



Zone à faibles émissions dans la Métropole du Grand Paris

ÉTUDE PROSPECTIVE - ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LES ÉMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER, LA QUALITÉ DE L'AIR ET L'EXPOSITION DES POPULATIONS D'UNE RESTRICTION DE CIRCULATION DANS LE PÉRIMÈTRE INTRA A86



ZONE A FAIBLES ÉMISSIONS DANS LA MÉTROPOLE DU GRAND PARIS

ÉTUDE PROSPECTIVE

**Évaluation des impacts sur les émissions du
trafic routier, la qualité de l'air et l'exposition
des populations d'une restriction de
circulation dans le périmètre intra A86**

Avril 2019

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 :

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...

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.

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).

ZAPA : Zone d'Action Prioritaire pour l'Air

ZCR : Zone à Circulation Restreinte

ZBE : Zone à Basses Émissions

ZFE : Zone à Faibles Émissions

Normes :

Objectif de qualité (OQ) : un niveau défini par la réglementation française à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

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.

Valeur cible (VC) : 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 la mesure du possible sur une période donnée. Elle se rapproche dans l'esprit des objectifs de qualité français, puisqu'il n'y a pas de contrainte contentieuse associée à ces valeurs, mais des enjeux sanitaires avérés.

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

CO₂ : Dioxyde de carbone

COVNM : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

Acronymes :

APUR : Atelier parisien d'urbanisme

DRIEA : Direction régionale et interdépartementale de l'équipement et de l'aménagement d'Ile-de-France

DIRIF : Direction des routes d'Ile-de-France faisant partie de la DRIEA

DVD : Direction de la voirie des déplacements de la Mairie de Paris

Île-de-France Mobilités : Autorité organisatrice des transports en Ile-de-France (**ex STIF** : Syndicat des Transports d'Île-de-France)

MGP : Métropole du Grand Paris

SOMMAIRE

GLOSSAIRE	3
SOMMAIRE	5
1. INTRODUCTION.....	7
2. MISE EN ŒUVRE D'UNE ZFE À L'ÉCHELLE MÉTROPOLITAINE	8
2.1. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE TESTÉES DANS L'ÉTUDE	8
2.2. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	9
2.3. DÉMARCHE D'ÉVALUATION DES IMPACTS DE LA ZFE	9
2.3.1. Évaluation des impacts sur les émissions	10
2.3.2. Méthodologie pour la cartographie des concentrations	10
2.4. LIMITES DE LA DÉMARCHE D'ÉVALUATION	12
3. ÉTAT DES LIEUX DE LA QUALITÉ DE L'AIR FRANCILIEN	14
3.1. UNE POPULATION EXPOSÉE À DES NIVEAUX DE POLLUTION AU-DELÀ DES VALEURS LIMITES	14
3.1.1. Particules PM ₁₀	14
3.1.2. Particules PM _{2.5}	16
3.1.3. Dioxyde d'azote NO ₂	17
3.1.4. Benzène	18
3.2. DES ÉMISSIONS IMPORTANTES LIÉES AU TRAFIC ROUTIER	19
4. IMPACTS D'UNE ZFE SUR LES ÉMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER.....	23
4.1. TRAFIC ROUTIER	23
4.2. PARCS ROULANTS ET TECHNOLOGIQUES	25
4.2.1. Parc roulant de référence	25
4.2.2. Parc technologique de référence	26
4.2.3. Impact de la ZFE sur le parc technologique	28
4.3. ÉMISSIONS LIÉES AU TRAFIC ROUTIER	33
4.3.1. Émissions de polluants atmosphériques.....	33
4.3.2. Émissions de gaz à effet de serre.....	37
5. IMPACTS D'UNE ZFE SUR LES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS L'AIR	39
5.1. CONCENTRATIONS DE POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES	39
5.2. INDICATEURS D'EXPOSITION	44
5.2.1. Exposition de la population	44
5.2.2. Qualité de l'air au droit des axes routiers	50
6. RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS	53
ANNEXES	55
TABLE DES FIGURES	63

1. INTRODUCTION

En 2015, la Métropole du Grand Paris a été lauréate avec 7 collectivités territoriales partenaires (la Ville de Paris, les Établissements Publics Territoriaux Grand Paris Seine Ouest, Plaine Commune, Est Ensemble, Grand Orly Seine Bièvre et les départements de Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne), de l'appel à projets « Villes Respirables en cinq ans » lancé par l'État et dont l'objectif est de faire émerger des « villes laboratoires » volontaires pour mettre en œuvre des mesures exemplaires pour reconquérir la qualité de l'air, et garantir un air sain aux populations. Parmi ces mesures, figure la **création ou la préfiguration d'une zone à faibles émissions (ZFE) à l'échelle métropolitaine**, conformément à ce qui est prévu par le Plan de Protection de l'Atmosphère de la Région Ile-de-France, adopté en janvier 2018. La ZFE est une des mesures les plus efficaces de lutte contre la pollution atmosphérique liée au trafic routier.

Dans ce cadre, et conformément à son programme stratégique de surveillance 2016-2021, intégrant des éléments d'aide au dimensionnement et au suivi des plans d'actions, **Airparif a accompagné la Métropole du Grand Paris et ses partenaires pour réaliser une évaluation prospective de l'impact sur la qualité de l'air pour alimenter les études de préfiguration de différents scénarios de ZFE.**

L'étude a permis d'évaluer les modifications attendues sur les **émissions de polluants des véhicules** (oxydes d'azote (NO_x), particules PM₁₀ (de diamètre inférieur à 10 µm) et PM_{2.5} (de diamètre inférieur à 2.5 µm)), sur la **qualité de l'air** respirée par les Franciliens (concentrations de dioxyde d'azote (NO₂) et de particules PM₁₀ et PM_{2.5}) et sur **l'exposition à la pollution de l'air** de la population francilienne.

Ces travaux d'évaluation reposent sur des scénarios de trafic routier produits par les services de l'État (DRIEA), et sur les données de caractérisation du parc technologique disponibles les plus récentes.

Le présent rapport présente la méthodologie mise en œuvre et les résultats obtenus pour les trois scénarios de ZFE métropolitaine étudiés.

Des noms différents pour des dispositifs identiques

Zone à Circulation Restreinte (ZCR), Zone à Basses Émissions (ZBE), Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA), Zone à Faibles Émissions (ZFE)...

Ces acronymes désignent des dispositifs équivalents, dont l'objectif est de diminuer les impacts du trafic routier sur la qualité de l'air en accélérant le processus de renouvellement du parc technologique. **En anglais, ce sont toutes des LEZ (Low Emission Zones*) qui existent dans 230 villes en Europe !**

Leur mise en œuvre s'appuie sur un classement des véhicules en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques. Les dispositifs les plus récents s'appuient sur l'arrêté du 21 juin 2016, qui a instauré la nomenclature des vignettes Crit'Air (cf. Annexe 1).

*** Zones à Faibles Émissions**

2. MISE EN ŒUVRE D'UNE ZFE À L'ÉCHELLE MÉTROPOLITAINE

2.1. Modalités de mise en œuvre testées dans l'étude

Les restrictions de circulation étudiées sont basées sur la nomenclature Crit'Air (arrêté du 21 juin 2016) qui classe les véhicules en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques (Annexe 1).

Le tableau ci-dessous détaille les modalités des trois scénarios étudiés de **mise en œuvre d'une ZFE en juillet 2019 dans le périmètre intra A86, A86 exclue, pour les différents types de véhicules concernés.**

 Zone intra A86	CRIT'Air	Véhicules concernés	
		Semaine (hors jours fériés) 8h00-20h00	7j/7 8h00-20h00
Scénario A juillet 2019			
Scénario B juillet 2019			
Scénario C juillet 2019			

Tableau 1 : Modalités des scénarios étudiés pour la mise en œuvre d'une ZFE métropolitaine selon les niveaux de restriction. VP = véhicules particuliers, VUL = véhicules utilitaires légers, PL = poids lourds, TC = bus et cars, 2RM = deux roues motorisés

Il s'agit de trois scénarios de restriction croissante, pour une même échéance (juillet 2019) :

- Scénario A : Interdiction des véhicules « non classés » et Crit' Air 5
- Scénario B : Interdiction des véhicules « non classés », Crit' Air 5, et Crit' Air 4
- Scénario C : Interdiction des véhicules « non classés », Crit' Air 5, Crit' Air 4, et Crit' Air 3

Les véhicules particuliers, les deux roues motorisés et les véhicules utilitaires légers sont soumis à restriction les jours ouvrés uniquement, de 8 h à 20 h. Les poids lourds, les bus et les cars sont soumis à restriction tous les jours, sur la même plage horaire.

La Figure 1 illustre les axes routiers (en rouge) pris en compte dans la modélisation d'une ZFE dans le périmètre délimité par l'A86.

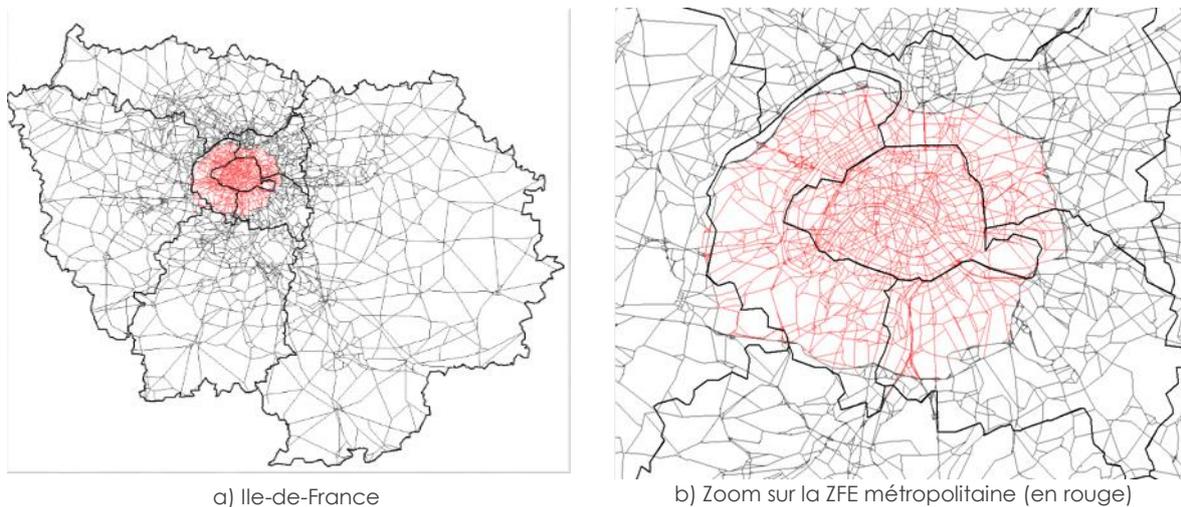


Figure 1 : Axes routiers modélisés de la ZFE métropolitaine (en rouge) dans le périmètre délimité par l'autoroute urbaine A86

2.2. Présentation des résultats

Les émissions et les concentrations sont évaluées pour les trois scénarios (A, B, C) de mise en œuvre de la ZFE et comparées à celles calculées pour le cas de référence. Celui-ci correspond à l'horizon 2019, c'est-à-dire au « Fil de l'eau » 2019 intégrant la Zone de Circulation Restreinte (ZCR)¹ parisienne actuelle, à savoir l'interdiction des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 » dans Paris (hors Boulevard Périphérique).

L'ensemble des résultats est présenté selon différentes zones afin de mettre en relief l'évolution des émissions, des concentrations et de la population exposée au sein du périmètre de la ZFE et en dehors de celui-ci. Cela permet de distinguer les impacts dus à la restriction de circulation des véhicules les plus anciens dans la ZFE et d'étudier les effets de report d'itinéraires et de renouvellement des véhicules en dehors.

2.3. Démarche d'évaluation des impacts de la ZFE

Les impacts sur les **émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de particules (PM₁₀ et PM_{2.5})** sont quantifiés, ainsi que ceux sur les gaz à effet de serre via les **émissions de CO₂**. Ces polluants sont émis de façon importante à l'échelle urbaine par le trafic routier.

Les particules et le dioxyde d'azote² sont des polluants réglementés dans l'air ambiant, dont les concentrations atteignent des niveaux problématiques en Ile-de-France, particulièrement dans le cœur dense de l'agglomération parisienne où ils dépassent de manière chronique et importante les niveaux prévus par la réglementation pour la protection de la santé. Les impacts sur les **concentrations de ces polluants (NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5})** et les **indicateurs d'exposition** associés ont été évalués.

¹ Afin de simplifier la lecture de ce rapport, la ZFE mise en œuvre à Paris depuis janvier 2017 (interdiction des véhicules « non classés », puis interdiction des véhicules « Crit'Air 5 » en juillet 2017) est désignée « ZCR » tout au long de ce document.

² Le dioxyde d'azote est réglementé, mais ce sont les émissions de NO_x qui sont évaluées car le dioxyde d'azote est émis directement dans l'atmosphère mais est aussi produit à partir du monoxyde d'azote par réactions chimiques.

Afin de tenir compte des impacts au-delà du périmètre de mise en œuvre du dispositif, la zone d'étude s'étend au-delà du périmètre de la ZFE métropolitaine, jusqu'aux contours de la Francilienne, ce qui intègre environ 80 % de la population d'Ile-de-France.

2.3.1. Évaluation des impacts sur les émissions

L'évaluation prospective de l'impact sur les émissions de polluants de la mise en œuvre d'une ZFE s'appuie sur les outils de modélisation des émissions du trafic routier d'Airparif. Les données de trafic ont été fournies par la DRIEA, pour le cas de référence et les différents scénarios de ZFE étudiés.

L'évaluation des émissions utilise les facteurs d'émission COPERT IV (v11.3), la méthodologie de référence au niveau européen décrite dans le guide EMEP³. À ce jour, une nouvelle version de cet outil est disponible (COPERT V), intégrant de nouveaux facteurs d'émissions pour les véhicules légers, mais pas pour les poids-lourds ; afin de travailler avec une méthode unique, le travail a été réalisé avec les données de COPERT IV.

Les facteurs d'émissions COPERT sont calculés à partir de données expérimentales (mesurées) recueillies dans différents programmes scientifiques et laboratoires européens : activités COPERT / CORINAIR (pour les véhicules particuliers et utilitaires des technologies les plus anciennes), projet ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) pour les véhicules plus récents. Les références détaillées figurent dans la documentation EMEP. Les données expérimentales intègrent des mesures suivant des cycles de conduite non réglementaires, permettant de couvrir une plage de fonctionnement du moteur plus large que les tests réglementaires et de refléter des conditions de conduite plus réalistes.

Plus de détails sur la méthodologie d'évaluation des émissions du trafic routier sont fournis dans le chapitre 4.

2.3.2. Méthodologie pour la cartographie des concentrations

Les cartographies des niveaux de polluants atmosphériques pour les scénarios de ZFE et le cas de référence sont issues, d'une part, de modélisations des concentrations de fond (description des concentrations de polluants en fond urbain et rural), et d'autre part, de modélisations des concentrations en proximité du trafic routier (cf. Figure 2). Le niveau de fond régional est différent selon les scénarios étudiés. Les paragraphes suivants précisent la méthodologie adoptée et l'ensemble des hypothèses définies.

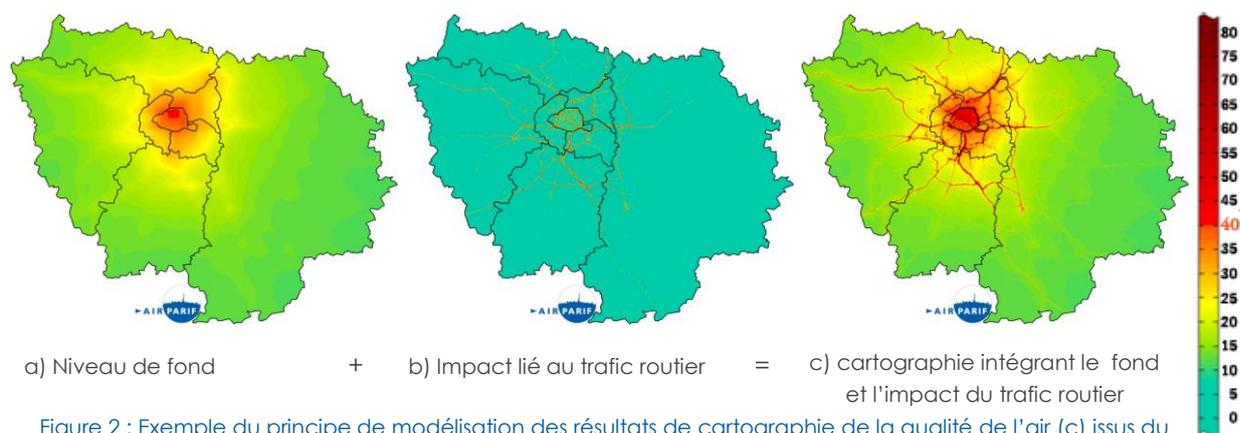


Figure 2 : Exemple du principe de modélisation des résultats de cartographie de la qualité de l'air (c) issus du croisement de la modélisation des niveaux de fond (a) et de l'impact issu du trafic routier (b).

³ Voir <http://emisia.com/products/copert-4/documentation>

2.3.2.1. Déterminer le niveau de pollution en proximité du trafic routier

Les niveaux de polluants atmosphériques en proximité du trafic routier ont été calculés à l'aide d'un modèle statistique développé par Airparif. L'Annexe 2 détaille la méthodologie mise en œuvre. Ce modèle permet de déterminer l'impact du trafic routier sur les concentrations à proximité immédiate de l'ensemble du réseau routier modélisé et dans la zone d'influence propre à chaque polluant.

Ce modèle statistique liant émissions du trafic routier et impact sur les concentrations de polluants a été développé sur la base des résultats des modélisations effectuées dans le cadre de l'étude prospective réalisée pour la Ville de Paris, visant à évaluer les impacts sur les émissions, les concentrations et l'exposition des populations de différents scénarios de ZCR⁴.

2.3.2.2. Déterminer le niveau de fond « Fil de l'eau »

Les niveaux de fond « Fil de l'eau » de l'année 2019 ont été déterminés selon une évolution progressive et linéaire entre ceux mesurés en 2016 et ceux estimés de 2020, modélisés dans le cadre du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) pour le scénario « Fil de l'eau ».

La chaîne de modélisation utilisée pour le scénario « fil de l'eau » du PPA est la version 2014 de la chaîne ESMERALDA (développée et opérée par Airparif), adaptée pour intégrer les conditions aux limites du périmètre géographique, calculées par l'INERIS (version 2014, travaux du PREPA réalisés pour le compte du ministère en charge de l'environnement).

2.3.2.3. Déterminer le niveau de fond avec la mise en œuvre d'une ZFE

Lorsqu'une ZFE est mise en œuvre, les réductions des émissions liées à la modernisation anticipée du parc technologique impactent les teneurs de pollution au plus près du trafic routier et de sa zone d'influence, mais également les niveaux de fond.

Afin de prendre en compte l'influence de cette diminution des émissions du trafic routier sur l'ensemble de la zone d'étude, et non uniquement au droit des axes routiers et dans la zone d'influence du trafic, une méthodologie « simplifiée » a été appliquée aux niveaux de fond.

À partir de la baisse des émissions attendue au sein et en dehors de la ZFE, une diminution relative des concentrations de fond sur la zone considérée est appliquée selon le poids des émissions du trafic routier par rapport aux émissions globales de chaque zone. Ainsi, plus le poids des émissions liées au trafic routier est important, plus la diminution des concentrations de fond y sera importante.

Toutefois, il est important de différencier l'approche adoptée pour le dioxyde d'azote de celle mise en œuvre pour les particules. En effet, si le dioxyde d'azote peut être considéré comme étant un polluant majoritairement local, cela n'est pas le cas pour les particules : une part importante des concentrations de ce polluant est due à de l'import. En effet, d'après une étude menée par Airparif⁵, les deux tiers de la concentration annuelle en particules fines PM_{2,5} mesurée à Paris en situation de fond proviennent de sources extérieures à la région. Ainsi, la réduction du niveau de fond pour les particules est appliquée sur le tiers restant, représentant la contribution des émissions locales aux concentrations. Les réductions sur des niveaux de fond sont ainsi moins marquées pour les particules que pour le dioxyde d'azote.

⁴ Rapport Airparif, « Zone à Basses Émissions dans l'agglomération parisienne », mars 2018
http://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/Rapport_ZBE_2016-2019_070518.pdf

⁵ Origine des particules en Ile-de-France, Airparif, LSCE – septembre 2011
http://www.airparif.fr/_pdf/publications/rapport-particules-110914.pdf

2.4. Limites de la démarche d'évaluation

Les évaluations réalisées par Airparif dans cette étude reposent sur les outils disponibles au sein de l'observatoire (utilisés en routine pour le suivi réglementaire de la qualité de l'air en Ile-de-France) et sur les données disponibles dans le cadre de ce travail prospectif au début de celui-ci. Il convient de noter que **des simplifications ont été opérées pour tenir compte notamment des informations existantes.**

- En l'absence de données prospectives, la répartition du parc roulant est construite sur la base des données les plus récentes disponibles à la date de l'étude (voir le paragraphe « Parcs roulants » au chapitre 4). Par parc roulant, on entend ici la part des différents grands types de véhicules : véhicules particuliers ; véhicules utilitaires légers ; poids lourds ; transport en commun (bus et cars) et deux roues motorisés.
- Pour construire les parcs technologiques associés à la mise en œuvre de la ZFE, l'hypothèse retenue collectivement par les participants au projet est que les véhicules concernés par les restrictions de circulation se reportent vers des véhicules de la catégorie la plus vertueuse à carburant et cylindrée identiques. Pour les véhicules particuliers et les deux-roues motorisés, ce changement de véhicules est de 70 %. Il est considéré que la part restante 30 %, se reporte sur les transports en commun et les modes doux ou effectue un changement d'itinéraire pour éviter la ZFE. Cette hypothèse avait été préconisée par le Ministère en charge de l'Environnement, lors des études de faisabilité d'une ZAPA (Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air) menées entre 2010 et 2012. A dire d'expert, ce chiffre de 70 % est sans doute minorant, si l'on se base notamment sur les retours d'expérience (notamment celui de la Ville de Berlin) collectés par l'ADEME⁶. Cela permet cependant de maximiser les éventuels phénomènes de reports au plus près de la ZFE, c'est pourquoi il a été retenu.
- Le taux de respect de la mesure est supposé égal à 100 %, ce qui dans les faits est atteignable sous réserve de disposer d'un système de contrôle performant.
- Les mesures de restriction de circulation sont effectives de 8h00 à 20h00 tous les jours pour les poids-lourds, les bus et les cars ; de 8h00 à 20h00 les jours ouvrés seulement pour les véhicules légers.

Les outils de calcul des émissions permettent potentiellement de prendre en compte un parc technologique spécifique à chaque heure et en distinguant jours ouvrés et week-end, sous réserve de disposer de données d'entrée adaptées. Ainsi, le distinguo a été fait dans les calculs entre jours ouvrés et week-ends : un parc technologique spécifique a été construit pour le week-end, en prenant en compte les résultats d'une enquête portant sur la fréquence d'utilisation des véhicules motorisés par les Franciliens en semaine et le week-end⁷. Aucun élément analogue permettant de décliner cette approche au niveau horaire n'était disponible. Par défaut, les calculs d'émissions ont donc été réalisés en supposant que le parc technologique évolue de la même manière tout au long de la journée en lien avec la mise en place de la ZFE. Cela est probablement faux pour un certain nombre d'usagers amenés à se déplacer uniquement de 20 heures à 8 heures. Cette simplification peut induire une surestimation des gains d'émissions liés à la ZFE, probablement mineure car la grande majorité des kilomètres parcourus est effectuée dans la plage horaire 8-20 heures.

⁶ Zones à faibles émissions (Low Emission Zones) à travers l'Europe – Déploiement, retours d'expériences, évaluation d'impacts et efficacité du système, ADEME – mars 2018 <http://www.ademe.fr/zones-a-faibles-emissions-low-emission-zones-lez-a-travers-leurope>

⁷ Enquête TNS SOFRES sur le parc auto 2015 - volume Ile-de-France.

En effet, 70 % des véhicules.kilomètres sont réalisés en Ile-de-France sur la plage horaire comprise entre 8h et 20h durant les jours ouvrés.

- En ce qui concerne la détermination du niveau de fond influencé par la réduction des émissions du trafic routier en lien avec une ZFE, la méthodologie « simplifiée » mise en œuvre présente des limites puisqu'elle considère une diminution relative du niveau de fond homogène et strictement délimitée par la ZFE. Par exemple, l'influence de la réduction des émissions sur le niveau de fond est homogène au sein de l'anneau intra A86 (i.e. périmètre ZFE, Paris exclue). De la même manière, en-dehors de cette zone, l'impact de la ZFE est homogène sur le reste de l'Ile-de-France alors que la réduction des concentrations de fond est certainement plus importante au plus près de la ZFE et diminue en s'en éloignant. La conséquence de cela sur les concentrations modélisées et les indicateurs d'exposition de la population et des ERP est que les gains liés à une ZFE métropolitaine sont probablement légèrement sous-estimés près de sa frontière et surestimés loin de celle-ci.

3. ÉTAT DES LIEUX DE LA QUALITÉ DE L'AIR FRANCILIEN

Les éléments qui suivent sont ceux relatifs à l'année 2017, données plus récentes disponibles à la date à laquelle l'état des lieux de la qualité de l'air a été rédigé pour le projet.

3.1. Une population exposée à des niveaux de pollution au-delà des valeurs limites

Les éléments sont issus des résultats des bilans de la qualité de l'air en Ile de France et dans la MGP de l'année 2017.

3.1.1. Particules PM₁₀

Les cartes de la Figure 3 présentent le nombre de jours de dépassement de la **valeur limite journalière** (au maximum 35 jours dépassant 50 µg/m³) en particules PM₁₀ en 2017 en de l'Ile-de-France, et sur la MGP.

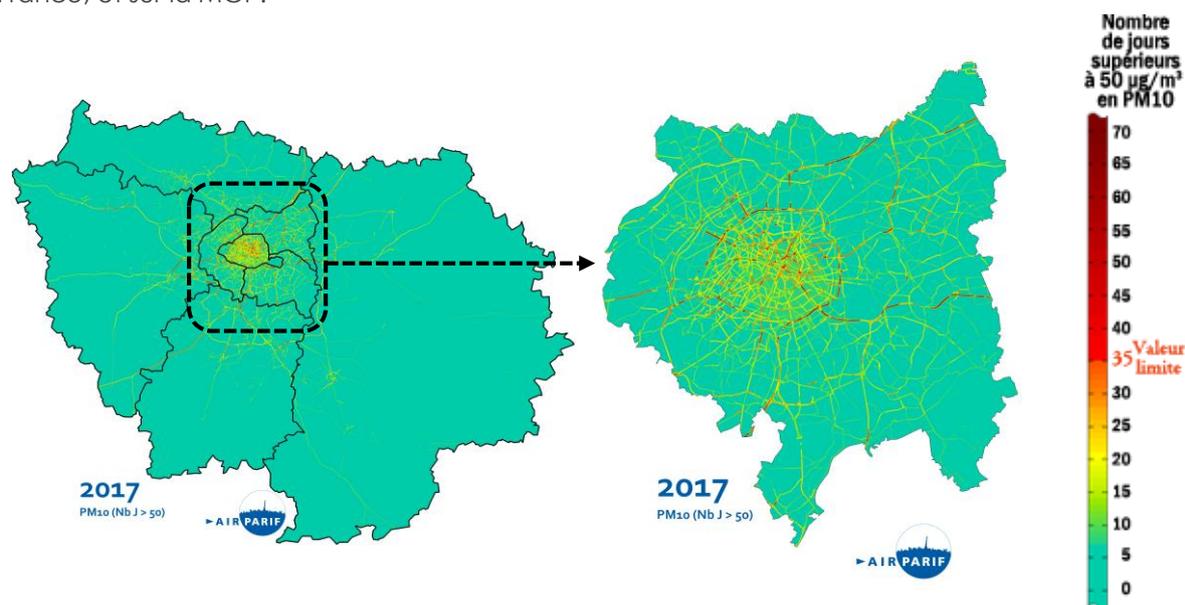


Figure 3 : Nombre de jours de dépassement du seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière pour les particules PM₁₀ sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

En 2017, le nombre de dépassements du seuil journalier de 50 µg/m³ est le plus faible de l'historique des 5 dernières années.

La valeur limite journalière (35 jours supérieurs à 50 µg/m³ autorisés) est toujours dépassée le long des grands axes routiers, ainsi que dans leur zone d'influence. Le tracé des axes à forte circulation apparaît clairement sur les cartes. C'est aux abords de ces axes que les concentrations sont les plus élevées, et que le dépassement de la valeur limite journalière est le plus important.

À l'échelle de l'Ile de France, la valeur limite journalière est dépassée à proximité du trafic routier, sur environ 1 % des axes routier franciliens, soit environ 90 km de voirie. La superficie du territoire concernée par le dépassement est estimée à environ 20 km², soit moins de 1 % de la superficie régionale.

Au sein de la MGP, **en situation de proximité au trafic, la valeur limite journalière est dépassée** ; le nombre de jours de dépassement est compris entre 14 au minimum et 80 au maximum, au niveau la station Autoroute A1 qui présente les concentrations les plus élevées et dépasse le seuil réglementaire plus d'un jour sur cinq. **Environ 130 000 personnes sont potentiellement exposées à un dépassement⁸**, soit environ 2 % de la population métropolitaine.

Concernant le réseau routier parisien modélisé, il est concerné par le dépassement de la valeur limite journalière à hauteur d'environ 6 % en 2017 soit environ 45 km de voirie. La superficie concernée par le dépassement de la valeur limite journalière est estimée à environ 10 km², soit environ 10 % de la superficie parisienne. Environ **80 000 personnes sont potentiellement exposées à un dépassement**, soit environ 4 % des Parisiens.

Les cartes de la Figure 4 présentent la **concentration moyenne annuelle de particules PM₁₀** en 2017 en Ile-de-France (à gauche), et sur la MGP (à droite). La valeur limite européenne associée à cet indicateur est de 40 µg/m³ en moyenne annuelle, l'objectif de qualité étant de 30 µg/m³.

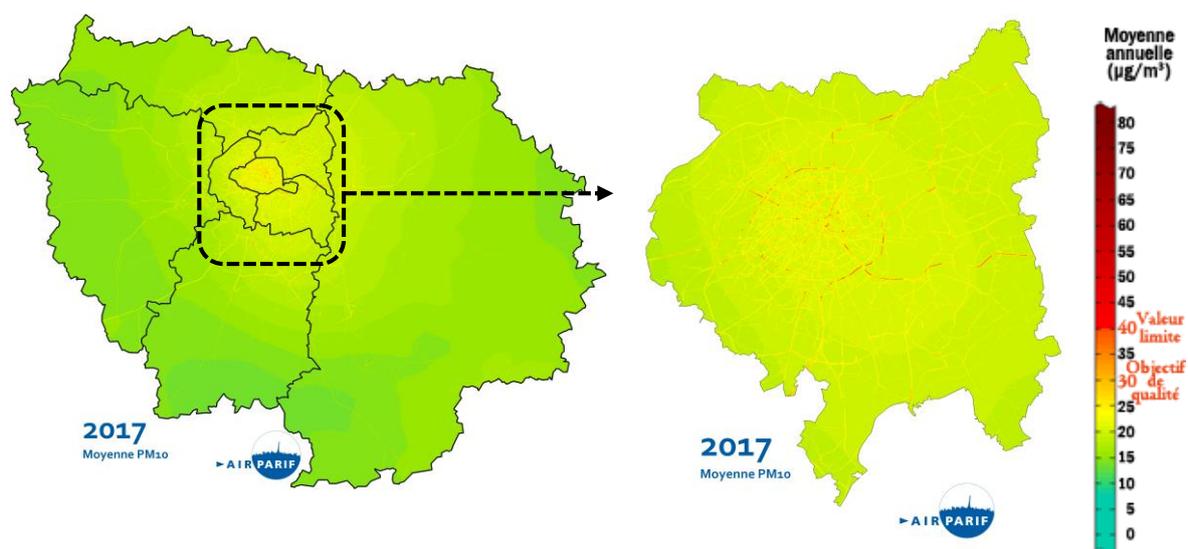


Figure 4 : Concentration moyenne annuelle de particules PM₁₀ sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

Comme pour le nombre de jours de dépassement, il y apparaît clairement que les concentrations sont plus élevées aux abords des principaux axes de circulation régionaux et parisiens, où elles sont proches voire très ponctuellement supérieures à la valeur limite annuelle (40 µg/m³).

Ainsi, en 2017, certains niveaux sont **supérieurs à l'objectif de qualité (30 µg/m³) dans quatre territoires de la MGP (Paris, Plaine Commune, Est Ensemble et Paris Est Marne et Bois) à proximité des axes routiers** et concernent environ 45 000 habitants au sein de la MGP.

Sur l'ensemble de la région, ce seuil est dépassé sur la moitié des sites trafic du réseau de mesure d'Airparif.

⁸ Exposition des personnes qui respireraient en permanence l'air extérieur au niveau de leur domicile.

Le dépassement de l'objectif de qualité annuel concerne environ 50 km d'axes routiers parisiens, soit environ 7 % du réseau routier modélisé. Environ 30 000 Parisiens sont potentiellement exposés à un air excédant l'objectif de qualité annuel pour les particules PM₁₀.

3.1.2. Particules PM_{2.5}

Les cartes de la Figure 5 présentent la concentration moyenne annuelle de particules PM_{2.5} en 2017 sur l'Île de France et la MGP.

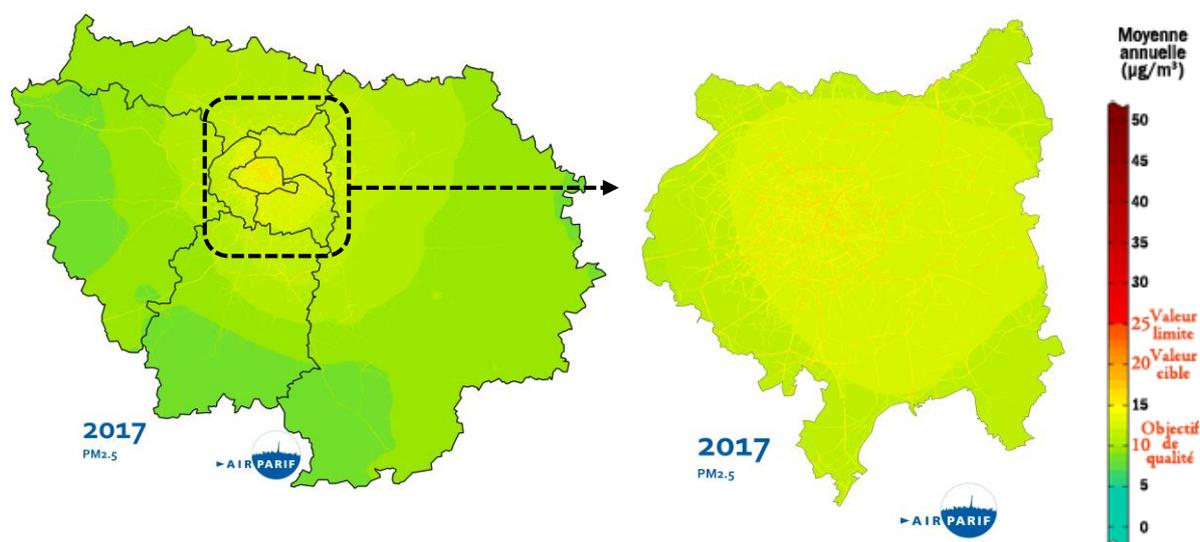


Figure 5 : Concentration moyenne annuelle de particules PM_{2.5} sur l'Île de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

Comme pour les PM₁₀, les concentrations les plus élevées sont observables au voisinage des grands axes routiers.

En 2017, **la valeur limite annuelle de 25 µg/m³ est respectée sur l'ensemble de la MGP**. Le nombre d'habitants concernés par un dépassement de la valeur cible annuelle (20 µg/m³) est trop faible pour être significatif au regard de la méthode d'estimation.

La **totalité du territoire de la MGP et de ses habitants sont concernés par un dépassement de l'objectif de qualité (10 µg/m³)**.

3.1.3. Dioxyde d'azote NO₂

Les cartes de la Figure 6 présentent la concentration moyenne annuelle de NO₂ en 2017 sur l'Île de France et la MGP.

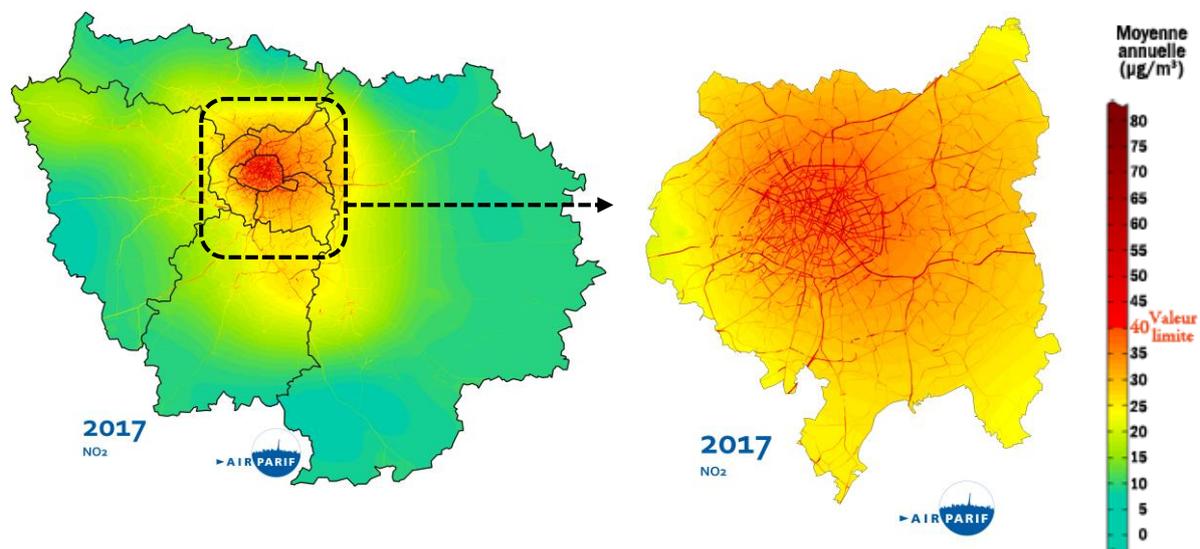


Figure 6 : Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO₂) sur l'Île de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

Les concentrations les plus élevées sont relevées au cœur de la MGP et au voisinage des principaux axes routiers. Elles présentent un écart plus important avec le fond environnant que les PM₁₀ et des dépassements sévères de la valeur limite annuelle.

Les teneurs annuelles de NO₂ à proximité des plus grands axes peuvent être jusqu'à 2 fois supérieures au seuil réglementaire (station du Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil). Les concentrations sont généralement plus soutenues sur la rive droite de la Seine, le réseau routier y étant plus dense et constitué d'axes de plus grande importance.

À l'échelle de la région, c'est 1,3 million d'habitants, soit environ 10 % de la population francilienne qui y est exposée. Ce seuil est dépassé sur 910 km de voirie, soit environ 10 % du réseau francilien modélisé par Airparif en 2017.

Le dépassement de la valeur limite annuelle concerne en 2017 près de 1,3 million d'habitants au sein de la MGP, soit environ 20 % de la population.

Concernant l'agglomération parisienne, **la valeur limite annuelle en NO₂ est dépassée sur près de 450 km d'axes routiers parisiens, soit environ 60 % du réseau modélisé.** Ce dépassement concerne en 2017 **près de 1 million de Parisiens, soit près d'un Parisien sur deux.**

3.1.4. Benzène

Parmi les COVNM (composés organiques volatils non méthaniques) ayant un impact sur la santé, le benzène est un polluant dont les niveaux sont élevés à proximité du trafic routier.

Les cartes de la Figure 7 présentent la concentration moyenne annuelle de benzène en 2017 sur l'Île de France et la MGP.

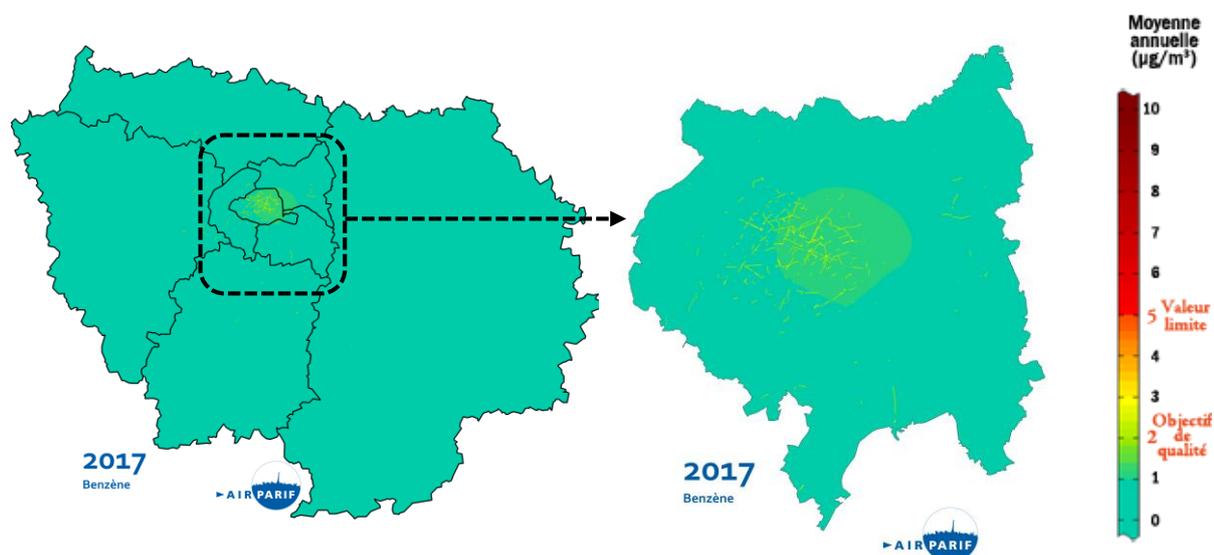


Figure 7 : Concentration moyenne annuelle de benzène sur l'Île de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

Les concentrations en benzène sont légèrement plus élevées dans le cœur dense de la MGP. Les concentrations les plus élevées sont relevées à proximité des axes de circulation, et plus particulièrement près des axes parisiens où les conditions de circulation et de dispersion des émissions sont plus difficiles : configuration des axes, vitesse plus faibles, congestion du trafic, proportion importante de moteurs froids, **proportion importante de deux-roues motorisés** ...

La valeur limite européenne relative au benzène ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est respectée au sein de la MGP, comme sur l'ensemble de l'Île-de-France, même à proximité des axes routiers importants. **L'objectif de qualité français ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est encore dépassé à proximité du trafic routier en 2017 dans la MGP. Il concerne environ 75 000 habitants.**

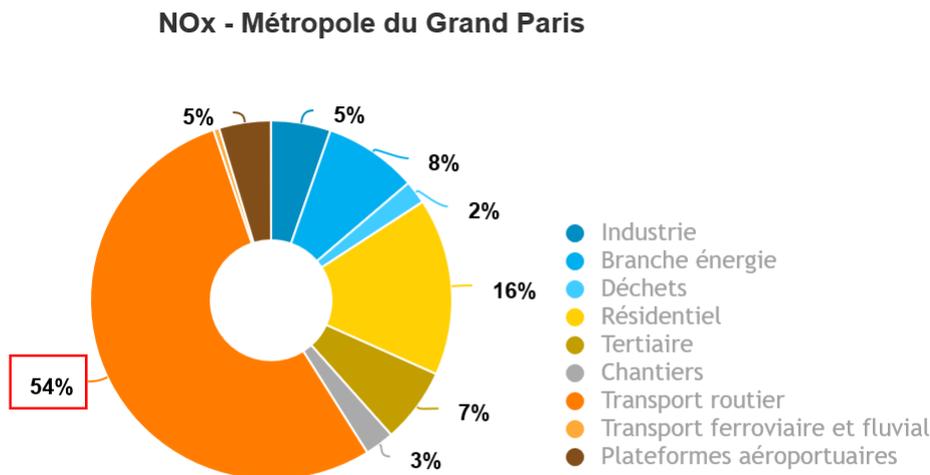
La moitié des stations trafic du réseau d'Airparif dépassent ce seuil réglementaire. Près de **85 km de voies** dans Paris et un peu moins de 5 % des Parisiens sont également en situation de dépassement de l'objectif de qualité français

Les niveaux moyens de NO_2 les plus élevés de l'Île-de-France sont relevés au cœur de l'agglomération parisienne. La valeur limite annuelle est dépassée sur une majorité des axes routiers importants. Pour les PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$, les seuils réglementaires sont dépassés le long du trafic routier. Si, pour le benzène, la valeur limite est respectée même au plus près du trafic routier, certains axes parisiens enregistrent cependant des teneurs annuelles supérieures à l'objectif de qualité.

Dans la suite des travaux menés, l'estimation des gains d'émissions avec la mise en œuvre de la ZFE, un zoom spécifique est réalisé sur les polluants les plus problématiques en Île-de-France présentant des dépassements des valeurs limites fixées. Des éléments d'informations sont également donnés pour le benzène dont les concentrations à proximité du trafic routier peuvent dépasser l'objectif de qualité.

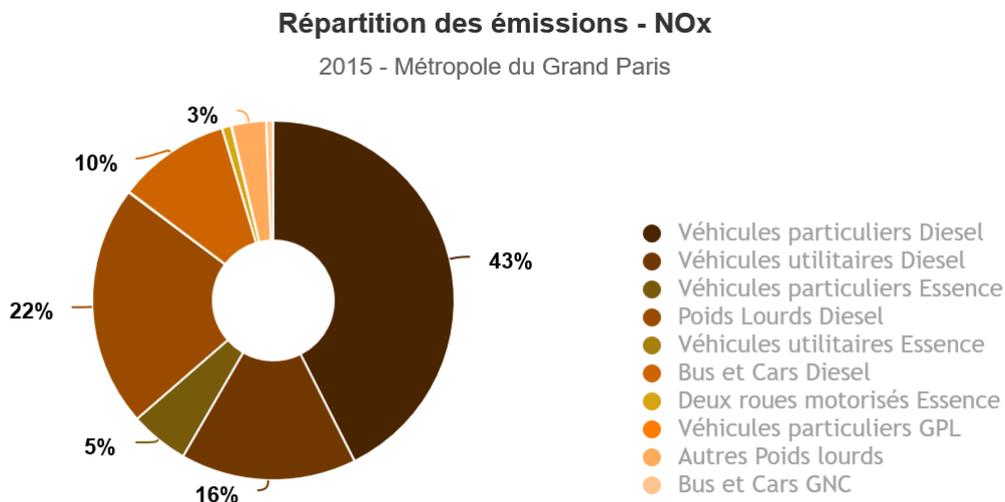
3.2. Des émissions importantes liées au trafic routier

Le trafic routier est le principal contributeur aux émissions d'oxydes d'azote (NO_x) avec 54 % des émissions métropolitaines. Les Véhicules Particuliers (VP) représentent 48 % des émissions du trafic routier (dont 90 % uniquement dues aux véhicules particuliers diesel alors qu'ils représentent 68 % des kilomètres parcourus par des véhicules particuliers), soit 26 % des émissions métropolitaines. Les Bus et Cars (TC) et les Poids Lourds (PL) représentent respectivement 11 % et 25 % des émissions métropolitaines de NO_x du transport routier alors qu'ils représentent respectivement 1 % et 5 % des kilomètres parcourus dans la Métropole.



AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité



AIRPARIF DECEMBRE 2018

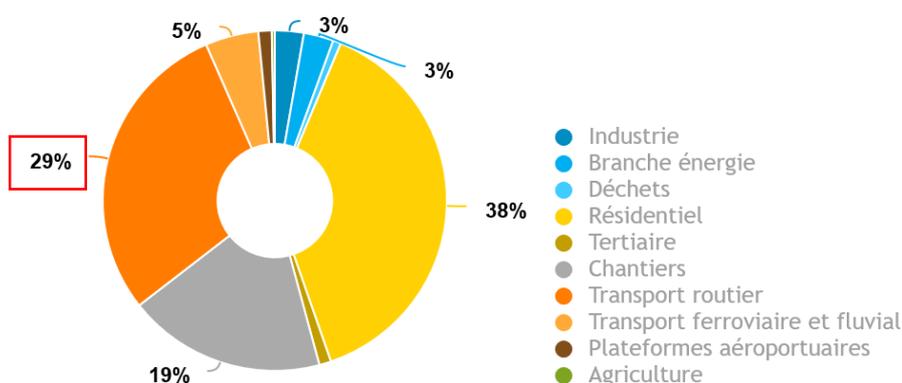
b) Contribution des différents véhicules

Figure 8 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions d'oxydes d'azote (NO_x en équivalent NO₂) dans la MGP pour l'année 2015.

Le trafic routier engendre également des émissions primaires⁹ importantes en particules PM₁₀ avec 29 % des émissions métropolitaines en 2015.

En 2015, pour **les particules PM₁₀**, l'échappement des véhicules particuliers diesel contribue pour 8 % aux émissions métropolitaines (26 % des émissions du secteur du transport routier) alors que la contribution des véhicules particuliers essence est inférieure à 1 %. Les véhicules utilitaires légers, les poids lourds sont responsables respectivement de 5 % et 1 % des émissions métropolitaines totales (pour 15 % et 5 % du trafic routier métropolitain). À l'échappement, les véhicules diesels sont responsables de la quasi-totalité des émissions primaires de particules du trafic routier. L'usure des routes, des pneus et plaquettes de freins est responsable de 14 % des émissions métropolitaines de particules (50 % des émissions primaires du secteur du transport routier). Il est rappelé que la remise en suspension par le passage des véhicules n'est pas considérée dans les émissions primaires.

PM 10 - Métropole du Grand Paris

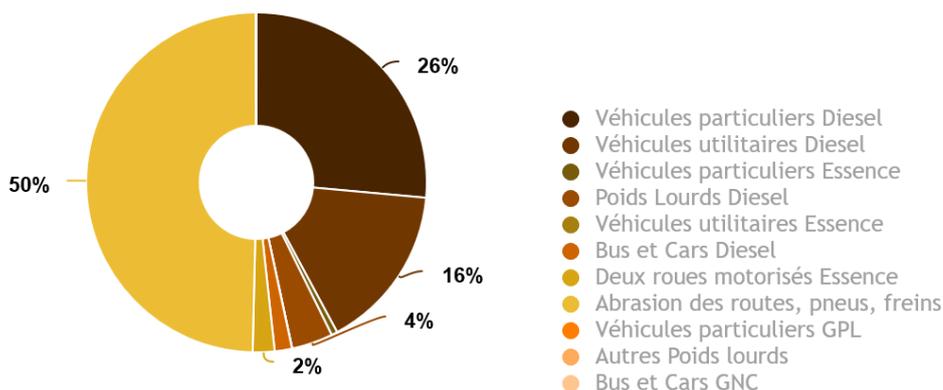


AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

Répartition des émissions - PM 10

2015 - Métropole du Grand Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

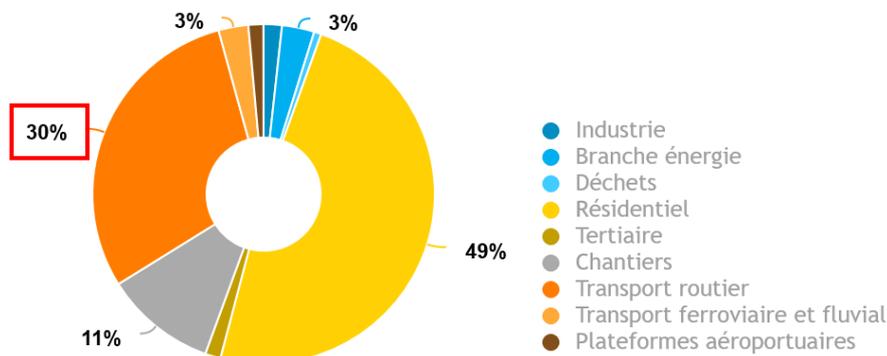
b) Contribution des différents véhicules

Figure 9 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions primaires de particules (PM₁₀) dans la MGP pour l'année 2015.

⁹ Émissions primaires de particules : particules directement émises dans l'air contrairement aux particules secondaires produites par réactions chimiques ou agglomération de particules plus fines. Les particules secondaires représentent de l'ordre de 30 % des PM₁₀ et de 40 % des PM_{2.5} mesurées dans l'air ambiant. Par conséquent, la contribution des différents secteurs d'activité aux émissions primaires ne reflète pas celle qui est présente dans l'air ambiant.

Pour les **particules plus fines PM_{2.5}**, la contribution du trafic routier dans la Métropole est également importante puisque 30 % des émissions primaires sont engendrées par le trafic routier).

PM 2.5 - Métropole du Grand Paris

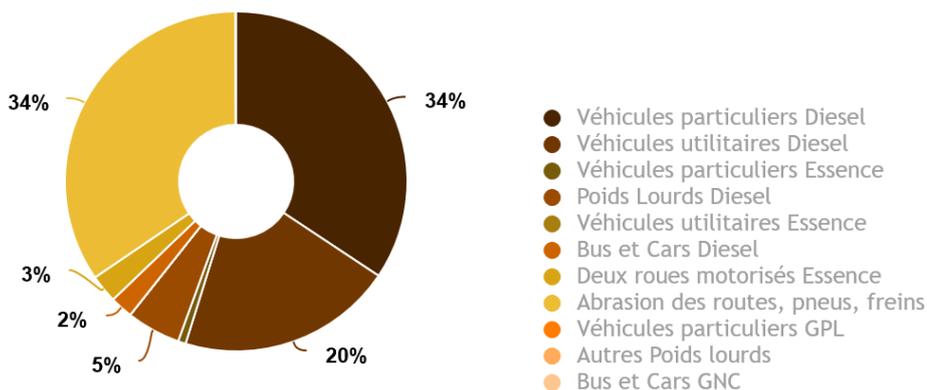


AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

Répartition des émissions - PM 2.5

2015 - Métropole du Grand Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

Figure 10 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions primaires de particules (PM_{2.5}) dans la MGP pour l'année 2015.

Le trafic routier est également émetteur de **COVNM** à hauteur de 12 % dans la MGP. Les COVNM regroupent plusieurs centaines d'espèces qui sont recensées pour leur impact sur la santé (telle que le benzène) ou comme précurseurs impliqués dans la formation de l'ozone.

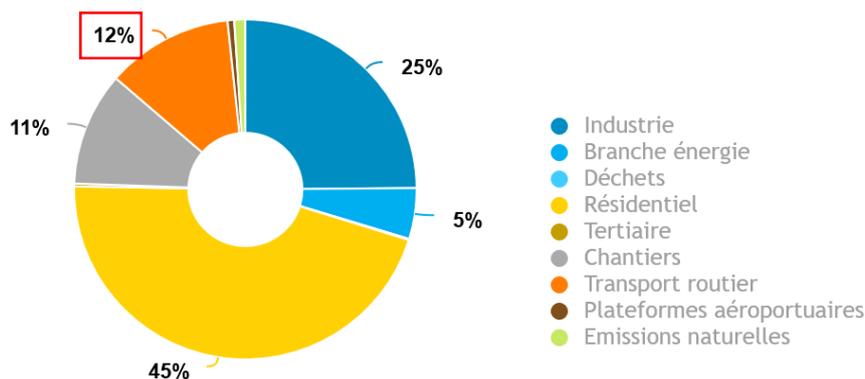
Les émissions de COVNM proviennent principalement des véhicules fonctionnant à l'essence, dont les deux-roues motorisés avec plus de la moitié des émissions métropolitaines du secteur du trafic routier¹⁰, tandis que les particules et les oxydes d'azote sont principalement émis par les véhicules diesel.

¹⁰ Les COVNM sont émis par les véhicules à l'échappement, et également par évaporation, notamment au niveau du réservoir et du circuit de distribution du carburant. Les émissions se produisant au moment du remplissage du réservoir dans les stations-service ne sont pas comptabilisées ici.

Les émissions de COVNM dans le secteur du trafic routier sont en nette diminution depuis la généralisation des pots catalytiques et la transition des véhicules deux-roues motorisés à moteur deux-temps à carburateur vers des véhicules 4-temps à injection directe, moins émetteurs de COVNM à l'échappement comme à l'évaporation.

Le benzène est un des COVNM dont le trafic routier est le principal émetteur. Les véhicules essence, dont une grande majorité des deux-roues motorisés, émettent une part importante des émissions de benzène du trafic routier.

COVNM - Métropole du Grand Paris

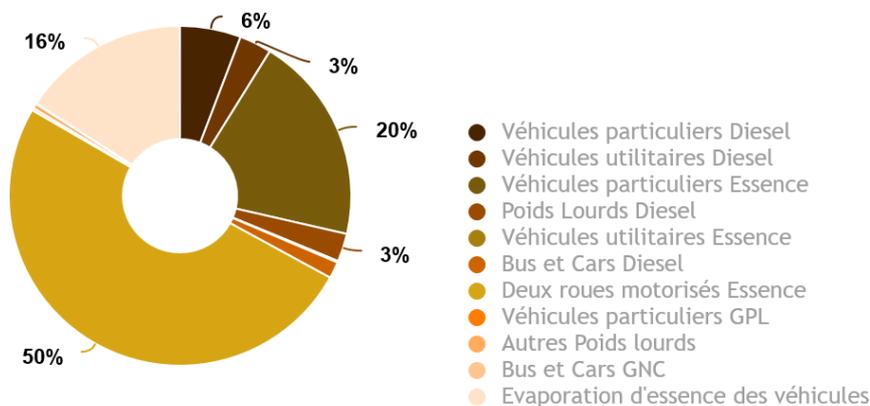


AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

Répartition des émissions - COVNM

2015 - Métropole du Grand Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

Figure 11 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions primaires de COVNM dans la MGP pour l'année 2015.

Concernant le **dioxyde de carbone (CO₂)**, principal gaz à effet de serre, le trafic routier métropolitain contribue à hauteur de 28 % des émissions directes métropolitaine (cf. Annexe 3), dont 11 % pour les véhicules particuliers diesel et 6 % pour les véhicules particuliers essence.

Au sein de la Métropole du Grand Paris, la contribution du trafic routier aux émissions polluantes est importante. Le trafic routier présente ainsi, au regard de sa part dans les émissions métropolitaines de polluants atmosphériques, un des leviers d'action permettant de réduire la pollution de l'air et l'exposition de la population.

4. IMPACTS D'UNE ZFE SUR LES ÉMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER

Préambule : L'ensemble des hypothèses, les choix des sources de données, les méthodologies de reconstitution des parcs technologiques et du trafic horaire pour la situation de référence et les différents scénarios de ZFE ont été élaborés par Airparif à partir de données fournies par la DRIEA et la Mairie de Paris et validés par les spécialistes du trafic participants au projet : Mairie de Paris, DRIEA, Ile-de-France Mobilités, APUR.

L'évaluation des gains d'émissions nécessite de connaître le trafic routier heure par heure avec les vitesses associées, ainsi que le parc roulant et technologique pour les différents cas considérés (situation de référence et scénarios ZFE).

4.1. Trafic routier

L'évaluation des émissions de polluants nécessite de connaître le trafic routier à toute heure de la journée. La DRIEA fournissant des données aux heures de pointes, il a été nécessaire de reconstituer le trafic routier à l'échelle horaire.

La **DRIEA a calculé le trafic aux heures de pointe du matin (HPM) et du soir (HPS)** sur l'ensemble de l'Ile-de-France pour la situation de référence et les scénarios ZFE (cf. Annexe 4). Le trafic routier est modélisé sur environ 10 000 km de voirie comme illustré à la Figure 12.

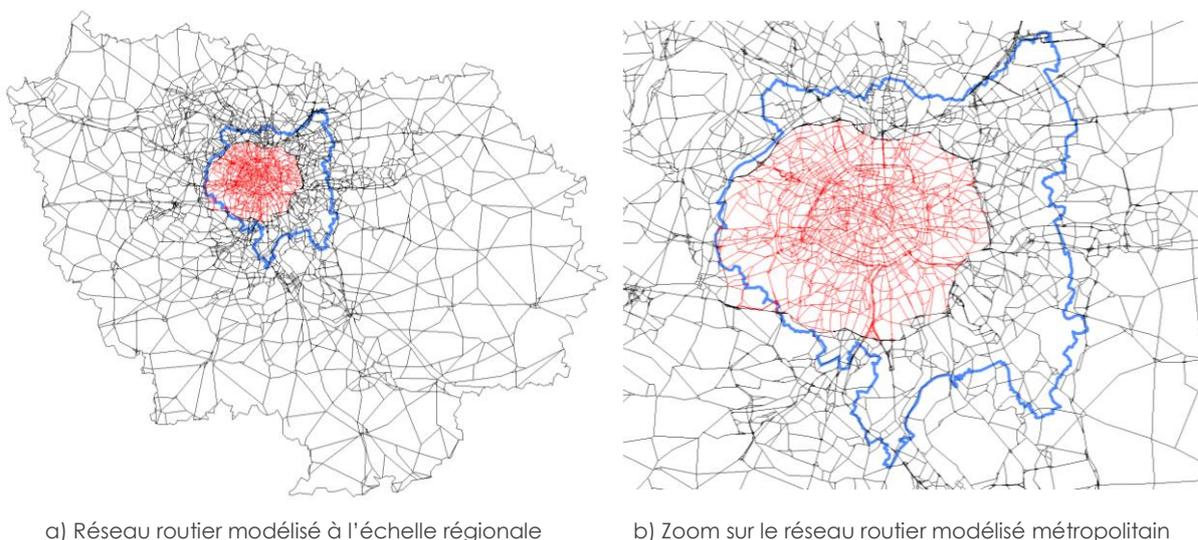


Figure 12 : Réseau routier pris en compte pour le calcul des émissions liées au trafic routier (Source : DRIEA – traitement et image Airparif).

La répartition horaire du trafic a été réalisée en s'appuyant sur des profils de trafic (des flux de véhicules et des vitesses) à différentes échelles temporelles (mois, semaine, journée) et spatiales (Paris intramuros, Boulevard Périphérique, Routes et Autoroutes).

Ces profils ont été établis à partir de données transmises par la Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD) de la Mairie de Paris¹¹ pour le trafic parisien et du Boulevard Périphérique et la Direction des Routes d'Ile-de-France (DIRIF)¹² pour les routes en dehors de la capitale et les autoroutes.

La Figure 13 présente, à titre d'exemple, les profils mensuels (a) et hebdomadaires (b) des flux de véhicules obtenus pour chacune des 4 zones considérées, à savoir Paris Intramuros, le Boulevard Périphérique, les autoroutes et les axes routiers en dehors de Paris.

Pour les quatre zones, un minimum de trafic routier est observé en août, au cœur de la période estivale. Les profils hebdomadaires de Paris intramuros et du Boulevard Périphérique montrent une baisse de trafic le samedi (respectivement -10 % à -15 % et -3 %) et encore plus le dimanche (respectivement -20 % et -5 %). La baisse maximale de trafic sur les Routes et Autoroutes est observée le samedi (-50 % à -60 %), le trafic du dimanche étant légèrement plus élevé que le samedi sur ces zones.

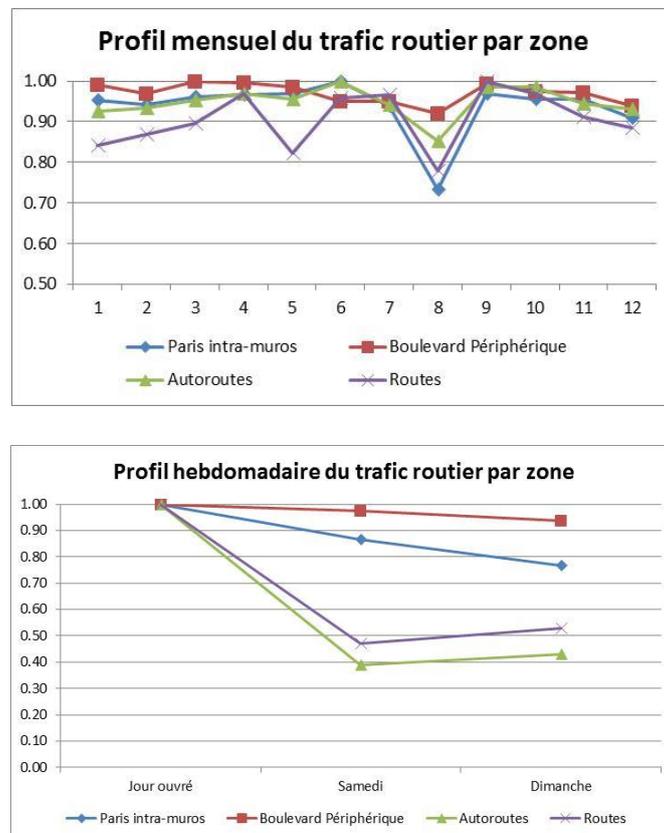


Figure 13 : Profils mensuels (a) et hebdomadaires (b) du trafic routier, par zone (Paris intramuros, Bd Périphérique, Autoroutes et Routes). Source : Airparif d'après les données DRIEA, DIRIF et Mairie de Paris.

À partir de ces profils mensuels, hebdomadaires et horaires, il est possible de reconstituer le trafic routier horaire (flux de véhicules et vitesses) pour n'importe quelle heure de l'année, sur tout type d'axe.

Pour le scénario A, le volume du trafic routier reste relativement stable par rapport à la situation de référence à l'échelle de l'Ile de France ; la baisse la plus importante (0.3 %) s'observe dans le périmètre intra A86 hors Paris. Des baisses plus soutenues sont observées pour le scénario C allant de -1.5 % à l'échelle de l'Ile de France, à -3 % sur le périmètre de la ZFE.

¹¹ Source : bilan des déplacements 2014.

¹² Autoroutes et routes : profil mensuel d'après les données autoroutes de la DIRIF avec quelques données de vitesse. Pour un même axe, le calcul a été fait à partir de plusieurs points de comptage. Pour les routes nationales, les données de la N118 dans les deux sens et de la N13, seules données mises à disposition, ont été utilisées.

4.2. Parcs roulants et technologiques

Afin de réaliser une évaluation la plus précise possible de l'impact des mesures prévues, Airparif s'est appuyée sur les données de **parc roulant** et de **parc technologique** les plus récentes et les plus précises disponibles au moment du lancement de l'étude.

Une enquête plaques et une enquête de composition de trafic ont été réalisées par la Mairie de Paris en novembre 2016, mais les résultats consolidés n'étaient pas disponibles au moment du lancement de l'étude de la ZFE métropolitaine. Par ailleurs, une des actions du projet « Villes respirables en cinq ans » est la réalisation d'une enquête plaques métropolitaine sur l'ensemble du périmètre métropolitain. Cette enquête plaques a été réalisée en septembre 2018. Ces nouveaux éléments pourront être exploités pour constituer un état zéro du parc roulant dans la ZFE métropolitaine.

Les données de parcs utilisées ci-dessous sont des données exprimées en véhicules.kilomètres, relatives aux parcs roulant et technologique, c'est-à-dire les véhicules circulant réellement.

4.2.1. Parc roulant de référence

Le **parc roulant** distingue les véhicules circulant selon 5 types de véhicules : **véhicules particuliers (VP)** ; **véhicules utilitaires légers (VUL)** ; **poids lourds (PL)** ; **bus et cars (TC)** et **deux roues motorisés (2RM)**. Il est spécifique à un type de route (urbain, Boulevard Périphérique, route et autoroute) et varie selon le type de jour (jour ouvré, samedi/veille de jour férié et dimanche/jour férié) et chacune des 24 heures de la journée.

Le parc roulant est construit pour Paris et le Boulevard Périphérique sur la base d'enquêtes réalisées à intervalles réguliers par la Ville de Paris en différents points de Paris et du Boulevard Périphérique. Ailleurs, le parc roulant est construit sur la base de données de comptages SIREDO fournies par la DIRIF sur les routes nationales et autoroutes franciliennes.

Concernant le parc roulant parisien, Airparif a pris en compte pour la situation de référence, les dernières **enquêtes plaques réalisées par la Mairie de Paris en 2014 pour Paris intramuros et pour le Boulevard Périphérique**.

La Figure 14 présente le parc roulant utilisé pour caractériser le trafic parisien les jours ouvrés.

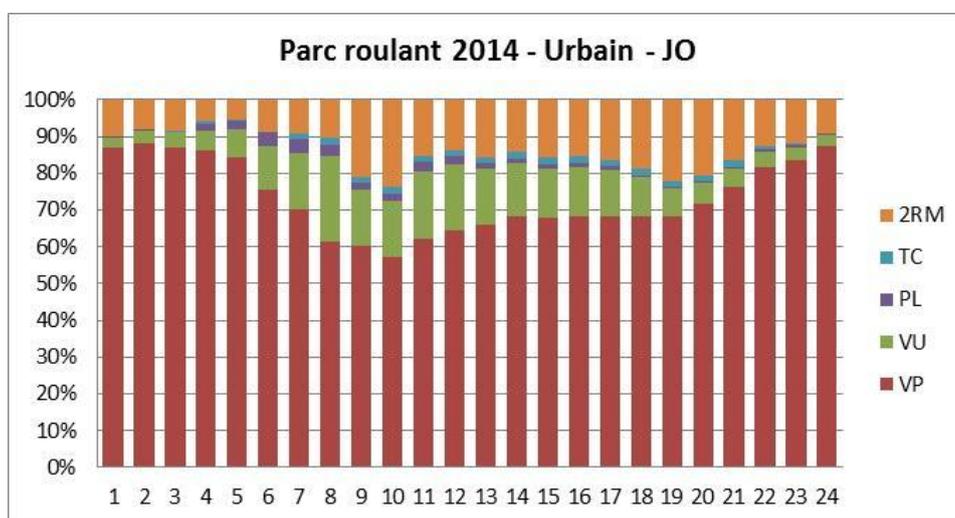


Figure 14 : Parc roulant appliqué les jours ouvrés (JO) sur les axes parisiens selon les heures de la journée.

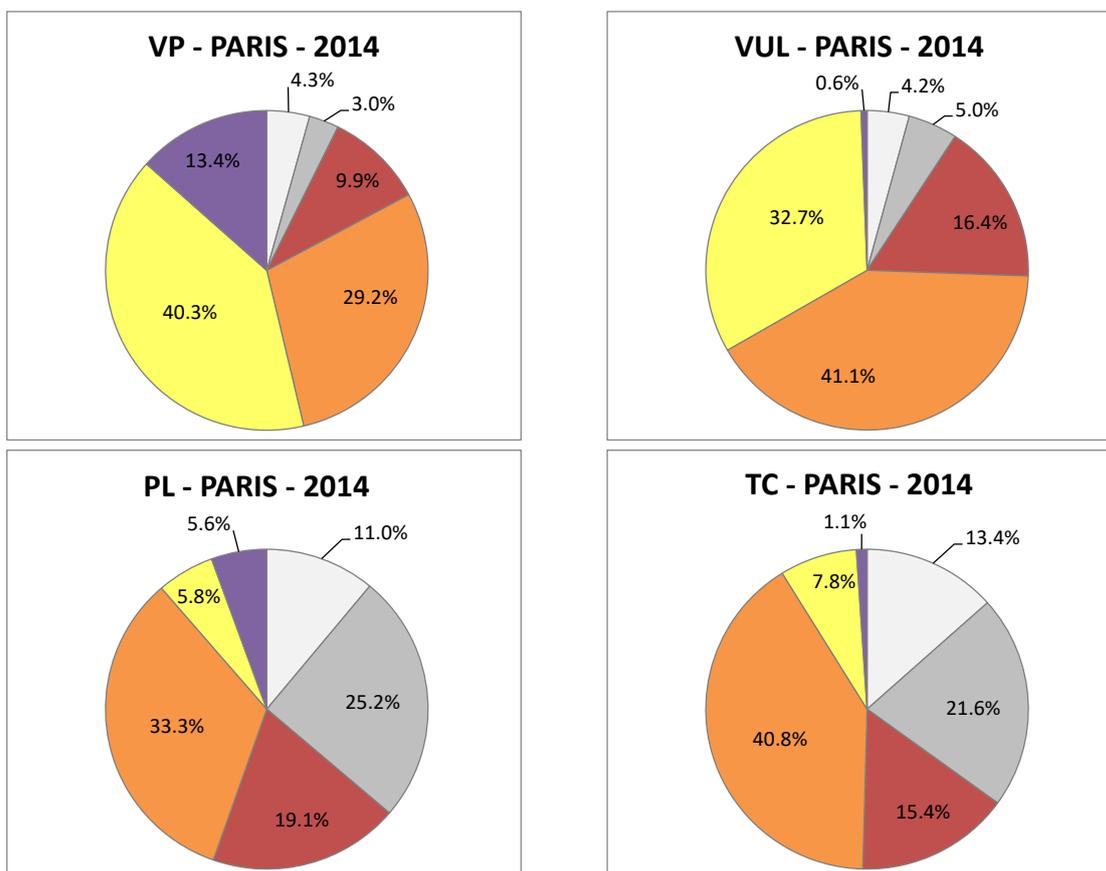
4.2.2. Parc technologique de référence

Pour les cinq types de véhicules (VP, VUL, PL, TC et 2RM), **la connaissance de la composition du parc roulant en termes de carburant, de norme euro et de puissance du moteur (PTAC pour les PL et les TC) est indispensable** pour calculer précisément les émissions de polluants atmosphériques qui varient en fonction des véhicules et de leur âge. Cette décomposition fine du parc roulant s'appuie sur la connaissance du **parc technologique**.

La caractérisation des parcs technologiques aux échelles de Paris et de l'Ile-de-France pour la situation de référence 2019 et pour le scénario A de ZFE métropolitaine a fait appel à plusieurs sources de données qui ont été étudiées et compilées (cf. Annexe 5). Les données de **l'enquête plaques réalisée par la Mairie de Paris en novembre 2014** ont été exploitées par Airparif pour caractériser le parc technologique parisien. La comparaison avec les différents parcs disponibles montre des différences significatives avec les données disponibles à l'échelle nationale, et confirme l'intérêt de disposer de parcs « locaux ».

La Figure 15 et la Figure 16 présentent les parcs technologiques par type de véhicules, caractérisant respectivement le trafic parisien et en dehors de Paris, en 2014. Les véhicules ont été classés selon la nomenclature Crit'Air.

Quel que soit le type de véhicule considéré, le parc technologique parisien est composé de véhicules plus récents que ceux roulant hors Paris. Par exemple, la part de véhicules particuliers (VP) « Crit'Air 2 » et « Crit'Air 1 » (incluant les véhicules électriques) s'élève à presque 54 % dans le parc parisien (Figure 15), contre 37 % en dehors de la capitale (Figure 16). De même pour les poids lourds (PL), le parc parisien compte environ 11 % de véhicules appartenant à ces deux catégories, alors que le parc hors Paris présente 7 % de véhicules « Crit'Air 2 » et aucun véhicule de la catégorie la plus récente. Enfin, pour les véhicules utilitaires légers (VUL), ces pourcentages s'élèvent respectivement à 33 % (parc parisien) et 7 % (parc hors Paris).



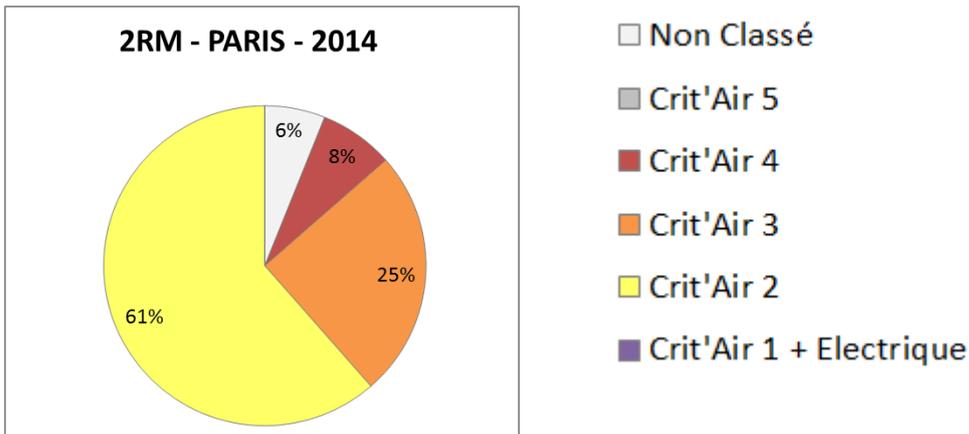
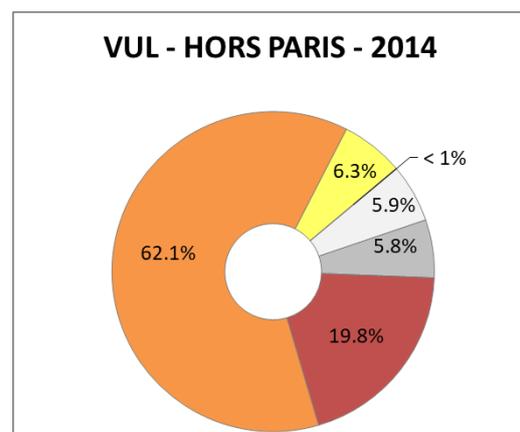
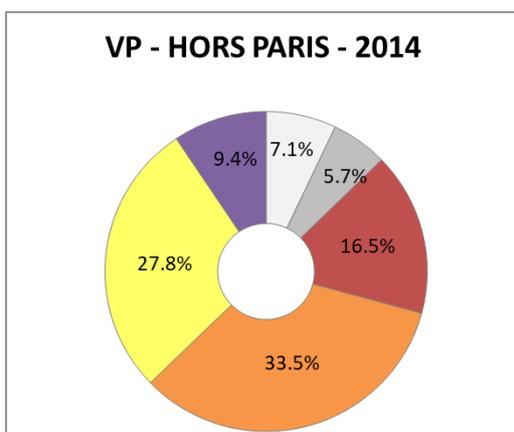


Figure 15 : Parcs technologiques parisiens par type de véhicules, selon la classification Crit'Air, pour l'année 2014.

Parmi les différents types de véhicules, les véhicules particuliers (VP) présentent le parc technologique le plus récent, comportant la plus grande part de véhicules « Crit'Air 1 » et « électrique » selon la classification Crit'Air. Dans l'agglomération parisienne, 13 % des kilomètres sont parcourus par des véhicules de cette catégorie, contre 9 % hors Paris.

Dans Paris, les véhicules VUL, PL et TC, roulant traditionnellement au Diesel (de ce fait classés au mieux « Crit'Air 2 »), présentent une faible part de kilomètres parcourus par des véhicules de la classe « Crit'Air 1 » et « Electrique ». La part de kilomètres parcourus par des poids lourds « Crit'Air 1 » et « Electrique » dépasse 5 %. En dehors de Paris, les véhicules « Crit'Air 1 » et « Electrique » sont quasiment non représentés au sein des parcs technologiques des VUL, PL et TC.

Pour les Poids Lourds (PL) et les Bus et Cars (TC), les véhicules Pré Euro III (Euro I, II et avant) sont considérés comme des véhicules « Non Classés », ce qui n'est pas le cas pour les Véhicules Particuliers (VP) et Utilitaires Légers (VUL), pour lesquels les véhicules Euro 2 font partie de la catégorie « Crit'Air 5 ». De ce fait, la part des kilomètres parcourus par des véhicules « Non Classés » est, pour les PL et les TC, respectivement de 11 % et 13 % dans le parc parisien (13 % et 14 % dans le parc hors Paris), soit bien supérieure à celle observée pour les VP, VUL et 2RM (de l'ordre de 5 %).



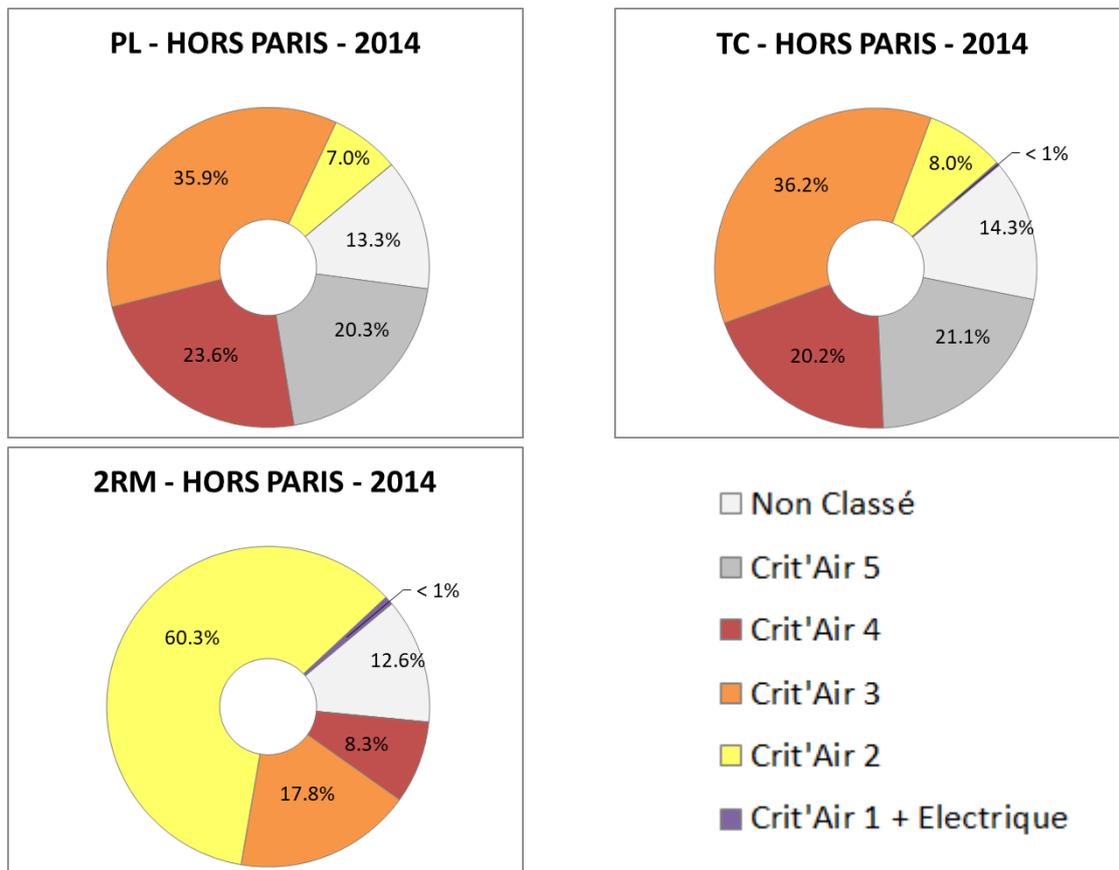


Figure 16 : Parcs technologiques hors Paris par type de véhicules, selon la classification Crit'Air, pour l'année 2014.

Les véhicules deux roues motorisés (2RM) ne sont pas concernés par la catégorie « Crit'Air 5 ». À l'inverse des autres types de véhicules, le parc des 2RM en dehors de Paris présente une faible part de véhicules « Crit'Air 1 », alors que cette catégorie n'est pas représentée dans le parc parisien. La part des véhicules les plus anciens (« Non classés ») est cependant deux fois plus élevée (13 %) en dehors de Paris que dans la capitale (6 %).

4.2.3. Impact de la ZFE sur le parc technologique

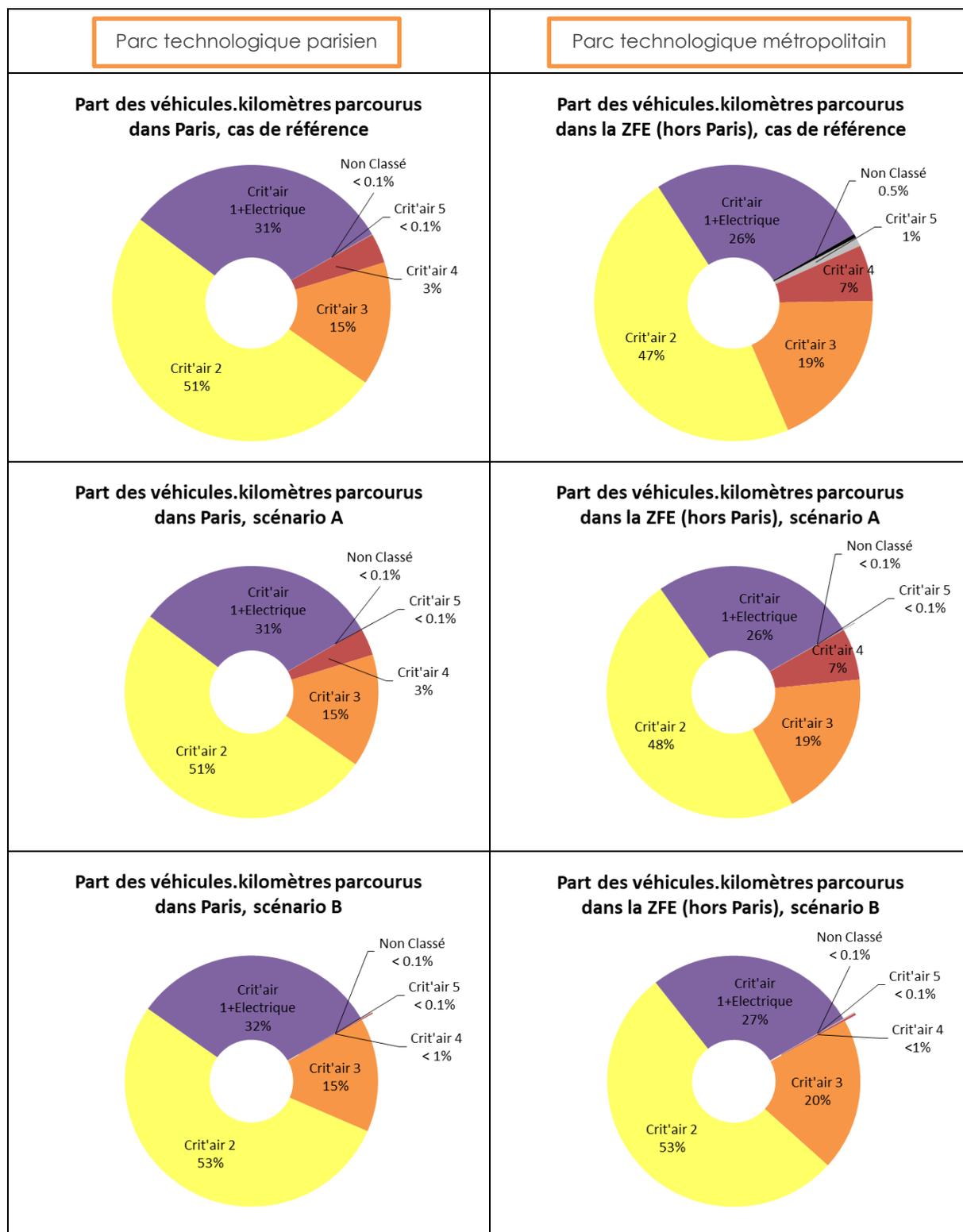
Le parc technologique prospectif pour la situation de référence, à savoir le « Fil de l'eau » 2019 intégrant la ZFE parisienne en place au début de l'étude (interdiction des véhicules « Crit'Air 5 » dans Paris, hors Boulevard Périphérique) a été construit par Airparif à partir du parc de référence 2014 décrit précédemment et des évolutions nationales des parcs CITEPA pour cette échéance.

Les parcs technologiques prospectifs pour les trois scénarios de ZFE métropolitaine à l'horizon 2019 ont été construits à partir de la situation de référence 2019, en introduisant les restrictions de circulation associées à chaque scénario.

L'hypothèse retenue collectivement est que **les véhicules concernés par les restrictions de circulation se reportent vers des véhicules de la catégorie la plus vertueuse à carburant et cylindrée identiques**. Pour les véhicules particuliers, ce report est de 70 % car il a été considéré que 30 % des trajets en véhicules particuliers concernés par les restrictions de circulation se reportent sur les transports en commun, les modes doux ou effectuent un changement d'itinéraire pour éviter la ZFE.

La Figure 17 présente l'évolution du parc technologique parisien et celui de la zone intra A86 (hors Paris) pour la situation de référence et chacun des trois scénarios de ZFE métropolitaine. La répartition repose comme précédemment sur la nomenclature Crit'Air.

Le parc technologique Parisien étant légèrement plus récent qu'au sein du périmètre intra A86 hors Paris, la répartition des classes selon la nomenclature Crit'Air diffère quelque peu et la restriction de circulation des véhicules les plus anciens touche davantage de véhicules en dehors de la capitale.



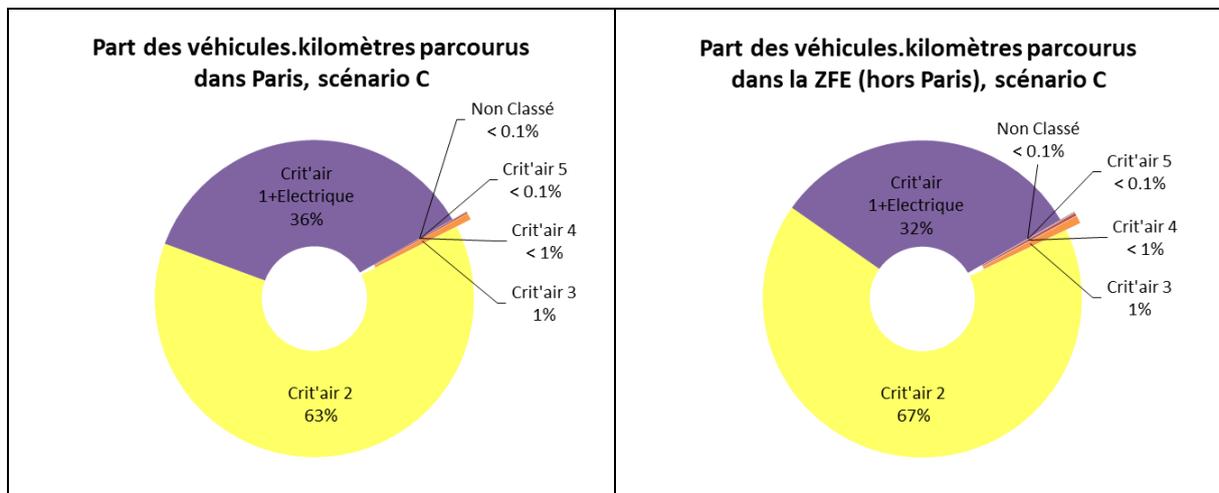


Figure 17 : Part des véhicules.kilomètres à Paris (à gauche) et dans l'intra A86 hors Paris (à droite), dans la situation de référence (en haut) et dans le cas des scénarios A (2^{ème} ligne), B (3^{ème} ligne), et C (en bas).

Dans la situation de référence, très peu de véhicules de catégories « Non classé » et « Crit'Air 5 » circulent dans Paris, du fait de la mise en œuvre précédemment (1^{er} juillet 2017) de la ZCR parisienne interdisant ces véhicules (circulation non restreinte le week-end et les jours fériés). Ainsi, la mise en place du **scénario A de ZFE (niveau « Crit'Air 5 ») n'impacte pas de véhicules supplémentaires dans la capitale.**

Dans le périmètre intra A86 hors Paris, non concerné dans la situation de référence par une restriction de circulation, 0.5 % et 1 % des kilomètres sont parcourus respectivement par des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 ». La mise en œuvre de la restriction de circulation de ces véhicules (**scénario A**) touche donc **1.5 % des kilomètres parcourus par les véhicules les plus anciens dans le périmètre intra A86 hors Paris.**

La mise en œuvre du **scénario B** de ZFE métropolitaine **impacterait 3 % des kilomètres parcourus au sein de la capitale** (véhicules « Crit'Air 4 ») et **9.5 % de ceux parcourus dans le périmètre intra A86 hors Paris** par les véhicules soumis à restriction (véhicules « non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 »).

Enfin, l'établissement du **scénario C, ZFE de niveau de restriction « Crit'Air 3 », concernerait respectivement 18 % et 27.5 % des kilomètres parcourus à Paris et au sein de la ZFE (hors paris).**

Le pourcentage des kilomètres parcourus par les véhicules interdits augmente au fur et à mesure du niveau de restriction de circulation, c'est-à-dire des scénarios envisagés.

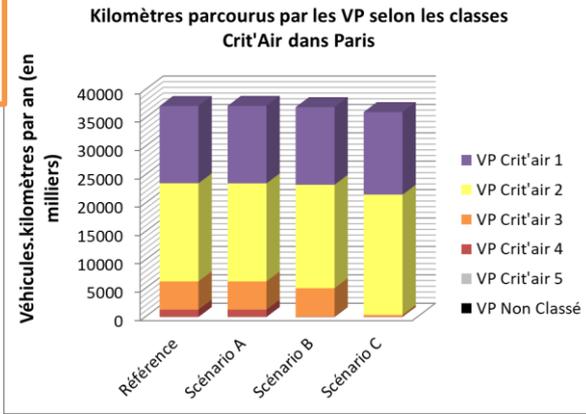
Les véhicules des classes Crit'Air dont la circulation est restreinte au sein de la ZFE ne disparaissent pas entièrement du parc car les VP, VUL et 2RM les plus anciens sont interdits uniquement les jours ouvrés de 8 à 20 heures. De ce fait, une faible proportion de ces véhicules « interdits » reste en circulation.

Au sein de la capitale, 51 % et 31 % des kilomètres sont parcourus par des véhicules « Crit'Air 2 » et « Crit'Air 1 »+électriques ; ces parts sont de 47 % et 26 % dans le périmètre intra A86 hors Paris.

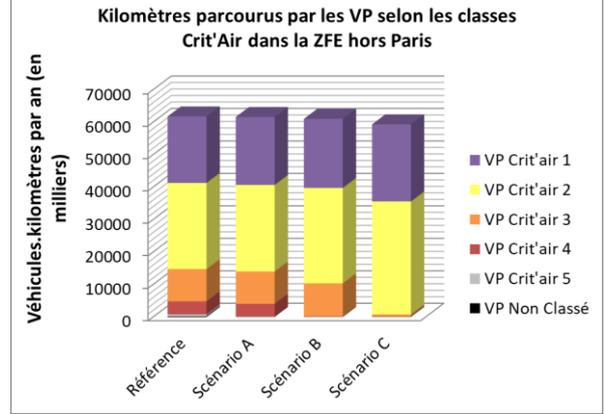
La Figure 18 illustre, **pour chaque catégorie de véhicules**, les parcs technologiques pour la situation de référence et pour les trois scénarios A, B, C de mise en œuvre de ZFE métropolitaine, dans Paris (à gauche) et au sein de la ZFE hors Paris (à droite). L'impact de la ZFE varie selon le scénario, la zone, et le type de véhicules.

Parc technologique dans Paris

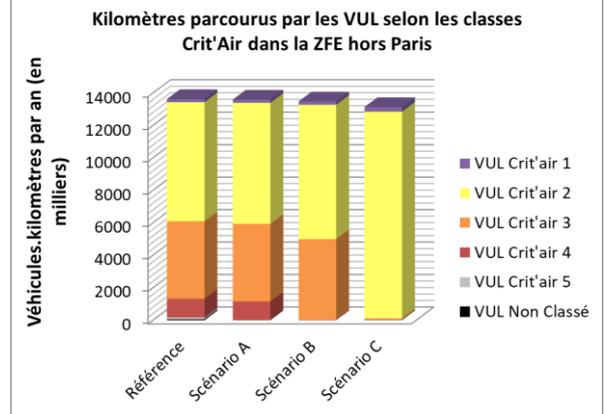
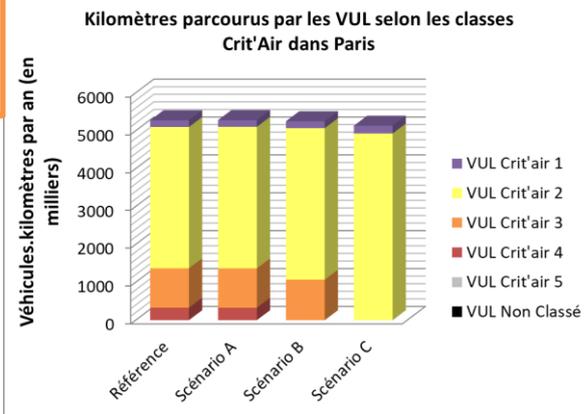
Parc technologique des VP



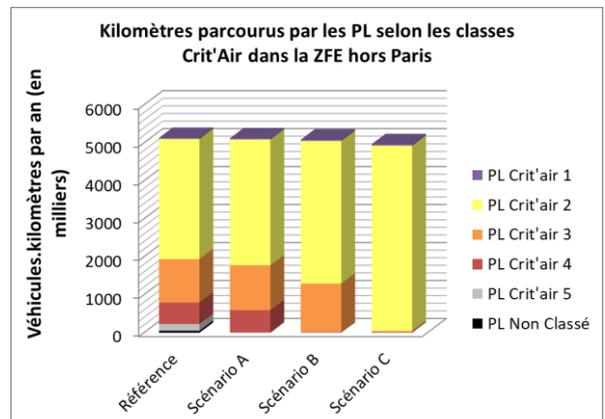
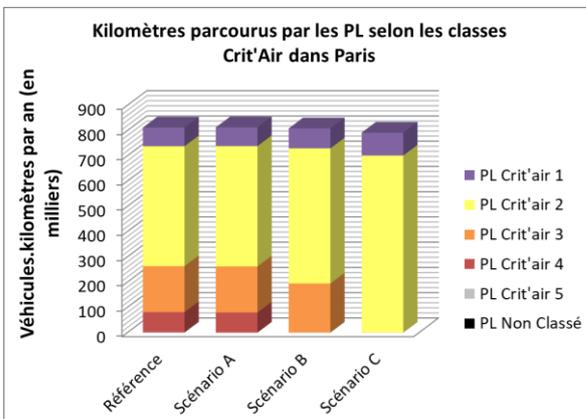
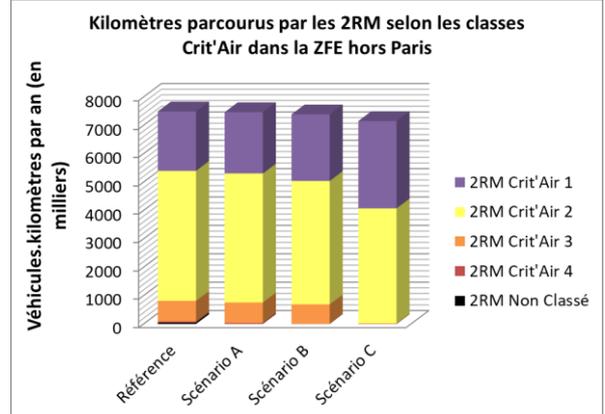
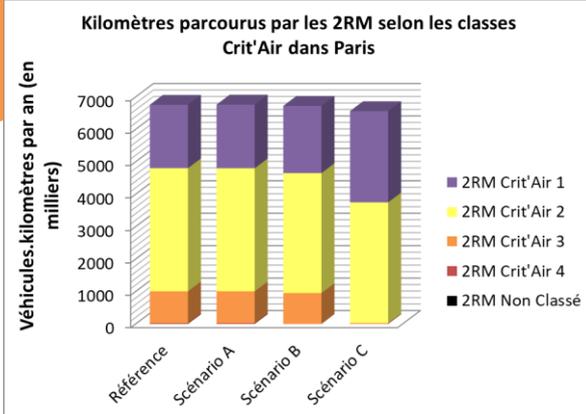
Parc technologique dans la ZFE hors Paris



Parc technologique des VUL



Parc technologique des 2RM



Parc technologique des TC (bus et cars)

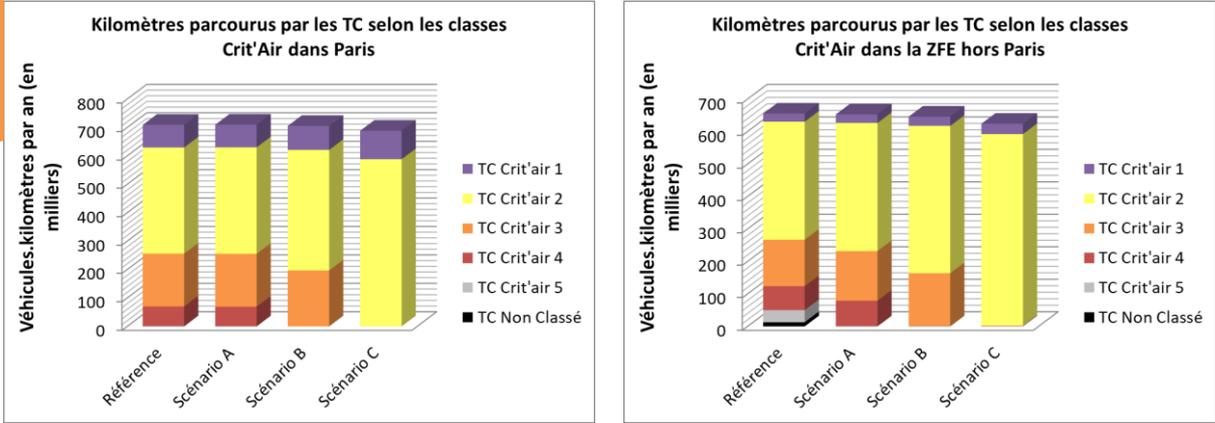


Figure 18 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris et au sein de la ZFE, hors Paris, par la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine.

Le scénario A n'a quasiment pas d'impact dans Paris, du fait de l'existence de la ZCR parisienne restreignant déjà la circulation des véhicules « Non Classés » et « Crit'Air 5 ».

Dans la zone intra A86 hors Paris, les types de véhicules les plus touchés par la restriction de circulation des véhicules les plus anciens, « Non classés » et « Crit'Air 5 », sont les TC et PL avec respectivement 8 % et 5 % des kilomètres parcourus de leur catégorie.

La restriction de circulation fixée pour ces plus anciens véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 » concerne 1.3 % des kilomètres parcourus par les VP et les VUL, et moins de 1 % des kilomètres parcourus par les 2RM. Pour rappel, la catégorie « Crit'Air 5 » n'existe pas pour les 2RM.

De même, le scénario B impacte davantage les PL et les TC. Dans Paris 10 % des kilomètres sont parcourus par les véhicules « Non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 » ; au sein de la ZFE hors Paris, ces véhicules les plus anciens représentent 19 % des kilomètres parcourus par les TC et 15.5 % de ceux réalisés par les PL.

Dans Paris, la restriction de circulation des véhicules « Non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 » concerne 6 % des kilomètres parcourus par les VUL, 3 % de ceux effectués par les VP et moins de 1 % des kilomètres réalisés par les 2RM. Dans le périmètre intra A86 hors paris, ces parts sont respectivement de 10 %, 8 % et 1 %.

La restriction de circulation des véhicules « Crit'Air 3 » impacte toutes les catégories de véhicules, dans Paris et dans le périmètre intra A86 hors Paris.

Au sein de la capitale, les types de véhicules les plus touchés sont les TC et PL : environ un tiers des kilomètres parcourus par ces deux types de véhicules dans la capitale sont réalisés par des véhicules de catégories « Non classés », « Crit'Air 5 », « Crit'Air 4 » et « Crit'Air 3 ». La mise en place du scénario C de ZFE métropolitaine impacterait 28 % des kilomètres parcourus par les VUL, 17 % de ceux parcourus par les VP et 15 % des kilomètres réalisés par les 2RM.

Dans le périmètre de la ZFE hors Paris, les véhicules les plus touchés par la restriction de circulation de niveau « Crit'Air 3 » sont les VUL, avec presque 45 % des kilomètres parcourus par ces catégories de véhicules. Les TC et PL sont impactés respectivement à hauteur de 41 % et 38 % ; cette restriction de circulation concerne 24 % des VL et 11 % des 2RM.

Globalement, **les TC et PL sont les types de véhicules les plus impactés par la mise en œuvre d'une ZFE métropolitaine**, tant au sein de la capitale que dans le reste du périmètre intra A86, et ce quel que soit le scénario considéré. Pour rappel, ces catégories de véhicules présentent une classification Crit'Air différente des autres véhicules, en décalage d'une norme « Euro ».

Les impacts de la mise en œuvre d'une ZFE métropolitaine sont plus marqués dans la zone intra A86 hors Paris qu'au sein de la capitale, cette dernière présentant un parc technologique plus récent. Les 2RM, plus impactés par le scénario 3 dans Paris que dans le périmètre intra 86 hors Paris, sont la seule exception.

Parmi les véhicules légers, les VUL sont le type de véhicules les plus touchés ; dans la zone intra A86 hors Paris, les VUL sont davantage concernés par la restriction de circulation induite par le scénario C que les PL et TC.

4.3. Émissions liées au trafic routier

4.3.1. Émissions de polluants atmosphériques

Ces résultats sont issus des calculs provenant de la modélisation du trafic routier, par la DRIEA, puis de la modélisation des émissions qui en découlent par le modèle trafic HEAVEN.

Influence au sein de la ZFE

La Figure 19 présente la part des kilomètres parcourus dans le périmètre intra A86, impactés par la restriction de circulation, et les gains en émissions qui en résultent pour les NO_x, les particules PM₁₀ et PM_{2.5} et le CO₂, pour la mise en œuvre des trois scénarios étudiés de ZFE métropolitaine.

Nota bene : les gains sont évalués par comparaison à la situation de référence.

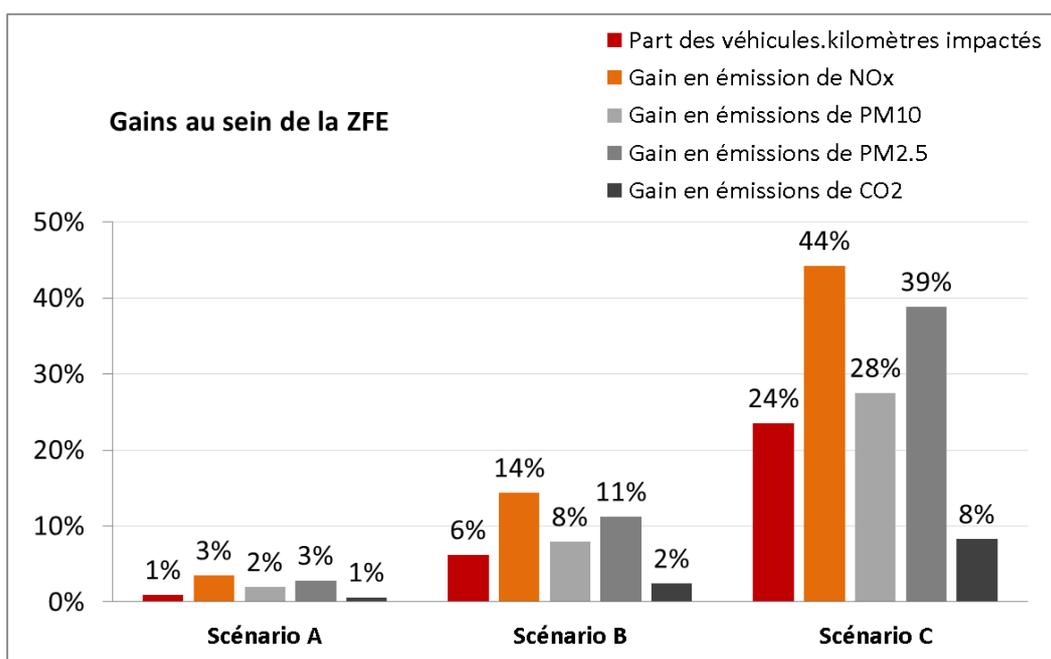


Figure 19 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE métropolitaine, selon les différents scénarios de ZFE métropolitaine.

La mise en œuvre de la ZFE accélère le renouvellement du parc technologique et induit une baisse des émissions de polluants atmosphériques liées au trafic routier métropolitain. Plus le niveau de restriction de circulation est élevé, plus les baisses sont importantes. Ainsi, les gains en émissions croissent selon la contrainte des scénarios.

Les gains les plus importants sont observés pour les NO_x, polluant pour lequel la part des émissions du trafic est élevée (un peu plus de la moitié des émissions de NO_x au sein de la MGP).

Les gains en PM_{2.5} sont plus importants que ceux en PM₁₀. Cela résulte du fait que les émissions de PM₁₀ sont fortement associées à l'abrasion des routes, freins et pneus, part qui reste invariable avec le renouvellement du parc technologique. Les émissions de PM_{2.5} sont davantage liées à la combustion et sont donc influencées par la modernisation du parc engendrée par la ZFE.

Pour la mise en place du scénario A de ZFE métropolitaine, les gains en émissions au sein du périmètre intra A86 sont au maximum de 3 % (NO_x et PM_{2.5}). D'une part, les véhicules concernés par cette mesure représentent une faible part (1 %) des kilomètres parcourus à l'échelle du périmètre intra A86. D'autre part, les gains sont calculés en comparant le scénario A au cas de référence. La restriction de circulation étant déjà effective dans Paris, la part des kilomètres parcourus impactés et les gains en émissions sont ainsi quasi nuls dans ce périmètre.

La part de kilomètres parcourus concernés par la restriction de circulation dans le cas du scénario B est de 6 %, engendrant des gains d'émissions significatifs. La ZFE de niveau « Crit'Air 4 » permet de réduire les émissions de NO_x de 14 % ; les gains en particules sont de 11 % pour les PM_{2.5} et de 8 % en PM₁₀.

Enfin, le scénario C, de niveau de restriction plus élevé, touche davantage de kilomètres parcourus (24 %) induisant d'importants gains d'émissions. Ce scénario permet de réduire les émissions de NO_x de 44 % au sein de la ZFE, de 39 % et 28 % celles des particules PM_{2.5} et PM₁₀ respectivement.

L'Annexe 6 distingue les gains en émissions et la part des kilomètres parcourus dans la capitale et dans le périmètre intra A86 hors Paris, selon les différents scénarios de ZFE métropolitaine. Elle met en évidence l'absence d'impact du scénario A dans Paris et **des gains en émissions plus importants en considérant la zone intra A86 sans Paris**. Dans cette zone, les gains atteignent 6 % pour les émissions de NO_x, 4 % en PM_{2.5} et 3 % en PM₁₀ dans le cas du scénario A et jusqu'à **51 %, 43 % et 31 % respectivement pour les mêmes polluants dans le cas du scénario C**. La part de kilomètres parcourus concernés par la restriction de circulation varie entre 2 % pour le scénario A et 27 % pour le scénario C dans la ZFE hors Paris.

La mise en œuvre d'une **ZFE engendre également d'importantes baisses d'émissions de benzène**, émissions essentiellement liées aux véhicules essence les plus anciens. À l'échelle de la ZFE, le gain en benzène varie entre 5 % (scénario A) et 21 % (scénario C). Concernant le scénario A, la mesure est très positive au regard du peu de kilomètres parcourus par les véhicules les plus anciens concernés par les restrictions de circulation.

La Figure 20 présente la baisse des émissions relativement à la part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par la restriction de circulation dans le périmètre de la ZFE métropolitaine.

Quel que soit le scénario considéré, **la ZFE favorise une baisse relative des émissions des polluants locaux supérieure à la part relative du nombre de kilomètres impactés par la restriction de circulation** (ratio supérieur à 1).

L'efficacité de la mesure, en termes de gains par rapport au nombre des kilomètres parcourus impactés, **est maximale pour le scénario A**, quelque que soit le polluant : **la diminution des émissions d'oxydes d'azote est presque 4 fois plus importante que le pourcentage de kilomètres parcourus touchés par la restriction de circuler au sein de la ZFE**. Le ratio est également très favorable pour les particules PM₁₀ et plus encore pour les PM_{2.5}.

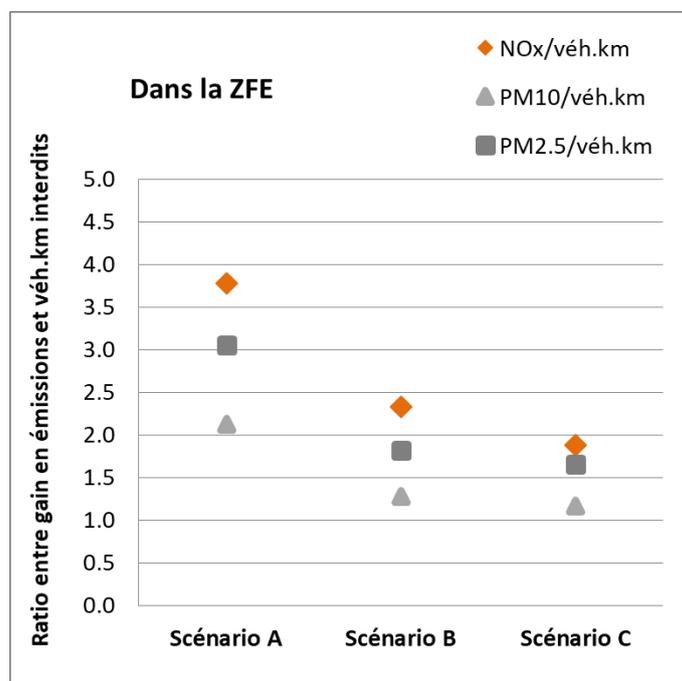


Figure 20 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE

Les ratios des trois polluants diminuent avec le niveau de restriction de circulation alors que les réductions d'émissions par rapport à la situation de référence augmentent. A l'inverse, le scénario A présente les ratios les plus forts pour des réductions d'émissions très faibles. Ce scénario interdisant la circulation des véhicules les plus anciens et les plus polluants, la réduction des émissions est, relativement aux kilomètres parcourus, plus importante. Les deux autres scénarios concernent un nombre de kilomètres parcourus par les véhicules interdits plus important mais moins émetteurs unitairement de polluants atmosphériques que les véhicules les plus anciens, d'où un ratio moins fort.

Les scénarios B et C montrent des gains d'émissions en PM₁₀ de plus en plus importants ; pourtant, l'efficacité de la ZFE est, comparativement au scénario A, moins bonne. Les véhicules les plus modernes émettent à l'échappement (combustion) de moins en moins de particules et la part liée à l'abrasion (usure des freins, pneus, routes...) reste la même avec et sans ZFE.

Le ratio entre les gains d'émissions et la part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation est toujours supérieur à 1. Autrement dit, quel que soit le polluant atmosphérique et le scénario considéré, les gains en émissions sont supérieurs aux kilomètres parcourus par les véhicules impactés par la ZFE.

Influence en dehors de la ZFE

La part de kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, et les gains en émissions en dehors de la ZFE sont présentés en Figure 21. Ils sont plus faibles que ceux estimés au sein de la ZFE, atteignant au **maximum 17 % de gains d'émission de NO_x, 16 % en PM_{2.5} et 10 % en particules PM₁₀ pour 10 % de kilomètres parcourus impactés avec la mise en place du scénario C.**

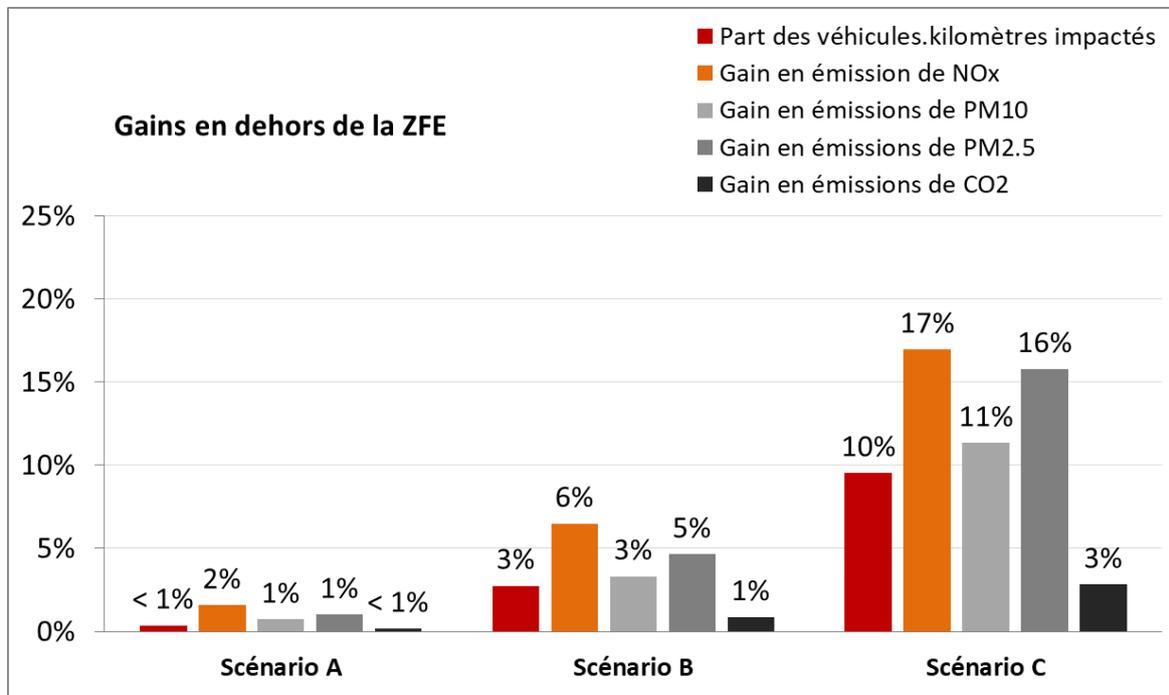


Figure 21 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en dehors de la ZFE, selon les différents scénarios de ZFE métropolitaine.

Les gains d'émissions en dehors de la ZFE sont logiquement moins importants. Ils sont dus au renouvellement des véhicules les plus anciens ayant un lien avec la ZFE (trajets en transit dans l'intra A86 ou d'échange avec ce territoire) au profit de véhicules plus récents autorisés dans la ZFE. En dehors de la ZFE, les véhicules les plus anciens, et les plus polluants, peuvent continuer de circuler s'ils ne sont pas en lien avec la ZFE, d'où des baisses d'émissions moins importantes au-delà de l'A86 qu'au sein de l'intra A86.

Le report modal, du véhicule particulier en faveur des transports en commun pour les trajets en lien avec la ZFE, contribue également à la baisse des émissions en dehors de celle-ci.

Les bénéfices de la ZFE sur les émissions sont positifs y compris en dehors de son périmètre strict d'application, et ce malgré les reports d'itinéraires (cas des véhicules les plus anciens ayant auparavant un trajet en lien avec la ZFE et ayant changé d'itinéraire au profit d'un parcours plus long, du fait de la restriction de circulation au sein de la ZFE).

La mise en œuvre de **la ZFE métropolitaine entraîne une diminution des émissions de polluants, non seulement au sein de la ZFE, mais également en dehors de son périmètre.**

La Figure 22 présente la baisse des émissions relativement à la part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par la restriction de circulation, en dehors du périmètre de la ZFE métropolitaine.

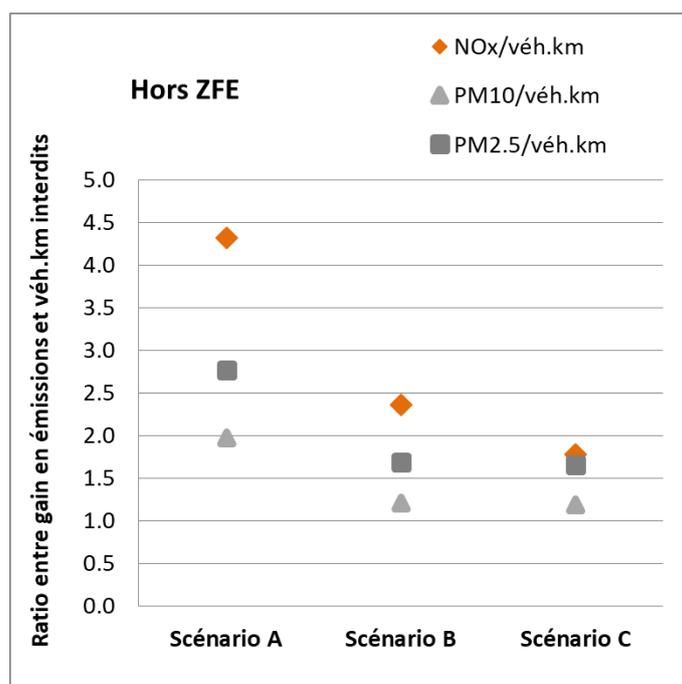


Figure 22 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, en dehors de la ZFE

Pour le scénario A, le ratio en NO_x est plus élevé qu'au sein de la ZFE, mais pour des réductions d'émissions plus faibles. Pour les particules, le ratio est comparable. Il en est de même pour les deux autres scénarios.

Quel que soit le périmètre considéré, **la ZFE favorise une baisse relative des émissions des polluants locaux supérieure à la part relative du nombre de kilomètres impactés par la restriction de circulation** (ratio supérieur à 1).

4.3.2. Émissions de gaz à effet de serre

La mise en œuvre d'une ZFE métropolitaine n'entraîne pas d'effet antagoniste entre polluants locaux (ayant un effet sur la santé) et gaz à effet de serre (ayant un effet sur le climat) et engendre bien des effets positifs sur ces deux enjeux. Toutefois, l'efficacité de la ZFE est moins importante pour le dioxyde de carbone que pour les polluants locaux.

Les gains d'émissions de CO₂ augmentent progressivement avec le niveau de restriction de circulation. Pour le scénario A de ZFE métropolitaine, le gain est faible (1 % dans le périmètre de la ZFE, et un peu moins de 1 % au-delà de ce périmètre, Figure 19 et Figure 21). La réduction des émissions de CO₂ atteint 8 % au sein de la ZFE dans le cas du scénario le plus restrictif (Figure 19), jusqu'à 9 % si on considère le périmètre intra A86 hors Paris (Annexe 6), et 3 % en dehors du périmètre de la ZFE (Figure 21).

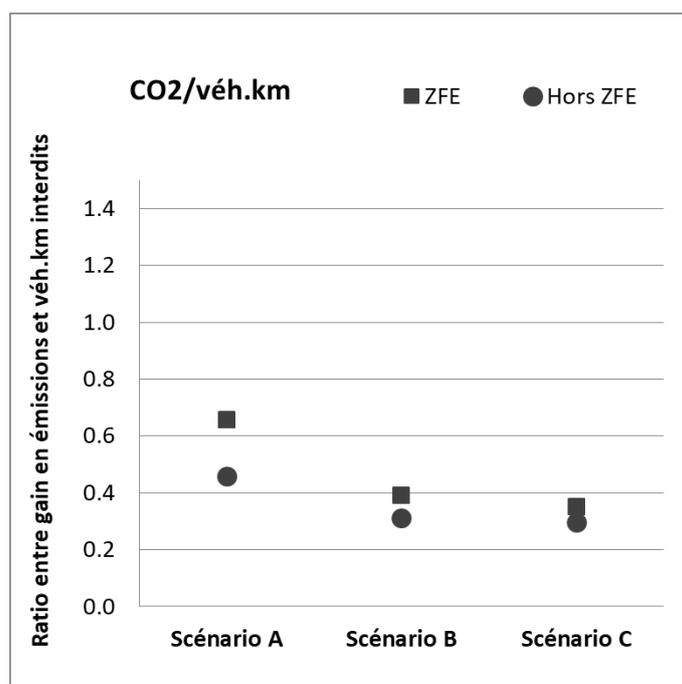


Figure 23 : Ratio entre les gains en émissions de CO₂ attendus selon les scénarios de ZFE métropolitaine et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE (représenté par les carrés) et au dehors de celle-ci (cercles).

Pour les deux zones, le ratio entre les gains en émissions de CO₂ et la part de kilomètres concernés par la restriction de circulation est inférieur à 1. Cela traduit une baisse de CO₂ moins importante que la part de kilomètres parcourus par les véhicules impactés dans la ZFE.

Ce résultat s'explique par des performances en termes de baisse des émissions moins bonnes sur le CO₂ par rapport aux polluants locaux pour lesquels la mise en œuvre des normes « Euro » a engendré de fortes diminutions des émissions. En effet, les normes « Euro » n'ont pas été mises en place pour résoudre la question du changement climatique mais bien celle des émissions de polluants locaux.

Ces résultats confirment ceux de l'étude sur l'impact des modifications de trafic dans Paris entre 2002 et 2012¹³, avec la diminution des émissions des polluants atmosphériques la plus importante liée au renouvellement du parc automobile (avec des véhicules récents moins polluants) et la **diminution des rejets de CO₂** la plus importante **liée** au contraire **à des diminutions de trafic** dans Paris.

Le renouvellement du parc technologique des véhicules les plus anciens par des véhicules moins polluants engendre sur le périmètre intra A86 (A86 exclue) et au-delà de ce périmètre des diminutions des émissions de polluants atmosphériques. Il en est de même pour le dioxyde de carbone (CO₂, gaz à effet de serre), même si pour ce dernier la baisse des émissions est plus faible.

¹³ « Évolution de la qualité de l'air à Paris entre 2002 et 2012 » - Juillet 2013, Airparif. <http://www.airparif.asso.fr/pdf/publications/rapport-pdp-130703.pdf>

5. IMPACTS D'UNE ZFE SUR LES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS L'AIR

5.1. Concentrations de polluants atmosphériques

Les cartographies de la Figure 24 illustrent respectivement les concentrations annuelles de NO₂ modélisées pour la situation de référence (à gauche) et les différents scénarios de ZFE (au milieu). Les cartographies de différences (à droite) présentent les écarts de concentrations entre le scénario ZFE et le cas de référence : diminutions et éventuelles augmentations liées au report de trafic routier. Les concentrations et les différences sont données en µg/m³.

Afin d'évaluer les impacts au-delà du périmètre de mise en œuvre du dispositif, la zone de visualisation s'étend au-delà des limites de l'intra A86, jusqu'aux contours de la Francilienne, ce qui représente environ 80 % de la population régionale. Ce périmètre illustre ainsi les teneurs de polluants au-delà de la limite de la Métropole du Grand Paris (illustrée en noir sur les cartographies).

Au fil des scénarios, les réductions sur les niveaux de NO₂ sont de plus en plus marquées au regard de la situation de référence, à proximité du trafic routier et en situation de fond. Les gains de plus en plus importants sont visibles au sein de la ZFE mais également en dehors, même si ceux-ci sont plus faibles.

Dans le cas du scénario A, les niveaux diminuent à proximité du trafic routier et en situation de fond, mais **seulement à l'extérieur de Paris**. En effet, sur Paris, la restriction de circulation pour les véhicules « Non Classés » et « Crit'Air 5 » ayant été mise en œuvre en juillet 2017, l'impact de ces restrictions est inclus dans le cas de référence.

La baisse des teneurs de NO₂ dans le périmètre intra A86 hors Paris est faible lors du scénario A : la diminution est en moyenne légèrement inférieure à 1 µg/m³. **À proximité immédiate du trafic routier, la diminution est plus marquée, notamment sur les axes majeurs où elle atteint presque 3.5 µg/m³**. En dehors du périmètre de restriction délimité par l'A86, les concentrations baissent également légèrement à proximité des axes routiers majeurs.

Le **scénario B** induit des diminutions de concentrations de NO₂ en situation de fond dans Paris et dans un périmètre plus large que le scénario précédent. Les baisses sont plus importantes (en moyenne 2.5 µg/m³ dans la zone intra A86 hors Paris) et atteignent **5.5 µg/m³ en proximité du trafic routier**.

Enfin, **le scénario le plus restrictif** entraîne des baisses de concentrations plus prononcées, notamment au sein du périmètre intra A86. Les gains en concentrations, plus marqués au sein de la ZFE, s'élargissent à l'ensemble du périmètre de la francilienne en situation de fond. **Les gains estimés sont de 7.5 µg/m³ en moyenne dans la zone intra A86 et atteignent plus de 25 µg/m³ à proximité des axes majeurs Parisiens**.

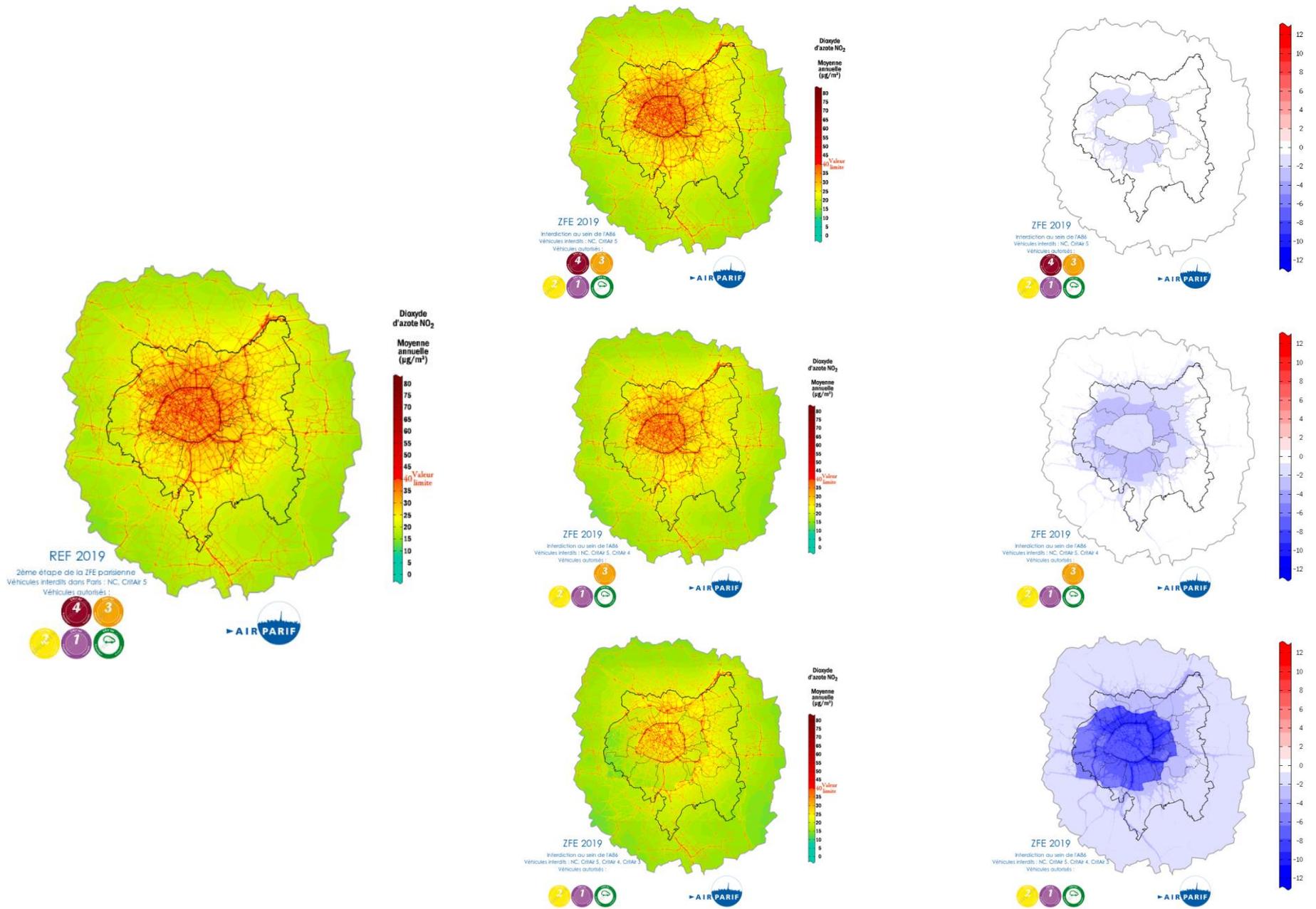


Figure 24 : Cartographies des niveaux annuels de NO₂ (en µg/m³), dans le périmètre de la Francilienne, pour la situation de référence (à gauche) et les trois scénarios de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre les scénarios et la situation de référence (à droite).

Les Figure 25 et Figure 26 illustrent respectivement les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5}, pour la situation de référence et avec mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine.

Les concentrations de particules PM₁₀ et PM_{2.5} diminuent de manière moins importante que celles modélisées pour le NO₂. En effet, compte-tenu de la part moins importante du trafic routier dans les émissions régionales de particules, et de la réduction plus faible des émissions liées à la modernisation du parc, les gains sur les concentrations de PM₁₀ et PM_{2.5} sont relativement faibles par rapport à ceux du NO₂.

Les gains en concentrations de PM₁₀ et PM_{2.5} augmentent avec le niveau de restriction par rapport à la situation de référence, à proximité du trafic routier et en situation de fond. Le périmètre d'impact de la ZFE sur les concentrations de fond s'étend au fil des scénarios. Ainsi, le scénario C, le plus restrictif, engendre des gains en concentrations sur l'ensemble du périmètre de la francilienne, bien au-delà de celui de la ZFE.

La différence des teneurs en particules (PM₁₀, Figure 25 ; PM_{2.5}, Figure 26) entre le scénario A de ZFE et le cas de référence est peu significative, notamment en situation de fond. Une légère baisse est observée à proximité immédiate des principaux axes routiers, où elle atteint moins de 1 µg/m³ pour les PM₁₀ et PM_{2.5}.

Les baisses de concentrations engendrées par **les scénarios B et C** sont légèrement plus marquées. **En moyenne sur l'ensemble du périmètre de la ZFE, les gains sont de moins de 1 µg/m³ en PM₁₀ et PM_{2.5} ; ils atteignent respectivement plus de 2 µg/m³ et 1.5 µg/m³ en proximité des principaux axes routiers.**

Plus la restriction touche de véhicules, plus le renouvellement du parc technologique entraîne une diminution importante des niveaux de NO₂ au sein de la ZFE et également en dehors avec le renouvellement des véhicules en lien avec la ZFE (à destination ou en transit par la ZFE). Ce constat est naturellement vrai à proximité du trafic routier, très marqué sur les axes routiers majeurs, mais également en situation de fond.

L'effet de la ZFE est également positif du point de vue des particules PM₁₀ et PM_{2.5}.

Il est important de noter que **les trois scénarios de ZFE conduisent, en tout point du territoire, à des baisses des concentrations**, et ce, quel que soit le polluant considéré.

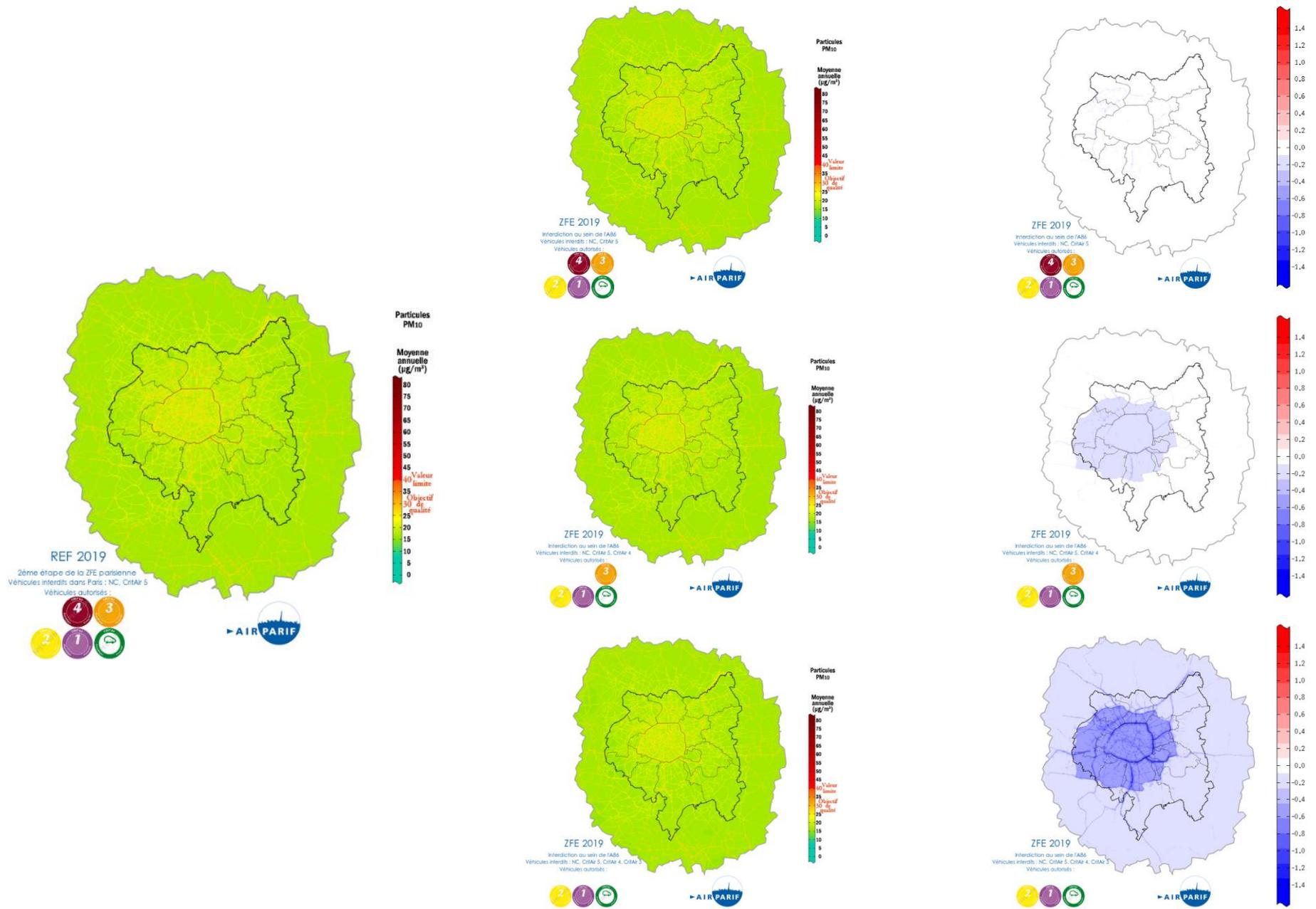


Figure 25 : Cartographies des niveaux annuels de PM₁₀ (en µg/m³), dans le périmètre de la Francilienne, pour la situation de référence (à gauche) et les trois scénarios de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre les scénarios et la situation de référence (à droite)

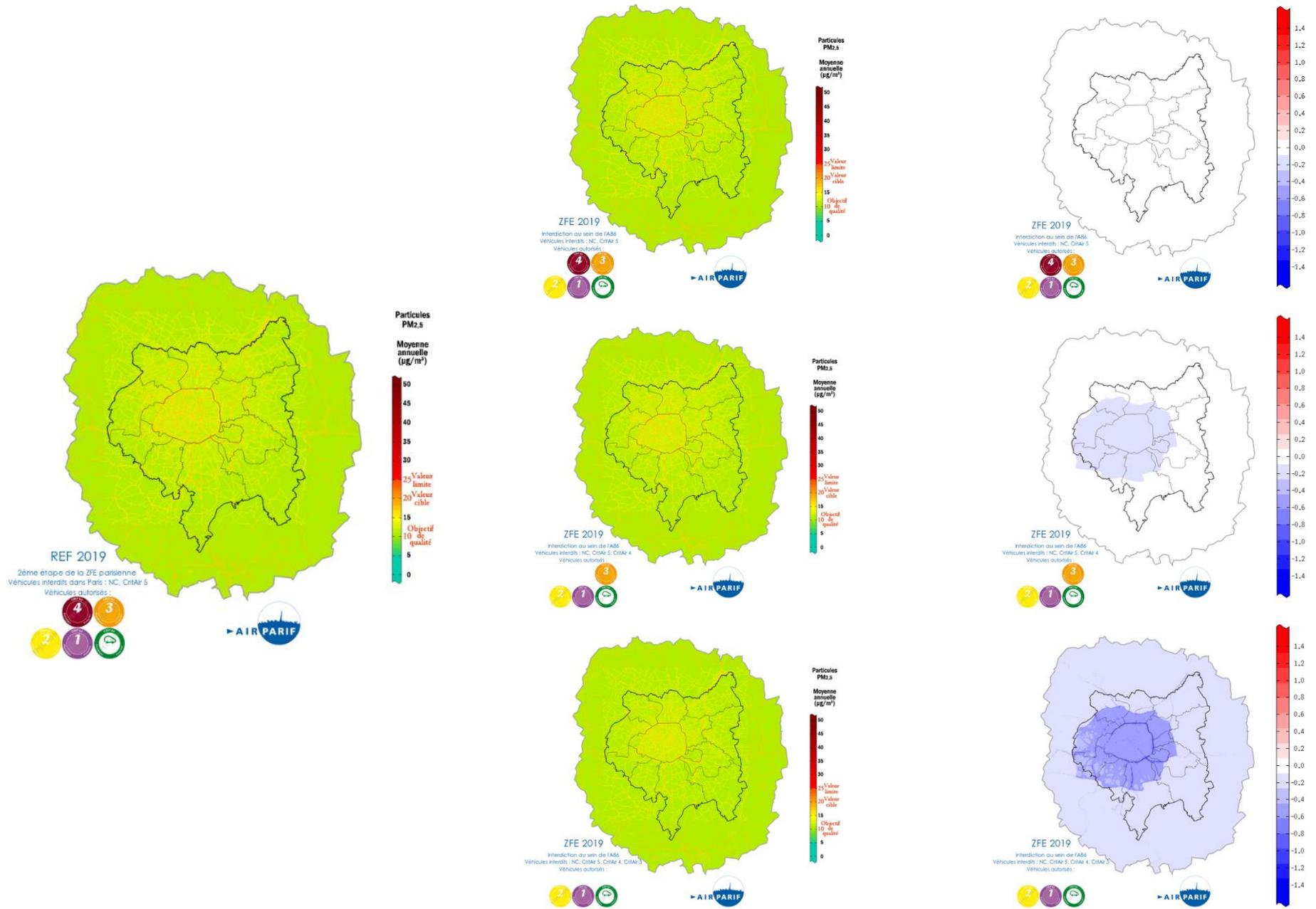


Figure 26 : Cartographies des niveaux annuels de PM_{2,5} (en µg/m³), dans le périmètre de la Francilienne, pour la situation de référence (à gauche) et les trois scénarios de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre les scénarios la situation de référence (à droite)

5.2. Indicateurs d'exposition

5.2.1. Exposition de la population

Afin d'évaluer l'impact de la mise en œuvre de la ZFE, une estimation de la population exposée aux différentes concentrations de polluants atmosphériques a été réalisée pour chaque scénario.

5.2.1.1. Exposition de la population par classe de concentration

Les cartographies des concentrations, croisées avec les données de population spatialisées à haute résolution, permettent d'estimer le nombre d'habitants¹⁴ potentiellement exposés suivant les différentes classes de concentrations. Ces estimations sont réalisées pour le cas de référence et les différents scénarios de ZFE.

La Figure 27 présente le nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris potentiellement exposés à la pollution atmosphérique en fonction des concentrations de dioxyde d'azote en 2019 pour le cas de référence et les trois scénarios de ZFE.

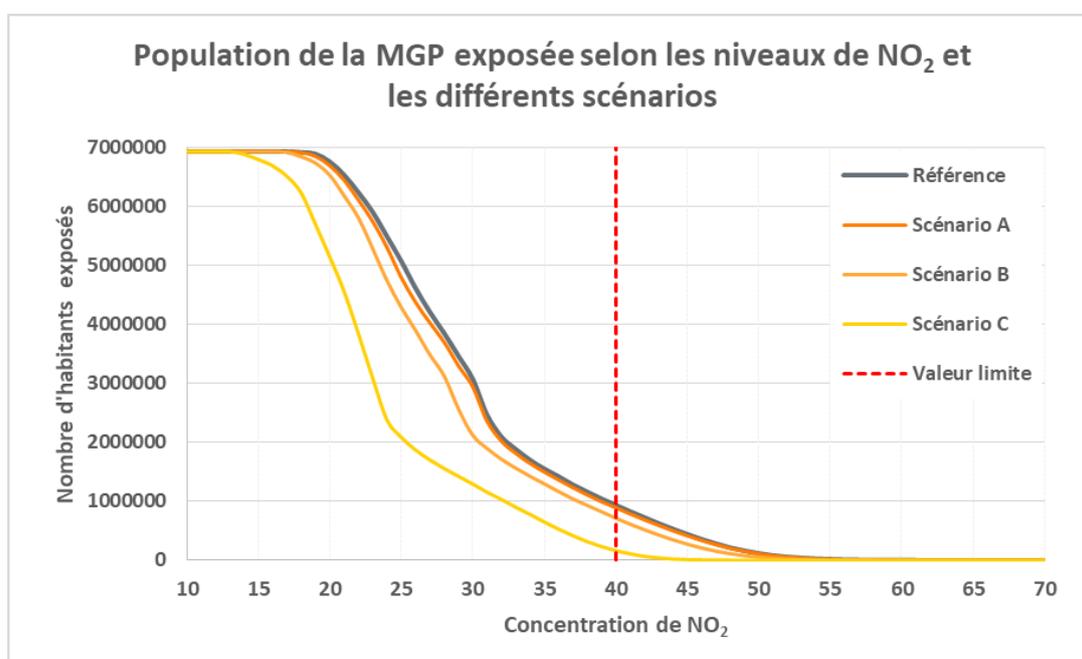


Figure 27 : Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris selon les concentrations de NO₂. La valeur limite réglementaire d'exposition au NO₂ en moyenne annuelle (40 µg/m³) est représentée en pointillés rouges.

La courbe du **scénario A est quasiment confondue avec celle de la situation de référence, traduisant des gains limités en termes d'exposition de la population dans la MGP pour ce scénario.** Ceci est cohérent avec l'existence de la ZCR parisienne mise en place précédemment.

La figure de l'Annexe 7 présente la courbe d'exposition relative au « Fil de l'eau » 2019 (i.e. situation en 2019 sans mise en place d'une ZCR parisienne) permet de mettre en évidence les gains en nombre d'habitants exposés liés à la mise en œuvre de la ZCR parisienne.

¹⁴ Les données de population résidente sont produites par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France (IAU).

Dans la situation « Fil de l'eau » 2019, environ 3 400 000 habitants de la Métropole sont exposés à des niveaux d'au moins 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 ; dans le cas de référence, ceux sont près 3 100 000 métropolitains exposés à ces niveaux. La mise en œuvre du scénario A de ZFE engendre un gain de près de 200 000 personnes, soit environ 6 % de personnes en moins exposées à ces niveaux de NO_2 . Le scénario C permet de réduire le nombre de métropolitains exposés à ce niveau à 1 300 000, soit un gain de 58 %.

La concentration minimale de NO_2 à laquelle est soumise la quasi-totalité des résidents métropolitains est de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la situation de référence, contre 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le scénario A, 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le scénario B intermédiaire, et 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le cas du scénario C le plus restrictif.

Les effets de la ZFE sur l'exposition de la population aux PM_{10} et aux $\text{PM}_{2.5}$ ont été analysés par rapport aux recommandations de l'OMS (respectivement 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La valeur limite annuelle réglementaire française (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), étant respectée en niveau de fond pour ces deux polluants sur le territoire francilien. Les valeurs préconisées par l'OMS, largement inférieures aux valeurs réglementaires, sont les concentrations en-dessous desquelles aucun effet nuisible n'est observé sur la santé et l'environnement.

Les gains en population exposée aux PM_{10} et aux $\text{PM}_{2.5}$ sont moins importants que ceux estimés pour le NO_2 . Tant pour les PM_{10} (Figure 28) que pour les $\text{PM}_{2.5}$ (Figure 29), les courbes des scénarios A et B de ZFE et de la situation de référence sont quasiment superposées. Pour les particules PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$, la situation « fil de l'eau » et le cas de référence sont quasiment identiques, les gains en concentrations de particules apportés par la ZCR parisienne de niveau « Crit'Air 5 » étant faibles.

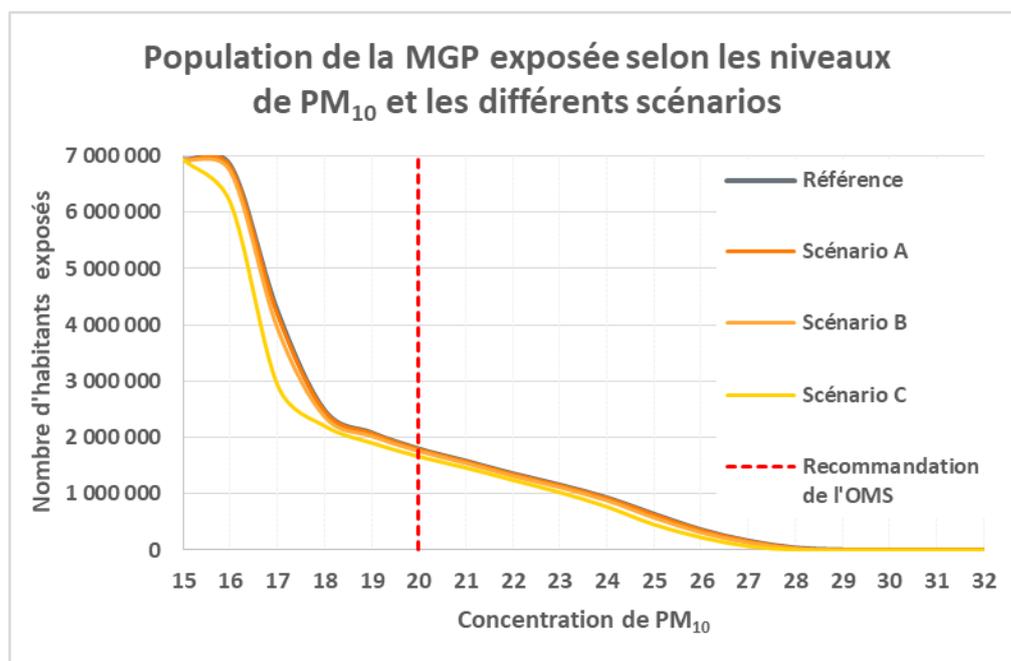


Figure 28 Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris selon les concentrations de PM_{10} . La recommandation de l'OMS (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) est représentée en pointillés rouges.

La concentration minimale de PM_{10} à laquelle est soumise la quasi-totalité des résidents métropolitains est de 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la situation de référence contre 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le cas du scénario C le plus restrictif (Figure 28).

Dans le cas de référence, environ 4 200 000 métropolitains sont exposés à des niveaux d'au moins 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le scénario A ne permet pas de réduire ce nombre de personnes de manière significative ; en revanche, les scénarios B et C permettent d'atteindre respectivement 4 000 000 et 3 000 000 d'habitants exposés à ces niveaux au sein de la MGP, soit un gain de 5 % et de quasi 30 %.

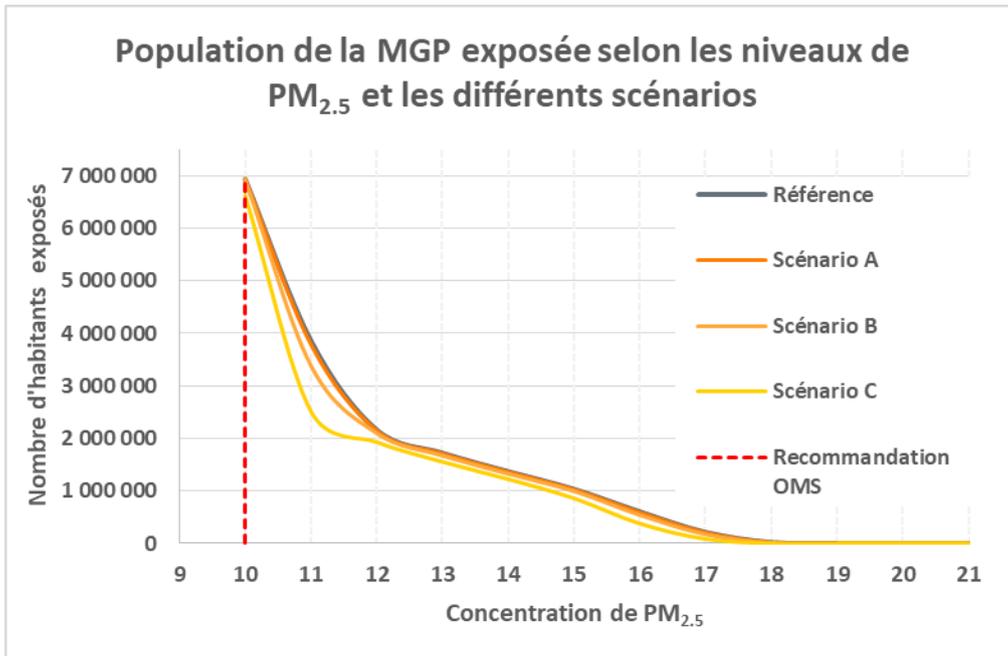


Figure 29 : Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris (MGP) selon les concentrations de PM_{2.5}. Les pointillés rouges correspondent à l'objectif de qualité (10 µg/m³ en moyenne annuelle)

Dans la situation de référence, près de 4 000 000 de métropolitains sont exposés à une concentration de PM_{2.5} d'au moins 11 µg/m³. La mise en œuvre du scénario B de ZFE permet de diminuer de 500 000 ce nombre d'habitants exposés ; le scénario C permet de le réduire à 2 500 000 personnes, soit une baisse de près de 40 % (Figure 29).

5.2.1.2. Exposition de la population au-delà des normes

Afin d'illustrer les gains d'exposition des Métropolitains, une comparaison aux normes en vigueur est réalisée. Les résultats sont présentés de la manière suivante (cf. figure ci-dessous) : le nombre de personnes exposées dans la zone concernée pour la situation de référence est représenté par le total (barres orange et grise) ; le gain de population exposée dans la zone suite à la mise en place du scénario de ZFE est figuré en orange.

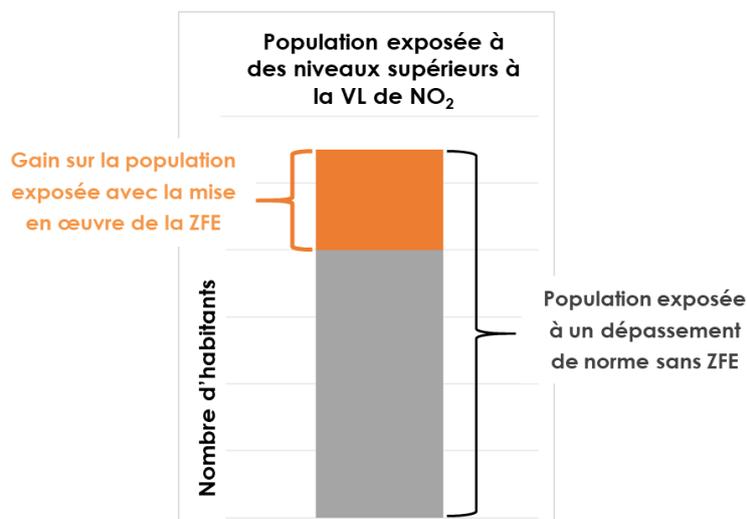


Figure 30 : Présentation de l'indicateur de population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ pour la situation de référence et gain sur la population engendré par la mise en œuvre de la ZFE.

Pour le **dioxyde d'azote**, le **gain de population exposée, au regard de la valeur limite**, induit par la mise en œuvre de la ZFE métropolitaine **varie entre 40 000 personnes (5 %, scénario A) et 700 000 personnes (87 % scénario C) au sein de la MGP** (Figure 31).

Pour le **scénario A**, le gain étant quasi nul dans Paris, du fait de l'existence de la ZCR parisienne, il concerne plus précisément **40 000 personnes dans la MGP hors Paris**. Ainsi, **rapporté au nombre d'habitants exposés au sein de cette zone, le gain relatif est de 15 %**.

De la même manière, en considérant le **gain de population exposée au sein de la MGP hors Paris** par rapport au nombre de personnes exposées dans cette zone dans le cas de référence, le **scénario B permet de diminuer l'exposition de la population de 44 %, et le scénario C engendre un gain de 92 %**.

La population exposée à des dépassements de la valeur limite en NO₂ et les gains apportés par le dispositif évalué à l'échelle de l'Île-de-France sont les mêmes que ceux concernant la population au sein de la MGP. Cela signifie que la quasi-totalité de la population francilienne exposée à des concentrations au-dessus des normes réside au sein du périmètre métropolitain.

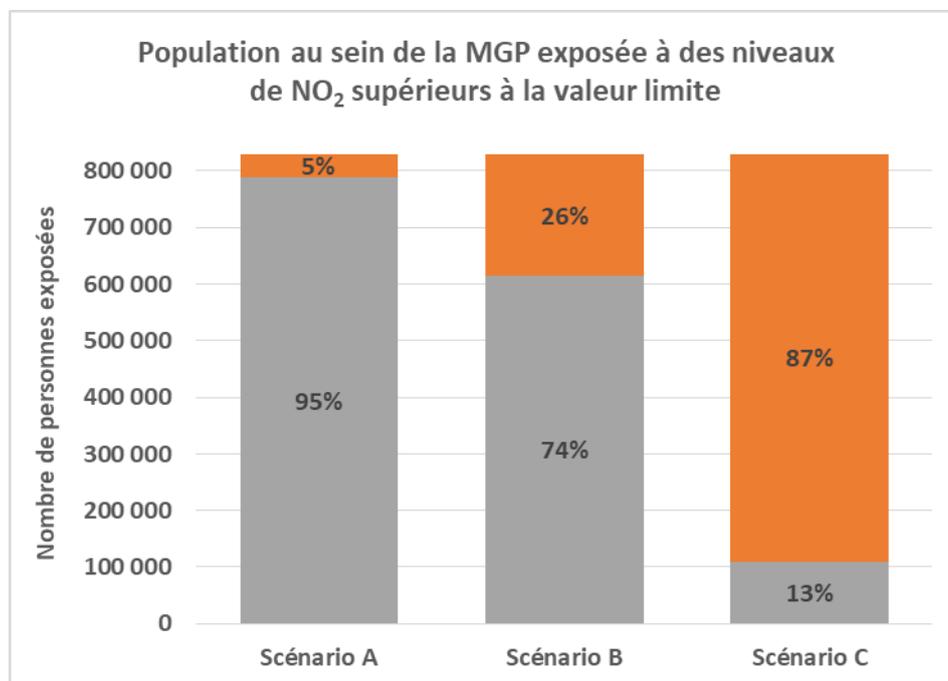


Figure 31 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ (40 µg/m³) résidant dans la Métropole du Grand Paris (MGP) pour les différents scénarios de ZFE.

L'Annexe 8 illustre les baisses de population exposée au sein de la MGP à des dépassements de la valeur limite relative au dioxyde d'azote NO₂, au regard de la situation « Fil de l'eau » 2019 (si aucune mesure de restriction du trafic routier n'avait été mise en place). Le scénario de référence, permettant un gain de 11 %, intègre la ZCR parisienne. Le scénario A de ZFE permettrait de baisser de 16 % le nombre de personnes exposées à des niveaux de NO₂ supérieurs à la valeur limite au sein de la MGP, soit environ 150 000 personnes. Le scénario B induirait une baisse de 34 % de métropolitains exposés à des niveaux de NO₂ supérieurs à 40 µg/m³, soit environ 320 000 personnes exposées en moins. Enfin, le scénario C engendrerait une baisse de 88 %, soit un gain de plus de 800 000 métropolitains exposés.

Concernant les particules PM₁₀, il est estimé dans le cadre de cette étude prospective, que la quasi-totalité de la population francilienne est exposée à des concentrations moyennes annuelles inférieures à la valeur limite annuelle de 40 µg/m³ et à l'objectif de qualité de 30 µg/m³. Le seuil choisi pour évaluer les gains d'exposition aux particules PM₁₀ est celui de 20 µg/m³ en moyenne annuelle, préconisé par l'OMS¹⁵. De même pour les PM_{2,5}, la valeur limite annuelle de 25 µg/m³ et la valeur cible de 20 µg/m³ sont respectées pour l'ensemble de la population francilienne. La valeur retenue pour estimer les gains est l'objectif de qualité de 10 µg/m³ correspondant à la recommandation de l'OMS. À noter que les effets des particules sur la santé étant sans seuil, tout gain de concentration est bénéfique.

Les gains relatifs à l'exposition aux particules PM₁₀ (Figure 32) et PM_{2,5} (Figure 33) induits par la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine sont limités en comparaison de ceux évalués pour le NO₂. Cela est lié d'une part aux gains moindres obtenus pour les particules sur les émissions et les concentrations dans l'air, et d'autre part au fait que **les gains d'exposition aux particules sont évalués par rapport à des seuils plus contraignants que la valeur limite et concernent donc plus de personnes exposées**. En effet, en NO₂, le nombre de personnes en dépassement dans la situation de référence à l'échelle de l'Ile-de-France est d'environ 830 000, contre 2 000 000 en PM₁₀ et 4 500 000 en PM_{2,5}, soit respectivement presque 2,5 fois et 5,5 fois plus de Franciliens.

Le gain de population exposée aux particules PM₁₀ au regard de la recommandation OMS est très faible dans le cas du scénario A et atteint **plus de 100 000 personnes lors du scénario C** (Figure 32).

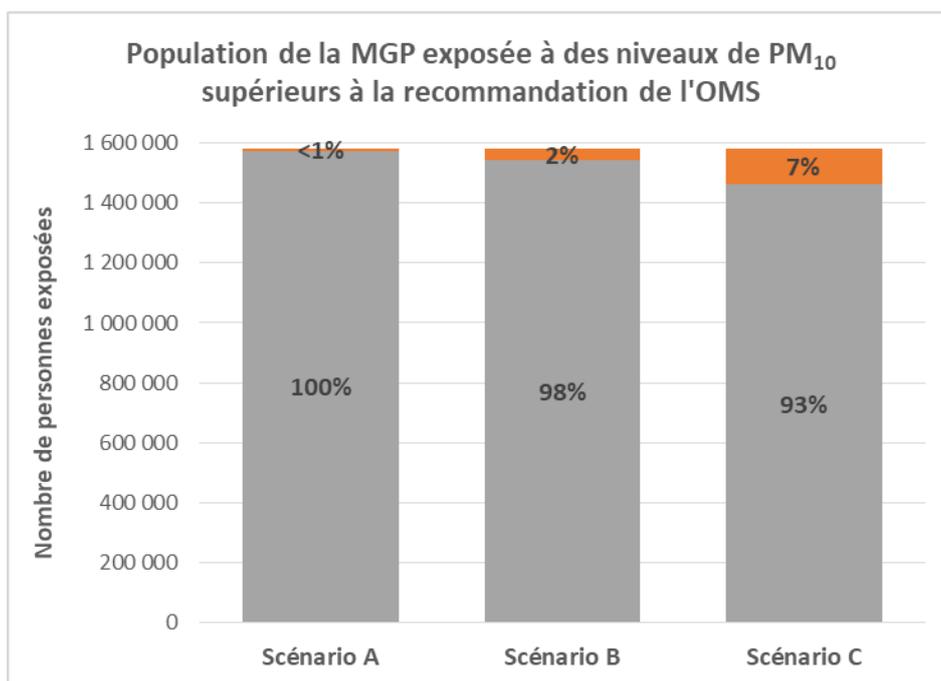


Figure 32 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM₁₀ (20 µg/m³ en moyenne annuelle) au sein de la MGP pour les différents scénarios de ZFE

Des gains modérés d'exposition sont également observés en dehors de la MGP où près de 500 000 personnes sont exposées à des teneurs de PM₁₀ supérieures à la recommandation OMS.

¹⁵ L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) recommande des niveaux d'exposition (concentrations et durées) au-dessous desquels il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation.

Les gains en population exposée à des niveaux de PM_{2.5} supérieurs à la recommandation OMS (10 µg/m³ en moyenne annuelle, correspondant à l'objectif de qualité en termes de normes françaises) sont plus importants que ceux observés pour les PM₁₀, notamment pour les scénarios B et C. Ils **varient entre 2 % dans le cas du scénario A et 35 % lors du scénario C le plus restrictif** (Figure 33). Le scénario B permet de réduire le nombre d'habitants exposés à des teneurs de PM_{2.5} supérieures à la recommandation OMS au sein de la MGP de plus de 450 000 ; le gain induit par le scénario C atteint plus de 1 300 000 personnes.

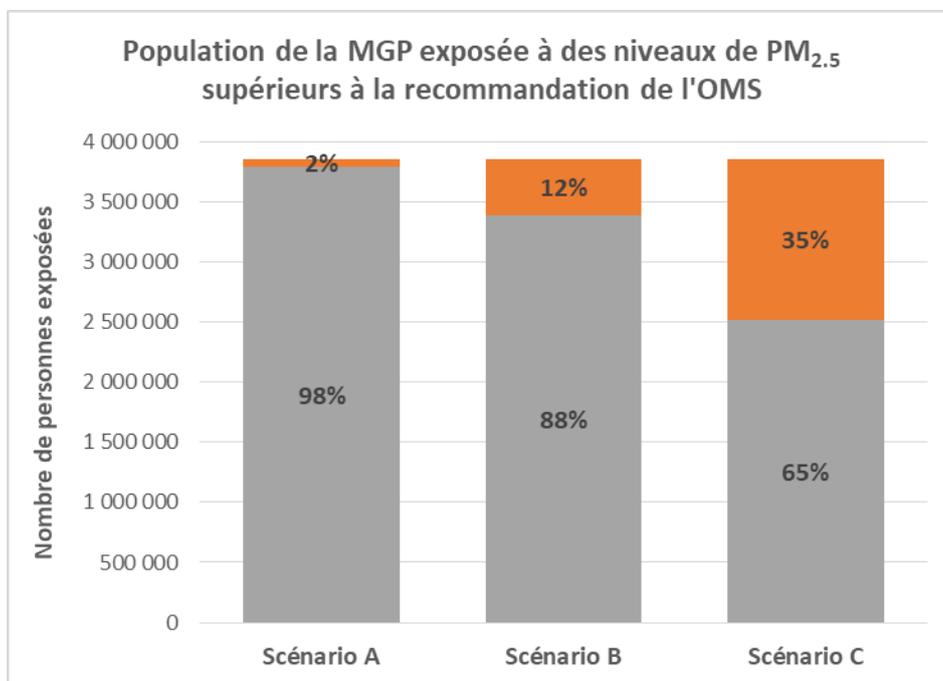


Figure 33 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM_{2.5} (10 µg/m³ en moyenne annuelle) au sein de la MGP pour les différents scénarios de ZFE

Des gains modérés d'exposition sont également observés en dehors de la MGP où près de 500 000 personnes sont exposées à des teneurs de PM_{2.5} supérieures à la recommandation OMS.

Quel que soit le polluant, la ZFE induit des gains en termes d'exposition des populations ; ils sont faibles dans le cas du scénario A et augmentent au fur et à mesure du niveau de restriction. Les gains les plus importants sont observés en NO₂ au sein de l'agglomération parisienne.

5.2.2. Qualité de l'air au droit des axes routiers

L'évolution du parc technologique du fait de la mise en œuvre de la ZFE engendre une diminution des concentrations en situation de fond et plus encore à proximité du trafic routier. Les teneurs de **dioxyde d'azote** modélisées à proximité immédiate du réseau routier permettent de mettre en relief **l'influence de la mise en œuvre d'une ZFE au plus près des émissions du trafic routier**, en bordure de voirie.

La Figure 34 illustre le pourcentage de voirie à Paris, au sein de la MGP et dans la région Ile-de-France dont les concentrations sont supérieures à la valeur limite en NO₂ pour la situation de référence et les trois scénarios de ZFE métropolitaine.

Dans le cas de référence, plus de deux tiers de la voirie parisienne présente des niveaux de NO₂ supérieurs à la valeur limite. Ceux sont près de 40 % et un peu plus de 10 % de voiries concernées par des dépassements de la valeur limite en NO₂ à l'échelle respectivement de la MGP et de l'Ile-de-France.

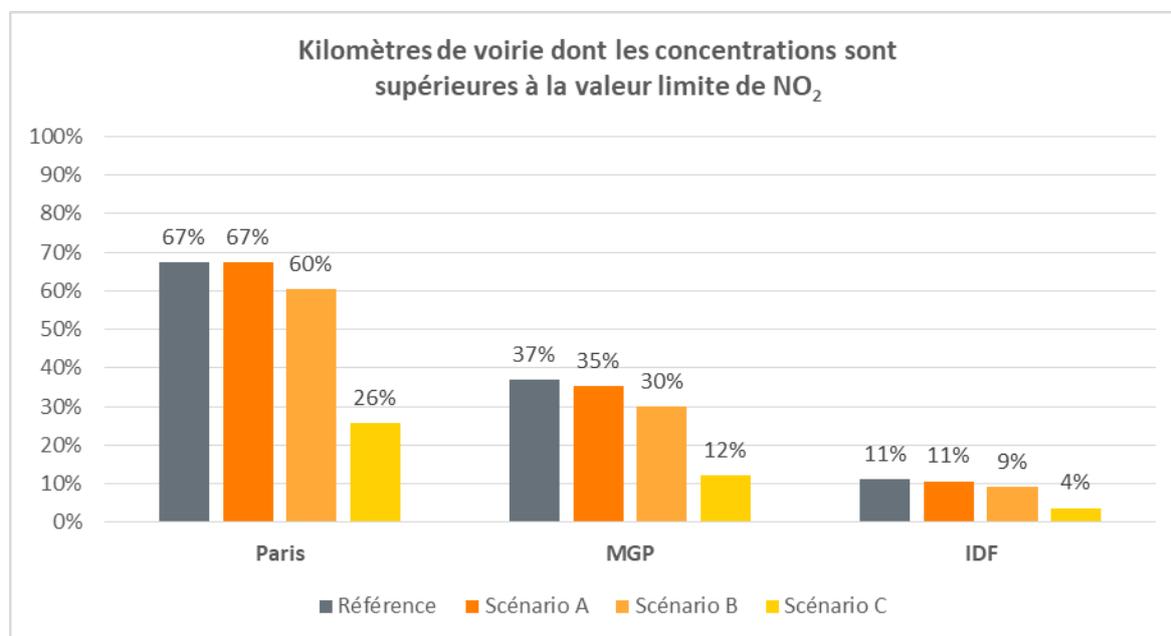


Figure 34 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (au milieu) et à l'échelle de la région (à droite) selon le cas de référence et les différents scénarios de ZFE

Le gain en NO₂ apporté en proximité du trafic par la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine est limité. Il permet d'abaisser à 35 % la part de voiries présentant des niveaux supérieurs à 40 µg/m³ au sein de la MGP. Plus précisément dans la zone MGP hors Paris, puisque la situation dans Paris n'évolue pas entre le cas de référence et le scénario A, les conditions de circulation y étant identiques.

La mise en œuvre du scénario B de ZFE permettrait d'abaisser à 30 % le pourcentage d'axes routiers en dépassement au sein de la MGP. Le scénario C permettrait de réduire la quantité de voiries présentant des niveaux supérieurs à la valeur limite de NO₂ à 26 % au sein de la capitale et 12 % dans la MGP.

Ainsi, sur les 1200 kilomètres de voiries dont les concentrations sont supérieures à la valeur limite en NO₂ dans le cas de référence **au sein de la MGP, ce sont 450 kilomètres qui ne seraient plus concernés par un dépassement de ce seuil avec la mise en œuvre du scénario C de ZFE.**

À l'échelle régionale, près 10 % du réseau routier présente des niveaux dépassant la valeur limite. Ces axes sont en grande partie situés au sein de l'agglomération parisienne. En effet, sur les 1400 kilomètres de voiries concernés par des dépassements sur le territoire francilien, 1200 sont situés dans le périmètre de la MGP ; ceux sont donc environ 200 kilomètres de voiries dont les niveaux sont au-dessus de la valeur limite en Ile-de-France hors MGP. Le scénario C de ZFE permet de réduire la part du réseau routier en dépassement dans cette zone à environ 50 kilomètres de voiries.

Concernant les **particules PM₁₀ et PM_{2.5}**, au regard des recommandations de l'OMS (respectivement de 20 µg/m³ et 10 µg/m³), **la situation en proximité immédiate du trafic évolue peu avec la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE**, que ce soit à l'échelle parisienne, métropolitaine ou régionale.

Au sein de la capitale, plus de 80 % du réseau routier modélisé présente des niveaux supérieurs à 20 µg/m³. Le scénario C le plus restrictif permet d'abaisser la part de voiries en dépassement de la recommandation OMS à 78 %.

Près de **70 % du réseau routier métropolitain modélisé dépasse le seuil préconisé par l'OMS en PM₁₀ dans le cas de référence. Le scénario C le plus restrictif permet d'abaisser à 65 %** la part de voiries présentant des niveaux supérieurs à 20 µg/m³, **réduisant de près de 100 le nombre de kilomètres concernés par des dépassements au sein de la MGP.**

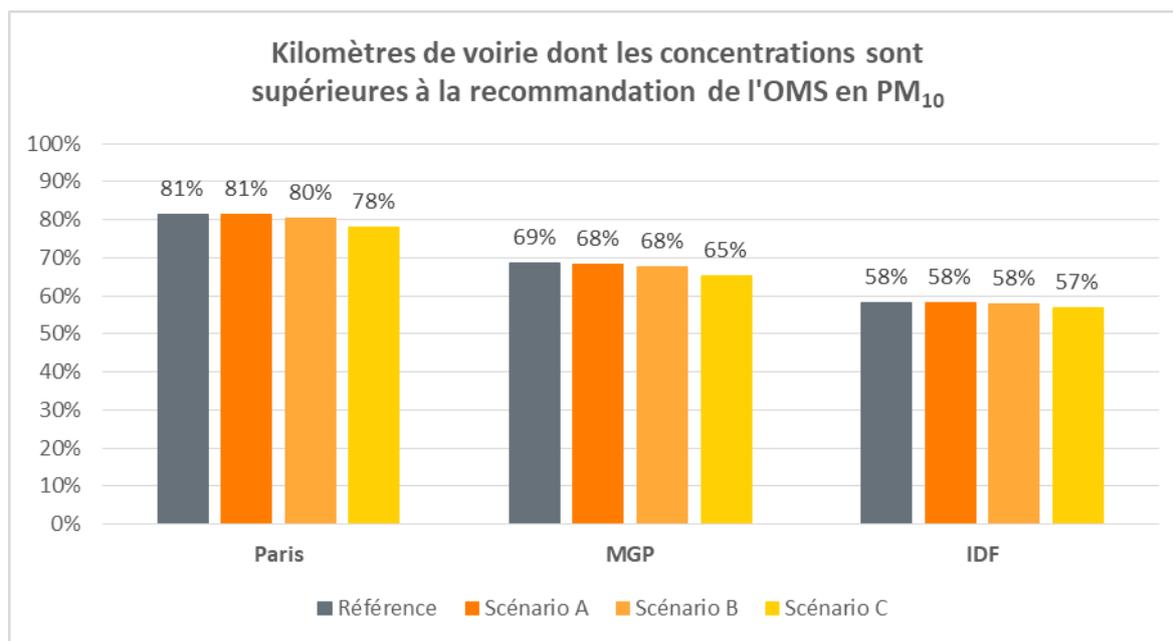


Figure 35 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM₁₀ à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (au milieu) et à l'échelle régionale (à droite) selon le cas de référence et les différents scénarios de ZFE.

Au niveau régional, près de 60 % des axes du réseau routier sont en dépassement, soit environ 6600 kilomètres de voiries. La ZFE ne permet pas de réduire la concentration suffisamment au niveau de ces axes routier pour respecter la recommandation OMS.

Pour les **PM_{2.5}**, la totalité du réseau routier parisien présente des niveaux supérieurs à 10 µg/m³ (objectif de qualité et seuil recommandé par l'OMS) ; à l'échelle de la MGP, ce sont plus de 90 % des kilomètres de voiries qui sont en dépassement de ce seuil.

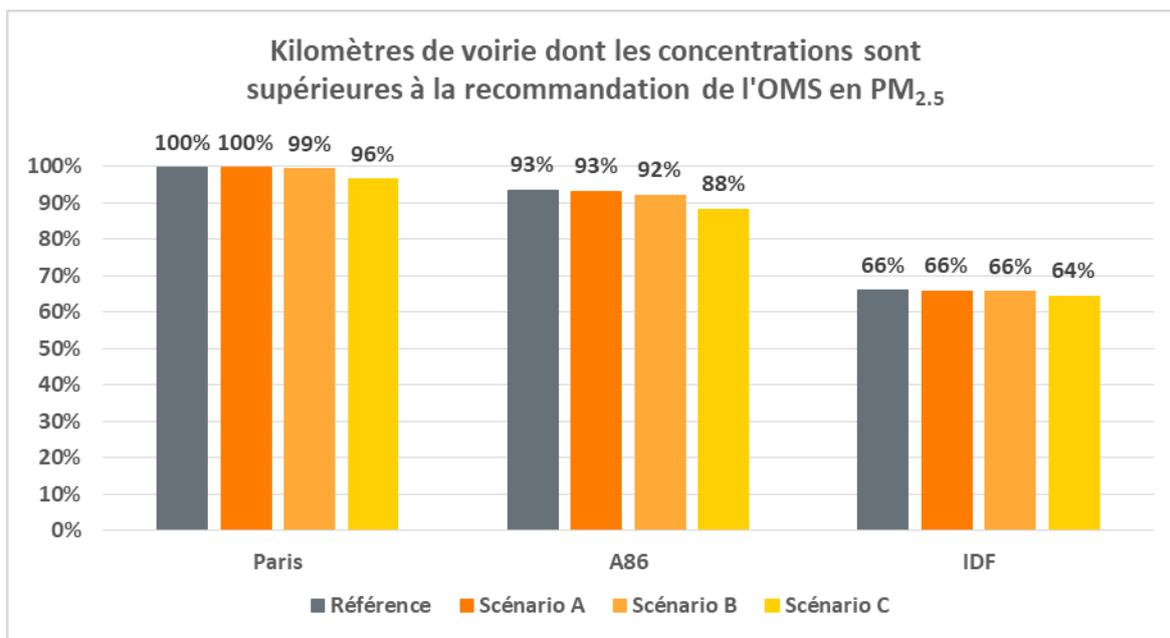


Figure 36 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM_{2.5} à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (au milieu) et à l'échelle régionale (à droite) selon le cas de référence et les différents scénarios de ZFE

La mise en place du **scénario C de ZFE permet d'abaisser à 88 %** la part de voiries présentant des niveaux supérieurs à la recommandation OMS, soit **un gain de 160 kilomètres de voirie au sein de la MGP**.

Deux tiers du réseau routier francilien modélisé présente des concentrations supérieures à 10 µg/m³ ; la ZFE a peu d'impact à cette échelle. La quasi-totalité des kilomètres qui ne sont plus concernés par un dépassement de la recommandation OMS sont situés dans la MGP.

La mise en œuvre de la ZFE permet de réduire considérablement la part du réseau routier dépassant la valeur limite en NO₂, principalement au sein de la MGP, mais également au-delà. Les effets estimés pour l'exposition aux particules PM₁₀ et PM_{2.5} sont modérés ; ceci est lié au fait, d'une part, que les gains en émissions de particules et en concentrations dans l'air sont moindres que ceux estimés en NO₂ et, d'autre part, que l'exposition est évaluée par rapport à des seuils plus contraignants que pour la valeur limite. **Les gains en particules sont davantage concentrés au sein de l'agglomération parisienne.**

6. RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS

L'étude menée par Airparif s'inscrit dans le cadre du projet « Villes Respirables en cinq ans » piloté par la Métropole du Grand Paris (MGP), et auquel participent sept collectivités territoriales¹⁶. Elle fournit, pour les différents scénarios étudiés, les gains attendus en émissions et en concentrations de polluants atmosphériques, ainsi qu'en exposition de la population à des dépassements des valeurs réglementaires.

Les tableaux suivants présentent de façon synthétique les indicateurs obtenus pour les différents scénarios de ZFE métropolitaine, et pour la situation de référence (incluant la ZCR parisienne de niveau « Crit' Air 5 »).

Emissions de polluants		ZFE (intra A86)				Hors ZFE			
		NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂
Référence	Emission (tonnes)	8 900	830	560	3 715 000	27 400	2 800	1 950	11 155 000
Scénario A	Emission (tonnes)	8 600	800	550	3 700 000	27 000	2 800	1 900	11 150 000
	Baisses (%)	3%	2%	3%	1%	2%	1%	1%	<1%
Scénario B	Emission (tonnes)	7 600	760	500	3 625 000	25 600	2 700	1 850	11 060 000
	Baisses (%)	14%	8%	11%	2%	6%	3%	5%	1%
Scénario C	Emission (tonnes)	5 000	600	350	3 410 000	22 750	2 500	1 630	10 840 000
	Baisses (%)	44%	28%	39%	8%	17%	11%	16%	3%

Figure 37 : Tableau récapitulant les émissions liées au trafic routier et les baisses engendrées par les différents scénarios de ZFE

Les gains apportés par la mise en œuvre d'une ZFE métropolitaine sur les différents indicateurs sont plus conséquents pour le NO_x¹⁷ que pour les particules PM_{2.5} et PM₁₀. Cela provient essentiellement du fait que la contribution du trafic routier aux émissions régionales de NO_x est plus importante que pour les particules. Ainsi, les actions prises pour réduire les émissions de NO_x ont proportionnellement plus d'impact sur les niveaux de dioxyde d'azote que sur ceux des particules.

Par conséquent, **des actions complémentaires seront nécessaires, y compris sur d'autres secteurs émetteurs que le trafic routier, pour faire baisser les niveaux** en-deçà des valeurs limites et des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé sur les particules.

Population exposée (NO ₂ > 40µg/m ³)		MGP	IDF
Référence	Nombre d'habitants	830 000	830 000
Scénario A	Nombre d'habitants	790 000	790 000
	Baisses (%)	5%	5%
Scénario B	Nombre d'habitants	615 000	615 000
	Baisses (%)	26%	26%
Scénario C	Nombre d'habitants	110 000	110 000
	Baisses (%)	87%	87%

Figure 38 : Tableau de synthèse de l'exposition de la population au NO₂ selon les trois scénarios de ZFE

¹⁶ La Ville de Paris, les Établissements Publics Territoriaux Grand Paris Seine Ouest, Plaine Commune, Est Ensemble, Grand Orly Seine Bièvre et les départements de Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne

¹⁷ Oxydes d'azote dans le cas des émissions.

Les effets estimés pour le scénario A sont positifs mais limités, et principalement localisés dans le périmètre de mise en œuvre de la ZFE (intra A86). Les gains estimés dans le cas du scénario A de ZFE métropolitaine sont essentiellement localisés dans la ZFE hors Paris, la ZCR parisienne étant actuellement en place.

Les deux autres scénarios de ZFE engendrent des gains plus importants atteignant 44 % de baisses en émissions de NO_x au sein de la MGP, 39 % et 28 % pour les particules PM_{2,5} et PM₁₀ respectivement pour le scénario C le plus restrictif.

Concernant l'exposition de la population à des niveaux supérieurs à la valeur limite en NO₂, les gains sont concentrés dans l'agglomération parisienne, la quasi-totalité des personnes exposées résidant dans cette zone.

Quel que soit le scénario de ZFE considéré, des effets positifs sont évalués au sein de la ZFE et au-delà de ce périmètre. L'importance des gains est fonction du niveau de restriction de circulation.

Les gains ont été évalués en considérant l'état « actuel » au lancement de l'étude (i.e. une restriction de circulation des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 » dans Paris) comme état de référence. Or, la Mairie de Paris prévoit d'étendre la restriction de circulation aux véhicules « Crit'Air 4 » dans Paris en juillet 2019. Ainsi, **les gains réellement apportés par le dispositif global (ZCR parisienne « Crit'Air 4 » et ZFE métropolitaine « Crit'Air 5 ») seront supérieurs à ceux estimés dans cette étude.**

La mise en œuvre d'une ZFE métropolitaine, positive pour la qualité de l'air, permet d'**initier un changement de comportement des Franciliens quant à leur(s) mode(s) de déplacements.** Elle être **s'inscrit dans un dispositif plus global visant à limiter la dépendance à la voiture individuelle** afin de réduire les émissions de polluants associées au trafic routier (responsable de 54 % des émissions métropolitaine de NO_x, et 30 % de celles de particules PM₁₀ et PM_{2,5}).

ANNEXES

Annexe 1

Classification des véhicules selon la nomenclature Crit'Air

Classe	2 ROUES, TRICYCLES ET QUADRICYCLES À MOTEUR	VOITURES	VÉHICULES UTILITAIRES LÉGERS	POIDS LOURDS, AUTOBUS ET AUTOCAR
Électrique	Véhicules électriques et hydrogène			
1	Véhicules gaz Véhicules hybrides rechargeables			

Classe	DATE DE PREMIÈRE IMMATRICULATION ou NORME EURO						
	2 ROUES, TRICYCLES ET QUADRICYCLES À MOTEUR	VOITURES		VÉHICULES UTILITAIRES LÉGERS		POIDS LOURDS, AUTOBUS ET AUTOCAR	
		Diesel	Essence	Diesel	Essence	Diesel	Essence
1	EURO 4 À partir du : 1 ^{er} janvier 2017 pour les motocycles 1 ^{er} janvier 2018 pour les cyclomoteurs	-	EURO 5 et 6 À partir du 1 ^{er} janvier 2011	-	EURO 5 et 6 À partir du 1 ^{er} janvier 2011	-	EURO VI À partir du 1 ^{er} janvier 2014
2	EURO 3 du 1 ^{er} janvier 2007 au : 31 décembre 2016 pour les motocycles 31 décembre 2017 pour les cyclomoteurs	EURO 5 et 6 À partir du 1 ^{er} janvier 2011	EURO 4 du 1 ^{er} janvier 2006 au 31 décembre 2010	EURO 5 et 6 À partir du 1 ^{er} janvier 2011	EURO 4 du 1 ^{er} janvier 2006 au 31 décembre 2010	EURO VI À partir du 1 ^{er} janvier 2014	EURO V du 1 ^{er} octobre 2009 au 31 décembre 2013
3	EURO 2 du 1 ^{er} juillet 2004 au 31 décembre 2006	EURO 4 du 1 ^{er} janvier 2006 au 31 décembre 2010	EURO 2 et 3 du 1 ^{er} janvier 1997 au 31 décembre 2005	EURO 4 du 1 ^{er} janvier 2006 au 31 décembre 2010	EURO 2 et 3 du 1 ^{er} octobre 1997 au 31 décembre 2005	EURO V du 1 ^{er} octobre 2009 au 31 décembre 2013	EURO III et IV du 1 ^{er} octobre 2001 au 30 septembre 2009
4	Pas de norme tout type du 1 ^{er} juin 2000 au 30 juin 2004	EURO 3 du 1 ^{er} janvier 2001 au 31 décembre 2005	-	EURO 3 du 1 ^{er} janvier 2001 au 31 décembre 2005	-	EURO IV du 1 ^{er} octobre 2006 au 30 septembre 2009	-
5	-	EURO 2 du 1 ^{er} janvier 1997 au 31 décembre 2000	-	EURO 2 du 1 ^{er} octobre 1997 au 31 décembre 2000	-	EURO III du 1 ^{er} octobre 2001 au 30 septembre 2006	-
Non classés	Pas de norme tout type Jusqu'au 31 mai 2000	EURO 1 et avant Jusqu'au 31 décembre 1996	EURO 1 et avant Jusqu'au 31 décembre 1996	EURO 1 et avant Jusqu'au 30 septembre 1997	EURO 1 et avant Jusqu'au 30 septembre 1997	EURO I, II et avant Jusqu'au 30 septembre 2001	EURO I, II et avant Jusqu'au 30 septembre 2001

Classification des véhicules selon la nomenclature Crit'Air – Arrêté du 21 juin 2016 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d'émission de polluants atmosphériques en application de l'article R. 318.2 du code de la route

Annexe 2

Description du modèle développé pour la reconstitution des concentrations en proximité du trafic

Il s'agit d'un modèle statistique construit à partir des résultats des modèles ADMS (modèle de dispersion atmosphérique) et HEAVEN (modèle de calcul des émissions du trafic routier) calculés dans le cadre de l'étude NO de la Mairie de Paris¹⁸. Ce jeu de données a servi d'entraînement au modèle pour reconstituer les gains en concentrations attendus lors de la mise en place de la ZFE.

Les concentrations sont reconstituées par régressions linéaires, en chaque maille du domaine. Le modèle permet de reconstituer les concentrations :

- pour les mailles directement influencées par le trafic (i.e. lorsque qu'un brin de route traverse la maille)
- pour les mailles influencées par le trafic (i.e. lorsqu'une route se situe à moins de 300 m).

Pour les premières, la régression linéaire est faite directement entre des différences en émissions et des différences en concentrations. Les différences, en émissions comme en concentrations, sont le résultat d'un scénario ZFE auquel est soustrait le scénario fil de l'eau. Elles permettent de reconstituer les gains en concentrations attendus par la mise en place de la ZFE, pour chaque scénario étudié, par rapport au scénario de référence. Le calcul de l'écart type permet de reconstituer les concentrations en y associant un intervalle de confiance (Figure 39).

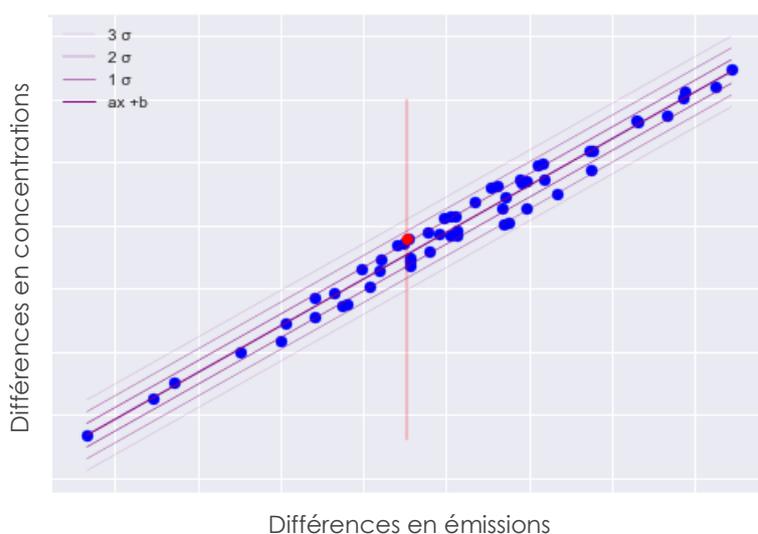


Figure 39 : Exemple de régression linéaire sur une maille de proximité au trafic. Le point rouge est la différence en concentration que le modèle cherche à reconstituer à partir de la différence en émissions connue (ligne rouge). Les points bleus sont les scénarios ayant servi à l'entraînement du modèle. Les différentes lignes violettes parallèles à la régression linéaire représentent les intervalles de confiance associés à la prédiction du modèle pour la maille considérée.

Concernant les mailles influencées, leurs émissions de trafic étant nulles, il n'est pas possible de faire un lien direct entre les données de concentration attendues et les données d'émissions de la maille. Un autre maillage, plus large, a été utilisé (Figure 40). Il permet d'avoir au moins un brin de route dans chaque maille, et donc une valeur en émissions.

¹⁸ Rapport Airparif, « Zone à Basses Émissions dans l'agglomération parisienne », mars 2018
http://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/Rapport_ZBE_2016-2019_070518.pdf

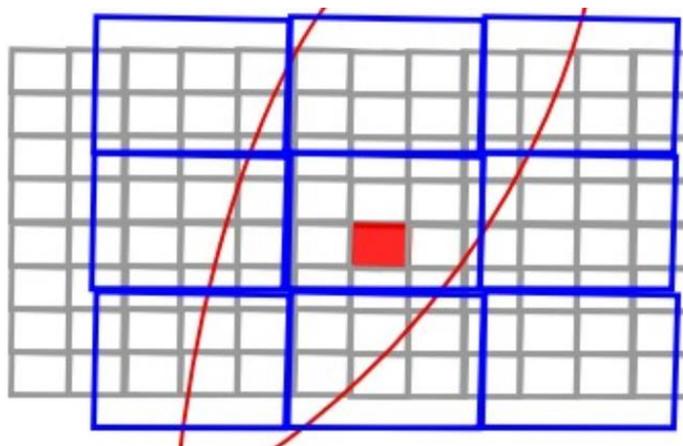


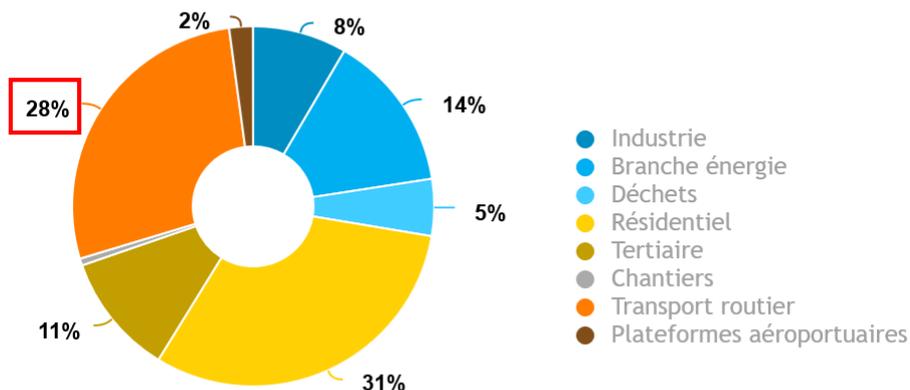
Figure 40 : Illustration du traitement des mailles influencées.

Dans l'exemple de la figure ci-dessus, pour déterminer les gains en concentrations | les émissions considérées sont celles de la maille bleue incluant la maille rouge. La régression linéaire est effectuée sur la maille bleue centrale et les huit mailles adjacentes. On obtient ainsi neuf facteurs à partir desquels est reconstitué le gain en concentrations de la maille rouge. Un intervalle de confiance est également déterminé par le calcul des écarts types.

Annexe 3

Émissions primaires de CO₂ par secteurs d'activité sur la Métropole du Grand Paris et détail des contributions au sein du trafic routier

CO₂ - Métropole du Grand Paris

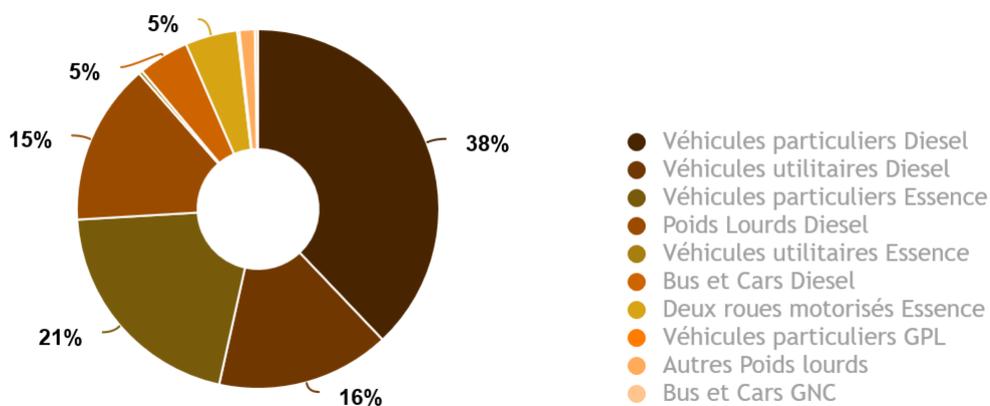


AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

Répartition des émissions - CO₂

2015 - Métropole du Grand Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

Annexe 4

Éléments méthodologiques relatifs à la modélisation de l'impact de la ZFE sur le trafic routier (source DRIEA)

L'étude de trafic réalisée par la DRIEA comporte trois objectifs :

- Fournir des résultats en termes de trafic exploitables par Airparif pour estimer les impacts des scénarios sur la qualité de l'air ;
- Estimer l'impact des scénarios sur les volumes de reports modaux de la route vers les transports en commun ;
- Analyser l'impact des scénarios sur les volumes et les conditions de trafic afin de mettre en avant d'éventuels risques de recharge du réseau à l'extérieur des périmètres (report de trafic).

Modèle de déplacements utilisé

La modélisation des déplacements est faite à l'aide du modèle régional MODUS de déplacements de la DRIEA. Ce modèle représente une moyenne horaire des déplacements en heure de pointe. Il repose sur des hypothèses de répartition de la population et des emplois dans la région, qui sont, dans le cadre de cette étude, des hypothèses aux horizons 2015 et 2020 transmises par le STIF en 2015.

Le modèle de déplacements de la DRIEA représente cartographiquement les charges présentes et futures des arcs routiers et des lignes de transports en commun de la région (plusieurs dizaines de milliers au total). Il peut faire ces projections à différents horizons temporels, prenant en compte les évolutions du réseau routier, les projets de transports en commun (métro, tramways, trains, RER, bus) et les développements de logements et de zones d'activités sur environ 1300 zones géographiques couvrant toute la région.

Pour l'étude de la zone à basses émissions, le modèle a été affiné en décrivant le parc automobile parisien et le parc automobile régional hors Paris, et en distinguant les déplacements concernés par les restrictions de circulation dans Paris.

Réseaux routier et de transports en commun

L'étude d'impact de la zone à basses émissions prend en compte la description du réseau de transport en commun ainsi que son évolution de 2015 à 2020.

Le réseau routier considéré correspond à une description mise à jour entre 2007 et 2013 pour la région francilienne, à l'exception du réseau routier parisien dont la description est plus moderne et correspond à sa situation en 2015.

Les projets affectant le réseau routier entre 2015 et 2020 (dont notamment la piétonisation de la voie sur berge rive droite, et les différents projets routiers à Paris) ne sont pas pris en compte dans l'étude.

Les scénarios de zone à faibles émissions

Une hypothèse majeure concernant le taux de renouvellement du parc automobile a été prise en compte dans cette étude pour chaque scénario de ZFE. Après concertation avec les différents partenaires, celui-ci a été fixé à 70 %, uniquement pour les flux de véhicules concernés par la ZFE et ayant leur origine et/ou leur destination dans la ZFE. Les véhicules en transit dans la ZFE (qui n'ont ni leur origine de déplacement ni leur destination dans la ZFE) ne sont pas renouvelés du fait de l'instauration de la mesure ; on suppose qu'un itinéraire ou un mode de déplacement alternatif est choisi pour les déplacements concernés.

Annexe 5

Sources de données relatives au parc technologique

Le **CITEPA** produit chaque année un état du parc technologique de l'année N-2 au niveau national. Ce parc présente les contributions au trafic routier français de chaque type de véhicule pour 3 typologies d'axes (urbain, route et autoroute). Ce parc de référence est utilisé d'une part par le CITEPA pour le calcul des émissions du trafic routier à l'échelle française mais aussi par la plupart des AASQA pour la construction des inventaires des émissions régionaux. Par ailleurs, le CITEPA propose la déclinaison prospective de ce parc avec une méthodologie cohérente.

Cette source de données présente les avantages d'être mise à jour annuellement aussi bien pour les années passées que pour les projections et constitue l'une des références pour le calcul des émissions aux échelles nationale et régionale. Cependant les parcs locaux peuvent sensiblement différer des parcs nationaux que ce soit sur la répartition des véhicules (parc statique) que sur leur usage (parc roulant).

L'**IFSTTAR** produit également des parcs technologiques à l'échelle nationale avec un niveau de précision (types de véhicules et d'axes) comparables à ceux du CITEPA. Ces données constituent également une référence au niveau français et alimentent l'outil de calcul des émissions HBEFA. Ces parcs existent également pour des états prospectifs. De la même manière que les parcs CITEPA, ces données nationales nécessitent d'être adaptées pour la description d'un parc local tel que celui de Paris.

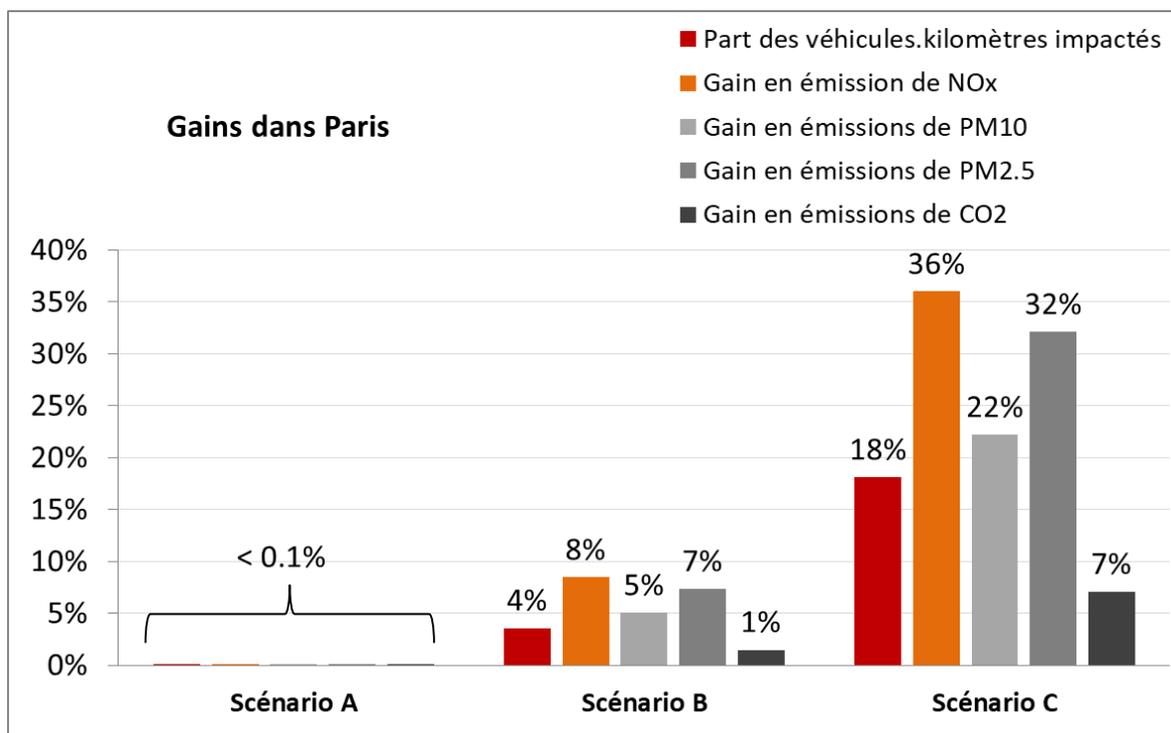
Par ailleurs, l'**IFSTTAR** a piloté le projet de recherche **ZAPARC** dont un but était d'améliorer la connaissance des parcs automobiles dans l'agglomération parisienne afin d'évaluer l'impact des scénarios de réduction de la pollution de l'air. Pour cela, des observations vidéos du trafic routier ont été réalisées en 2013 et ont permis d'échantillonner près de 560 000 véhicules sur 9 sites répartis à Paris, sur le boulevard périphérique, dans le département des Hauts-de-Seine ainsi que dans le département de la Seine-Saint-Denis sur des périodes d'observation allant de 2 à 10 jours. Les résultats de cette étude permettent donc de dresser directement des parcs aux échelles de Paris, du Boulevard Périphérique et de la banlieue parisienne.

En novembre 2014, la **Mairie de Paris** a fait réaliser une **enquête plaques** sur des points représentatifs de la circulation de Paris intra-muros et du Boulevard Périphérique. Près de 35 000 relevés de plaques exploitables ont été effectués manuellement et les caractéristiques des véhicules ont été déterminées après un rapprochement avec la base de données des certificats d'immatriculations, communément appelés « cartes grises ». Lors du relevé des plaques, la silhouette du véhicule a également été notée afin d'être validée après le travail de comparaison avec les données « cartes grises ». Le mode opératoire de cette enquête consistait à relever les plaques d'immatriculation à l'arrière des véhicules afin de caractériser également les deux-roues motorisés. Cette méthodologie n'était cependant pas adaptée à la caractérisation des camions car les semi-remorques disposent d'une plaque spécifique à l'arrière de la remorque et d'une plaque spécifique à l'avant du tracteur. Par conséquent, le relevé de plaques à l'arrière ne permet pas de caractériser les puissances et normes euro associées au tracteur des semi-remorques. Par ailleurs, aucun transport en commun n'a été relevé lors de cette étude. En conclusion, cette « enquête plaques » permet de disposer une bonne photographie du parc technologique parisien pour les véhicules particuliers, les véhicules utilitaires et les deux-roues motorisés. La caractérisation des poids lourds et des bus dans Paris doit cependant faire appel à une autre source de données.

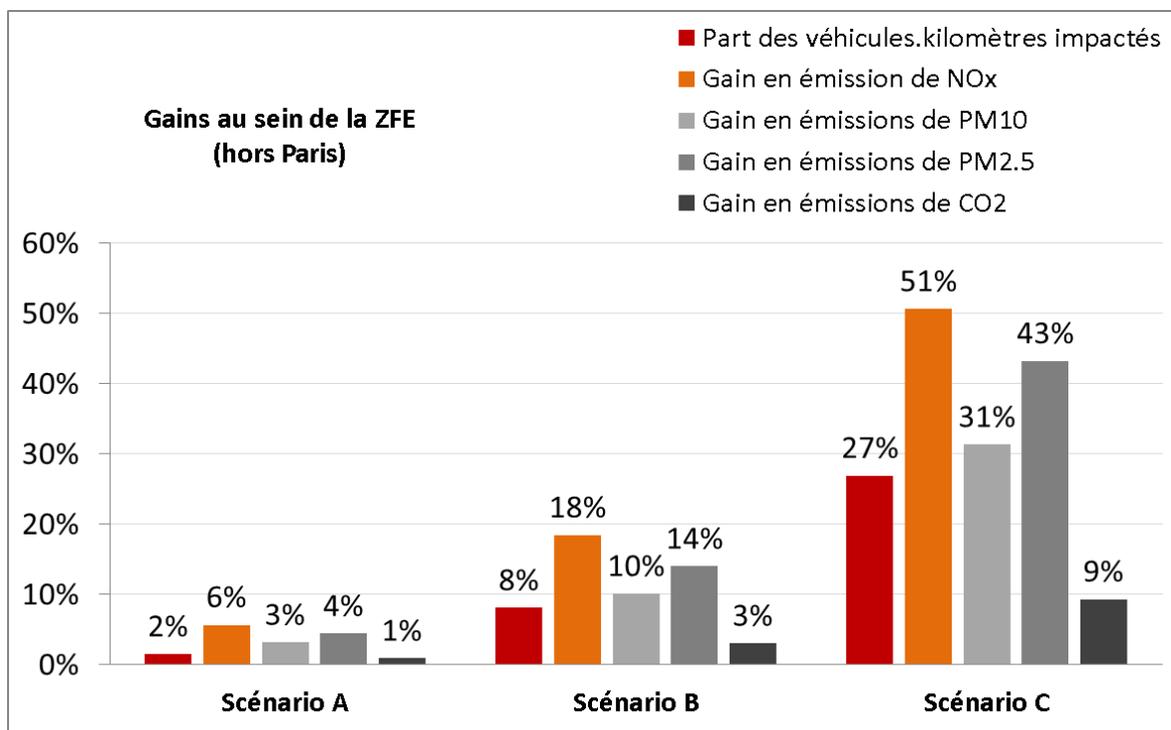
Dans le cadre de cette étude, **Ile-de-France Mobilités** a fourni les répartitions moyennes par norme euro des flottes de bus RATP et OPTILE de 2004 à 2014. Des éléments prospectifs liés au programme de renouvellement des bus et aux objectifs internes d'hybridation, de passage au gaz naturel et d'électrification des lignes de bus ont également été étudiés.

Annexe 6

Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, selon les différents scénarios de ZFE métropolitaine



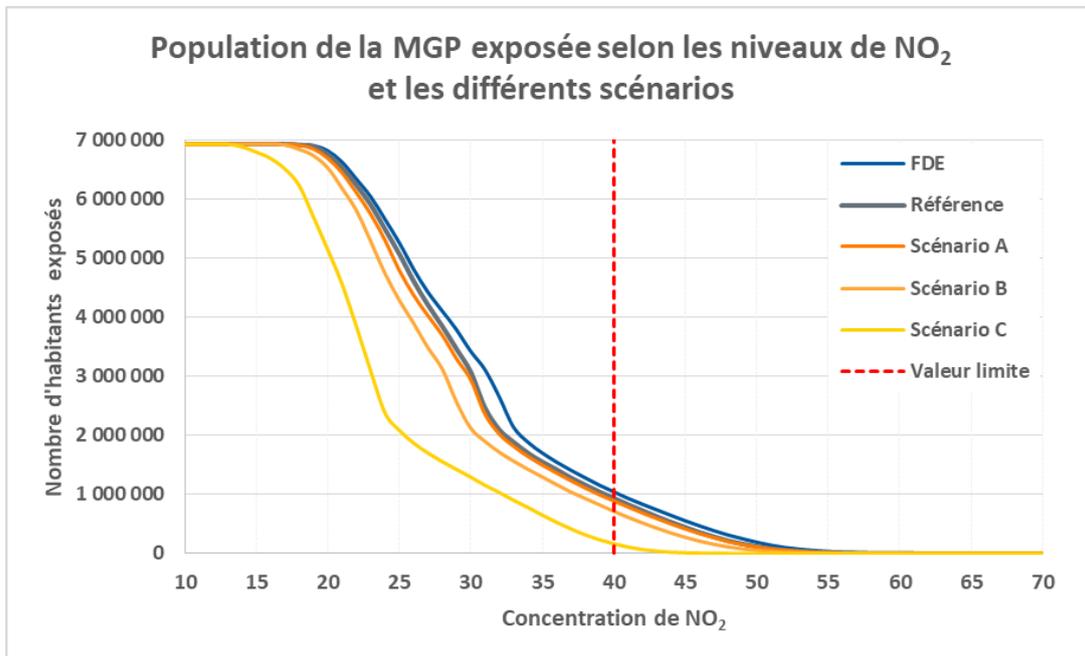
a) Dans Paris



b) Dans la zone intra A86 hors Paris

Annexe 7

Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris, selon les concentrations de NO₂. La valeur limite réglementaire d'exposition en NO₂ en moyenne annuelle (40 µg/m³) est représentée en pointillés rouges.



Annexe 8

Indicateurs de population exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ (40 µg/m³) au sein de la MGP, par rapport au « Fil de l'eau » 2019.

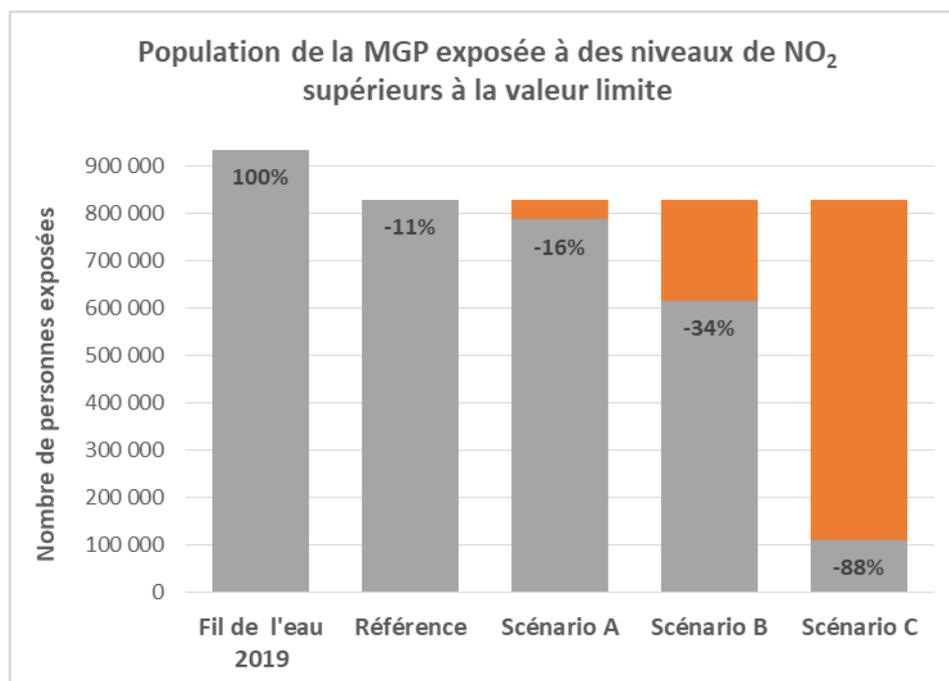


TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Axes routiers modélisés de la ZFE métropolitaine (en rouge) dans le périmètre délimité par l'autoroute urbaine A86	9
Figure 2 : Exemple du principe de modélisation des résultats de cartographie de la qualité de l'air (c) issus du croisement de la modélisation des niveaux de fond (a) et de l'impact issu du trafic routier (b).	10
Figure 3 : Nombre de jours de dépassement du seuil de 50 µg/m ³ en moyenne journalière pour les particules PM ₁₀ sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017....	14
Figure 4 : Concentration moyenne annuelle de particules PM ₁₀ sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.	15
Figure 5 : Concentration moyenne annuelle de particules PM _{2,5} sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.	16
Figure 6 : Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO ₂) sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.	17
Figure 7 : Concentration moyenne annuelle de benzène sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.	18
Figure 8 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions d'oxydes d'azote (NO _x en équivalent NO ₂) dans la MGP pour l'année 2015.	19
Figure 9 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions primaires de particules (PM ₁₀) dans la MGP pour l'année 2015.	20
Figure 10 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions primaires de particules (PM _{2,5}) dans la MGP pour l'année 2015.	21
Figure 11 : Contribution par secteur d'activité (a) et détail des contributions au sein du trafic routier (b) aux émissions primaires de COVNM dans la MGP pour l'année 2015.	22
Figure 12 : Réseau routier pris en compte pour le calcul des émissions liées au trafic routier (Source : DRIEA – traitement et image Airparif).....	23
Figure 13 : Profils mensuels (a) et hebdomadaires (b) du trafic routier, par zone (Paris intramuros, Bd Périphérique, Autoroutes et Routes).Source : Airparif d'après les données DRIEA, DIRIF et Mairie de Paris.	24
Figure 14 : Parc roulant appliqué les jours ouvrés (JO) sur les axes parisiens selon les heures de la journée.	25
Figure 15 : Parcs technologiques parisiens par type de véhicules, selon la classification Crit' Air, pour l'année 2014.	27
Figure 16 : Parcs technologiques hors Paris par type de véhicules, selon la classification Crit' Air, pour l'année 2014.	28
Figure 17 : Part des véhicules.kilomètres à Paris (à gauche) et dans l'intra A86 hors Paris (à droite), dans la situation de référence (en haut) et dans le cas des scénarios A (2 ^{ème} ligne), B (3 ^{ème} ligne), et C (en bas).	30
Figure 18 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris et au sein de la ZFE, hors Paris, par la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine.	32
Figure 19 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE métropolitaine, selon les différents scénarios de ZFE métropolitaine.....	33
Figure 20 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE	35
Figure 21 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en dehors de la ZFE, selon les différents scénarios de ZFE métropolitaine.	36

Figure 22 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre des différents scénarios de ZFE métropolitaine et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, en dehors de la ZFE.....	37
Figure 23 : Ratio entre les gains en émissions de CO ₂ attendus selon les scénarios de ZFE métropolitaine et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE (représenté par les carrés) et au dehors de celle-ci (cercles).	38
Figure 24 : Cartographies des niveaux annuels de NO ₂ (en µg/m ³), dans le périmètre de la Francilienne, pour la situation de référence (à gauche) et les trois scénarios de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre les scénarios et la situation de référence (à droite).	40
Figure 25 : Cartographies des niveaux annuels de PM ₁₀ (en µg/m ³), dans le périmètre de la Francilienne, pour la situation de référence (à gauche) et les trois scénarios de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre les scénarios et la situation de référence (à droite)	42
Figure 26 : Cartographies des niveaux annuels de PM _{2.5} (en µg/m ³), dans le périmètre de la Francilienne, pour la situation de référence (à gauche) et les trois scénarios de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre les scénarios la situation de référence (à droite)	43
Figure 27 : Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris selon les concentrations de NO ₂ . La valeur limite réglementaire d'exposition au NO ₂ en moyenne annuelle (40 µg/m ³) est représentée en pointillés rouges.	44
Figure 28 Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris selon les concentrations de PM ₁₀ . La recommandation de l'OMS (20 µg/m ³ en moyenne annuelle) est représentée en pointillés rouges.	45
Figure 29 : Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris (MGP) selon les concentrations de PM _{2.5} . Les pointillés rouges correspondent à l'objectif de qualité (10 µg/m ³ en moyenne annuelle).....	46
Figure 30 : Présentation de l'indicateur de population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO ₂ pour la situation de référence et gain sur la population engendré par la mise en œuvre de la ZFE.....	46
Figure 31 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO ₂ (40 µg/m ³) résidant dans la Métropole du Grand Paris (MGP) pour les différents scénarios de ZFE.....	47
Figure 32 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM ₁₀ (20 µg/m ³ en moyenne annuelle) au sein de la MGP pour les différents scénarios de ZFE.....	48
Figure 33 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM _{2.5} (10 µg/m ³ en moyenne annuelle) au sein de la MGP pour les différents scénarios de ZFE.....	49
Figure 34 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO ₂ à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (au milieu) et à l'échelle de la région (à droite) selon le cas de référence et les différents scénarios de ZFE.....	50
Figure 35 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM ₁₀ à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (au milieu) et à l'échelle régionale (à droite) selon le cas de référence et les différents scénarios de ZFE.	51
Figure 36 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS en PM _{2.5} à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (au milieu) et à l'échelle régionale (à droite) selon le cas de référence et les différents scénarios de ZFE	52
Figure 37 : Tableau récapitulatif des émissions liées au trafic routier et les baisses engendrées par les différents scénarios de ZFE.....	53

Figure 38 : Tableau de synthèse de l'exposition de la population au NO ₂ selon les trois scénarios de ZFE.....	53
Figure 39 : Exemple de régression linéaire sur une maille de proximité au trafic. Le point rouge est la différence en concentration que le modèle cherche à reconstituer à partir de la différence en émissions connue (ligne rouge). Les points bleus sont les scénarios ayant servis à l'entraînement du modèle. Les différentes lignes violettes parallèles à la régression linéaire représentent les intervalles de confiance associés à la prédiction du modèle pour la maille considérée.	56
Figure 40 : Illustration du traitement des mailles influencées.	57