



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 DES VÉHICULES « NON CLASSÉS » ET « CRIT'AIR 5 » 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 des véhicules « Non classés » et
« Crit'Air 5 » dans le périmètre intra A86**

**Éléments mis à disposition en vue de la consultation
préalable conformément à l'article 2213-4-1 du CGCT**

Décembre 2018

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	32
4.3.1. Émissions de polluants atmosphériques.....	32
4.3.2. Émissions de gaz à effet de serre	35
5. IMPACTS D'UNE ZFE SUR LES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS L'AIR	37
5.1. CONCENTRATIONS DE POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES	37
5.2. INDICATEURS D'EXPOSITION	39
5.2.1. Exposition de la population	39
5.2.2. Qualité de l'air au droit des axes routiers	43
6. RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS	45
ANNEXES	47
TABLE DES FIGURES	55

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 de 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 de son projet 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 des données de caractérisation du parc technologique.

Trois scénarios différents de ZFE, avec des niveaux de restriction croissants, ont été étudiés. En accompagnement du dossier de consultation, le présent rapport présente la méthodologie mise en œuvre et les résultats obtenus pour la mise en place du « scénario A » de ZFE métropolitaine.

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)...

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 Emissions**

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.

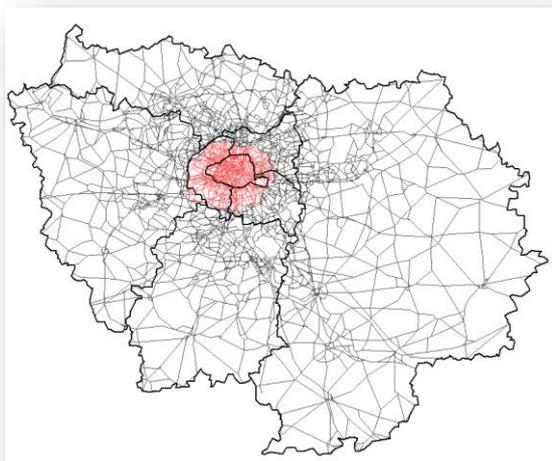
Le tableau ci-dessous détaille les modalités des trois scénarios étudiés de **mise en œuvre d'une ZFE en juillet 2019 dans le périmètre intra A86, A86 exclue, pour les différents types de véhicules concernés.**

Zone intra A86	CRIT'Air	Véhicules concernés	
		Semaine (hors jours fériés) 8h00-20h00	7i/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

La restriction de circulation discutée dans cette étude, « scénario A » de la ZFE, correspond à l'interdiction des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 », au sein du périmètre délimité par l'autoroute A86, A86 exclue.

La Figure 1 ci-dessous illustre les axes routiers modélisés pris en compte (en rouge) dans le cadre d'une ZFE dans le périmètre délimité par l'A86.



a) Ile-de-France



b) Zoom sur la ZFE métropolitaine (en rouge)

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 le scénario A 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) 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.

En ce qui concerne la qualité de l'air, les particules et le dioxyde d'azote¹ 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 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 des 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 les différents scénarios étudiés, Référence et ZFE.

L'évaluation des émissions utilise les facteurs d'émission COPERT IV (v11.3) et la méthodologie de référence au niveau européen décrite dans le guide EMEP². 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 le scénario ZFE et le cas de référence sont issues de **modélisations réalisées à l'échelle régionale** (description des concentrations de polluants en fond urbain et rural), d'une part, **et à l'échelle urbaine** (description des concentrations en proximité du trafic routier), d'autre part (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.

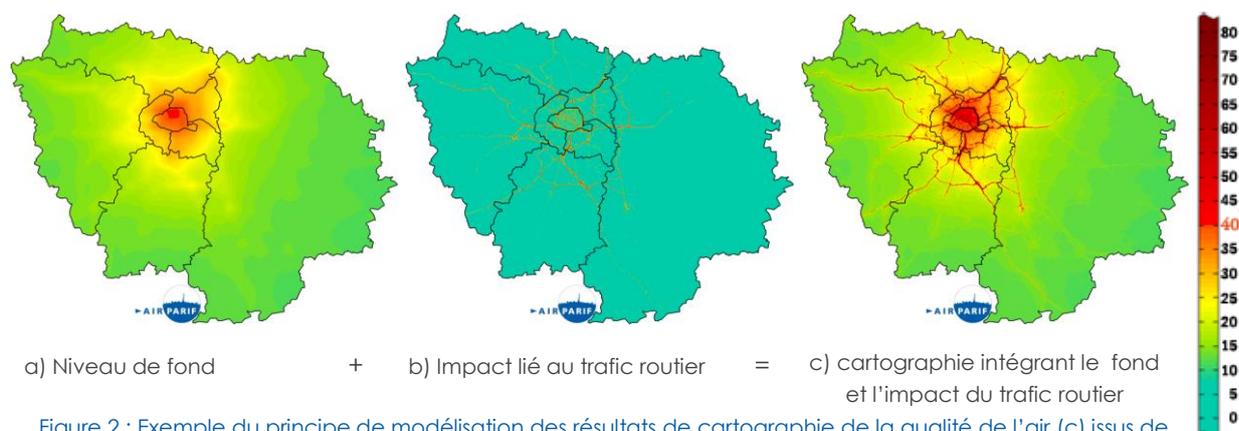


Figure 2 : Exemple du principe de modélisation des résultats de cartographie de la qualité de l'air (c) issus de croisement de la modélisation des niveaux de fond (a) et de l'impact issu du trafic routier (b).

² 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 présente en détails la méthodologie mise en œuvre. Celui-ci 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 ZCR³.

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 est la version 2014 de la chaîne ESERALDA (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 Airparif⁴, 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

³ 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

⁴ Origine des particules en Ile-de-France, Airparif, LSCE – septembre 2011 http://www.airparif.fr/_pdf/publications/rapport-particules-110914.pdf

locales aux concentrations. Les réductions sur des niveaux de fond sont ainsi moins marquées pour les particules que pour le dioxyde d'azote.

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'ADEME⁵. 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-end⁶. 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

⁵ 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>

⁶ Enquête TNS SOFRES sur le parc auto 2015 - volume Ile-de-France.

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. 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.

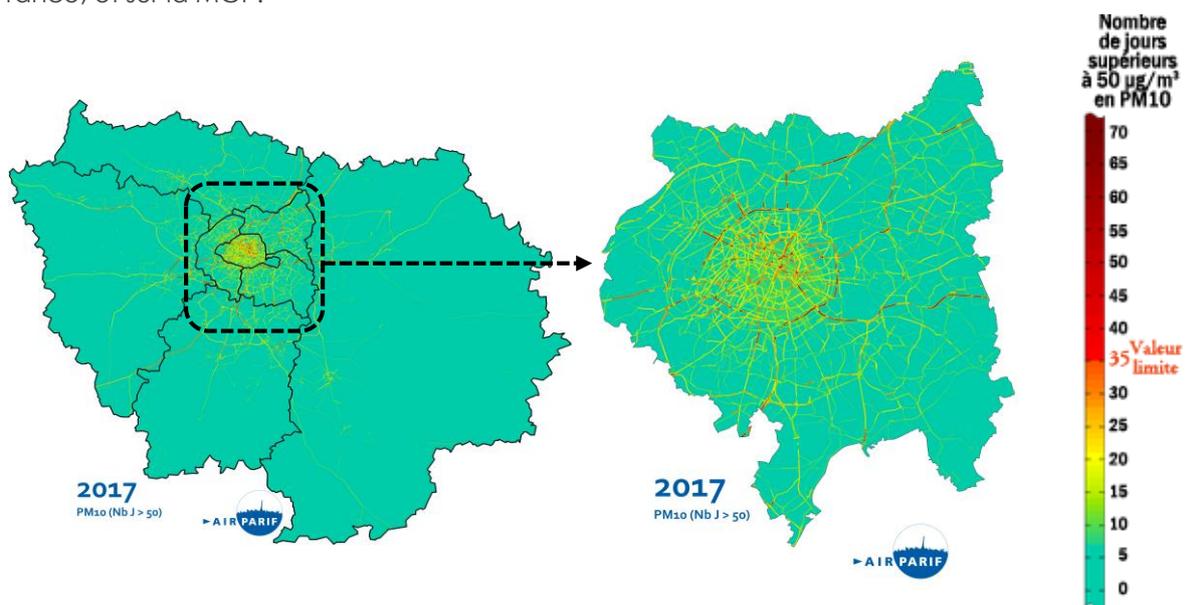


Figure 3 : Nombre de jours de dépassement du seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière pour les particules PM₁₀ sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

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 dépassement⁷**, 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.

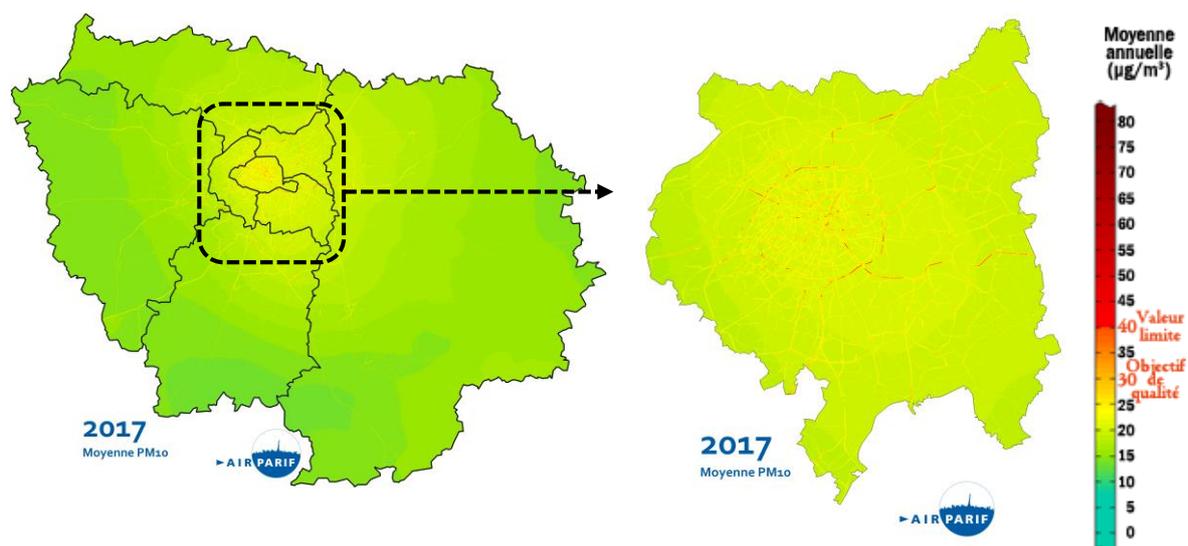


Figure 4 : Concentration moyenne annuelle de particules PM₁₀ sur l'Ile de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

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.

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.

⁷ Exposition des personnes qui respireraient en permanence l'air extérieur au niveau de leur domicile.

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.

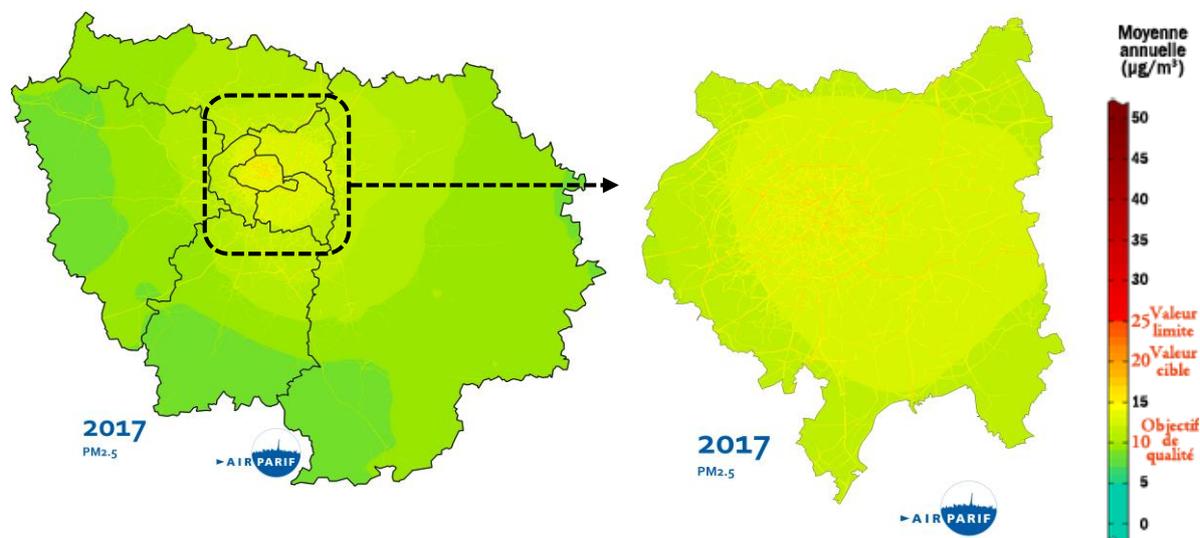


Figure 5 : Concentration moyenne annuelle de particules PM_{2.5} sur l'Île de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

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.

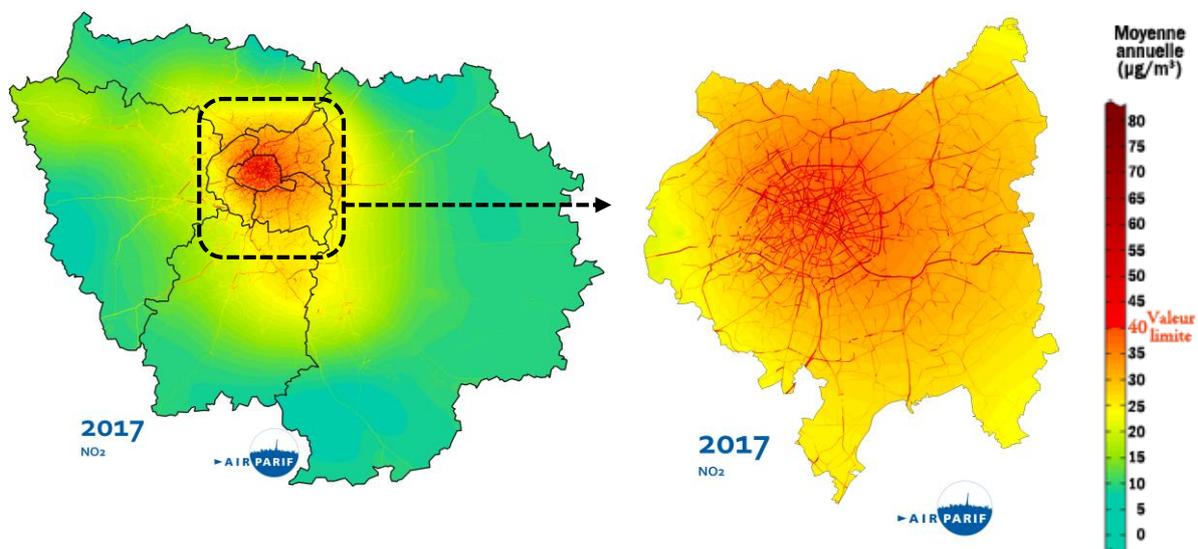


Figure 6 : Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO₂) sur l'Île de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

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.

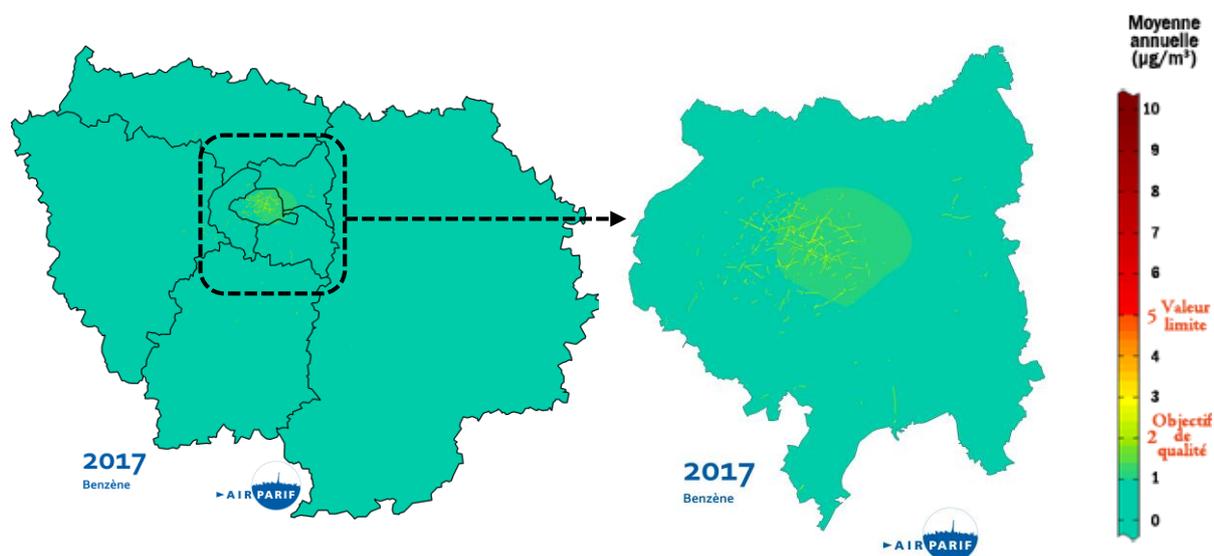


Figure 7 : Concentration moyenne annuelle de benzène sur l'Île de France (à gauche) et zoom sur la MGP (à droite) pour l'année 2017.

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.**

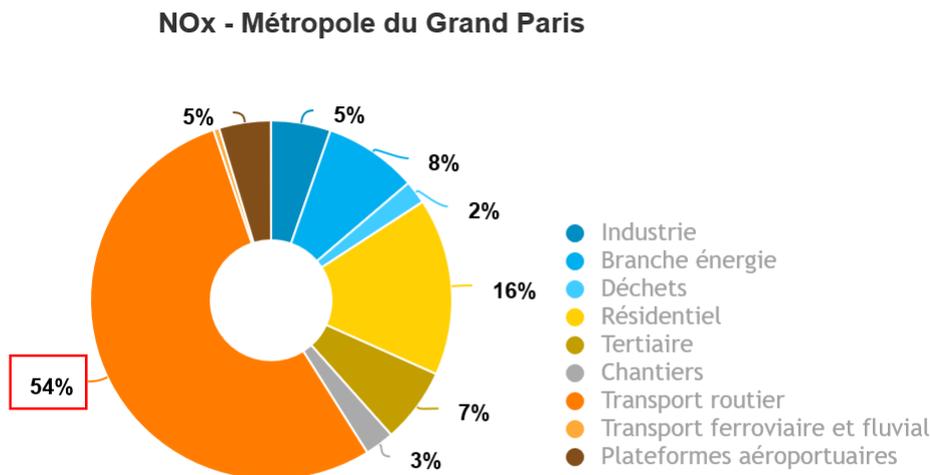
La moitié des stations trafic du réseau d'Airparif dépassent ce seuil réglementaire. Près de **85 km de voies** dans Paris et un peu moins de 5% des Parisiens sont également en situation de dépassement de l'objectif de qualité français

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.

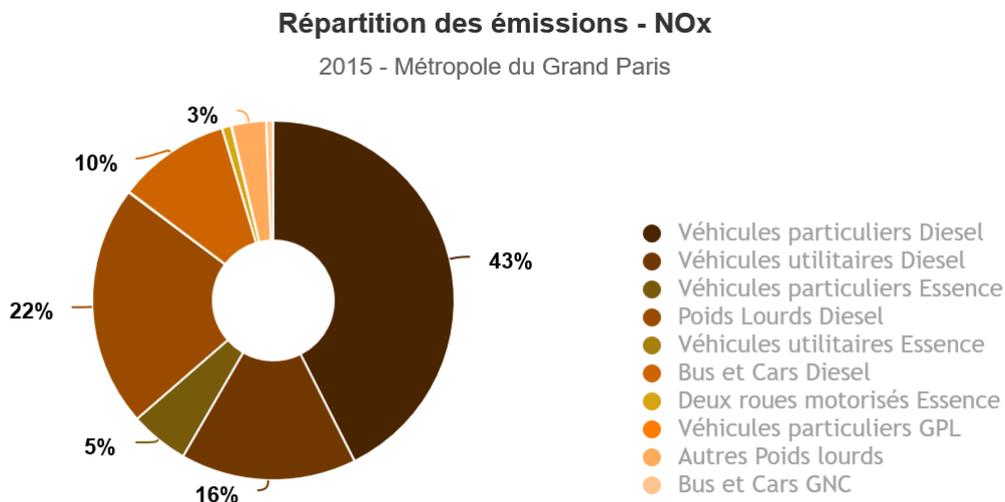
3.2. Des émissions importantes liées au trafic routier

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

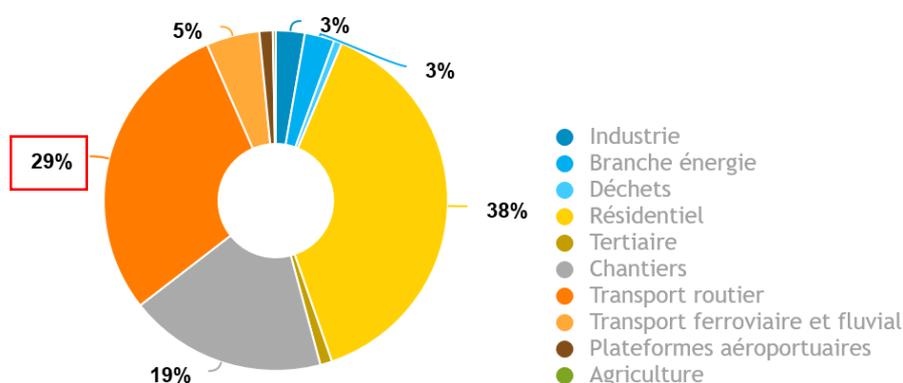
b) Contribution des différents véhicules

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 primaires⁸ 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

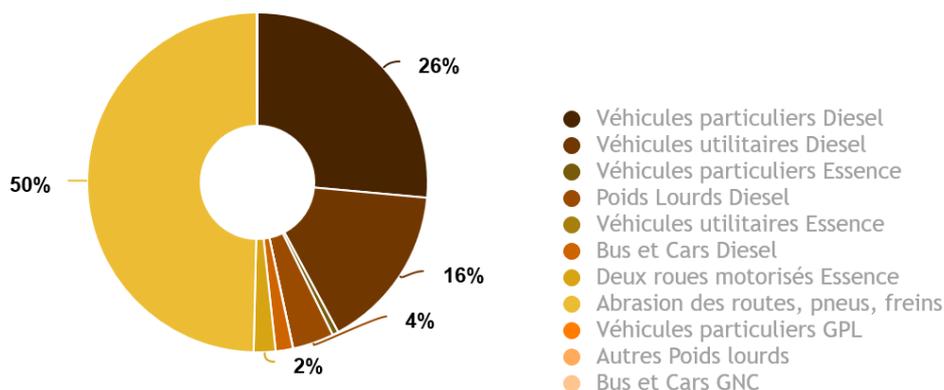


AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

Répartition des émissions - PM 10

2015 - Métropole du Grand Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

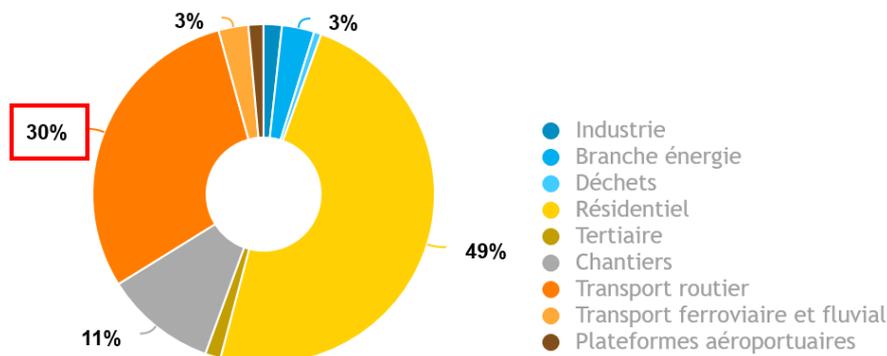
b) Contribution des différents véhicules

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.

⁸ 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

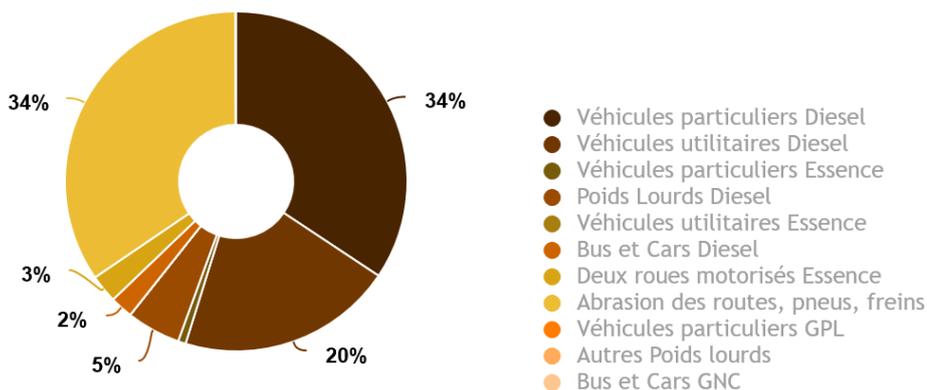


AIRPARIF DECEMBRE 2018

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.

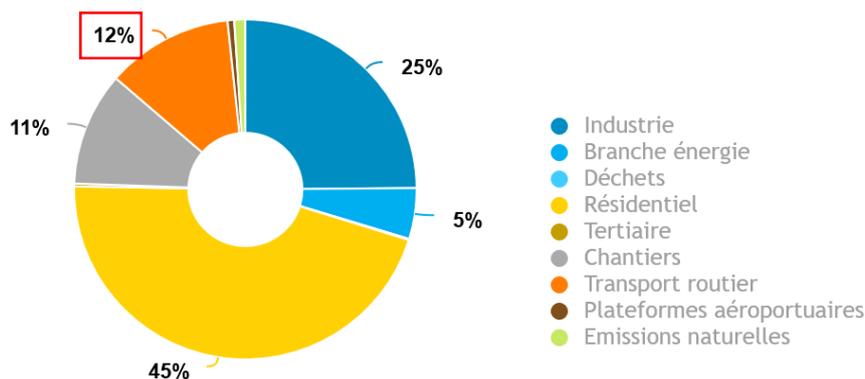
Les émissions de COVNM proviennent principalement des véhicules fonctionnant à l'essence, dont les deux-roues motorisés avec plus de la moitié des émissions métropolitaines du secteur du trafic routier⁹, tandis que les particules et les oxydes d'azote sont principalement émis par les véhicules diesel.

⁹ 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

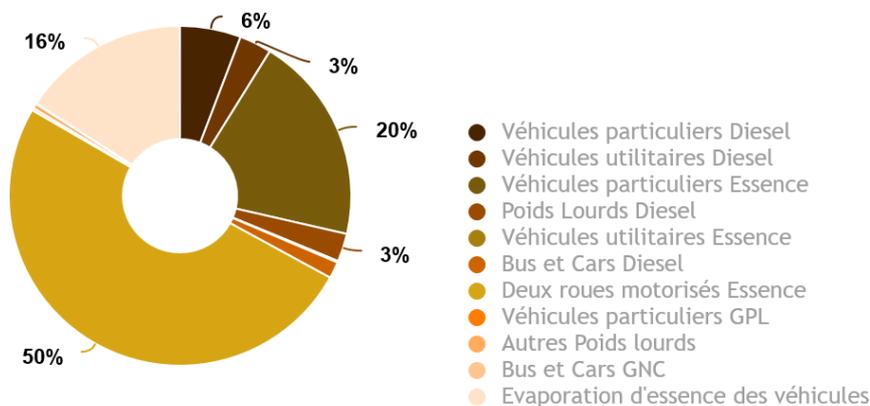


AIRPARIF DECEMBRE 2018

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 le scénario A de la 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 scénario 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 le scénario ZFE (cf. Annexe 4). Le trafic routier est modélisé sur environ 10 000 km de voirie comme illustré à la Figure 12.

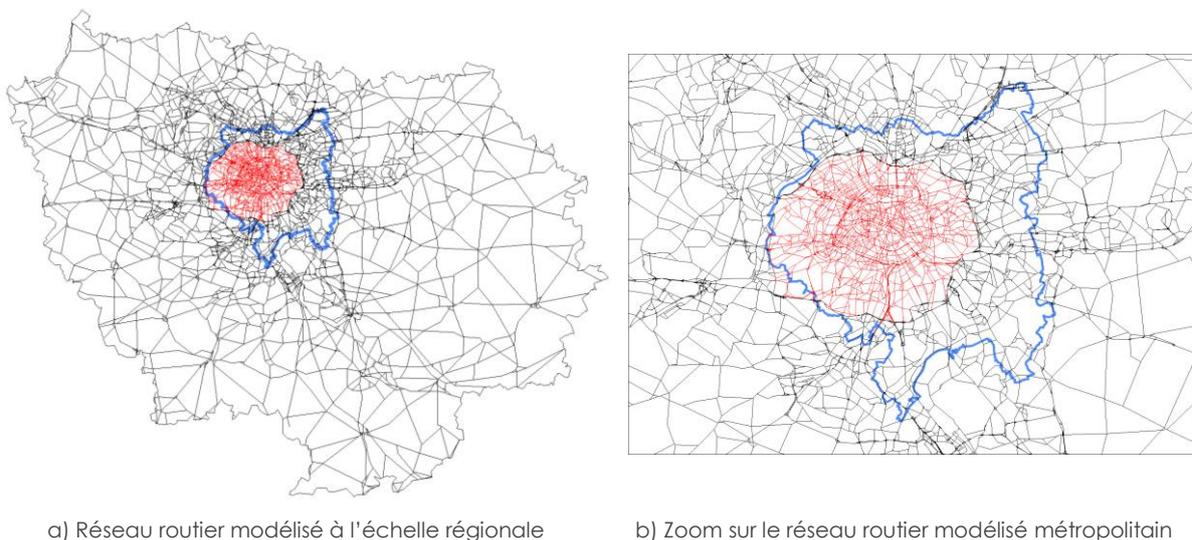


Figure 12 : Réseau routier pris en compte pour le calcul des émissions liées au trafic routier (Source : DRIEA – traitement et image Airparif).

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 Paris¹⁰ pour le trafic parisien et du Boulevard Périphérique et la Direction des Routes d'Ile-de-France (DIRIF)¹¹ 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.

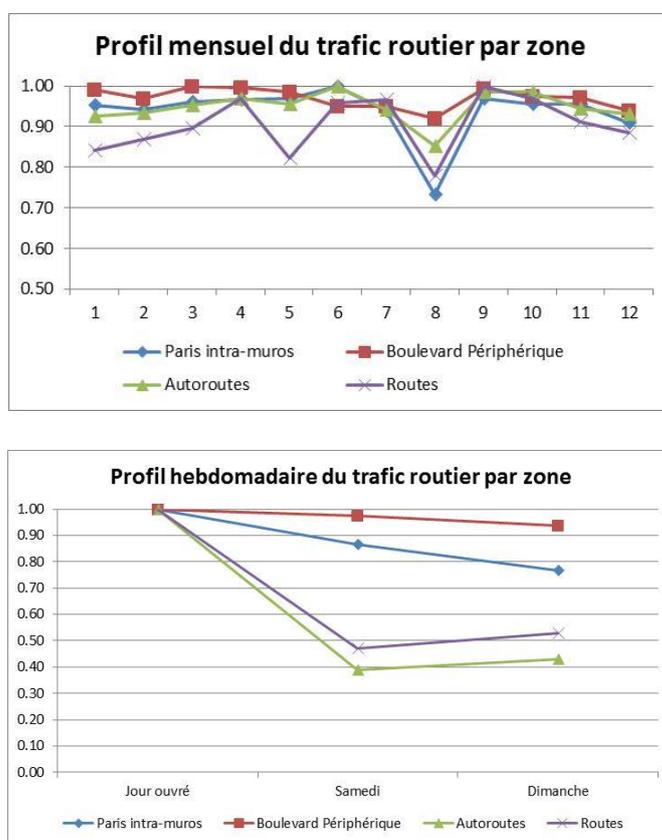


Figure 13 : Profils mensuels (a) et hebdomadaires (b) du trafic routier, par zone (Paris intramuros, Bd Périphérique, Autoroutes et Routes). Source : Airparif d'après données DRIEA, DIRIF et Mairie de Paris.

A 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.

¹⁰ Source : bilan des déplacements 2014.

¹¹ 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 a été réalisée 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)**. Celui-ci 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.

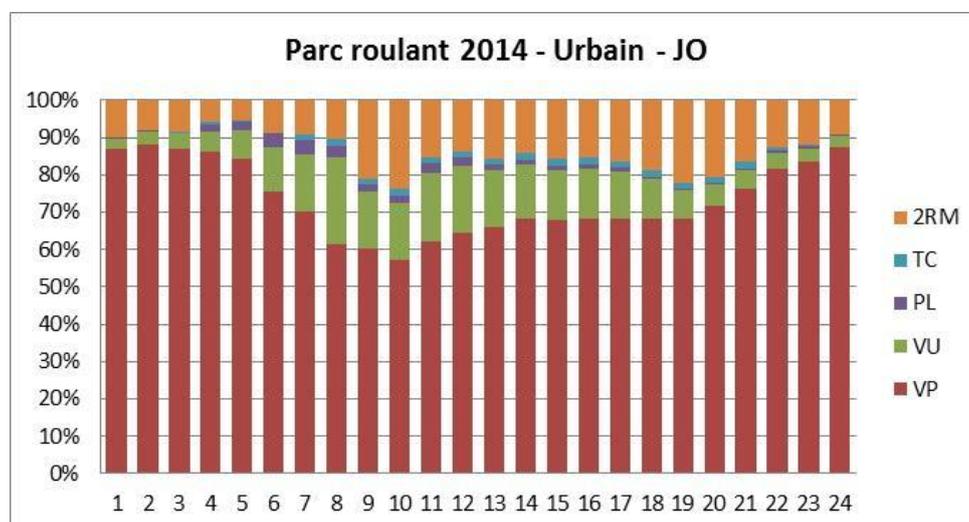


Figure 14 : Parc roulant appliqué les jours ouvrés (JO) sur les axes parisiens selon les heures de la journée.

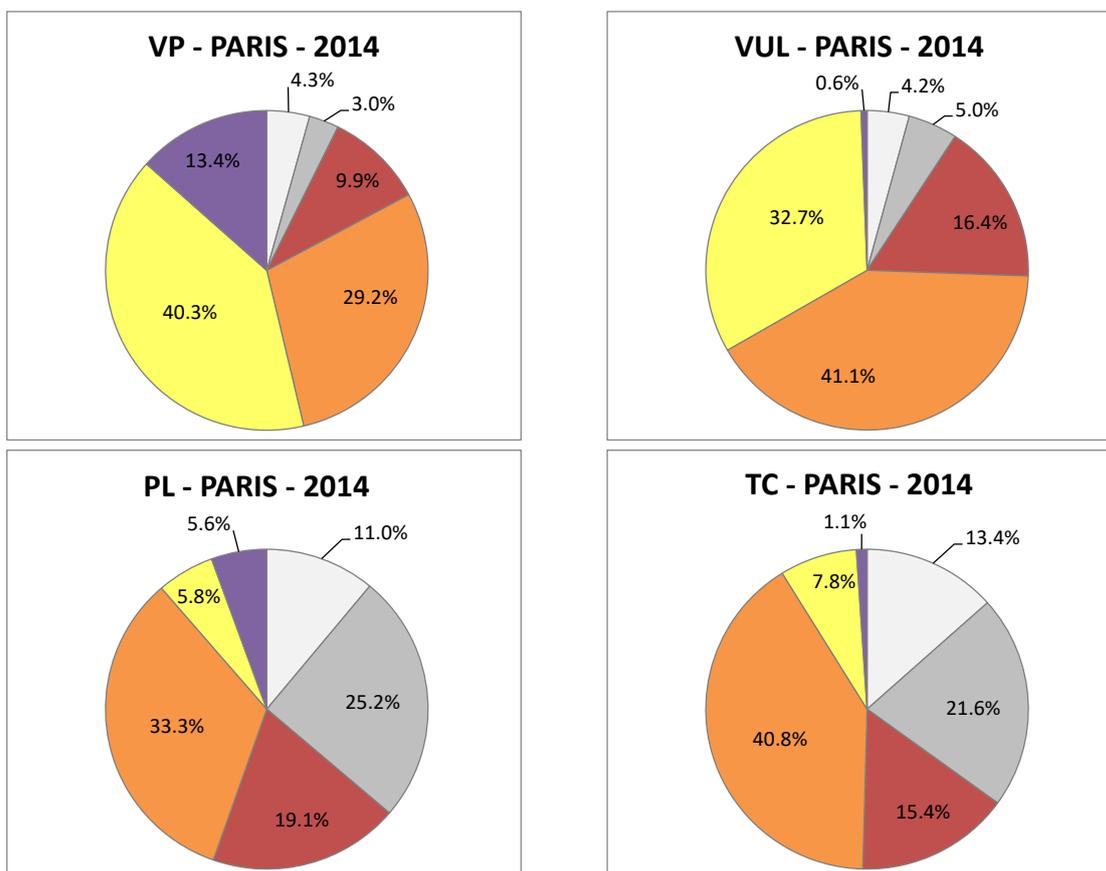
4.2.2. Parc technologique de référence

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'Île-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).



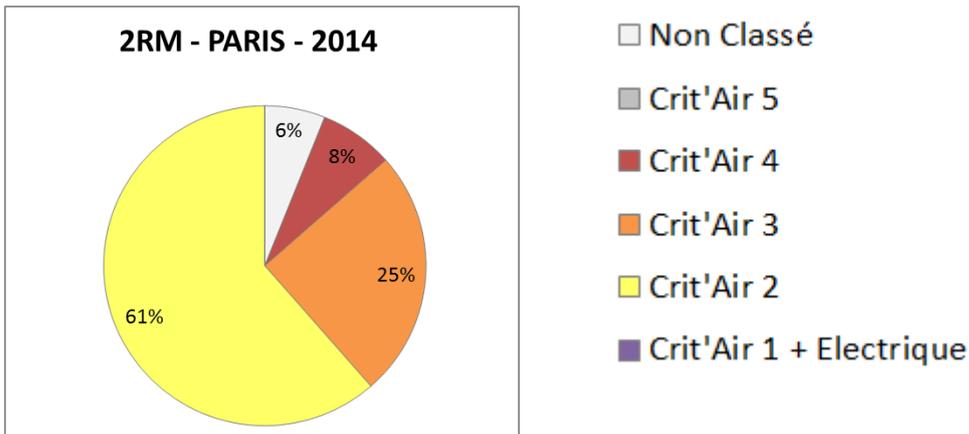
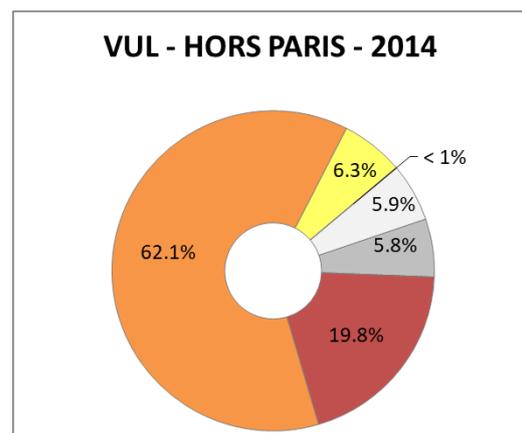
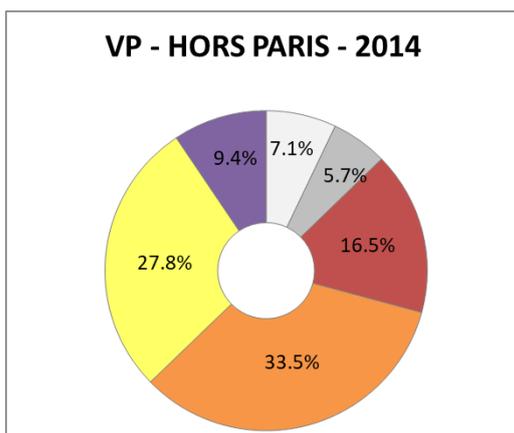


Figure 15 : Parcs technologiques parisiens par type de véhicules, selon la classification Crit'Air, pour l'année 2014.

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%).



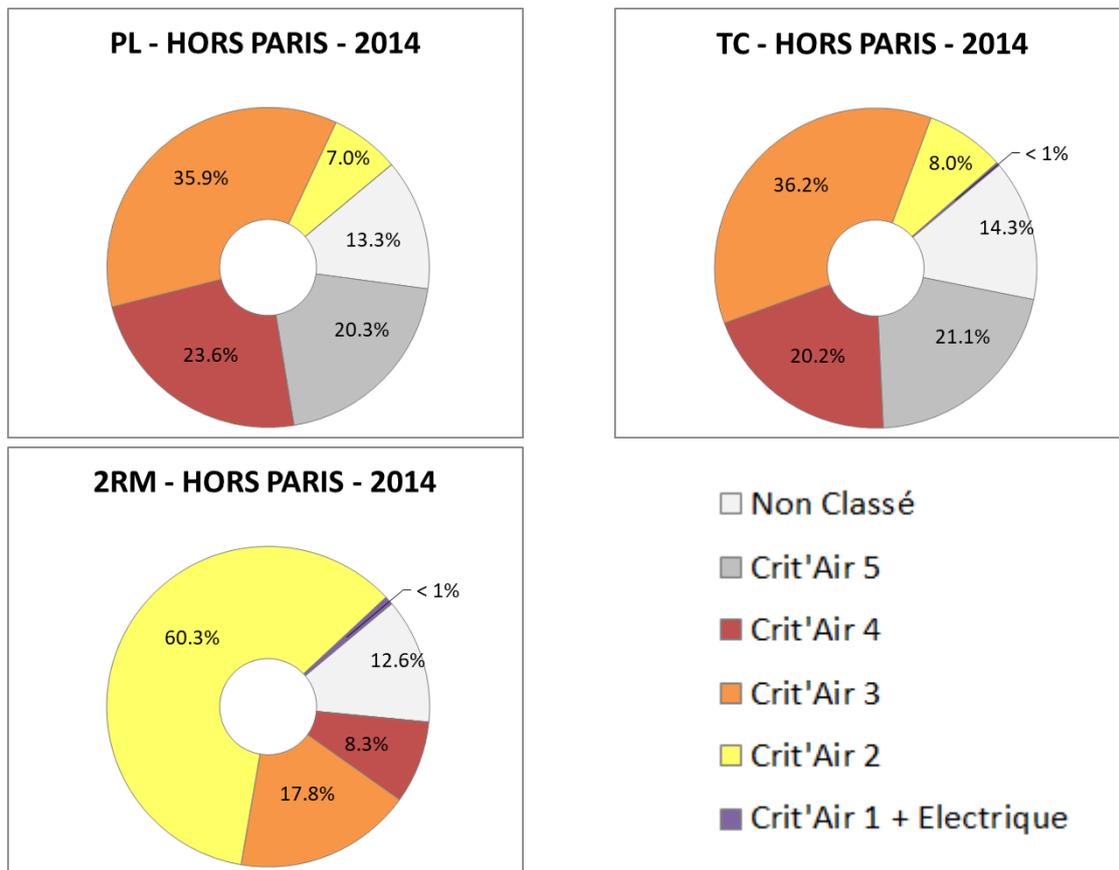


Figure 16 : Parcs technologiques hors Paris par type de véhicules, selon la classification Crit'Air, pour l'année 2014.

Les véhicules deux roues motorisés (2RM) ne sont pas concernés par la catégorie « Crit'Air 5 ». A 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 actuelle (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.

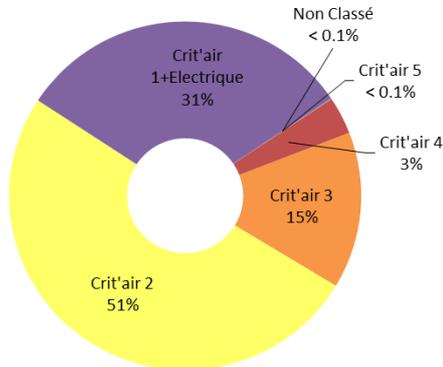
Le parc technologique prospectif pour le scénario A de ZFE métropolitaine à l'horizon 2019 a été construit à partir de la situation de référence 2019, en introduisant les restrictions de circulation (véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 »).

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 le scénario A de ZFE métropolitaine. La présentation adoptée repose comme précédemment sur la nomenclature Crit'Air.

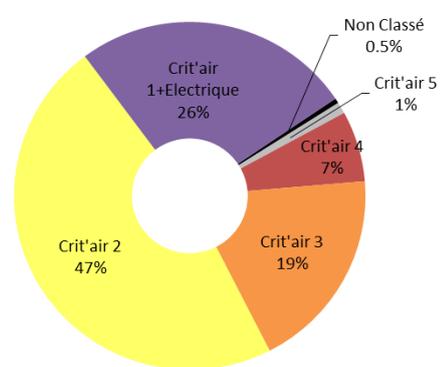
Parc technologique parisien

Part des véhicules.kilomètres parcourus dans Paris, cas de référence

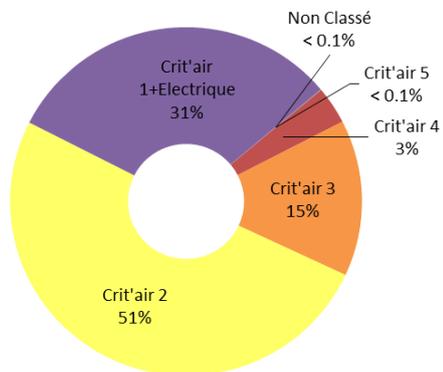


Parc technologique métropolitain

Part des véhicules.kilomètres parcourus dans la ZFE (hors Paris), cas de référence



Part des véhicules.kilomètres parcourus dans Paris, scénario A



Part des véhicules.kilomètres parcourus dans la ZFE (hors Paris), scénario A

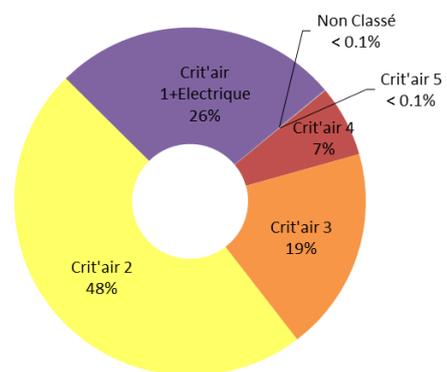


Figure 17 : Part des véhicules.kilomètres à Paris (à gauche) et dans l'intra A86 hors Paris (à droite), dans la situation de référence (en haut) et dans le cas du scénario A (en bas).

Dans la situation de référence, aucun véhicule des catégories « Non classé » et « Crit'Air 5 » ne circule dans Paris, du fait de la mise en œuvre précédemment (1^{er} juillet 2017) de la ZCR parisienne interdisant ces véhicules. **Aucun véhicule n'est impacté dans Paris** du fait de la mise en place d'une ZFE de niveau « Crit'Air 5 ».

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 par des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 ». La mise en œuvre de la restriction de circulation des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 » (scénario A) touche donc **1.5% des kilomètres parcourus par les véhicules les plus anciens dans le périmètre intra A86 hors Paris.**

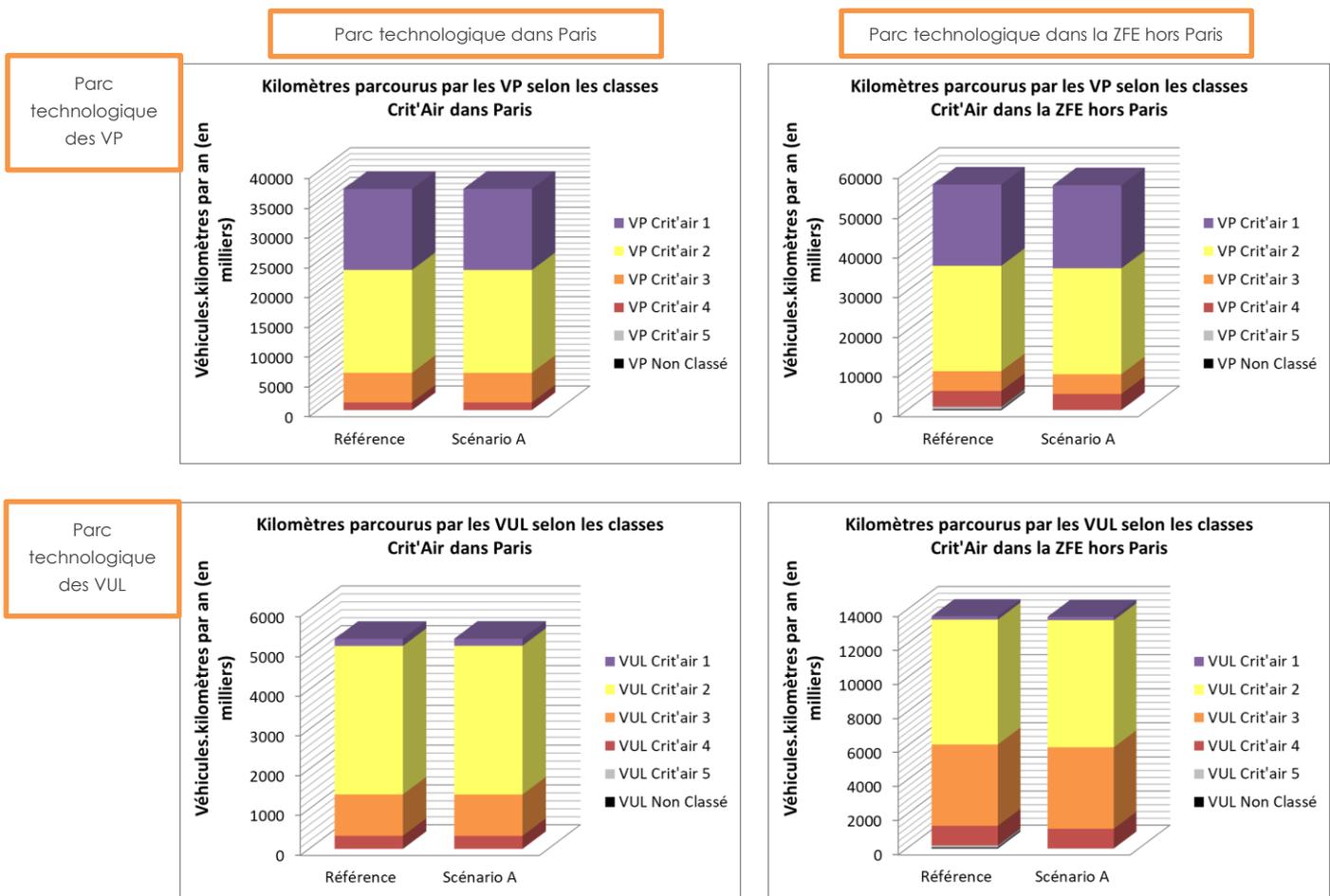
Les véhicules des classes Crit'Air dont la circulation est restreinte au sein de la ZFE ne disparaissent pas entièrement du parc car les VP, VUL et 2RM les plus anciens sont interdits uniquement les jours ouvrés de 8 à 20 heures.

Au sein de la Capitale, 3 % et 15 % des kilomètres sont parcourus par des véhicules « Crit'Air 4 » et « Crit'Air 3 » ; ces parts sont respectivement de 7 % et 19 % dans le reste du périmètre intra A86 (intra A86 hors Paris). 51% et 31% des kilomètres sont parcourus par des véhicules « Crit'Air 2 » et « Crit'Air 1 »+électriques ; ces parts sont de 48% et 26% dans le périmètre intra A86 hors Paris.

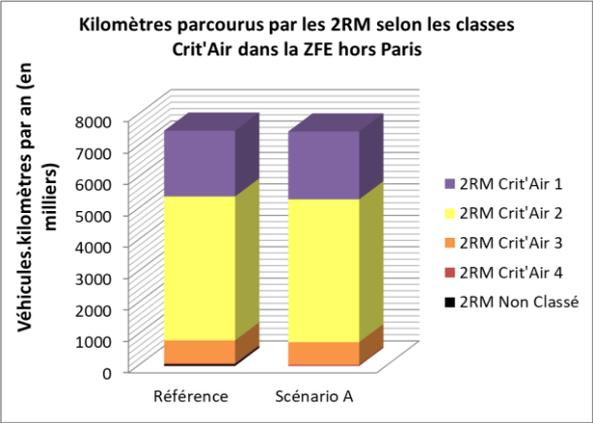
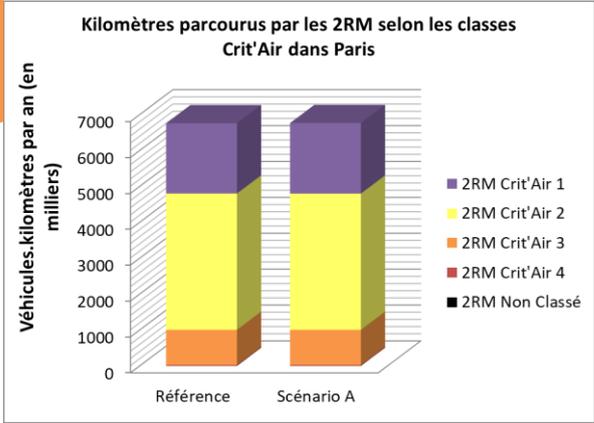
La Figure 18 illustre **pour chaque catégorie de véhicules** les parcs technologiques pour la situation de référence et pour le scénario A de mise en œuvre de ZFE métropolitaine, dans Paris (à gauche) et au sein de la ZFE hors Paris (à droite). Des variations de l'impact de cette mesure sont observées selon la zone et les types de véhicules.

Dans Paris, cette mesure n'a quasiment pas d'impact, du fait de l'existence de la ZCR Parisienne restreignant déjà la circulation des véhicules « Non Classés » et « Crit'Air 5 » (Figure 18, à gauche).

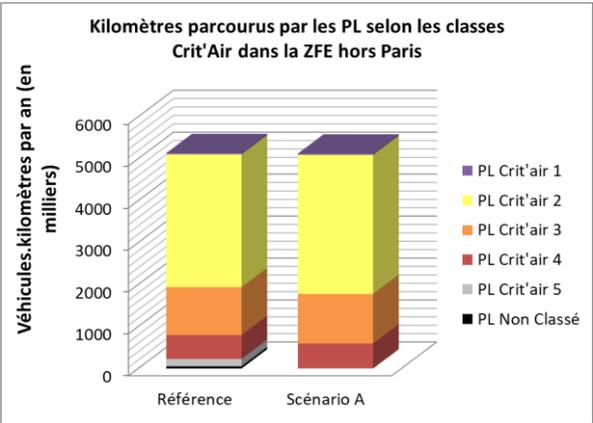
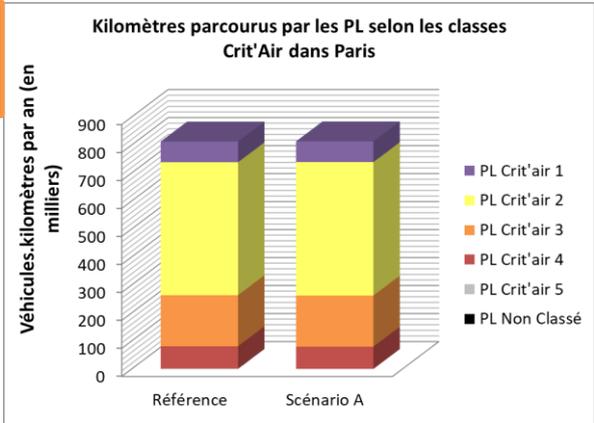
Dans la zone intra A86 hors Paris, le types de **véhicules le plus touchés** par la restriction de circulation des véhicules les plus anciens, « Non classés » et « Crit'Air 5 », sont les **TC et PL** avec respectivement presque **8 % et 5 % des kilomètres parcourus de leur catégorie** (Figure 18, à droite). 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** (Figure 18, à droite).



Parc technologique des 2RM



Parc technologique des PL



Parc technologique des TC (bus et cars)

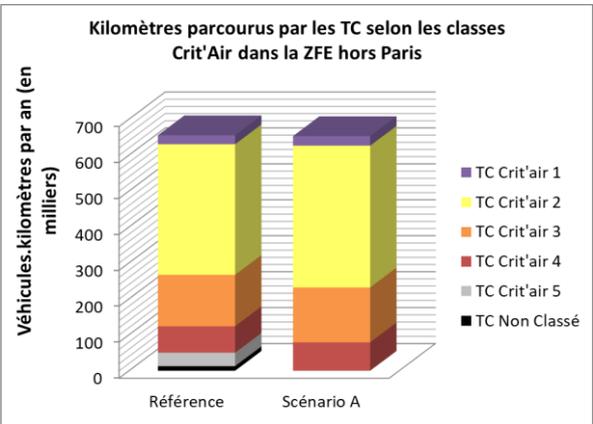
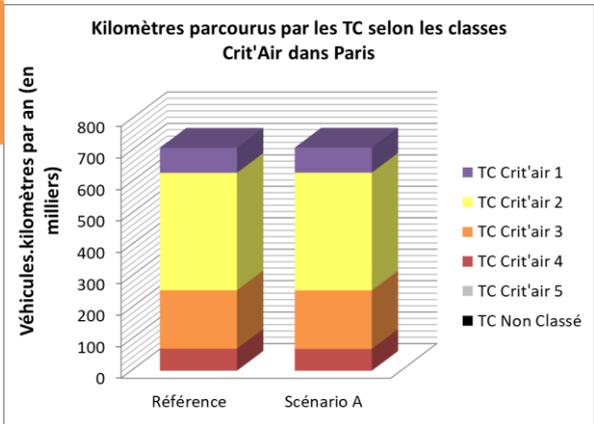


Figure 18 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris et au sein de la ZFE, hors Paris, par la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.

4.3. Émissions liées au trafic routier

4.3.1. Émissions de polluants atmosphériques

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 du scénario A de ZFE métropolitaine.

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

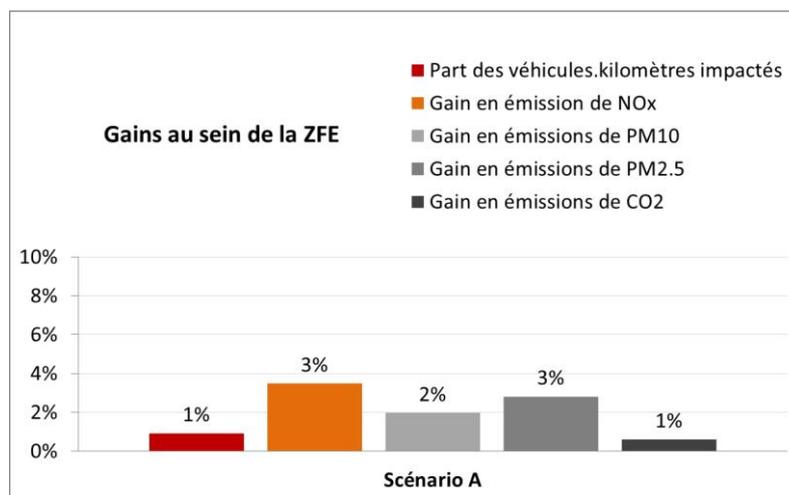


Figure 19 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE métropolitaine, avec la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.

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.

Les gains en émissions au sein du périmètre intra A86 sont au maximum de 3% pour la mise en place du scénario A de ZFE métropolitaine. 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 y sont ainsi quasi nuls.

Les gains les plus importants (légèrement supérieurs à 3 %) 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).

Concernant les particules, le gain en émissions par rapport à la situation de référence atteint 2 % pour les PM₁₀ et 3 % pour les PM_{2.5}.

La Figure 20 présente les gains en émissions et la part des kilomètres parcourus dans le **périmètre intra A86 hors Paris**, impactés par la restriction de circulation, en lien avec la mise en place du scénario A de ZFE métropolitaine.

Les gains obtenus **dans le périmètre de la ZFE hors Paris** atteignent **6 % pour les émissions NO_x, 4 % pour les PM_{2.5} et 3 % pour les PM₁₀**. La part de kilomètres parcourus concernés par la restriction de circulation atteint 2 % dans la ZFE hors Paris.

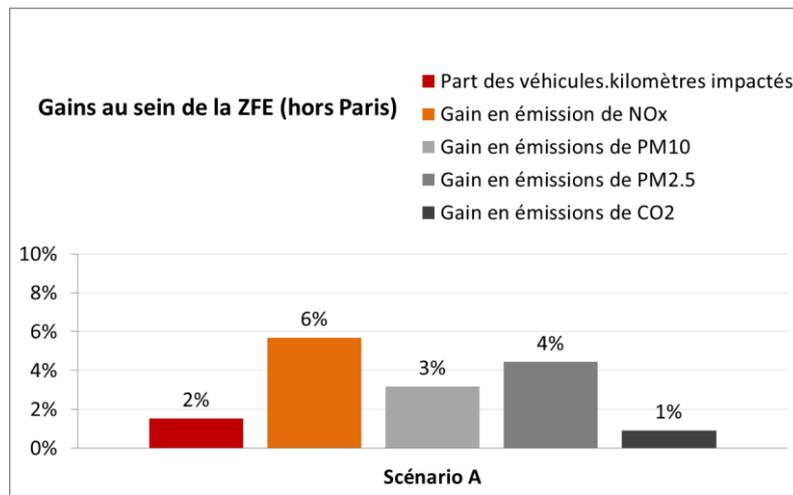


Figure 20 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE hors Paris, avec la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.

La réduction plus faible des émissions de particules PM₁₀ par rapport à celles de NO_x s'explique par les émissions liées à l'abrasion (freins, pneus et de la route) qui restent les mêmes lors du remplacement d'un véhicule ancien par un véhicule plus récent. La restriction de circulation des véhicules plus anciens modernise le parc technologique, engendrant des émissions dues à la combustion généralement bien inférieures à celles d'un véhicule plus ancien¹², mais est sans influence sur l'abrasion. Les particules PM_{2,5}, dont les émissions sont davantage liées à la combustion que celles des PM₁₀, présentent des gains plus importants que celles de PM₁₀.

La mise en œuvre du scénario A, restreignant la circulation des véhicules les plus anciens « Non classés » et « Crit'Air 5 », engendre une **baisse importante des émissions de benzène, avec une diminution d'environ 5 % à l'échelle de toute la ZFE, et de plus de 7 % si l'on considère le périmètre ZFE sans inclure Paris**. En effet, les émissions de benzène sont essentiellement liées aux véhicules essence les plus anciens. Cette mesure est très positive au regard du peu de kilomètres parcourus par les véhicules les plus anciens concernés par les restrictions de circulation lors de la mise en œuvre du scénario A.

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 part de kilomètres impactés par la ZFE et les gains en émissions sont présentés en Figure 21. Ils sont plus faibles que ceux estimés au sein de la ZFE, atteignant au **maximum 2 % de gains d'émission de NO_x** et environ 1 % en particules PM₁₀ et PM_{2,5}.

Lors de la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine, 1 % des kilomètres réalisés dans le périmètre intra A86 par les véhicules « Non classés » et « Crit'air 5 » sont impactés par la mise en œuvre de la ZFE ; au-delà de l'A86, la part des kilomètres réalisés par ces mêmes véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 » est inférieure à 1 %.

¹² Ce n'est pas le cas pour les émissions de NO_x des véhicules particuliers diesel de norme Euro 5, plus émetteurs que les véhicules particuliers diesel Euro 4.

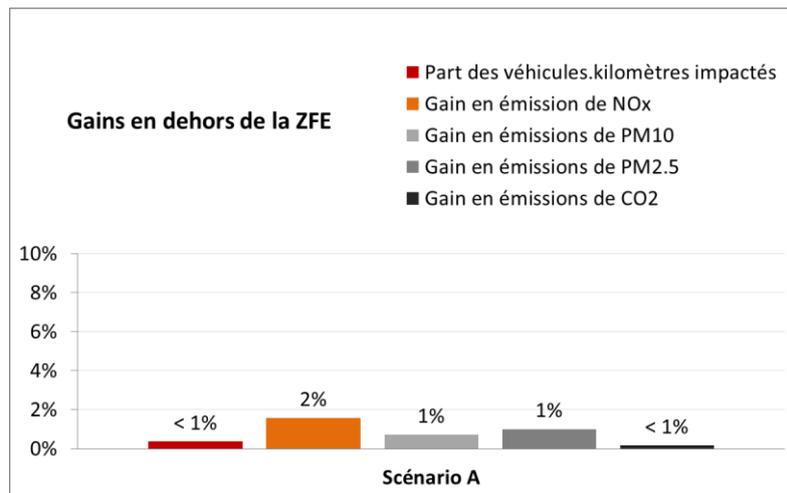


Figure 21 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en dehors de la ZFE, avec la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.

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, compte-tenu également des 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 baisse des émissions relativement à la part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par la restriction de circulation est présentée dans la Figure 22 pour le périmètre de la ZFE métropolitaine, et hors ZFE.

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).

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, et presque 4.5 fois supérieure en dehors. L'indicateur calculé (ratio) calculé est plus élevé dans la zone hors ZFE, mais pour des réductions d'émissions plus faibles.

Le ratio est également très favorable pour les **particules PM₁₀** pour lesquelles les **gains en émissions sont 2 fois plus importants que la part de kilomètres parcourus par des véhicules impactés par la ZFE, et plus encore pour les PM_{2.5} pour lesquelles il atteint 3 dans la ZFE métropolitaine.**

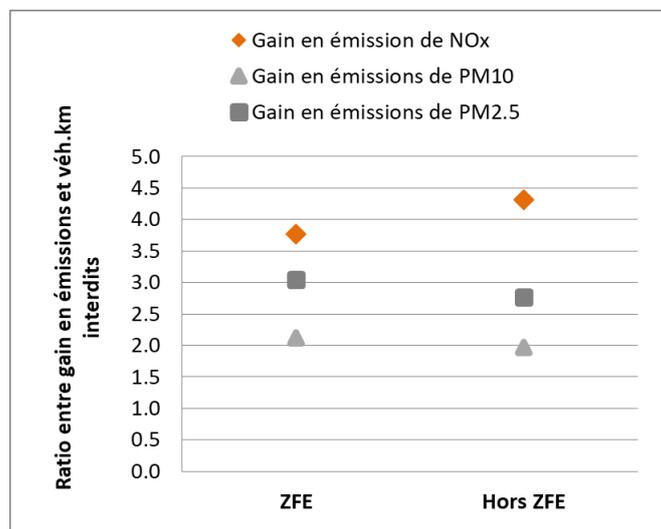


Figure 22 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre de la ZFE métropolitaine (scénario A) et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE et au dehors de celle-ci.

Le ratio pour Paris est nettement plus faible que pour le périmètre intra A86, du fait de l'existence de la ZCR Parisienne qui entraîne de très faibles impacts dans la capitale.

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 pour les polluants atmosphériques, autrement dit les gains d'émissions sont supérieurs aux kilomètres parcourus par les véhicules impactés par la ZFE.

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. Pour le scénario A de ZFE métropolitaine, le gain en émissions de CO₂ est faible (1% dans le périmètre de la ZFE, et un peu moins de 1% au-delà de ce périmètre, Figure 19, Figure 20 et Figure 21).

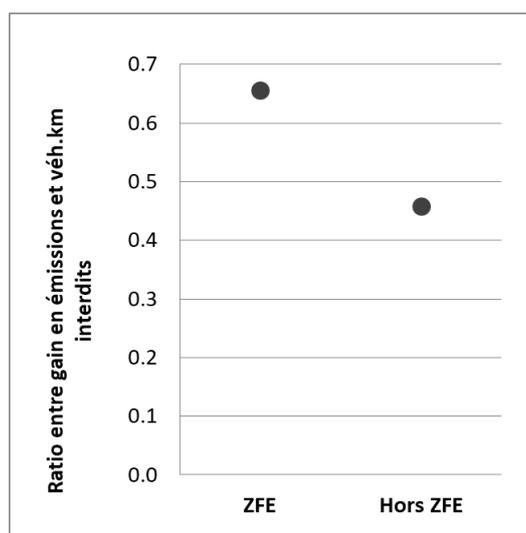


Figure 23 : Ratio entre les gains en émissions de CO₂ attendus avec la mise en œuvre de la ZFE métropolitaine (scénario A) et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE et au dehors de celle-ci.

Le ratio entre les gains en émissions de CO₂ et la part de kilomètres concernés par la restriction de circulation est inférieur à 1, traduisant 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 Euros a engendré de fortes diminutions des émissions. En effet, les normes Euros 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'étude¹³ sur l'impact des modifications de trafic dans Paris entre 2002 et 2012, 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 les concentrations annuelles de NO₂ (en haut), PM₁₀ (au milieu) et PM_{2.5} (en bas) dans la situation de référence (à gauche) et pour le scénario étudié de mise en œuvre de la ZFE métropolitaine (au milieu). Les cartographies de différences (à droite) présentent les écarts de concentrations pour chaque polluant 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 de tenir compte des impacts au-delà du périmètre de mise en œuvre du dispositif, la zone de visualisation s'étend au-delà des limites l'intra A86, jusqu'aux contours de la Francilienne, ce qui représente environ 80% de la population régionale. Cette zone représente le périmètre pour lequel les gains d'émissions et les reports de trafic routier sont les plus importants. 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).

Par rapport au cas de référence, les niveaux de NO₂ diminuent seulement à l'extérieur de Paris, à proximité du trafic routier et en situation de fond ; 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 la ZFE métropolitaine, de même niveau de restriction, est inclus dans le cas de référence.

Compte-tenu de la diminution des émissions liées à la mise en œuvre du scénario A de ZFE et malgré la part importante du trafic routier dans les émissions métropolitaines totales de NO_x, la baisse des teneurs de NO₂ dans le périmètre intra A86 hors Paris est faible : la diminution est en moyenne légèrement inférieure à 1 µg/m³ dans les limites de la ZFE. À proximité immédiate du trafic routier, la diminution peut être 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.

La baisse des teneurs de NO₂ atteint, pour le scénario A, une diminution moyenne inférieure à 0,5 µg/m³ (environ 0,1 µg/m³) en moyenne annuelle à l'échelle de l'Île de France. Il est important de noter que **le scénario A conduit en tout point du territoire à des baisses des concentrations de NO₂.**

Du fait de la faible diminution des émissions de particules due au scénario A de ZFE et d'une plus faible part du trafic routier dans les émissions métropolitaines totales de PM, **la baisse des teneurs en particules dans le périmètre intra A86 hors Paris est très limitée en situation de fond.** Une légère baisse est observée à proximité immédiate des principaux axes routiers, où elle atteint 0,3 µg/m³ et 0,2 µg/m³ pour les PM₁₀ et PM_{2.5} respectivement.

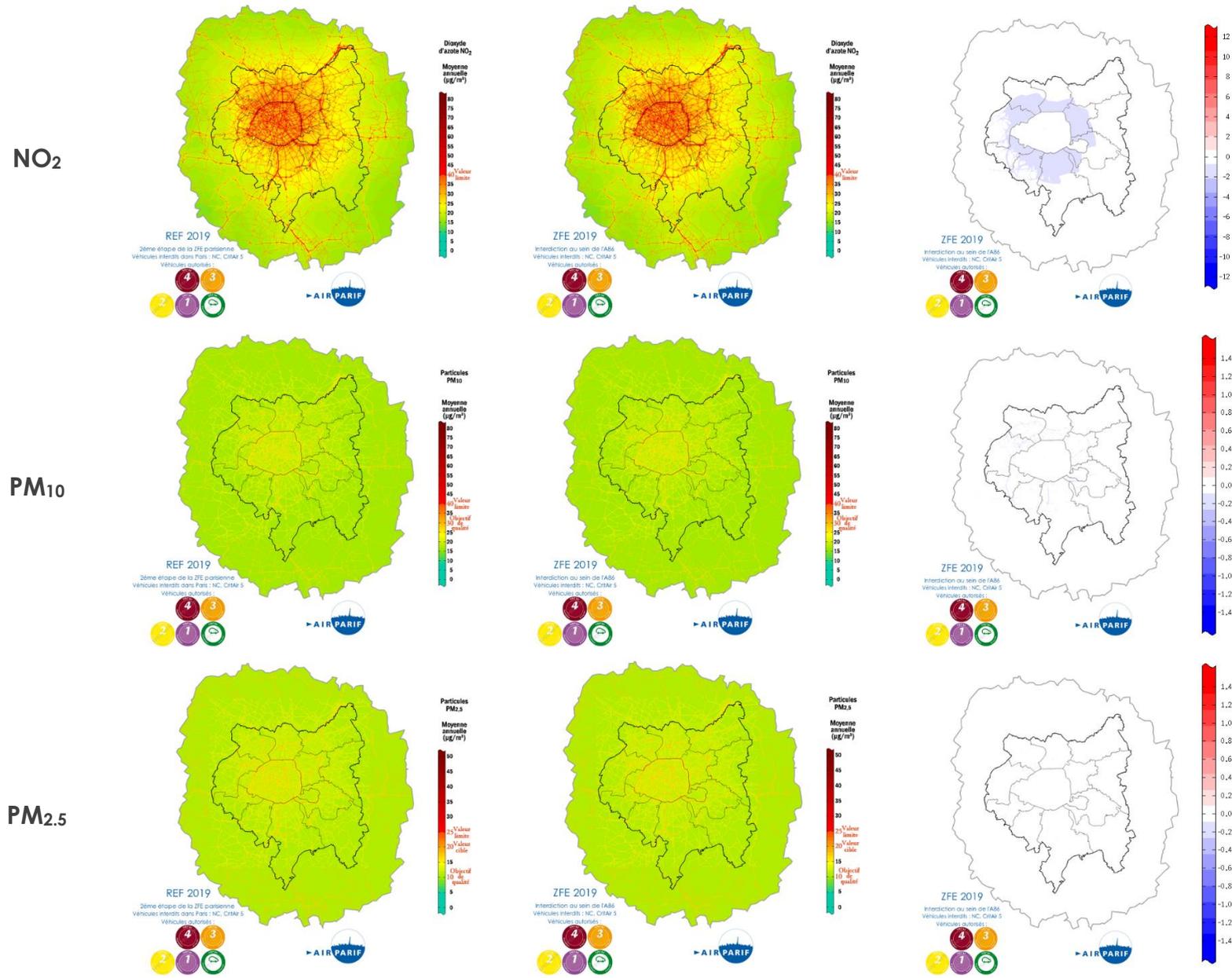


Figure 24 : Cartographies des niveaux annuels (en µg/m³) de NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} dans le périmètre de la Francilienne pour la situation de référence (à gauche) et le scénario A de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre le scénario A et la situation de référence (à droite). *Nota bene* : les échelles des écarts sont différentes.

Une restriction de la circulation des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 » au sein de l'intra A86 entraîne le renouvellement modéré du parc technologique, ce qui induit une légère diminution par rapport au cas de référence des niveaux de NO₂ au sein de la ZFE (hors Paris, la restriction de circulation de ces véhicules étant effective en juillet 2017) : 1 µg/m³ en moyenne et jusqu'à 3,5 µg/m³ en proximité du trafic routier. En dehors du périmètre intra A86, c'est surtout le long des axes routiers que la baisse de concentration est observée, du fait du renouvellement des véhicules en lien avec la ZFE (i.e. avec une origine et/ou une destination dans la ZFE, ou encore en transit par la ZFE).

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.

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 le scénario A de ZFE.

La Figure 25 présente le nombre d'habitants résidant dans Paris et 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 le scénario A de ZFE.

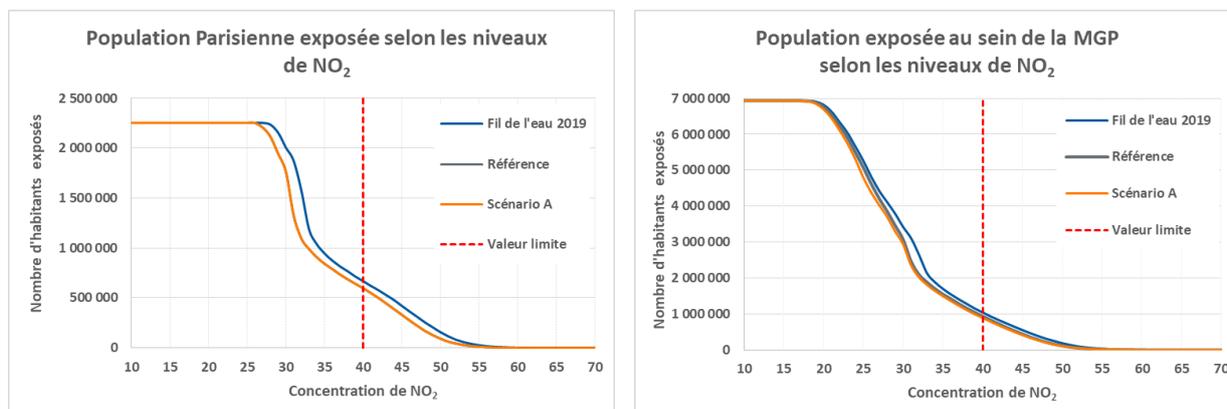


Figure 25 : Nombre d'habitants résidant à Paris (à gauche), et dans la Métropole du Grand Paris (à droite), selon les concentrations de NO₂. La valeur limite réglementaire d'exposition en NO₂ en moyenne annuelle (40 µg/m³) est représentée en pointillés rouges.

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

Dans Paris, la courbe du scénario A est confondue avec celle de la situation de référence, signifiant qu'il n'y a pas de gains en termes d'exposition de la population dans la Capitale. Ceci est cohérent avec l'existence de la ZCR parisienne mise en place précédemment.

À l'échelle de la MGP, les deux courbes sont assez proches, ce qui traduit des gains limités en ce qui concerne le nombre de personnes exposées au dioxyde d'azote NO₂ pour la population métropolitaine.

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 ZFE parisienne puis métropolitaine. La différence entre la courbe « Fil de l'eau » 2019 et les autres courbes met en évidence les gains en nombre d'habitants exposés acquis grâce à la mise en œuvre de ces mesures.

Ainsi, 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 µg/m³ de NO₂. Presque 500 000 personnes en moins sont exposées à ces niveaux avec la mise en œuvre du scénario A de ZFE. Dans Paris, avec la mise en place de cette mesure, la concentration minimale en NO₂ à laquelle est soumise la quasi-totalité des habitants est de 26 µg/m³, contre 28 µg/m³ dans le cas du « Fil de l'eau » 2019.

Concernant les particules (PM₁₀ et PM_{2.5}), les gains en population exposée sont moins importants que pour le NO₂. En effet, tant pour les PM₁₀ que pour les PM_{2.5}, les courbes du scénario ZFE et de la situation de référence sont quasiment superposées (Figure 26). Les figures concernant la population parisienne ne sont pas présentées, le scénario A de ZFE métropolitaine n'apportant pas de gains significatifs sur la population exposée en PM₁₀ et PM_{2.5}.



Figure 26 : Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris (MGP) exposée selon les concentrations de PM₁₀ (à gauche) et de PM_{2.5} (à droite). La recommandation de l'OMS concernant les concentrations de particules PM₁₀ en moyenne annuelle (20 µg/m³, à gauche) et l'objectif de qualité relatif aux concentrations de particules PM_{2.5} en moyenne annuelle (10 µg/m³, à droite) sont représentés en pointillés rouges.

Dans les graphes ci-dessus, les valeurs indiquées en pointillés rouges correspondent à des niveaux recommandés par l'OMS, en lien avec la protection de la santé humaine, et non pas aux valeurs limites réglementaires françaises, celles-ci étant respectées en niveau de fond sur le territoire francilien. Les valeurs préconisées par l'OMS, largement inférieures aux réglementaires, sont les concentrations en-dessous desquelles aucun effet nuisible n'est observé sur la santé et l'environnement.

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.

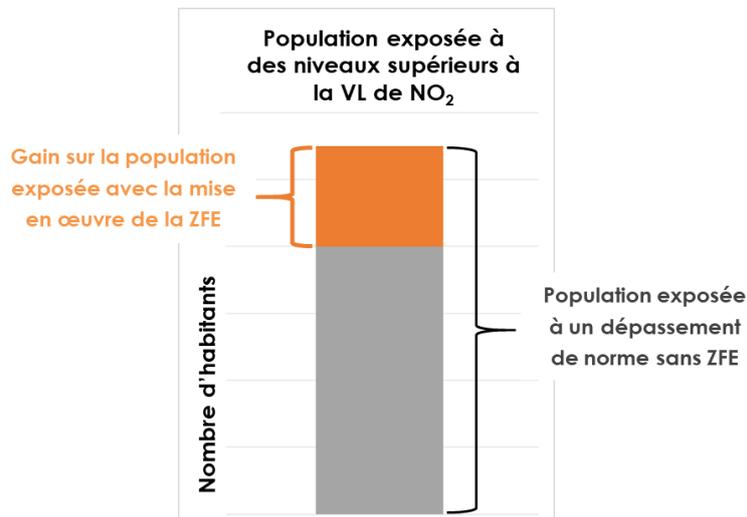


Figure 27 : Présentation de l'indicateur de population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ pour la situation de référence et gain sur la population engendré par la mise en œuvre du scénario de ZFE.

Pour le **dioxyde d'azote**, dont la valeur limite annuelle est fixée à 40 µg/m³, le gain sur la population exposée dû à la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine est d'environ 40 000 personnes au sein de la MGP (Figure 28). 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 %**.

La population exposée à des dépassements de la valeur limite en NO₂ à l'échelle de l'Ile-de-France, et les gains apportés par le dispositif évalué sont les mêmes que ceux concernant la population au sein de la MGP. Cela signifie que l'intégralité de la population francilienne potentiellement exposée à des concentrations au-dessus des normes réside au sein du périmètre métropolitain, soit dans la zone urbaine dense continue.

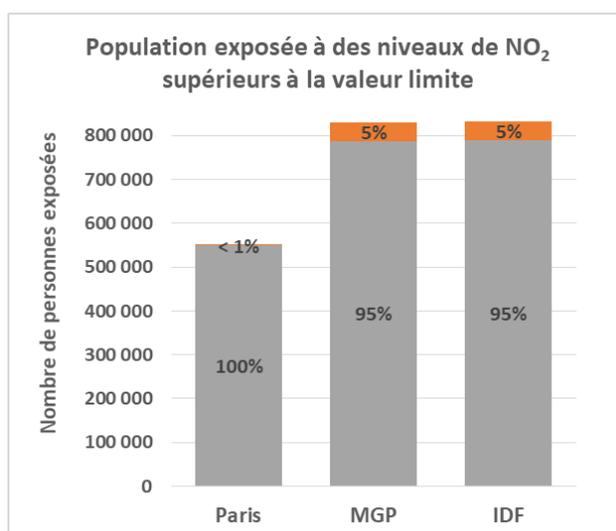


Figure 28 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ (40 µg/m³) résidant à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (au milieu), et à l'échelle de la région (à droite)

La Figure 29 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.**

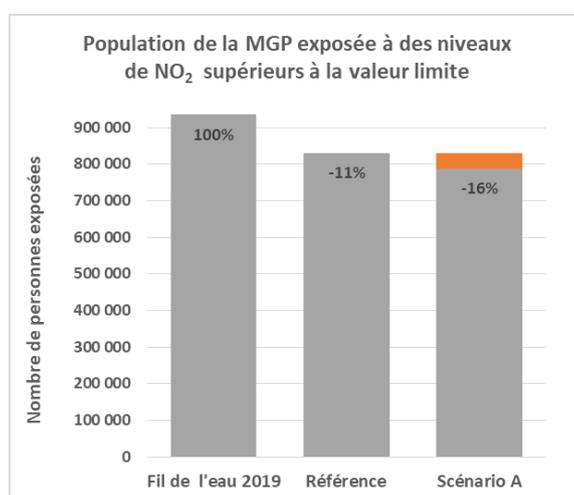


Figure 29 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ (40 µg/m³) au sein de la MGP, par rapport au « Fil de l'eau » 2019.

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 préconisation émise par l'OMS.

Au regard de ces seuils, les gains en nombre d'habitants exposés aux particules PM₁₀ et PM_{2.5}, au sein de Paris, de la MGP et de l'ensemble de l'Île de France, illustrés en Figure 30, sont très limités pour la mise en place du scénario A de ZFE métropolitaine. **Ils atteignent 2 % de la population exposée à des dépassements au sein de la MGP pour les PM_{2.5}. Du fait du nombre important d'habitants soumis à des dépassements de l'objectif de qualité pour les PM_{2.5}, cela représente environ 60 000 personnes.**

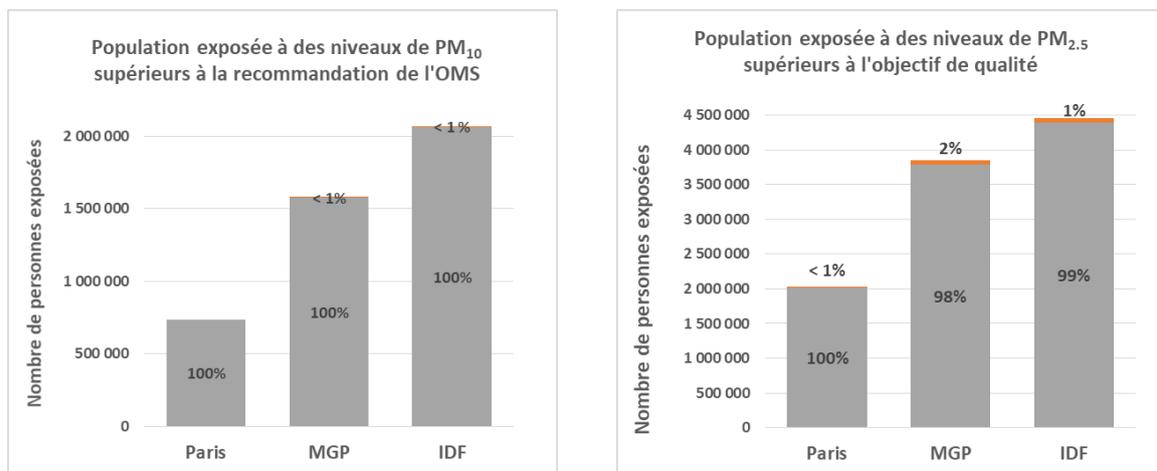


Figure 30 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS de 20 µg/m³ en moyenne annuelle de PM₁₀ (à gauche) et à l'objectif de qualité de 10 µg/m³ en moyenne annuelle de PM_{2.5} (à droite) pour Paris, MGP et à l'échelle de la région.

Les gains relatifs à l'exposition aux particules PM₁₀ et PM_{2.5} du fait de la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine sont limités en comparaison de ceux évalués pour le dioxyde d'azote NO₂. Cela est lié d'une part aux gains moindres obtenus pour les particules sur les émissions et les concentrations dans l'air, d'autre part au fait que les gains d'exposition aux particules sont évalués par rapport à des seuils plus contraignants que pour le dioxyde d'azote NO₂ et concernent ainsi plus de personnes exposées. En effet, en NO₂, le nombre de personnes en dépassement dans la situation de référence est d'environ 830 000, contre 2 000 000 en PM₁₀ et 4 500 000 en PM_{2.5}, soit presque de 5,5 fois plus de Franciliens.

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.

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.

La Figure 31 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 définie pour le NO₂ pour la situation de référence et le scénario A de ZFE métropolitaine.

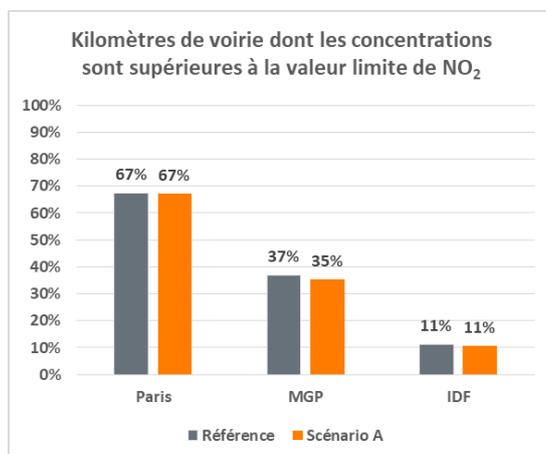


Figure 31 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (au milieu) et à l'échelle de la région (à droite)

Le gain en NO₂ apporté en proximité du trafic par la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine est limité. Il est au maximum de 2 % au sein de la MGP, plus précisément dans la zone intra A86 hors Paris puisque la situation dans Paris n'évolue pas entre le cas de référence et le scénario A de ZFE métropolitaine, les conditions de circulation y étant identiques.

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 n'évolue que peu. Presque 90 % du réseau routier métropolitain modélisé est en dépassement en PM_{2.5} et 70 % en PM₁₀.

6. RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS

Les tableaux suivants présentent de façon synthétique les indicateurs obtenus pour le scénario A 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%

Population exposée		MGP	IDF
Référence	Nombre d'habitants	830 000	830 000
Scénario A	Nombre d'habitants	790 000	790 000
	Baisses (%)	5%	5%

Figure 32 : Tableau de synthèse des émissions liées au trafic routier et de l'exposition de la population selon le scénario de ZFE métropolitaine étudié

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 territoriales : 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. Elle démontre qu'un dispositif tel que la ZFE métropolitaine permet d'améliorer la qualité du parc technologique circulant, de baisser les émissions de polluants, les concentrations de polluants atmosphériques et l'exposition de la population.

Les effets estimés pour le scénario A de ZFE métropolitaine sont positifs mais limités, et principalement localisés dans le périmètre de mise en œuvre de la ZFE (intra A86). Pour ce scénario, **des impacts positifs sont également évalués au-delà de ce périmètre.** Les gains estimés du scénario A de ZFE métropolitaine sont essentiellement hors Paris, la ZCR parisienne étant actuellement en place.

Les gains apportés par la mise en œuvre d'une ZFE métropolitaine sur les différents indicateurs sont plus conséquents pour le dioxyde d'azote¹⁶ 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 de 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 recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé sur les particules.

¹⁶ Oxydes d'azote dans le cas des émissions.

Le scénario A de ZFE présenté dans ce rapport est l'un des trois scénarios de restriction étudiés par Airparif dans le cadre du projet « Villes respirables en cinq ans ». Les deux autres scénarios étudiés, de niveau de restriction plus élevé en termes de catégorie Crit'Air, pour une même échéance, présentaient **des gains plus importants en émissions, en concentrations et en exposition**. La mise en œuvre du scénario A de ZFE à l'échelle 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** et doit être vue comme la **première étape d'un dispositif progressif**.

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 (ZFE parisienne « Crit'Air 4 » et ZFE métropolitaine « Crit'Air 5 ») seront supérieurs à ceux estimés dans cette étude**.

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

Tableau 2. 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 ZBE de la Mairie de Paris¹⁷. 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 33).

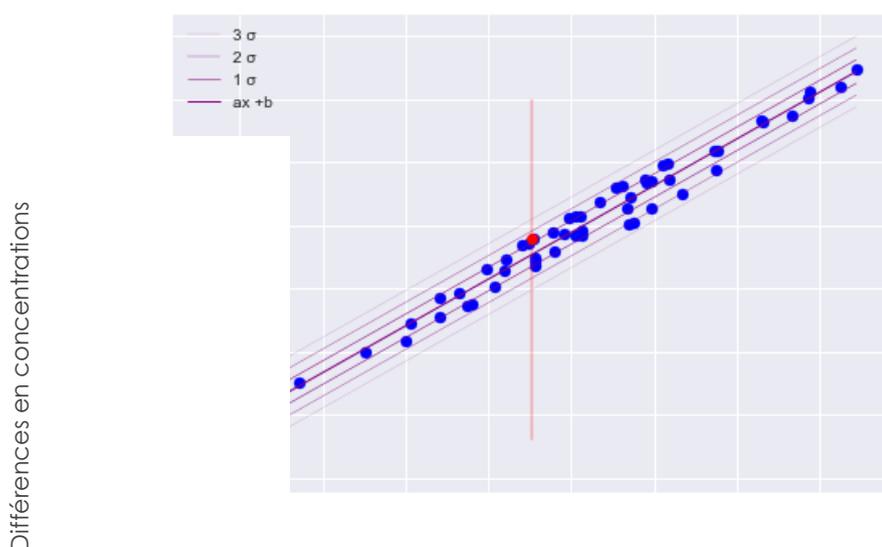


Figure 33 : Exemple de régression linéaire sur une maille de proximité au trafic. Le point rouge est la différence en concentration que le modèle cherche à reconstituer à partir de la différence en émissions connue (ligne rouge). Les points bleus sont les scénarios ayant servi à l'entraînement du modèle. 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 34). Il permet d'avoir au moins un brin de route dans chaque maille, et donc une valeur en émissions.

¹⁷ 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

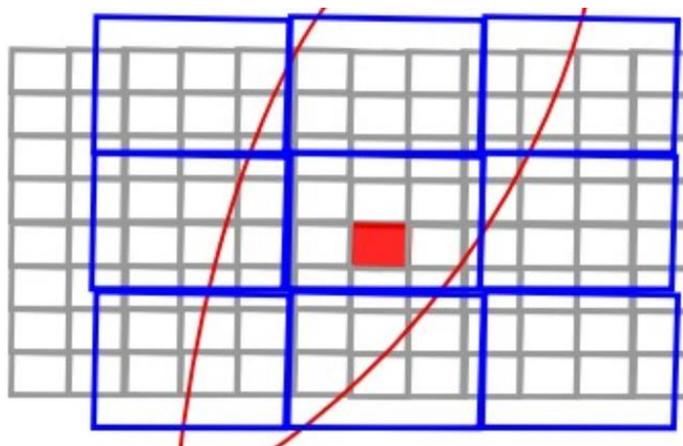


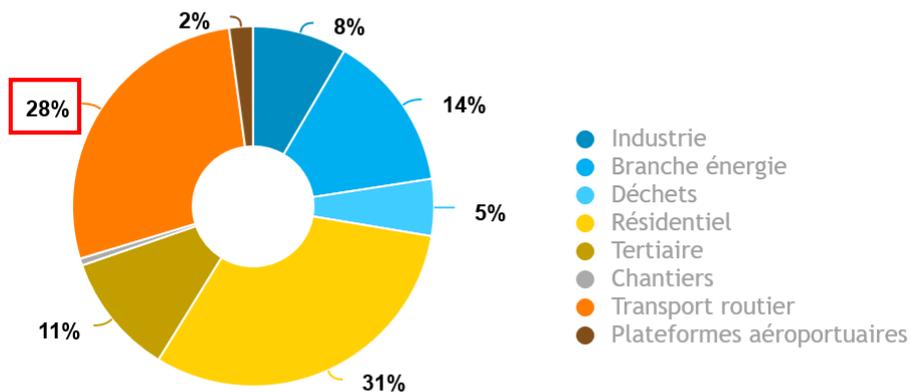
Figure 34 : Illustration du traitement des mailles influencées.

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

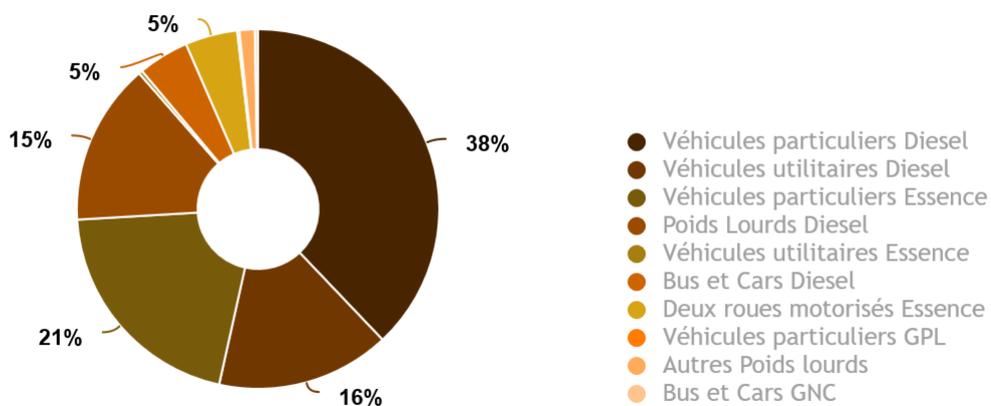


AIRPARIF DECEMBRE 2018

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 ZBE 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 basses émissions

Trois hypothèses majeures concernant la mise en place de la mesure et son impact sur le trafic routier ont été prises en compte dans cette étude pour chaque étape de la ZBE :

- le taux de renouvellement du parc automobile. Après concertation avec les différents partenaires, celui-ci a été fixé à 70%, uniquement pour les flux de véhicules concernés par la ZBE et ayant leur origine et/ou leur destination dans la ZBE. Les véhicules en transit dans la ZBE (qui n'ont ni leur origine de déplacement ni leur destination dans la ZBE) 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.
- La délimitation géographique de la ZBE. Le choix d'inclure le Boulevard Périphérique (BP) dans ces modélisations permet de rendre compte, dans un premier temps, de l'impact d'un

scénario relativement contraignant sur le trafic par rapport à un scénario excluant le BP. Ainsi, les résultats obtenus permettent d'obtenir un majorant de l'impact d'une restriction de circulation excluant le BP.

- Le groupe de véhicules concernés par les restrictions de circulation.

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.

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 de 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\text{PM}_{2,5}$ 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 ($\text{PM}_{2,5}$) 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 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 du scénario A (en bas).	29
Figure 18 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris et au sein de la ZFE, hors Paris, par la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.....	31
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, avec la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.....	32
Figure 20 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE hors Paris , avec la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.....	33
Figure 21 : Gains en émissions et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en dehors de la ZFE, avec la mise en œuvre du scénario A de ZFE métropolitaine.....	34
Figure 22 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre de la ZFE métropolitaine (scénario A) et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE et au dehors de celle-ci.	35
Figure 23 : Ratio entre les gains en émissions de CO ₂ attendus avec la mise en œuvre de la ZFE métropolitaine (scénario A) et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation, au sein de la ZFE et au dehors de celle-ci.	36
Figure 24 : Cartographies des niveaux annuels (en µg/m ³) de NO ₂ , PM ₁₀ et PM _{2.5} dans le périmètre de la Francilienne pour la situation de référence (à gauche) et le scénario A de ZFE métropolitaine (au milieu) et différences de concentrations entre le scénario A et la situation de référence (à droite). Nota bene : les échelles des écarts sont différentes.....	38
Figure 25 : Nombre d'habitants résidant à Paris (à gauche), et dans la Métropole du Grand Paris (à droite), selon les concentrations de NO ₂ . La valeur limite réglementaire d'exposition en NO ₂ en moyenne annuelle (40 µg/m ³) est représentée en pointillés rouges.	39
Figure 26 : Nombre d'habitants résidant dans la Métropole du Grand Paris (MGP) exposée selon les concentrations de PM ₁₀ (à gauche) et de PM _{2.5} (à droite). La recommandation de l'OMS concernant les concentrations de particules PM ₁₀ en moyenne annuelle (20 µg/m ³ , à gauche) et l'objectif de qualité relatif aux concentrations de particules PM _{2.5} en moyenne annuelle (10 µg/m ³ , à droite) sont représentés en pointillés rouges.	40
Figure 27 : 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 du scénario de ZFE.....	41
Figure 28 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO ₂ (40 µg/m ³) résidant à Paris (à gauche), dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (au milieu), et à l'échelle de la région (à droite).....	42
Figure 29 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO ₂ (40 µg/m ³) au sein de la MGP, par rapport au « Fil de l'eau » 2019.....	42

<i>Figure 30 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS de 20 µg/m³ en moyenne annuelle de PM₁₀ (à gauche) et à l'objectif de qualité de 10 µg/m³ en moyenne annuelle de PM_{2,5} (à droite) pour Paris, MGP et à l'échelle de la région.</i>	<i>43</i>
<i>Figure 31 : 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)</i>	<i>44</i>
<i>Figure 32 : Tableau de synthèse des émissions liées au trafic routier et de l'exposition de la population selon le scénario de ZFE métropolitaine étudié.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 33 : 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.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 34 : Illustration du traitement des mailles influencées.</i>	<i>49</i>