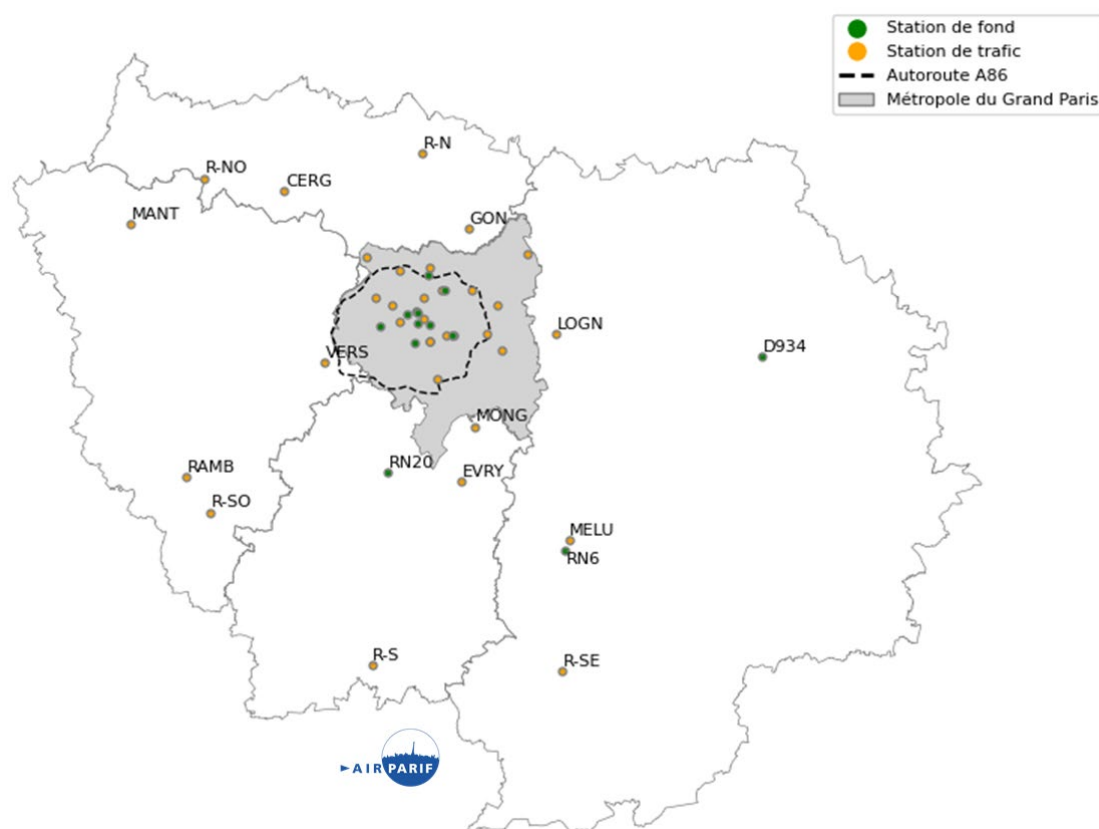


Tableau 1 : Typologie et polluants mesurés pour chaque station de mesure du réseau de stations fixes d'Airparif (dans l'ordre alphabétique du nom de la station) pour la période 2021-2023.

Station	ID	Station Type	Polluants mesurés			
			NO _x	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
Argenteuil	ARG	Fond	X	X		
Aubervilliers	AUB	Fond	X	X		
Autoroute A1 Saint-Denis	A1	Trafic	X	X	X	X
Avenue des Champs-Élysées	ELYS	Trafic	X	X	X*	X*
Bobigny	BOB	Fond	X	X	X	X
Boulevard Haussmann	HAUS	Trafic	X	X	X	X*
Boulevard Périphérique Auteuil	AUT	Trafic	X*	X*	X	X
Boulevard Périphérique Est	BP_EST	Trafic	X	X	X	X
Boulevard Soult	SOULT	Trafic	X	X		
Cergy-Pontoise	CERGY	Fond			X	
Champigny-sur-Marne	CHAMP	Fond	X	X		
Evry	EVRY	Fond	X	X		
Gennevilliers	GEN	Fond	X	X	X	X
Gonesse	GON	Fond	X	X		X
La Défense	DEF	Fond	X	X	X*	X
Lognes	LOGNES	Fond	X	X	X	
Mantes-la-Jolie	MANT	Fond	X	X		
Melun	MELUN	Fond	X	X		
Montgeron	MONTG	Fond	X	X		
Neuilly-sur-Seine	NEUI	Fond	X	X		
Nogent-sur-Marne	NOGENT	Fond			X	
Paris 12ème	PA12	Fond	X	X		
Paris 13ème	PA13	Fond	X	X		
Paris 15ème	PA15	Fond	X	X	X	
Paris 18ème	PA18	Fond	X	X	X	X*
Paris 1er Les Halles	PA01H	Fond	X	X	X	X
Paris 7ème	PA07	Fond	X	X		
Place de l'opéra	OPERA	Trafic	X	X	X	
Place Victor Basch	BASCH	Trafic	X	X	X	
Quai des Célestins	CELES	Trafic	X	X		
Rambouillet	RAMBO	Fond			X	X
RD934 Coulommiers	RD934	Trafic			X	X*
RN2 Pantin	RN2	Trafic	X	X	X	
RN20 Monthéry	RN20	Trafic	X	X		
RN6 Melun	RN6	Trafic	X	X	X	X*
Rue Bonaparte	BONAP	Trafic	X	X		
Saint-Denis	STDEN	Fond	X	X		
Tremblay-en-France	TREMB	Fond	X	X	X	
Versailles	VERS	Fond	X	X		
Villemomble	VILLEM	Fond	X	X		
Vitry-sur-Seine	VITRY	Fond	X	X	X	X
Zone rurale nord - Saint-Martin-du-Tertre	RUR_N	Fond				X
Zone rurale Nord-Ouest - Frémainville	RUR_NO	Fond			X	
Zone rurale sud - Bois-Herpin	RUR_S	Fond			X	X
Zone rurale sud-est - Forêt de Fontainebleau	RUR-SE	Fond	X	X		X
Zone rurale Sud-Ouest – Forêt de Rambouillet	RUR_SO	Fond	X	X		

* Données non prises en compte pour le calcul de la tendance du fait d'un nombre insuffisant de données représentatives sur la période

2.2. Analyse des tendances

Les tendances d'évolution des concentrations de NO_x, NO₂ et particules (PM₁₀, PM_{2.5}) sur les stations de fond, sur les stations à proximité du trafic routier et de « l'impact trafic » de ces quatre polluants sont résumées dans le Tableau 2. Les concentrations de polluants de l'air sont exprimées en µg/m³. La tendance est exprimée en % par an.

Tableau 2 : Tendances des concentrations en polluants atmosphériques, en fond, trafic, et « impact trafic », selon les trois périodes d'intérêt

	2010 - 2016			2017 - 2019			2021-2023		
	Fond	Trafic	Impact	Fond	Trafic	Impact	Fond	Trafic	Impact
NO _x	→ significatif	→ significatif	↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif
NO ₂	→ significatif	↘ significatif	↘↘ significatif	↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	↘ significatif	↘↘ significatif
PM ₁₀	↘ significatif	↘ significatif	↘↘ significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	↘ significatif	↘ significatif	↘↘ significatif
PM ₂₅	↘↘ significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	Non significatif	Non significatif	Non significatif	↘↘ significatif	↘↘ significatif	Non significatif

Légère décroissance → : entre 0 % et 2 % par an,

Décroissance ↘ : entre 2 % et 5 % par an,

Forte décroissance ↘↘ : entre 5 % et 15 % par an

Non significatif : la tendance n'est pas significative statistiquement

Tendances pour les NO_x et NO₂

Les **concentrations en NO_x** montrent des baisses légères sur la période 2010-2016 (pour plus de détails, cf. article « A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? »), mais s'accroissent fortement et de manière significative statistiquement sur la période 2017-2019 à hauteur des stations de fond et celles à proximité du trafic routier (baisses supérieures à 7 % par an). L'impact trafic global sur les stations trafic montre également une importante tendance à la baisse sur la période 2017-2019 (environ -9 % par an).

Dans la continuité de la période 2017-2019, les concentrations de fond et de proximité au trafic routier en NO_x sur la période 2021-2023 continuent de baisser fortement et de manière significative (-7 % pour la tendance globale sur les stations de fond, -8 % pour la tendance globale sur les stations à proximité du trafic routier) ; de même pour l'impact trafic (-9.5 %). **La baisse forte de l'impact trafic indique une baisse des émissions du trafic routier pour ce polluant durant les trois dernières années.**

Après une légère décroissance entre 2010 et 2016, les **concentrations en NO₂** montrent une baisse significative entre 2017 et 2019 en situation de fond (-5 % par an) et en situation à proximité du trafic routier (-6 % par an). Concernant l'impact trafic en NO₂, des tendances à la baisse sont également observées depuis 2010 (entre -5 % et -6 % par an).

Dans la continuité de la période 2017-2019, les concentrations de NO₂ sur la période 2021-2023 continuent de baisser à la fois sur les sites de fond et sur les sites à proximité du trafic routier. La baisse est par ailleurs légèrement plus accentuée que sur la période précédente (2017-2019) pour les stations de fond **et pour l'impact trafic** (un point de baisse supplémentaire).

La tendance sur les trois dernières années peut grandement varier selon les stations :

- **La baisse des concentrations de NO₂ mesurée sur les stations de fond varie de -3 % par an à -15 % par an**, respectivement à la station Vitry-sur-Seine et aux stations Argenteuil et La Défense. Seules quelques stations de fond n'observent pas de tendance significative sur la période, c'est le cas des stations de Paris 18^{ème}, Paris 7^{ème} et Aubervilliers pour les stations au sein de la Métropole du Grand Paris.
- **La baisse de l'impact trafic en NO₂ sur les stations à proximité du trafic routier est significative pour la majorité des stations et varie de -5 % par an sur le site trafic Place de l'Opéra à Paris et du Boulevard Périphérique Est, et peut atteindre jusqu'à -13 % par an** sur les stations de la RN2 à Pantin et de la Place Victor Basch à Paris. Au sein de la Métropole du Grand Paris, seules quelques stations ont une tendance à la baisse qui n'est pas significative sur la période : Boulevard Haussmann et rue Bonaparte.

Pour la station trafic Avenue des Champs Elysées, les concentrations relevées en moyenne annuelle ont peu évolué sur les 3 dernières années, passant de 30 µg/m³ en 2021 à 28 µg/m³ en 2023, alors que les mesures à la station de fond dans Paris montrent une baisse des concentrations d'environ -5 % par an. Cela implique que l'impact trafic a relativement augmenté sur la station durant les 3 dernières années, mais cette augmentation est à considérer au regard des niveaux mesurés à la station Avenue des Champs Elysées, qui sont parmi les plus faibles des stations trafic au sein de la Métropole du Grand Paris.

Tendances pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Sources d'émissions de particules

Pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5}, les concentrations mesurées au sein de la région sont issues à la fois des émissions locales de particules par les différents secteurs d'activité, mais également d'une part importée de particules émises sur d'autres territoires car les particules peuvent être transportées sur de grandes distances (environ deux tiers des particules fines PM_{2.5} mesurées en situation de fond en Ile-de-France proviennent de sources extérieures à la région ⁵).

Concernant les émissions locales, le secteur résidentiel est le premier contributeur aux émissions au sein de la Métropole du Grand Paris de particules primaires PM₁₀ (43 %) et PM_{2.5} (56 %) en 2021, en raison notamment du chauffage au bois (environ 80 % des émissions du secteur résidentiel pour les PM₁₀ et PM_{2.5})⁶. Le secteur du trafic routier représente 20 % des émissions de PM₁₀ et 17 % des émissions de PM_{2.5} au sein de la Métropole du Grand Paris en 2021, celles-ci sont par ailleurs majoritairement dues à l'abrasion des routes, pneus et freins des véhicules (82 % des émissions du trafic routier pour les PM₁₀ et 71 % pour les particules PM_{2.5}).

⁵ Synthèse des connaissances sur les particules en Ile-de-France, Airparif – avril 2021
<https://www.airparif.asso.fr/dossiers-fiches-thematiques/2021/synthese-des-connaissances-sur-les-particules-en-ile-de-france>

⁶ Inventaire AIR-CLIMAT-ENERGIE – Bilan Métropole du Grand Paris - Année 2021, Airparif 2024

Sur la période 2021-2023, les concentrations de PM₁₀ ont baissé de manière significative à la fois sur les stations de fond, et sur celles à proximité du trafic routier : respectivement -4 % et -5 % par an. La baisse de l'impact trafic est plus marquée sur la période, avec une tendance globale de -9 % par an. Cette baisse indique que contrairement à la période précédente où la tendance n'était pas significative, les émissions de PM₁₀ associées au trafic routier sur les 3 dernières années ont **significativement diminué** et sont à mettre au regard de l'évolution technologique du parc de véhicules présenté dans la partie « 3. Evolution du parc technologique ».

Comme pour les concentrations de NO₂, les tendances des concentrations de PM₁₀ sur les trois dernières années montrent une grande variabilité selon les stations :

- Pour les stations de fond, **la baisse des concentrations de PM₁₀ est la plus marquée au sein de la Grande-Couronne parisienne. La baisse varie de -6 % par an à -9 % par an**, respectivement à la station de Cergy-Pontoise et à la station en Zone rurale Nord-Ouest à Frémainville. La tendance d'une partie des stations de fond n'est pas suffisamment marquée sur la période 2021-2023 et n'est donc pas significative statistiquement, telles que Paris Les Halles, Paris 15^{ème} ou encore Vitry-sur-Seine et Nogent-sur-Marne pour les stations situées dans la Métropole du Grand Paris.
- Pour les stations à proximité du trafic routier, **la baisse de l'impact trafic en PM₁₀ est relativement importante sur les axes majeurs au sein de la Métropole du Grand Paris. Une baisse significative est ainsi observée de 6 % à 20 % par an sur le Boulevard Périphérique** (respectivement pour la station Boulevard Périphérique Est et de la Porte d'Auteuil) **et atteint 10 % le long de l'autoroute A1 (Saint-Denis). Une baisse importante est à noter (-45 % par an)** sur la station située le long de la RD934 à Coulommiers (Seine et Marne). A l'inverse les stations situées Boulevard Haussmann et Place Victor Basch au sein de la Métropole du Grand Paris n'observent pas d'évolution significative sur les trois dernières années.

Pour la station trafic située à Place de l'Opéra à Paris, les niveaux en moyenne annuelle ont peu diminué sur les trois dernières années, de 23 µg/m³ en 2021 à 22 µg/m³ en 2023. Du fait de la diminution du niveau de fond au sein de Paris, on observe que l'impact trafic a augmenté relativement sur la période. Comme pour la tendance à la hausse de l'impact trafic sur le NO₂ à la station des Champs Elysées sur la période, celle-ci est néanmoins à mettre au regard des niveaux mesurés à la station Place de l'Opéra à Paris, qui se positionnent relativement à des niveaux faibles au sein de l'ensemble des stations trafic de la Petite Couronne parisienne. A titre d'exemple, la concentration moyenne annuelle relevée à la station A1 située à Saint-Denis est de 28 µg/m³ en 2023.

La tendance à la baisse pour les PM_{2.5} était non significative sur la période 2017-2019, que ce soit en mesures de fond, à proximité du trafic routier ou de l'impact routier, **mais elle s'est accentuée significativement depuis 2021**. En effet, **les niveaux de PM_{2.5} ont diminué globalement de -7 % par an pour les stations de fond et de -5 % par an pour les stations à proximité du trafic routier**.

La tendance de l'impact trafic sur les PM_{2.5} est néanmoins non significative sur la période 2021-2023, comme cela était le cas pour la période précédente. **Cela indique que la baisse des concentrations de PM_{2.5} observée à proximité du trafic routier n'est pas directement liée à une diminution des émissions du trafic routier sur cette période**.

Les tendances des concentrations de PM_{2.5} sur les trois dernières années montre une grande variabilité selon les stations :

- Pour les stations de fond, **la tendance à la baisse varie de -7 % à -15 % par an**, respectivement à la station Bobigny et à la station Zone rurale Nord dans la commune de Saint-Martin-du-Tertre.
La tendance à la baisse d'une part des stations n'est pas significative sur la période 2021-2023 comme cela est le cas dans le cœur de l'agglomération parisienne avec Paris Les Halles et Vitry-sur-Seine.
- Pour les stations à proximité du trafic routier dont la tendance à la baisse est significative, **l'impact trafic varie de -19 % à -21 % par an**, respectivement relevé à la station RN20 à Montlhéry et à la station située le long de l'autoroute A1 de Saint-Denis. 2 autres stations (BPE et BP Auteuil) n'ont pas connu de baisse significative sur cette période.

Il est important de noter qu'Airparif a enrichi son réseau de surveillance et de mesure au cours de l'année 2022, en ajoutant des points de mesure des particules PM_{2.5} sur plusieurs sites trafic, notamment les stations Champs-Élysées, boulevard Haussmann, D934 et RN6. La tendance des concentrations de PM_{2.5} sur ces stations n'a néanmoins pas été pris en compte du fait d'un nombre insuffisant de données représentatives sur la période 2021-2023 (seulement un an de mesure sur les trois ans étudiés).

La prise en compte des mesures PM_{2.5} de ces stations sur une période temporelle suivante permettra d'enrichir les connaissances sur les tendances des concentrations de particules PM_{2.5}.

La période 2021-2023 a donc été marquée par une tendance de décroissance moyenne à forte des concentrations de NO_x, NO₂ et particules (PM₁₀, PM_{2.5}) à la fois sur les stations de fond et sur les stations à proximité du trafic routier. L'impact trafic a également baissé fortement sur cette période, pour les NO_x, le NO₂, mais également pour les particules PM₁₀, ce qui indique que la baisse des concentrations de ces trois polluants est à mettre au regard d'une baisse significative des émissions du trafic routier.

La tendance à la baisse de ces dernières années est dans la continuité de celle observée sur la période 2017-2019 pour les NO_x et NO₂. Cette période correspond notamment à la mise en œuvre des premières étapes de ZFE-m en Ile-de-France, de la ZFE-m parisienne puis métropolitaine étendue au périmètre à l'intérieur de l'autoroute A86 (A86 exclue), dont l'objectif est la réduction des émissions issues du trafic routier en accélérant la modernisation du parc de véhicules. La 2^{ème} étape de la ZFE-m métropolitaine à quant à elle été mise en place au 1^{er} juin 2021.

Des travaux sur l'identification des facteurs d'influence des tendances observées, notamment concernant le trafic routier en termes de composition technologique du parc de véhicules (selon la norme Euro et la vignette Crit'Air), ont été initiés pour la période 2005-2016 au sein de l'étude des tendances à Paris et Londres. Par exemple, la diminution de l'impact trafic sur les concentrations de NO₂ sur la période entre 2010 et 2016 a été identifiée comme liée à la baisse des émissions NO₂ des poids lourds due à l'introduction des véhicules Euro V (pour plus de détails, cf. article « A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? »). Ces premiers résultats ont permis d'identifier des types de véhicules dont l'évolution explique la tendance globale observée aux stations. Néanmoins, l'évolution des différents types de véhicules comprend à la fois le renouvellement naturel du parc et de sa potentielle accélération liée à la mise en place des différentes étapes de la ZFE-m sur le territoire.

Dans la partie suivante, l'impact attribuable à la ZFE-m sur le renouvellement du parc est évalué à partir de la méthode d'évaluation a posteriori de la ZFE-m mise en place à Berlin et Munich en Allemagne.

3. Evolution du parc technologique et gains associés

La mise en place graduelle des étapes de la ZFE-m de la Métropole du Grand Paris, en soumettant progressivement les véhicules les plus anciens et les plus émetteurs à des restrictions de circulation, vise à accélérer le renouvellement du parc de véhicules circulants dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'air.

L'évolution du parc de véhicules est influencée par de nombreux facteurs : composition initiale du parc, contexte économique, politiques publiques (mise en œuvre et effet d'annonce), évolution de l'offre de véhicules, disponibilité de chaque carburant ou de moyens de rechargement électrique, évolution naturelle du parc, etc. **Évaluer l'impact de la ZFE-m requiert donc de distinguer l'influence attribuable à la ZFE-m de l'influence de tous les autres facteurs, sur le renouvellement du parc technologique.** La méthode utilisée et ses résultats sont présentés dans cette partie.

La composition du parc technologique de véhicules, et les émissions du trafic routier associées au sein du périmètre à l'intérieur de l'autoroute A86 (périmètre dit « ZFE-m ») sont ici étudiés en 2017, 2019 et 2023.

L'évaluation en 2017 permet d'obtenir un point de référence deux ans avant la mise en place de la ZFE-m métropolitaine. La 1^{ère} étape de la ZFE-m métropolitaine avec la restriction de circulation des véhicules « Crit'Air 5 » au sein du périmètre à l'intérieur de l'autoroute A86 a été mise en place en juillet 2019 (la restriction de circulation au sein de Paris intra-muros a quant à elle été étendue aux véhicules « Crit'Air 4 ») ; son impact est évalué en 2019, à défaut de l'année 2020 en raison du contexte sanitaire lié à la pandémie de Covid-19 et des confinements qui ont eu un impact significatif sur le volume de trafic routier. La 2^{ème} étape de la ZFE-m métropolitaine a été mise en place en juin 2021 (restriction de circulation des « Crit'Air 4 » sur tout le périmètre ZFE-m métropolitain) ; et son impact est évalué en 2023, soit deux ans après sa mise en place.

3.1. Impact de la ZFE-m sur le parc technologique

Méthodologie

Un **parc technologique** est défini, pour chaque type de véhicule (VP, VUL, PL, TC et 2RM) sur chaque type de route du réseau modélisé (routes, voies urbaines, autoroutes), comme la **répartition des véhicules en termes de carburant, de norme « euro » et de puissance du moteur** (PTAC pour les PL et les TC).

Deux scénarii de parc technologique sont construits et comparés afin d'évaluer l'impact attribuable à la ZFE-m pour les années 2019 et 2023. L'année 2017 est associée à un parc technologique initial considéré sans influence de la ZFE-m métropolitaine.

Dans le **premier scénario, dit « avec ZFE-m »**, le parc technologique est celui issu de la composition du parc de véhicules en circulation en Ile-de-France à partir des dernières données disponibles sur le parc national fournies par le CITEPA (version 2023), et des données locales sur le parc francilien, notamment à partir de l'analyse des données relevées lors d'enquêtes plaques locales, dont la dernière est celle réalisée par la Métropole du Grand Paris en 2022. L'intégration des données des enquêtes plaques locales réalisées après la mise en place des deux étapes de la ZFE-m

métropolitaine (enquêtes plaques 2018, 2019 et 2022), permet de considérer que ce parc intègre son potentiel impact.

Dans le **second scénario, dit « fil de l'eau » ou « sans ZFE-m »**, un parc technologique fictif, ayant évolué en l'absence de ZFE-m dans la région, est construit. La composition du parc en 2019 et 2023 est issue de celle initiale en 2017, à laquelle sont appliquées les évolutions du parc national (version 2018) et des post-traitements spécifiques permettant d'aboutir à un parc francilien. L'impact des ZFE-m locales sur le parc national est supposé faible ; les post-traitements, construits théoriquement à l'aide des enquêtes plaques locales, n'intègrent pas celles de 2018, 2019 et 2022, afin de ne pas intégrer de données sur le parc depuis la mise en place de la ZFE-m. Il est donc supposé que le parc technologique régional évolue de façon analogue au parc national s'il n'y avait pas eu de ZFE-m, avec des ajustements plus ou moins marqués selon les types de véhicules pour tenir compte des spécificités du parc francilien par rapport au parc national, observées même avant la mise en place de la ZFE-m métropolitaine. Les limites de la méthodologie ne permettent néanmoins pas d'évaluer le possible effet accélérateur de la ZFE-m sur la vitesse de diminution de la proportion des véhicules particuliers « Crit'Air 3 » et plus anciens du fait d'une évolution rapide initialement estimée dans le parc à l'échelle nationale.

Un parc technologique par type de véhicule et pour chaque type d'axe routier est ainsi construit.

Pour les transports en commun de personnes (bus et cars), il est considéré que leur renouvellement technologique est plus directement influencé par les objectifs et projections d'Ile-de-France mobilités que par la mise en place des différentes étapes de la ZFE-m métropolitaine. Le parc technologique est défini comme étant égal à l'actualisation la plus récente réalisée par Airparif (parc « avec ZFE-m ») pour les deux scénarii.

Résultats

Par rapport aux gains estimés dans le scénario « fil de l'eau », l'évolution avec **la mise en œuvre de la ZFE-m métropolitaine entraîne une diminution plus accentuée de la part des véhicules « diesel », au profit des véhicules « essence » et « hybride-essence »**. A titre d'exemple pour les véhicules particuliers circulant en milieu urbain, la part des véhicules « diesel » est de 62 % en 2017 et atteint 45 % avec la ZFE-m en 2023 ; elle aurait été de 57 % sans sa mise en place. La Figure 2 illustre par ailleurs que cet effet accélérateur de la ZFE-m est observé dès 2019, une année où la 1^{ère} étape de la ZFE-m a été mise en place à partir de juillet.

La diminution accrue de la part des véhicules « diesel » au profit des véhicules « essence » et « hybride-essence » grâce à la mise en place de la ZFE-m est également observée pour les véhicules utilitaires légers et les poids lourds, même si ce carburant reste de loin le plus utilisé pour ces types de véhicules. **Pour les deux roues motorisés, la ZFE-m permet également d'accélérer l'augmentation de la part des véhicules électriques dans le parc**, représentant un peu plus d'1 % en 2017, elle atteint 11.4 % avec la ZFE-m en 2023. Elle aurait été de 2.3 % sans sa mise en place.

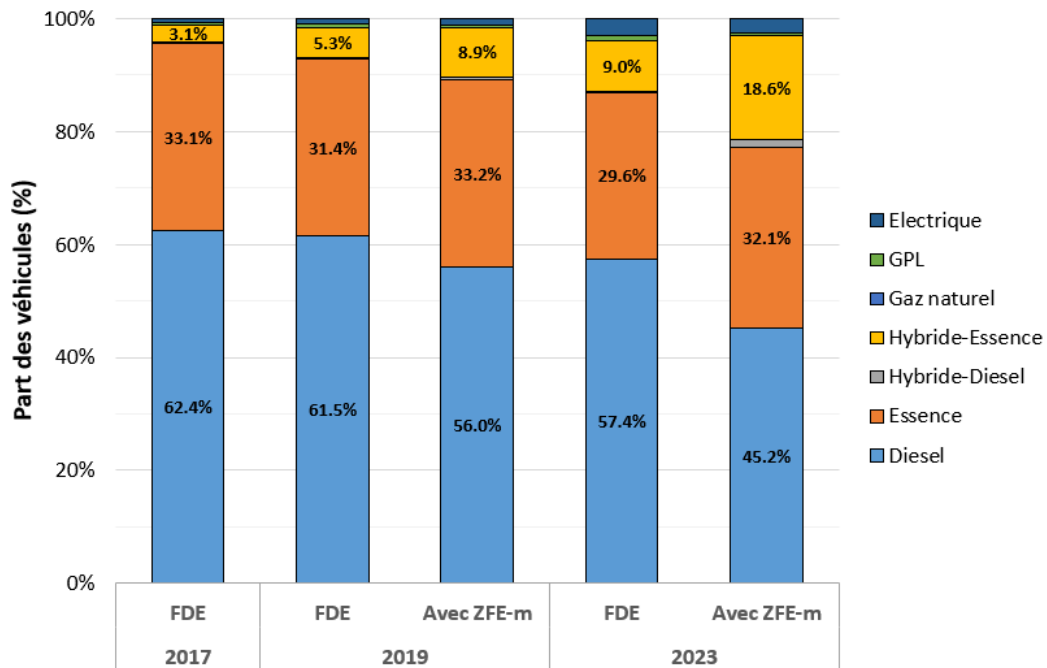


Figure 2 : Parcs technologiques des véhicules particuliers sur les axes routiers urbains en termes de carburant ou d'énergie utilisé, avec ou sans la mise en place de la ZFE-m métropolitaine, en 2017, en 2019 et en 2023

Des différences significatives sur la part des vignettes « Crit'Air » sont également observées grâce à la mise en place de la ZFE-m.

Pour les véhicules particuliers circulant en milieu urbain, **la proportion des « Crit'Air 1 » était de 22 % en 2017 et atteint 42 % avec la ZFE-m en 2023, elle aurait été de 35 % sans**. Cette augmentation accrue par la ZFE-m des véhicules « Crit'Air 1 » est observée de façon moins significative en 2019 (moins d'1 % supplémentaire) qu'en 2023. Cela peut s'expliquer par le fait que l'évaluation est réalisée en 2019, une année avec uniquement 6 mois avec mise en œuvre de l'étape ZFE-m ; alors que la 2^{ème} étape est évaluée 2 ans après sa mise en œuvre. De plus, **alors que le scénario « fil de l'eau » prévoyait une part stable des véhicules « Crit'Air 2 » (environ 44 %) entre 2017 et 2023, celle-ci diminue progressivement avec la mise en place des deux étapes de la ZFE-m et atteint 38 % en 2023.**

Les proportions respectives des véhicules particuliers les plus anciens (classes « Crit'Air » 3, 4, 5 et « non classés ») diminuent progressivement entre 2017 et 2023 : de 22 % à 14 % pour les « Crit'Air 3 », de 7 % à 3.4 % pour les « Crit'Air 4 », et la part additionnée des « Crit'Air 5 » et « Non Classés » passe d'environ 4 % à moins d'1 % avec la mise en place de la ZFE-m. L'estimation de l'effet accélérateur de la ZFE-m par rapport à la situation sans ZFE-m n'est néanmoins pas possible du fait des limites de la méthode.

Pour les véhicules utilitaires légers circulant en milieu urbain, la proportion des **« Crit'Air 4 » était de 12 % en 2017 et atteint 2 % avec la ZFE-m en 2023, elle aurait été de 4 % sans sa mise en place**. Pour les véhicules plus récents, « Crit'Air 1 » et « électriques », leur proportion respective en 2023 est de 4 % avec la ZFE-m, contre 2 % sans.

L'accélération du renouvellement du parc permis par la ZFE-m est également observé sur les poids lourds avec une diminution accentuée des véhicules « Crit'Air 3 » et plus anciens (en 2023, leur proportion est de 22 % avec sa mise en œuvre contre 26 % sans), et une augmentation accrue des « Crit'Air » 1, atteignant 17 % avec la ZFE-m, contre 5 % sans en 2023.

Les véhicules ne sont soumis à restriction de circulation dans la ZFE-m (« Crit'Air 4 » et plus anciens en 2023) 7j/7 ni 24h/24, c'est pourquoi ils ne disparaissent pas totalement de la circulation, même en 2023.

Les tendances de modernisation du parc sont observées de façon analogue sur l'ensemble des types d'axes routiers (routes, voies urbaines, autoroutes) pour les véhicules particuliers, les deux-roues motorisés, les véhicules utilitaires légers et les poids lourds.

3.2. Gains d'émissions associés

Méthodologie

L'impact de la ZFE-m sur les émissions de polluants atmosphériques issues du trafic routier (NO_x, particules PM₁₀ et PM_{2,5}, et Gaz à Effet de Serre) au sein du périmètre de la ZFE-m est évalué en calculant la différence entre les émissions du trafic routier du scénario « avec ZFE-m » et celles du scénario « sans ZFE-m ».

Bien que l'objectif de la mise en œuvre d'une ZFE-m est l'amélioration de la qualité de l'air, l'impact de la ZFE-m sur les émissions de Gaz à Effet de Serre issues du trafic routier (ici sont comptabilisés les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) et de méthane (CH₄)) a été estimé afin d'identifier si la ZFE-m apporte des cobénéfices pour les enjeux climatiques ou si elle a un effet antagoniste avec les enjeux de pollution de l'air.

Dans les deux scénarii, le calcul des émissions prend en compte la composition technologique du parc de chaque type de véhicules, de leur volume de trafic associé et des facteurs d'émissions de polluants atmosphériques. **Afin d'étudier l'influence individuelle du renouvellement du parc technologique, avec ou sans ZFE-m, seule la composition du parc technologique diffère entre les deux scénarii** (hors bus et cars). De possibles effets de la ZFE-m sur le volume de trafic routier ne sont pas considérés.

Résultats

L'accélération du renouvellement du parc technologique par la ZFE-m permet la diminution accrue des émissions de NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}.

Oxydes d'azote (NO_x)

En 2023, la baisse des émissions de NO_x est de 42 % par rapport à 2017 grâce à la mise en œuvre des deux premières étapes de la ZFE-m. Sans cette mesure, cette baisse aurait été de seulement 36 %. Cela indique que la ZFE-m permet de diminuer les émissions de NO_x de 6 % par rapport à 2017, comme l'illustre la Figure 3.

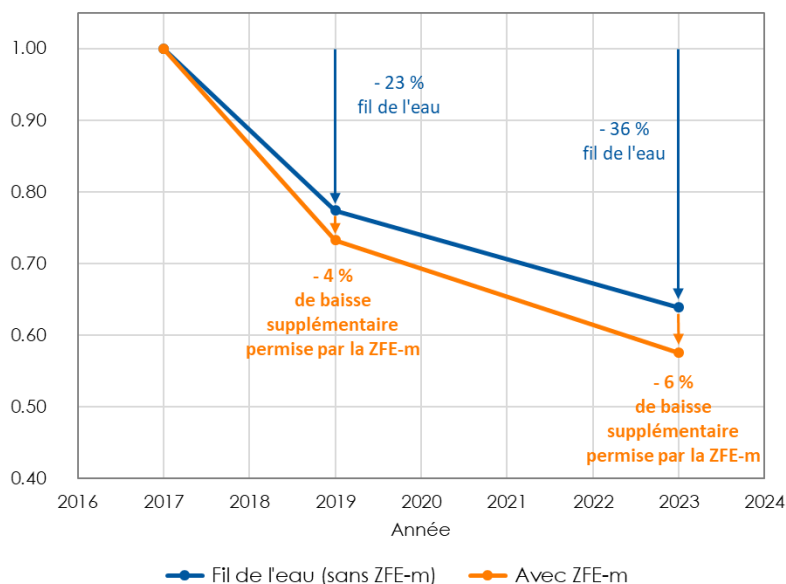


Figure 3 : Évolution des émissions de NO_x issues du trafic routier au sein du périmètre ZFE-m « avec ZFE-m » (orange) et « sans ZFE-m » (bleu)

L'impact de la ZFE-m sur les émissions de chaque type de véhicule est néanmoins variable. L'accroissement de la baisse des émissions de NO_x est la plus marquée pour les véhicules particuliers. Comme le montre la Figure 5, **la baisse des émissions de NO_x des véhicules particuliers entre 2017 et 2023 est de 35 % avec la mise en place de la ZFE-m, contre seulement 21 % s'il n'y avait pas eu de restriction de circulation.** Cela indique que la ZFE-m permet de diminuer les émissions de NO_x dues aux VP de 14 % par rapport à 2017.

Ce fort impact de la ZFE-m sur les émissions de NO_x s'explique par **l'importante accentuation de la diminution de la proportion des véhicules « diesel » dans le parc de véhicules particuliers** (cf. Figure 3), au bénéfice des véhicules plus récents « essence » et « hybride-essence », moins émetteurs de NO_x au kilomètre parcouru. A titre illustratif, en 2021, 43 % des émissions totales de NO_x de la Métropole du Grand Paris étaient issues du trafic routier dont 38 % étant uniquement dus aux émissions à l'échappement des véhicules diesel, et 16 % aux seuls véhicules particuliers diesel ⁷.

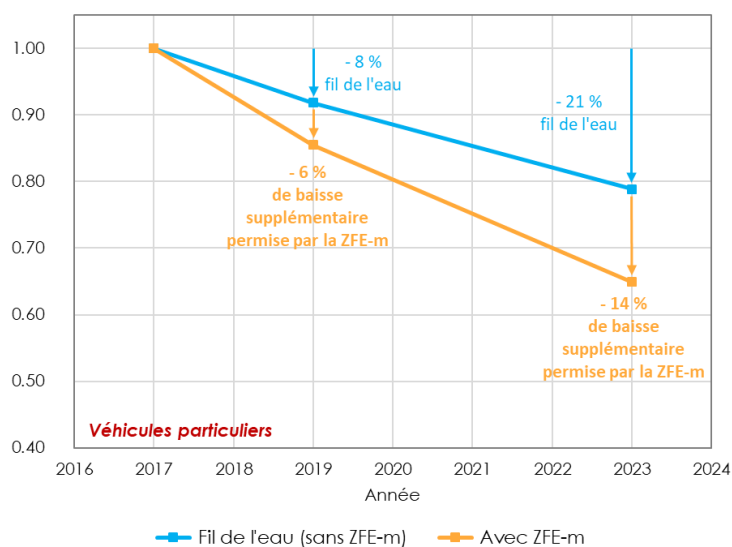


Figure 4 : Évolution des émissions de NO_x issues du trafic routier des véhicules particuliers au sein du périmètre ZFE-m « avec ZFE-m » (orange) et « sans ZFE-m » (bleu)

⁷ Inventaire des émissions 2021, Airparif 2023

En 2023, la baisse des émissions de PM₁₀ dans le périmètre de la ZFE-m est de 23 % par rapport à 2017 avec sa mise en œuvre ; elle aurait été de 21 % sans, comme l'illustre la Figure 6. **Une baisse de 2 % des émissions de PM₁₀ est donc attribuable à la ZFE-m en 2023.** La baisse des émissions de PM_{2.5} est de 32 % par rapport à 2017 avec sa mise en œuvre ; elle aurait été de 29 % sans, soit **une baisse de 3 % des émissions de PM_{2.5} attribuable à la ZFE-m en 2023.**

Cette baisse s'explique par une légère accentuation de la diminution de la part des véhicules aux facteurs d'émissions de PM₁₀ les plus élevés (véhicules dont la classe « Crit' Air » est plus ancienne) au profit de véhicules moins émetteurs au kilomètre parcouru. La diminution très faible voire neutre de la part des véhicules « Crit' Air 3 », « Crit' Air 4 » et plus anciens des véhicules particuliers grâce à la mise en œuvre de la ZFE-m est possiblement sous-estimée étant donné les limites de la méthodologie.

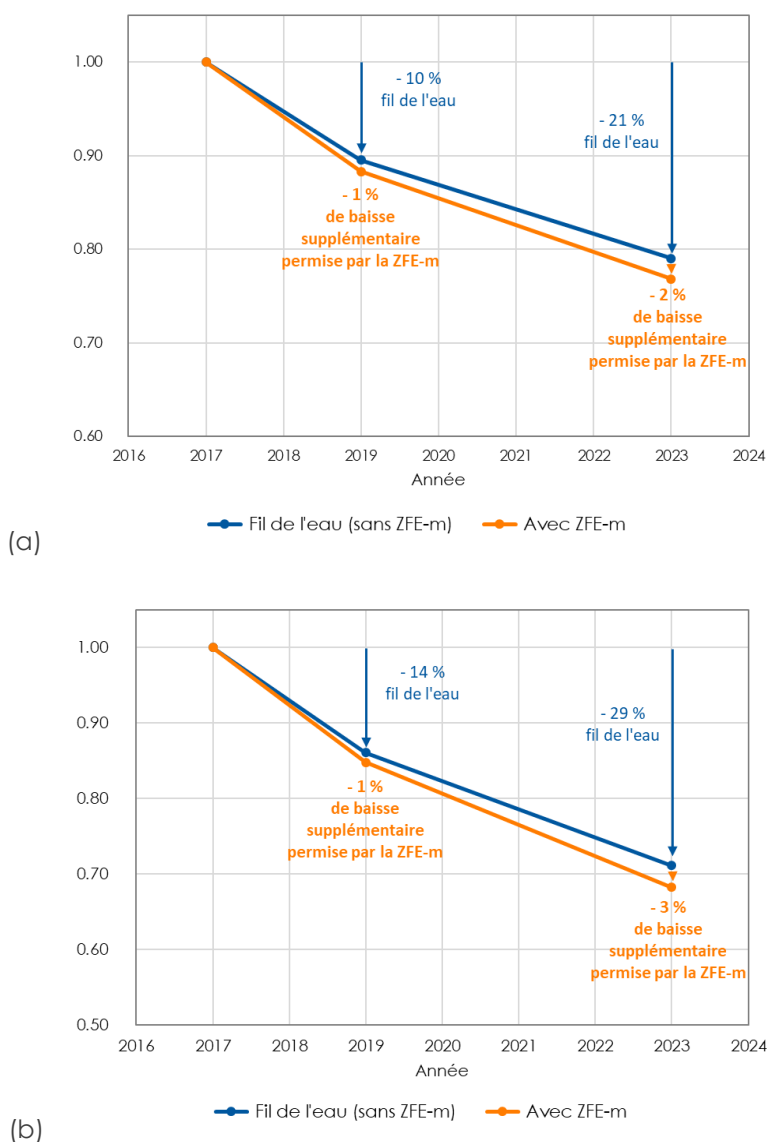


Figure 5 : Évolution des émissions de (a) PM₁₀ et (b) PM_{2.5} issues du trafic routier au sein du périmètre ZFE-m, « avec ZFE-m » (orange) et « sans ZFE-m » (bleu)

L'impact de la ZFE-m sur la réduction des émissions de particules PM₁₀ et PM_{2.5} issues du trafic routier est moins important en comparaison aux NO_x, car les normes européennes d'émissions (« norme Euro ») et vignettes « Crit' Air » associées, considèrent uniquement les émissions liées à la combustion. Or, **la majeure partie des particules PM₁₀ et PM_{2.5} émises par le trafic routier sont issues de l'abrasion des freins, des pneus et de la route, qui ne présente pas d'évolution significative avec la**

modernisation du parc technologique. En 2021, 20 % des émissions totales de PM₁₀ de la Métropole du Grand Paris étaient issues du trafic routier (16 % étant uniquement dus à l'abrasion des freins, des pneus et de la route). Pour les particules PM_{2,5}, 17 % des émissions totales de PM_{2,5} de la Métropole du Grand Paris étaient issues du trafic routier (12 % étant uniquement dus à l'abrasion des freins, des pneus et de la route)⁸.

Gaz à Effet de Serre

En 2023, le scénario fil de l'eau sans ZFE-m estime une baisse des émissions de Gaz à Effet de Serre de 12 % par rapport à 2017. La mise en œuvre de la ZFE-m, ne permet pas d'accentuer cette baisse de manière significative sur la période. En effet, la diminution des émissions de GES des véhicules « diesel » est compensée par l'augmentation des émissions des véhicules « essence » qui en émettent davantage par kilomètre parcouru que les véhicules « diesel ».

3.3. Amélioration de la qualité de l'air associée

Les tendances d'évolution des concentrations des polluants atmosphériques NO_x, NO₂, PM₁₀ et PM_{2,5} dans l'air ambiant vis-à-vis des périodes de déploiement de la ZFE-m métropolitaine ont été estimées dans la partie « 2. Évolution des polluants atmosphériques » : de 2017 à 2019, associée à la 1^{ère} étape de la ZFE-m, et de 2021 à 2023 associée à la 2^{ème}. L'impact trafic, représentatif des concentrations ambiantes issues des émissions du trafic routier, a fortement baissé sur les oxydes d'azote durant les deux périodes (environ 9 % par an pour les NO_x et entre 6 et 7 % pour le NO₂). L'impact trafic sur les particules PM₁₀ a également baissé fortement durant les trois dernières années (9 % par an), alors que la tendance sur 2017-2019 n'était pas significative.

L'évolution du parc technologique francilien de véhicules depuis 2017 a permis d'identifier les tendances de renouvellement du scénario « sans ZFE-m » (c'est-à-dire représentatif d'un renouvellement dit naturel) et du scénario « avec ZFE-m » (intégrant l'effet potentiel de la ZFE-m) pour chaque type de véhicules et chaque typologie d'axe de circulation. Le calcul des émissions du trafic routier des deux scénarii a permis de quantifier la contribution attribuable aux deux premières étapes de la ZFE-m sur ce renouvellement technologique.

Oxydes d'azote (NO_x et NO₂)

L'impact trafic sur les oxydes d'azote NO_x et le dioxyde d'azote NO₂ a fortement baissé, de 9 % par an, à la fois lors de la mise en œuvre de la 1^{ère} étape de la ZFE-m (2017-2019) et lors de la 2^{ème} (2021-2023). Cette baisse **s'explique notamment par la diminution des véhicules particuliers « diesel », accentuée par la ZFE-m à chaque étape, au bénéfice des véhicules « essence » et « hybride-essence »** qui sont moins émetteurs de ces polluants par kilomètre parcouru.

Particules PM₁₀

Une baisse significative de l'impact trafic sur les particules PM₁₀, de 9 % par an, est observée uniquement ces trois dernières années (2021-2023). Celle-ci s'explique par l'évolution de la part des vignettes « Crit'Air » au sein du parc de véhicules, notamment **la diminution des « Crit'Air 2 » et de l'augmentation des « Crit'Air 1 »** qui, pour les véhicules particuliers circulant en milieu urbain, **est observée de manière significative depuis la mise en place de la 2^{ème} étape de la ZFE-m.**

⁸ Inventaire des émissions 2021, Airparif 2023

La diminution attribuable à la ZFE-m sur les tendances de l'impact trafic est estimée pour chaque polluant et chaque période où la tendance est significative et est résumée dans le Tableau 3. Elle s'appuie sur leurs impacts en émissions du trafic routier, s'affranchissant de la modélisation complexe des concentrations des différents polluants atmosphériques et de leurs interactions. Pour la période 2021-2023, la baisse des émissions du trafic routier pour l'année 2021 est calculée par interpolation linéaire des émissions de l'année 2019 et 2023.

La mise en place de la ZFE-m, dès la 1^{ère} étape, permet de diminuer **l'impact trafic en NO_x de 1.4 % par an de 2017 à 2019, et de 1.3 % de 2021 à 2023**, au sein d'une baisse globale de l'impact trafic de 9 % par an entre 2017 et 2019 et de 9.5 % par an entre 2021 et 2023. Pour les particules PM₁₀, **la mise en place de la 2^{ème} étape de la ZFE-m permet de diminuer l'impact trafic sur les PM₁₀ sur les trois dernières années d'un peu moins d'1 % par an**, au sein d'une baisse globale de 9 % par an sur la période.

Tableau 3 : Diminutions attribuables à la mise en place de la ZFE-m sur les tendances de l'impact trafic pour différents polluants de l'air (en pourcentage par an) sur les deux périodes étudiées

Période	NO _x	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
2017-2019	- 1.4 % par an	- 0.9 % par an	Tendance globale non significative	Tendance globale non significative
2021-2023	- 1.3 % par an	- 0.9 % par an	- 0.8 %	Tendance globale non significative

Les tendances de l'impact trafic sur les particules PM₁₀ sur la période 2017-2019 et en PM_{2.5} sur les deux périodes étudiées ne sont pas statistiquement significatives (cf. « Analyse des tendances »), l'attribution d'une part de cette diminution à la ZFE-m métropolitaine n'a donc pas été effectuée.

4. Conclusion

L'amélioration conséquente ces dernières décennies de la qualité de l'air en Île-de-France s'est poursuivie en 2023 avec 5 000 Franciliens restant exposés à des dépassements de la valeur limite réglementaire pour le dioxyde d'azote (NO₂) contre 40 000 en 2022. La mise en place graduelle des étapes de la ZFE-m de la Métropole du Grand Paris, en soumettant progressivement les véhicules les plus anciens et les plus émetteurs à des restrictions de circulation, vise à améliorer la qualité de l'air en accélérant le renouvellement du parc de véhicules circulants.

Outre la mise de la ZFE-m métropolitaine, l'évolution du parc de véhicules est influencée par de nombreux facteurs : composition initiale du parc, contexte économique, politiques publiques (mise en œuvre et effet d'annonce), évolution de l'offre de véhicules, disponibilité de chaque carburant ou de moyens de rechargement électrique, évolution naturelle du parc, etc. L'évaluation a posteriori de la ZFE-m métropolitaine a pour objectif de quantifier la part attribuable à la ZFE-m, distingué des autres facteurs, sur le renouvellement du parc technologique de véhicules en circulation, les émissions de polluants atmosphériques du trafic routier et in fine, sur l'amélioration de la qualité de l'air depuis son déploiement.

Les tendances d'évolution des concentrations des polluants atmosphériques (oxydes d'azote NO_x, dioxyde d'azote NO₂, particules PM₁₀ et PM_{2.5}) ont été estimées à partir des mesures du réseau de stations fixes d'Airparif jusqu'à l'année 2023 inclus, à la fois en situation proche (moins de 10 m des voies) et éloignée du trafic routier. De plus, « l'impact trafic » a été analysé afin d'identifier les évolutions des niveaux d'émissions du trafic routier au droit des différentes stations.

L'analyse de l'évolution du parc technologique francilien de véhicules de 2017, 2019 à 2023 a permis d'identifier les tendances de renouvellement du scénario « sans ZFE-m » (c'est-à-dire représentatif d'un renouvellement dit naturel) et du scénario « avec ZFE-m » (intégrant l'effet potentiel de la ZFE-m) pour chaque type de véhicules et chaque milieu de circulation (urbain, autoroutier, routier). Le calcul des émissions du trafic routier des deux scénarii a permis de quantifier la contribution des deux premières étapes de la ZFE-m sur ce renouvellement technologique.

L'impact trafic sur les oxydes d'azote (NO_x) et le dioxyde d'azote (NO₂) a fortement baissé, de 9 % par an, à la fois suite à la mise en œuvre de la 1^{ère} étape de la ZFE-m (2017-2019) et lors de la 2^{ème} (2021-2023). Cette baisse **s'explique notamment par la diminution des véhicules particuliers « diesel », accentuée par la ZFE-m à chaque étape et au bénéfice des véhicules « essence » et « hybride-essence »** qui sont moins émetteurs de ces polluants par kilomètre parcouru. **En 2023, la baisse des émissions de NO_x est de 42 % par rapport à 2017 grâce à la mise en œuvre des deux premières étapes de la ZFE-m.** Sans cette mesure, cette baisse aurait été de seulement 36 %, soit 6 points attribuables à la ZFE-m.

La baisse de l'impact trafic sur les particules PM₁₀, est forte uniquement depuis ces trois dernières années, avec 9 % par an, alors que la tendance était non significative sur la période 2017-2019. Cette tendance s'explique par l'évolution de la part des vignettes « Crit'Air » au sein du parc de véhicules, notamment **la diminution des « Crit'Air 2 » et de l'augmentation des « Crit'Air 1 » qui,** pour les véhicules particuliers circulant en milieu urbain, **est observée de manière significative depuis la mise en place de la 2^{ème} étape de la ZFE-m.** Le gain attribuable à la ZFE-m sur les particules émises par le trafic routier est néanmoins plus limité en comparaison à celle sur les oxydes d'azote : En 2023, la baisse des émissions de PM₁₀ dans le périmètre de la ZFE-m est de 23 % par rapport à 2017 avec sa mise en œuvre, contre 21 % sans ; soit 2 points attribuables à la ZFE-m. Cela s'explique par la contribution importante de l'abrasion (82 % des émissions de PM₁₀ du trafic routier sont issues de l'abrasion, contre 14 % pour celles issues de l'échappement, selon le Bilan 2021 de l'Inventaire Air-Climat-Energie de la Métropole du Grand Paris – Airparif 2023), qui ne sont pas prises en compte dans la classification des vignettes « Crit'Air », et ne sont donc pas réduites par le renouvellement technologique des véhicules. De ce fait, la baisse de l'impact trafic sur les particules nécessite des actions complémentaires visant à réduire le volume de trafic.

Pour les particules fines PM_{2.5}, les émissions issues du trafic routier en 2023 seraient diminuées de 32 % par rapport à 2017 avec la mise en place de la ZFE-m, contre 29 % sans, soit une baisse de 3 points attribuables à la ZFE-m en 2023. La tendance de l'évolution des concentrations de l'impact trafic sur les particules fines PM_{2.5} n'est cependant pas significative sur la période 2021-2023, notamment du fait d'un nombre insuffisant de données sur ce polluant. Le renforcement durant l'année 2021 du nombre de points de mesure de ce polluant à proximité du trafic routier par Airparif dans son réseau de surveillance permettra une meilleure connaissance de leurs tendances dans le futur.

Par ailleurs, la mise en œuvre d'une ZFE-m s'inscrit dans un dispositif visant à favoriser un changement de comportement des Franciliens quant à leurs modes de déplacements. D'autres actions contribuent également à cette démarche : aménagements urbains favorisant les mobilités douces, augmentation de l'offre d'accès aux transports en commun, augmentation des bornes de rechargement des véhicules électriques, primes à la reconversion des véhicules anciens, et à

l'acquisition de véhicules électriques, etc. Ces politiques agissent de manières complémentaires voire en synergie.

Malgré une amélioration conséquente de la qualité de l'air en Île-de-France durant ces dernières décennies à laquelle la ZFE-m contribue, 5000 Franciliens restent exposés en 2023 à des concentrations de polluants de l'air dépassant la valeur limite réglementaire actuelle pour le dioxyde d'azote (NO₂). Ces dépassements réguliers ont conduit à la condamnation de la France par la Cour de justice de l'Union Européenne et par le Conseil d'État. Par ailleurs, le respect des futures limites européennes à l'horizon 2030, et le respect des recommandations de l'OMS, nécessitent des actions complémentaires, y compris sur d'autres secteurs émetteurs que le trafic routier, pour faire baisser les niveaux de NO₂ et de particules.

La prochaine étape de la ZFE-m métropolitaine, visant à étendre la restriction de circulation des véhicules « Non Classés, « Crit' Air 5 », « Crit' Air 4 » aux véhicules « Crit' Air 3 » (selon la nomenclature Crit' Air, arrêté du 21 juin 2016) au sein du périmètre de la ZFE-m et prévue pour une mise en œuvre au 1^{er} janvier 2025 y contribuera. Les gains attendus par cette nouvelle étape sur la qualité de l'air ont été évalués par Airparif (Mai 2024) ; ils seraient supérieurs à ceux des étapes précédentes, notamment du fait que la part de véhicules concernés par la restriction de circulation augmente avec les étapes progressives de la ZFE-m.