



Zone à faibles émissions dans l'agglomération parisienne

ÉTUDE PROSPECTIVE - ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LES ÉMISSIONS
DU TRAFIC ROUTIER, LA QUALITÉ DE L'AIR ET L'EXPOSITION DES
POPULATIONS - Étape 3



ZONE A FAIBLES ÉMISSIONS DANS L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE

ÉTUDE PROSPECTIVE

**Évaluation des impacts sur les émissions du trafic routier,
la qualité de l'air et l'exposition des populations**

Rapport relatif à l'étape 3

DÉCEMBRE 2018

Pour nous contacter

AIRPARIF - Observatoire 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 :

Emissions : 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 Emissions

ZFE : Zone à Faibles Emissions

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

Organismes :

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 et 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)

SOMMAIRE

GLOSSAIRE	5
SOMMAIRE	7
1. INTRODUCTION.....	9
2. MISE EN ŒUVRE D'UNE ZFE A L'ECHELLE PARISIENNE.....	10
2.1. MODALITES DE MISE EN ŒUVRE TESTEES DANS L'ETUDE	10
2.2. PRESENTATION DES RESULTATS	11
2.3. DEMARCHE D'EVALUATION DES IMPACTS DE LA ZFE	11
2.3.1. Évaluation des impacts sur les émissions	12
2.3.2. Méthodologie pour la cartographie des concentrations	12
2.3.2.1. Déterminer le niveau de pollution en proximité du trafic routier	13
2.3.2.2. Déterminer le niveau de fond « Fil de l'eau »	13
2.3.2.3. Déterminer le niveau de fond avec la mise en œuvre d'une ZFE.....	13
2.4. LIMITES DE LA DEMARCHE D'EVALUATION	14
3. ETAT DES LIEUX DE LA QUALITE DE L'AIR FRANCILIEN	16
3.1. UNE POPULATION EXPOSEE A DES NIVEAUX DE POLLUTION AU-DELA DES VALEURS LIMITEES.....	16
3.1.1. Particules PM ₁₀	16
3.1.2. Particules PM _{2,5}	17
3.1.3. Dioxyde d'azote NO ₂	18
3.1.4. Benzène	19
3.2. DES EMISSIONS IMPORTANTES LIEES AU TRAFIC ROUTIER	20
4. IMPACTS D'UNE ZFE SUR LES ÉMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER.....	24
4.1. TRAFIC ROUTIER	24
4.2. PARCS ROULANTS ET TECHNOLOGIQUES	26
4.2.1. Parc roulant de référence	26
4.2.2. Parc technologique de référence	27
4.2.3. Impact de la ZFE sur le parc technologique	28
4.3. ÉMISSIONS LIEES AU TRAFIC ROUTIER	31
4.3.1. Émissions de polluants atmosphériques.....	31
4.3.1.1. Influence à Paris de la mise en œuvre d'une ZFE parisienne	31
4.3.1.2. Influence en dehors de Paris de la mise en œuvre d'une ZFE parisienne	34
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 ATMOSPHERIQUES	37
5.2. INDICATEURS D'EXPOSITION	39
5.2.1. Exposition de la population	39
5.2.1.1. Exposition de la population par classe de concentration	39
5.2.1.2. Exposition de la population au-delà des normes	40
5.2.2. Qualité de l'air au droit des axes routiers	43

6. IMPACT D'UN DÉCALAGE TEMPOREL DE MISE EN ŒUVRE DE LA 3 ^{ÈME} ÉTAPE	45
6.1. SUR LE PARC TECHNOLOGIQUE.....	45
6.2. SUR LES EMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER.....	46
6.2.1 Influence à Paris	46
6.2.2 En dehors de Paris.....	48
6.3 SUR LES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS	49
6.4. À RETENIR A PROPOS DU DECALAGE TEMPOREL	49
7. RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS	50
ANNEXES	52
TABLE DES FIGURES	59

1. INTRODUCTION

Conformément à son programme stratégique de surveillance 2016-2021, intégrant notamment des éléments d'aide au dimensionnement et au suivi des plans d'actions, Airparif a accompagné la Mairie de Paris pour réaliser une évaluation prospective de l'impact sur la qualité de l'air de son projet de Zone à Faibles Émissions (ZFE). La ZFE est un élément du plan de lutte contre la pollution atmosphérique liée au trafic routier lancé par la Mairie de Paris en février 2015. Une étude globale qui présente les impacts de quatre niveaux envisagés en 2015 de ZFE parisienne (échelonnés entre 2016 et 2019) a été réalisée, ainsi que des scénarios additionnels mis en œuvre sur un territoire élargi à l'intra A86. L'ensemble des résultats a fait l'objet d'un rapport final publié en mars 2018 et disponible sur le site d'Airparif¹.

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'Etat (DRIEA) et la Mairie de Paris.

Le présent rapport décrit et commente les résultats obtenus dans le cadre de l'étude globale, en focalisant sur la troisième étape envisagée initialement en juillet 2018 et décalée en juillet 2019, et portant sur la restriction des véhicules de catégories « Non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 ». Il a vocation à faire partie du fond documentaire accompagnant le projet d'arrêté municipal fixant les modalités de mise en œuvre de la troisième étape de la ZFE parisienne.

Des noms différents pour des dispositifs identiques

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

Ces acronymes désignent des dispositifs équivalents, dont l'objectif est de diminuer les impacts du trafic routier sur la qualité de l'air en accélérant le processus de renouvellement du parc technologique. **En anglais, ce sont toutes des LEZ (Low Emission Zones*) qui existent dans plus de 200 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 de Basses Emissions**

¹ Rapport « Zones à Basses Emissions dans l'agglomération parisienne – Etude prospective - Evaluation des impacts sur les émissions du trafic routier, la qualité de l'air et l'exposition des populations »
www.airparif.asso.fr/pdf/publications/Rapport_ZBE_2016-2019_070518.pdf mars 2018

2. MISE EN ŒUVRE D'UNE ZFE A L'ECHELLE PARISIENNE

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

Les restrictions de circulation, dont font l'objet cette étude, 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.

Les scénarios étudiés (années de mise en œuvre, véhicules concernés, niveaux de restriction et périmètres) dans l'étude globale sont détaillés ci-dessous.

	CRIT'Air	Périmètre d'interdiction			
		Paris avec boulevard périphérique	Paris sans boulevard périphérique	Intra A86 A86 exclue	
Étape 1 1 ^{er} juillet 2016		✓			Véhicules concernés
Étape 2 1 ^{er} juillet 2017		✓		✓	
Étape 3 1 ^{er} juillet 2018		✓	✓	✓	
Étape 4 1 ^{er} juillet 2019		✓	✓	✓	

✓ Scénarios étudiés par Airparif dans le cadre de l'étude prospective de la création d'une zone de basses émissions

Tableau 1 : Modalités des scénarios étudiés sur la période 2016 à 2019 selon le périmètre défini pour la mise en œuvre d'une ZFE. VP = véhicules particuliers, VUL = véhicules utilitaires légers, PL = poids lourds, TC = bus et cars, 2RM = deux roues motorisés

Le présent rapport focalise sur la troisième étape, correspondant initialement à l'extension, en juillet 2018, des restrictions de circulation aux véhicules de catégorie « Crit'Air 4 » sur le périmètre parisien hors Boulevard Périphérique. Ce projet s'inscrit dans la volonté d'interdire progressivement la circulation des véhicules les plus polluants au sein de de l'agglomération parisienne, après la restriction de la circulation des véhicules « Non Classés » (janvier 2017) puis « Crit'Air 5 » (juillet 2017).

La Figure 1 ci-dessous illustre les axes routiers modélisés dans le cadre de l'étude de la mise en œuvre de la ZFE Parisienne.



Figure 1 : Axes routiers modélisés dans le cadre de l'étude.

2.2. Présentation des résultats

Dans l'étude globale, les émissions et les concentrations sont évaluées et comparées à celles calculées pour le scénario « Fil de l'eau » de la même année, correspondant à la situation future si aucune restriction de circulation n'était mise en place aussi bien sur l'année étudiée que sur les années précédentes. Ainsi, le scénario « Fil de l'eau » correspondant à une étape donnée intègre seulement l'évolution inhérente au parc technologique.

Les résultats de la 3ème étape correspondent à l'étude d'une mise en œuvre en juillet 2018 d'une ZFE restreignant la circulation à la fois des « Non classés », des « Crit'Air 5 » et des « Crit'Air 4 », au regard du « Fil de l'eau » de la même année.

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 celle-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 et de particules (PM₁₀ et PM_{2.5})** sont quantifiés, ainsi que ceux sur les Gaz à Effet de Serre (GES) via les **émissions de CO₂**. À l'échelle urbaine, ces polluants sont émis principalement par le trafic routier.

En ce qui concerne la qualité de l'air, les **particules et le dioxyde d'azote (NO₂)²** 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**, et notamment à Paris, 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.

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

Afin de tenir compte des impacts au-delà du périmètre de mise en œuvre du dispositif (Paris Intramuros), la zone d'étude s'étend au-delà du périmètre de la ZFE envisagée, jusqu'aux contours de la Francilienne, ce qui représente 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 (flux et vitesse des véhicules pour chaque brin du réseau routier francilien modélisé) ont été fournies par la DRIEA, pour les différents scénarios étudiés, Fil de l'eau (FDE) et ZFE. Plus de détails sur la méthodologie d'évaluation du trafic routier sont fournis dans le chapitre 4 (paragraphe 4.1).

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 EMEP³. À ce jour, une nouvelle version de cet outil est disponible (COPERT V), intégrant de nouveaux facteurs d'émissions pour les véhicules légers, mais pas pour les poids-lourds ; c'est pourquoi il a été privilégié de travailler sur la base 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.

Les émissions sont calculées au niveau de chaque brin du réseau routier modélisé en croisant données de flux de véhicules, et facteurs d'émissions pour chaque polluant qui dépendent de la vitesse et de la typologie (type, motorisation) des véhicules.

2.3.2. Méthodologie pour la cartographie des concentrations

Les cartographies des niveaux de polluants atmosphériques ZFE 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). Dans l'étude globale, le niveau de fond régional est différent selon les étapes (années) et les scénarios étudiés. Les paragraphes suivants précisent la méthodologie adoptée et l'ensemble des hypothèses définies afin de tenir compte au mieux de cette évolution au cours des années,

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

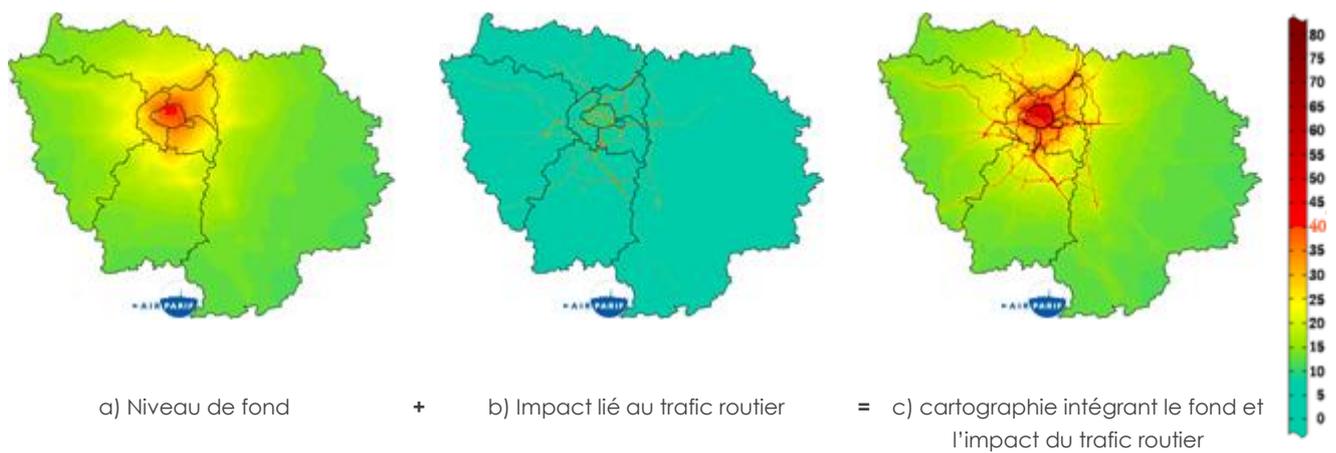


Figure 2 : Exemple du principe de modélisation des résultats de cartographie de la qualité de l'air (c) issus de croisement de la modélisation des niveaux de fond (a) et de l'impact issu du trafic routier (b).

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

Les niveaux de polluants atmosphériques en proximité du trafic routier découlent de calculs de dispersion atmosphérique réalisés avec le modèle ADMS-Urban⁴. Ce modèle permet de déterminer l'impact sur les concentrations à proximité immédiate de l'ensemble du réseau routier modélisé. Il permet également de déterminer l'impact des émissions routières sur la qualité de l'air au-delà des axes routiers, dans la zone d'influence propre à chaque polluant, en tenant compte des réactions chimiques de transformation des polluants.

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

Dans l'étude globale, les niveaux de fond pris en compte pour les quatre années d'étude pour établir les cartographies s'appuient sur les niveaux de fond mesurés en 2016 et ceux 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 ESMEALDA (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).

Pour la troisième étape, objet du présent rapport, les niveaux de fond « Fil de l'eau » ont été déterminés selon une évolution progressive et linéaire entre ceux mesurés en 2016 et ceux estimés de 2020.

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.

⁴ Logiciel développé par CAMBRIDGE ENVIRONMENTAL RESEARCH Ltds (CERC) et distribué par la société Numtech.

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

Toutefois, il est important de différencier l'approche adoptée pour le dioxyde d'azote de celle mise en œuvre pour les particules. En effet, si le dioxyde d'azote peut être considéré comme étant un polluant majoritairement local, cela n'est pas le cas pour les particules : une part importante des concentrations de ce polluant est due à de l'import. En effet, d'après une étude menée par Airparif⁵, les deux tiers de la concentration annuelle en particules fines PM_{2.5} mesurée à Paris en situation de fond proviennent de sources extérieures à la région. Ainsi, la réduction du niveau de fond pour les particules est appliquée sur le tiers restant, représentant la contribution des émissions locales aux concentrations. Les réductions sur des niveaux de fond sont ainsi moins marquées pour les particules que pour le dioxyde d'azote.

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, il est considéré que la répartition du parc roulant (i.e. 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) n'évolue pas entre les différentes étapes de mise en œuvre de la ZFE ; elle 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).
- 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 %. Pour le reste des véhicules particuliers et des deux-roues motorisés concernés par les restrictions de circulation, soit 30 %, un report sur les transports en commun et les modes doux ou un changement d'itinéraire pour éviter la ZFE est réalisé. Cette hypothèse avait été préconisée par le Ministère en charge de l'Environnement, lors des études de faisabilité d'une ZAPA (Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air) menées entre 2010 et 2012. A dire d'expert, ce chiffre de 70 % est sans doute minorant, si l'on se base notamment sur les retours d'expérience (notamment celui de la Ville de Berlin) collectés par l'ADEME⁶. Cela permet cependant de maximiser les éventuels phénomènes de reports au plus près de la ZFE, c'est pourquoi il a été retenu.

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

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

- 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 de véhicules motorisés par les Franciliens en semaine et le week-end⁷. Aucun élément analogue permettant de décliner cette approche au niveau horaire n'était disponible. Par défaut, les calculs d'émissions ont donc été réalisés en supposant que le parc technologique évolue de la même manière tout au long de la journée en lien avec la mise en place de la ZFE. Cela est probablement faux pour un certain nombre d'utilisateurs amenés à se déplacer uniquement de 20 heures à 8 heures. Cette simplification induit une surestimation des gains d'émissions liés à la ZFE, probablement mineure car la grande majorité des kilomètres parcourus l'est 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, pour une ZFE parisienne, l'influence de la réduction des émissions sur le niveau de fond est homogène et sur Paris. De la même manière en-dehors de la ZFE, 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 parisienne sont probablement légèrement sous-estimés près de sa frontière et surestimés loin de celle-ci.

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

3. ETAT DES LIEUX DE LA QUALITE DE L'AIR FRANCILIEN

Les éléments qui suivent sont ceux relatifs à l'année 2017, disponibles à la date à laquelle la consultation sur le projet d'arrêté municipal pour la troisième étape de la ZFE parisienne a été lancée.

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

Les éléments de bilan de la qualité de l'air sur Paris sont issus des résultats 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 sur la petite couronne de l'Ile-de-France, avec un zoom sur Paris.

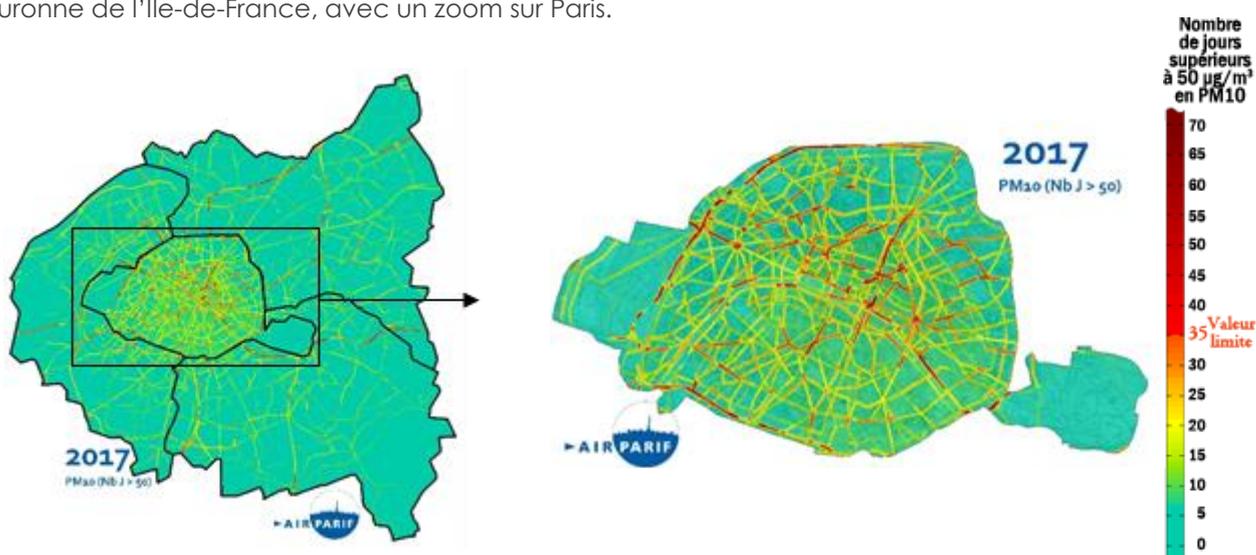


Figure 3 : Nombre de jours de dépassement du seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière pour les particules PM₁₀ sur la petite couronne et zoom sur Paris pour l'année 2017.

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 parisiens et de l'agglomération parisienne, 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.

Dans Paris, le **dépassement de la valeur limite journalière est constaté en 2017 sur environ 6 % du réseau routier parisien modélisé** soit environ 45 km de voirie.

La superficie concernée par le dépassement de la valeur limite journalière est estimée à environ 5 km², soit environ 5 % de la superficie parisienne. Environ **80 000 personnes sont potentiellement exposées à un dépassement**⁸, soit environ 4 % des Parisiens.

Les cartes de la Figure 4 présentent la **concentration moyenne annuelle de particules PM₁₀** en 2017 sur la petite couronne, ainsi qu'un zoom sur Paris. 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.

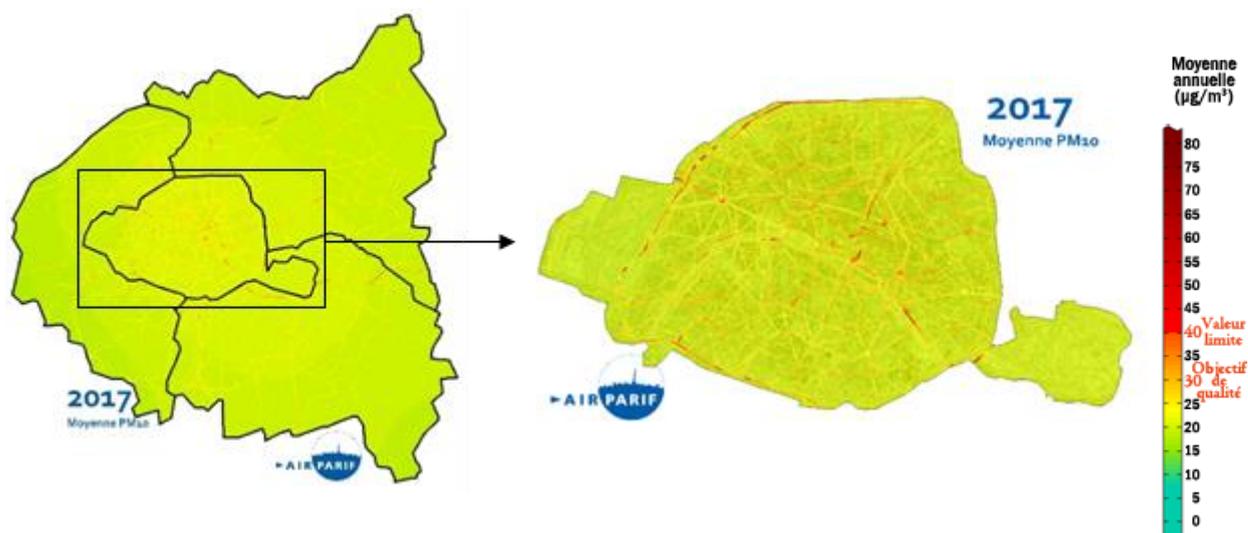


Figure 4 : Concentration moyenne annuelle de particules PM₁₀ sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.

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, certains niveaux sont toujours supérieurs à l'objectif de qualité (30 µg/m³) à proximité des axes routiers. En 2017, le dépassement de **l'objectif de qualité annuel** concerne près de 50 km d'axes routiers parisiens, soit environ 7 % du réseau routier modélisé. Environ **30 000 Parisiens sont potentiellement exposés**⁸ à un air excédant l'objectif de qualité annuel pour les particules PM₁₀.

3.1.2. Particules PM_{2.5}

Les cartes de la Figure 5 présentent la concentration moyenne annuelle de particules PM_{2.5} en 2017 sur la petite couronne, ainsi qu'un zoom sur Paris.

Comme pour les PM₁₀, les concentrations les plus élevées sont relevées dans le cœur dense de l'agglomération parisienne au voisinage des grands axes routiers.

La valeur limite annuelle est respectée à Paris, comme sur l'ensemble de la région.

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

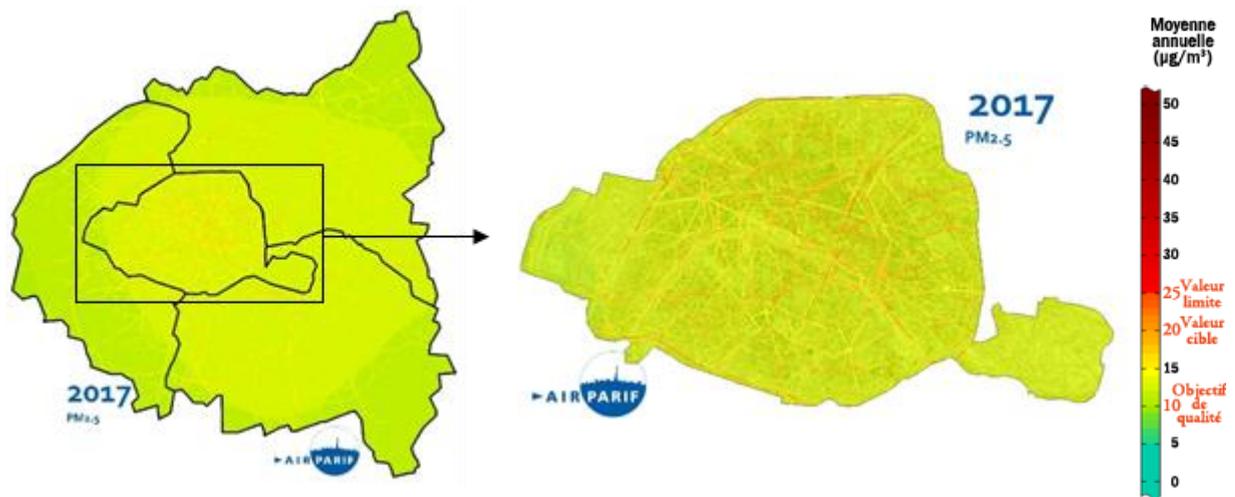


Figure 5 : Concentration moyenne annuelle de particules PM_{2.5} sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.

En 2017, **la valeur cible annuelle** pour les particules PM_{2.5} est respectée sur l'ensemble de Paris. La **totalité du territoire parisien et des habitants est concernée par un dépassement de l'objectif de qualité (10 µg/m³)**. Ce seuil est également dépassé sur quasiment tout le territoire francilien.

3.1.3. Dioxyde d'azote NO₂

Les cartes de la Figure 6 présentent la concentration moyenne annuelle de NO₂ en 2017 sur la petite couronne, ainsi qu'un zoom sur Paris.

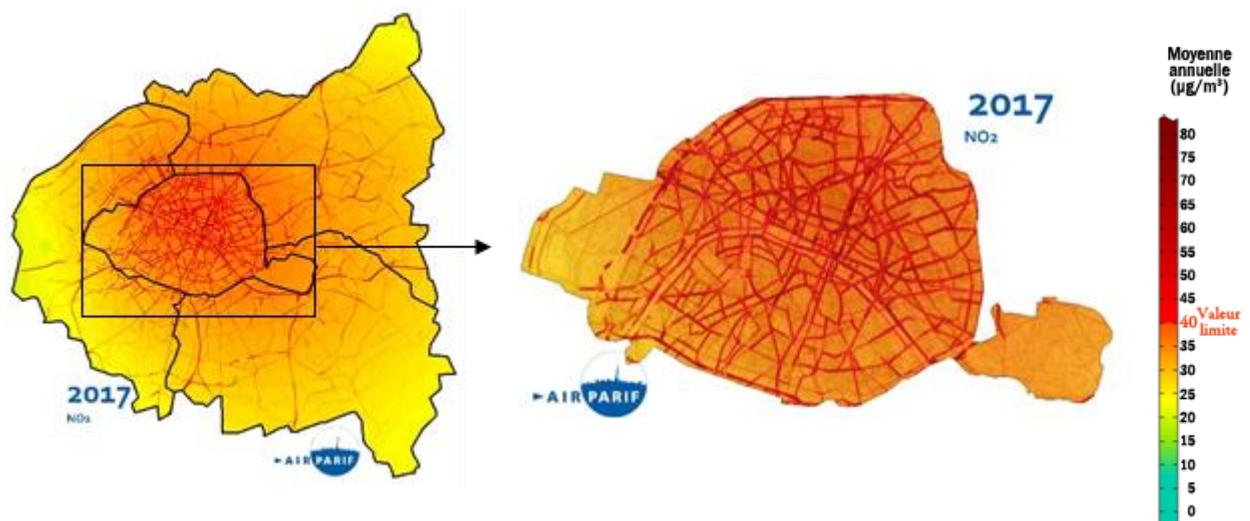


Figure 6 : Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO₂) sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.

Les concentrations les plus élevées sont relevées au cœur de l'agglomération parisienne, et au voisinage des principaux axes routiers régionaux et des axes parisiens, avec un écart plus important avec le fond environnant que celui pour les PM₁₀. Les teneurs annuelles de NO₂ à proximité des plus grands axes parisiens peuvent être plus de 2 fois supérieures à celles observées en situation de fond.

A Paris, 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.

Les dépassements de la valeur limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont relevés au droit et au voisinage des grands axes routiers, généralement des axes parisiens ainsi que dans le centre de l'agglomération parisienne. Les concentrations y sont jusqu'à deux fois supérieures au seuil réglementaire. **La valeur limite annuelle en NO_2 est ainsi dépassée en 2017 sur environ 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.** À l'échelle régionale, 1.3 millions de Franciliens sont concernés par un dépassement de la valeur limite.

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 la petite couronne, ainsi qu'un zoom sur Paris.



Figure 7 : Concentration moyenne annuelle de benzène sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.

Les concentrations en benzène sont légèrement plus élevées dans le cœur dense de l'agglomération parisienne. 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...**

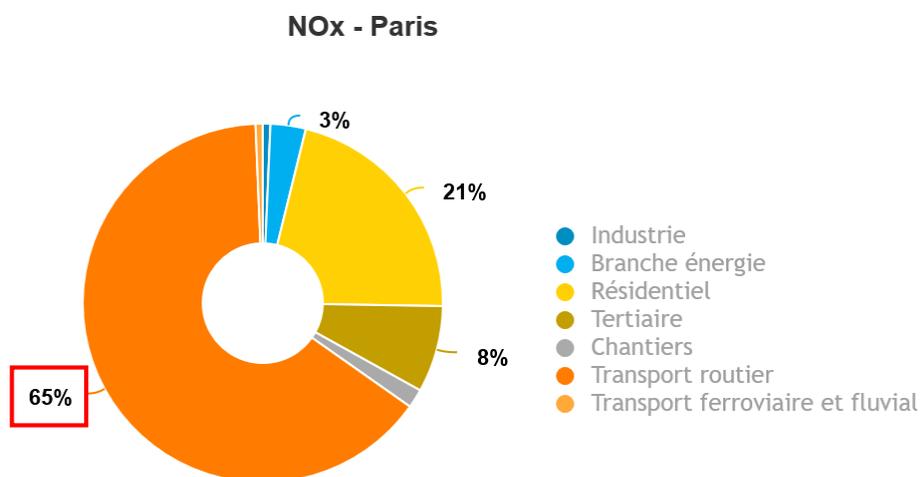
La valeur limite européenne relative au benzène ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est respectée sur Paris, comme sur l'ensemble de l'Ile-de-France, même à proximité des axes routiers parisiens. L'objectif de qualité français ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est encore dépassé, en 2017, sur près de **85 km de voies** dans Paris. Ce **dépassement concerne près de 20 000 habitants**, soit près de 1 % des parisiens.

A Paris, les niveaux moyens de NO_2 sont les plus élevés de l'Ile-de-France, et supérieurs à la moyenne de l'agglomération parisienne. La valeur limite annuelle est dépassée sur une majorité des axes routiers parisiens, et ponctuellement en situation de fond. 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 afin d'estimer les gains d'émissions avec la mise en œuvre de la ZFE, un zoom spécifique est réalisé sur les polluants les plus problématiques en Ile-de-France avec 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.

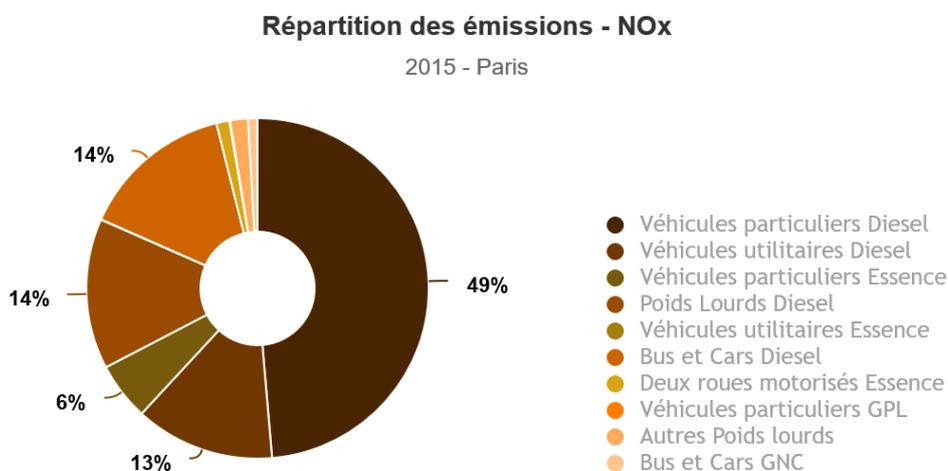
3.2. Des émissions importantes liées au trafic routier

Le trafic routier est le principal contributeur aux émissions d'oxydes d'azote (NO_x) avec 65 % des émissions parisiennes. Les Véhicules Particuliers (VP) représentent 54 % 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 35 % des émissions parisiennes. Les Bus et Cars (TC) et les Poids Lourds (PL) représentent respectivement 15 % et 16 % des émissions parisiennes de NO_x du transport routier alors qu'ils présentent moins de 3 % des kilomètres parcourus à Paris.



AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité



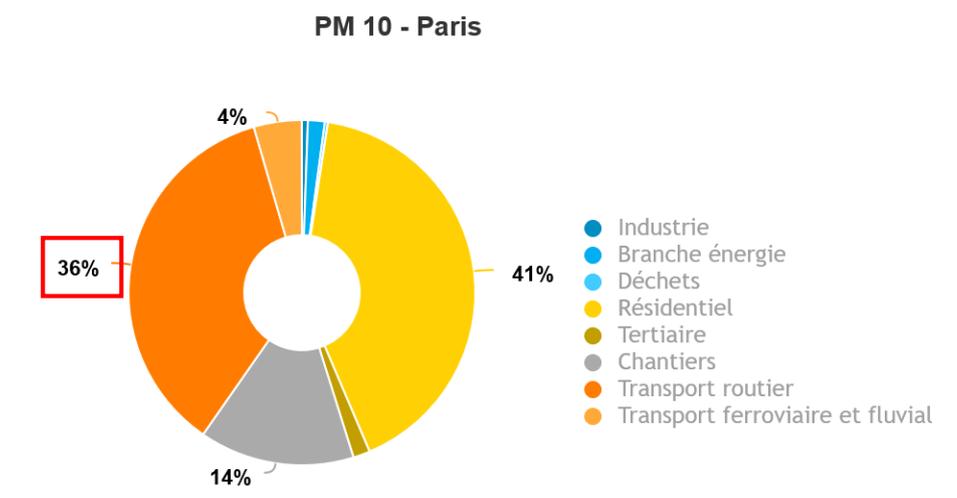
AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

Figure 8 : Contribution par secteur d'activité (a) et selon les catégories de véhicules (b) aux émissions d'oxydes d'azote (NO_x en équivalent NO₂) à Paris pour l'année 2015.

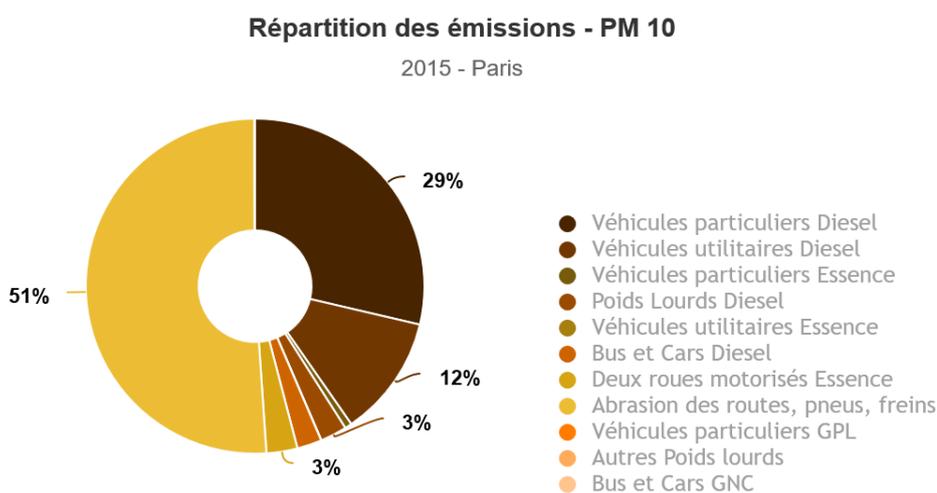
Le trafic routier engendre également des émissions primaires⁹ importantes en particules PM₁₀ avec 36 % des émissions parisiennes en 2015.

En 2015, pour **les particules PM₁₀**, l'échappement des véhicules particuliers diesel contribue pour 10 % aux émissions parisiennes (29 % 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 4 % et 1 % des émissions parisiennes totales (pour 12 % et 2 % du trafic routier parisien). 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 18 % des émissions parisiennes de particules (51 % 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.



AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité



AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

Figure 9 : Contribution par secteur d'activité (a) et selon les catégories de véhicules (b) aux émissions primaires de particules (PM₁₀) à Paris pour l'année 2015.

⁹ Emissions 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 à Paris est également importante puisque 35 % des émissions primaires sont engendrées par le trafic routier (cf. Annexe 2).

Le trafic routier est également émetteur de **COVNM** à hauteur de 15 % à Paris. 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 parisiennes du secteur du trafic routier¹⁰, tandis que les particules et les oxydes d'azote sont principalement émis par les véhicules diesel.

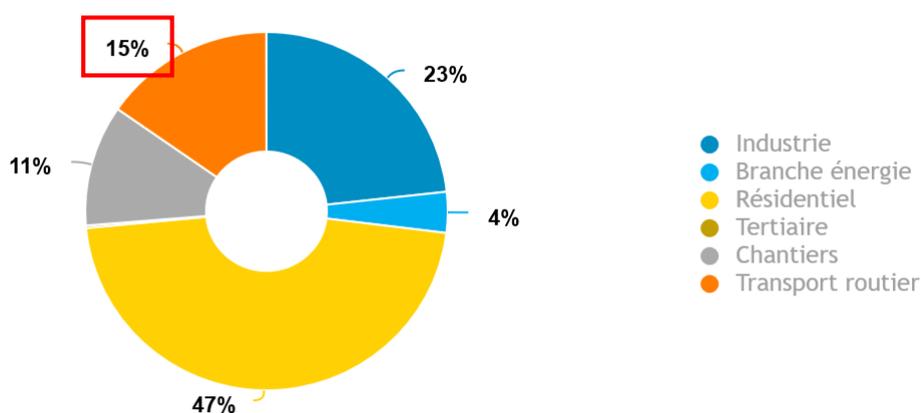
Les émissions de COVNM dans le secteur du trafic routier sont en nette diminution depuis la généralisation des pots catalytiques et la transition des véhicules deux-roues motorisés à moteur deux-temps à carburateur vers des véhicules 4-temps à injection directe, moins émetteurs de COVNM à l'échappement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

Concernant le **dioxyde de carbone (CO₂)**, principal gaz à effet de serre, le trafic routier parisien contribue à hauteur de 37 % des émissions directes parisiennes (cf. Annexe 2), dont 15 % pour les véhicules particuliers diesel et 9 % pour les véhicules particuliers essence.

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

COVNM - Paris



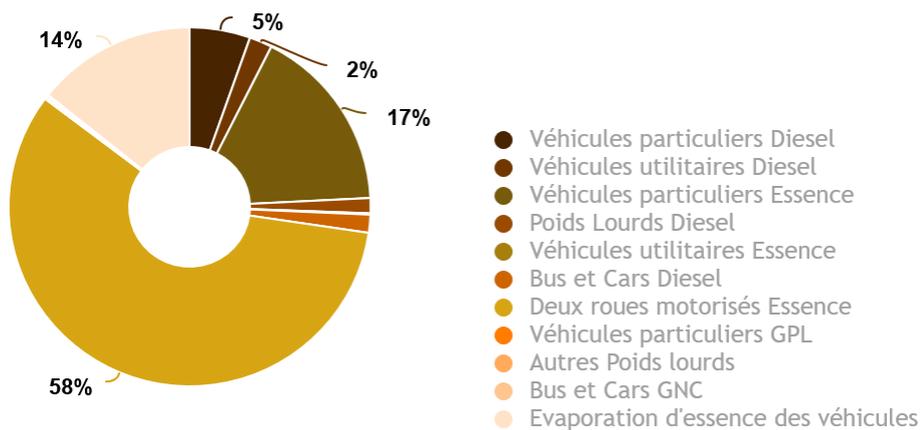
AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

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

Répartition des émissions - COVNM

2015 - Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

Figure 10 : Contribution par secteur d'activité (a) et selon les catégories de véhicules (b) aux émissions primaires de COVNM à Paris pour l'année 2015.

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, les scénarios « Fil de l'eau » et les scénarios « 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 scénarios considérés.

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 les scénarios « Fil de l'eau » et « ZFE » (cf. Annexe 3). Le trafic routier (flux et vitesse des véhicules) est modélisé sur chaque brin d'environ 10 000 km de voirie comme illustré à la Figure 11.

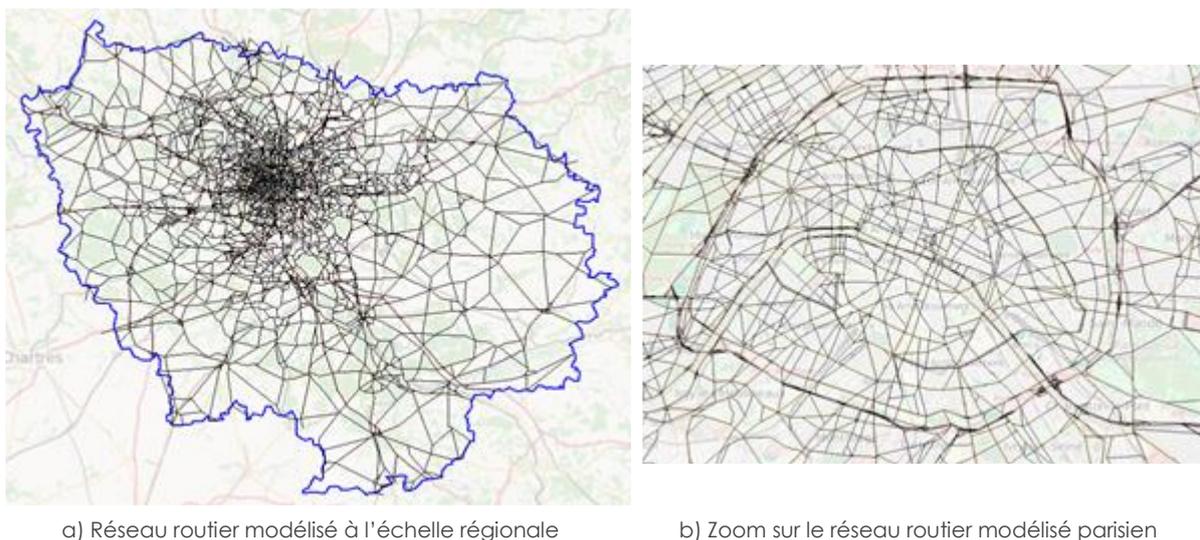


Figure 11 : Réseau routier pris en compte pour le calcul des émissions liées au trafic routier (Source : DRIEA – traitement et image Airparif).

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

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

La Figure 12 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.

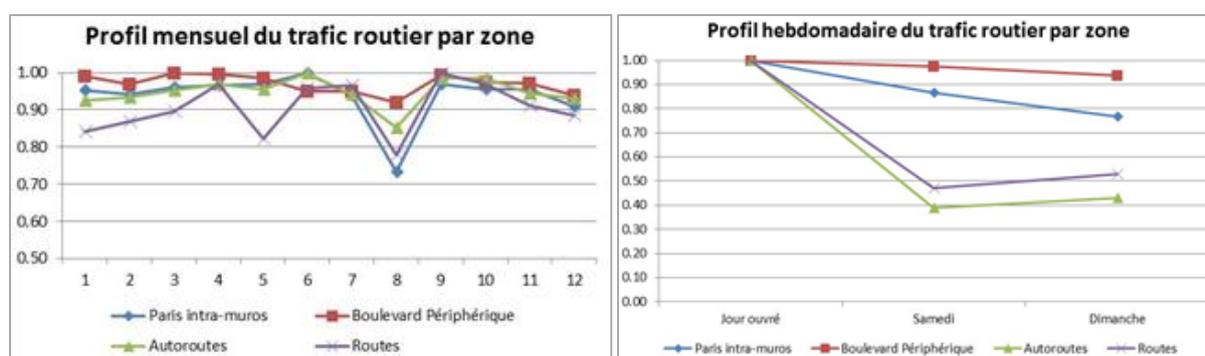


Figure 12 : Profils mensuels (a) et hebdomadaires (b) du trafic routier, par zone (Paris intramuros, Bd Périphérique, Autoroutes et Routes). Source : Airparif d'après données DRIEA, DIRIF et Mairie de Paris.

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

Dans les scénarios « Fil de l'eau », le trafic routier modélisé par la DRIEA pour la période 2016-2019 à Paris montre une légère augmentation annuelle du flux de trafic à l'échelle régionale d'environ 1 %¹³.

Avec la mise en œuvre de la ZFE, le volume de trafic routier reste relativement stable selon les différentes étapes et zones étudiées de la ZFE, avec notamment un trafic en baisse de moins de 0,1 % en Ile-de-France lors des deux premières étapes. Pour la troisième étape, le trafic routier diminue d'environ 0,5 % par rapport au fil de l'eau à l'échelle régionale, avec une diminution plus importante au sein de la ZFE pouvant aller jusqu'à environ 2,5 % dans le cadre d'une ZFE parisienne.

¹¹ Source : bilan des déplacements 2014.

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

¹³ D'après la DRIEA : données issues des calculs de trafic routier aux heures de pointe du matin et du soir.

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.

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.

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

La Figure 13 présente le parc roulant utilisé pour caractériser le trafic parisien les jours ouvrés.

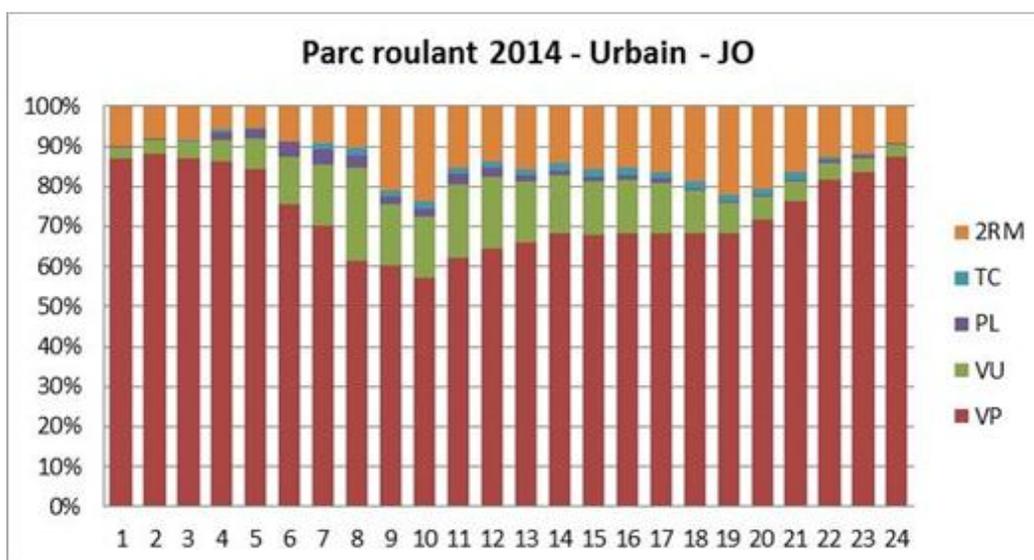


Figure 13 : Parc roulant appliqué les jours ouvrés (JO) sur les axes parisiens selon les heures de la journée.

À défaut d'autres hypothèses sur son évolution, le parc roulant a été supposé constant pour les l'ensemble des étapes de mise en œuvre de la ZFE parisienne et élargie, que ce soit avec ou sans la mise en œuvre de la ZFE.

4.2.2. Parc technologique de référence

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

La caractérisation des parcs technologiques aux échelles de Paris et de l'Ile-de-France pour la situation de référence (2014) et les différentes étapes de la ZFE parisienne a fait appel à plusieurs sources de données qui ont été étudiées et compilées (cf. Annexe 4). 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 14 présente les parcs technologiques par type de véhicules, caractérisant le trafic parisien en 2014. Les véhicules ont été classifiés selon la nomenclature Crit'Air.

Les Voitures Particulières (VP) présentent le parc technologique le plus récent, c'est-à-dire présentant la plus grande part de véhicules « Crit'Air 1 » et « électrique » selon la classification Crit'Air, avec 13 % des kilomètres parcourus. Seuls les véhicules utilisant l'énergie électrique, le gaz et l'essence peuvent prétendre à cette catégorie désignée comme étant la plus propre.

Les véhicules Diesel sont au mieux classés « Crit'Air 2 ». Aussi, les catégories relatives à des véhicules roulant essentiellement au Diesel (VUL, PL et TC) présentent de faibles parts de véhicules de la classe « Crit'Air 1 ».

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 véhicules « Non Classés » est, pour les PL et les TC respectivement de 11 % et 13 %, soit bien supérieure à celle observée pour les VP, VUL et 2RM (de l'ordre de 5 %).

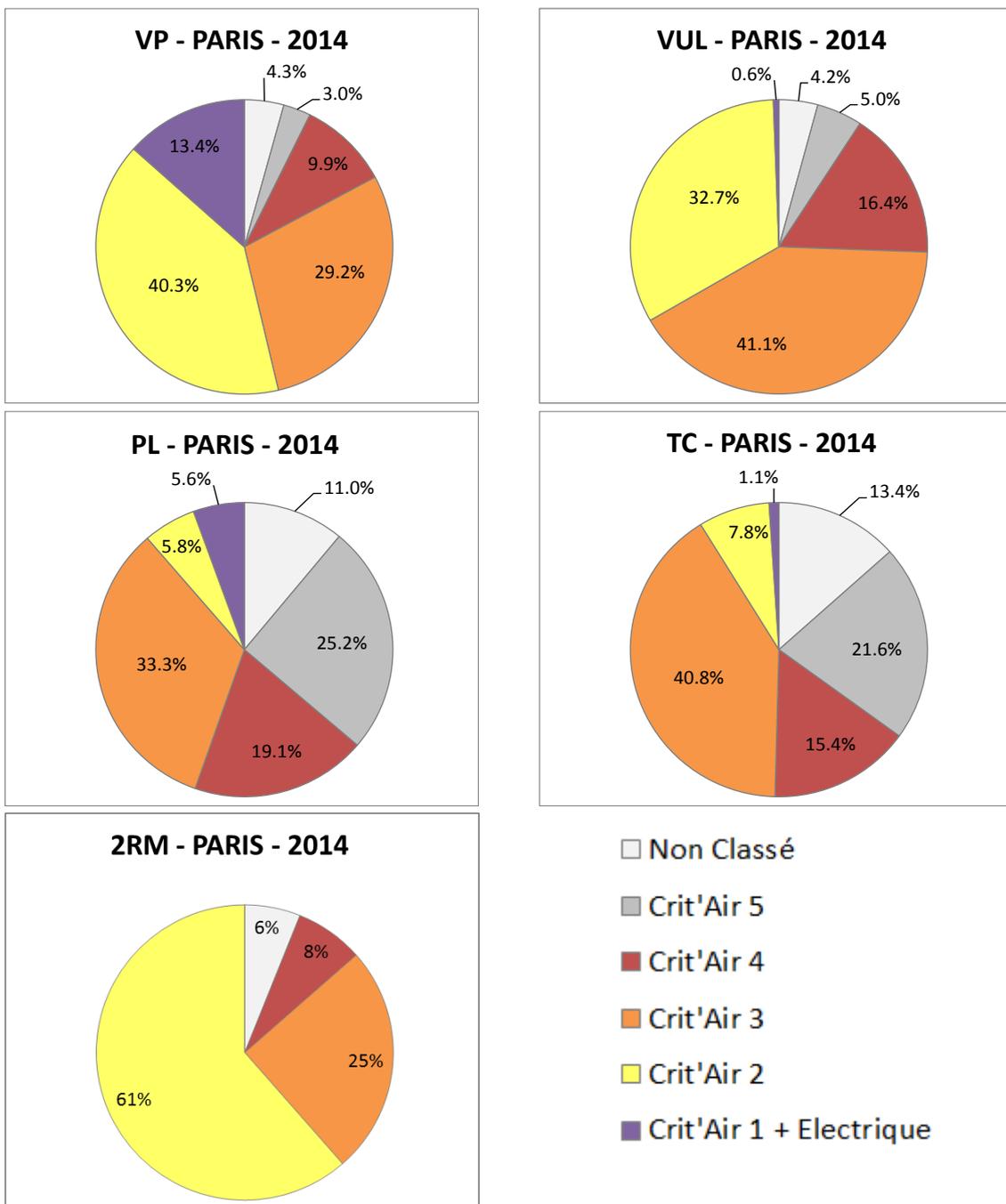


Figure 14 : Parcs technologiques parisiens par type de véhicules pour l'année 2014.

4.2.3. Impact de la ZFE sur le parc technologique

Le parc technologique prospectif pour le scénario « Fil de l'eau » 2018 a été construit par Airparif à partir du parc de référence 2014 décrit précédemment et de l'évolution nationale du parc CITEPA pour cette échéance. Pour la troisième étape de la ZFE parisienne (comme pour tous les scénarios de ZFE étudiés), 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 n'est que 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 15 présente le parc technologique parisien pour le scénario « Fil de l'eau » et une fois mise en œuvre la troisième étape de la ZFE à Paris. La présentation adoptée repose comme précédemment sur la nomenclature « Crit'Air ».

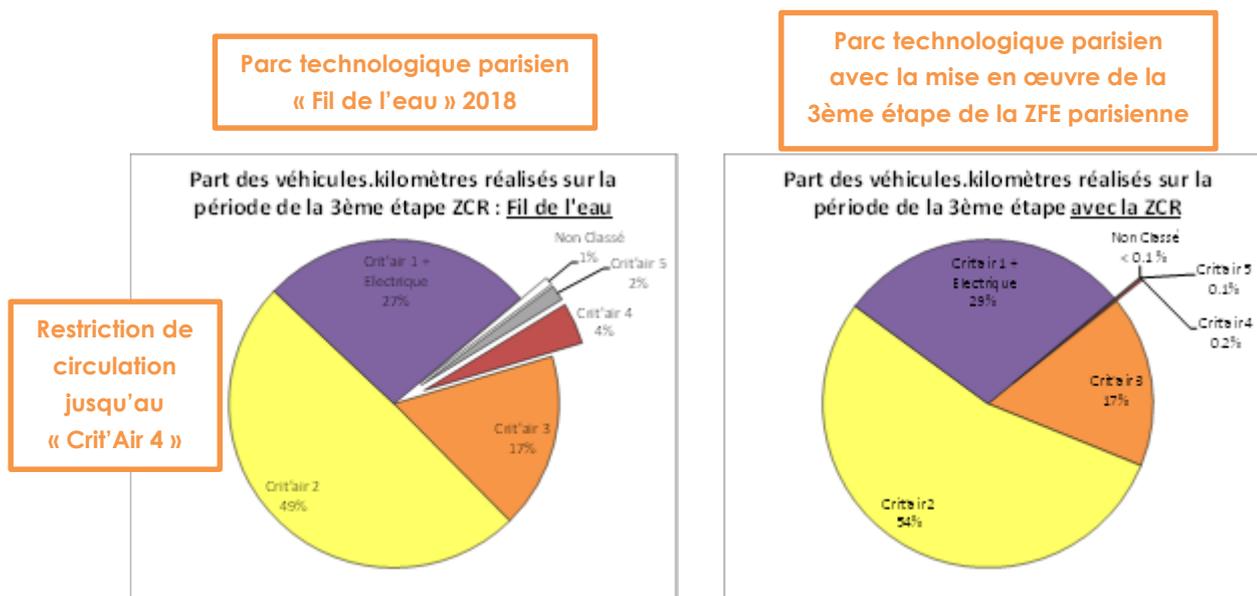


Figure 15 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris par la mise en œuvre de la 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la 3^{ème} étape de la ZFE mise en œuvre.

Lors de la troisième étape **de la mise en œuvre de la ZFE parisienne, 7 % des kilomètres parcourus au sein de la Capitale** sont touchés par la restriction de circuler. Les véhicules touchés sont les véhicules des catégories « Non Classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 ».

Les véhicules des classes Crit'Air dont la circulation est restreinte à Paris ne disparaissent pas entièrement du parc parisien, car les VP, VUL et 2RM les plus anciens ne sont pas interdits les weekends ni la nuit (de 21 à 7 heures). De ce fait, une très faible proportion de ces véhicules « interdits » reste en circulation à Paris.

La Figure 16 illustre **pour chaque catégorie de véhicules** les parcs technologiques pour le « Fil de l'eau » et pour le scénario de mise en œuvre de la troisième étape de la ZFE parisienne.

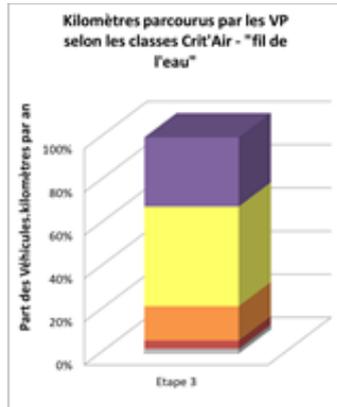
Des variations de l'impact de cette mesure sont observées selon les types de véhicules. Les Poids-Lourds (PL) et les Bus et Cars (TC) représentent les véhicules les plus touchés. Pour rappel, ces catégories de véhicules présentent une classification Crit'Air différente des autres véhicules, en décalage d'une norme « Euro ». La troisième étape restreignant la circulation jusqu'au « Crit'Air 4 », concerne 6 % des kilomètres parcourus par les VP.

Le parc technologique des Véhicules utilitaires légers étant plus diésélisé, le pourcentage de kilomètres parcourus par les véhicules dont la restriction est ciblée jusqu'au « Crit'Air 4 » est plus important avec 10 %.

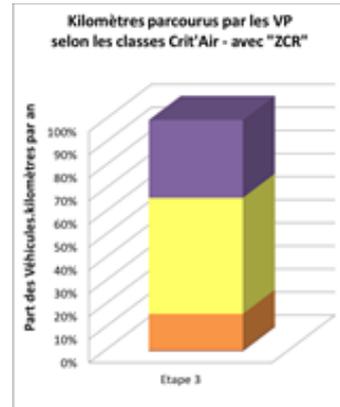
**Parc technologique parisien
« Fil de l'eau » 2018**

**Parc technologique parisien avec la mise en
œuvre de la 3ème étape de la ZFE parisienne**

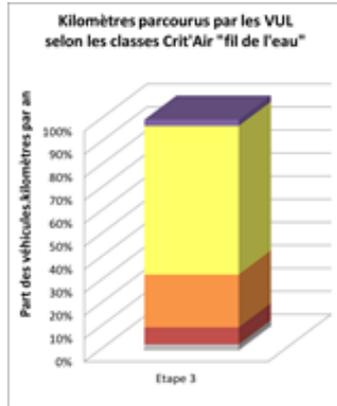
**Parc
technologique
des VP**



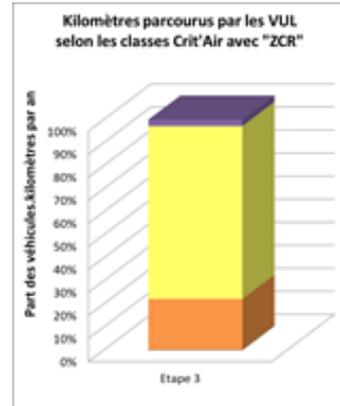
- Crit'air 1
- Crit'air 2
- Crit'air 3
- Crit'air 4
- Crit'air 5
- Non Classés



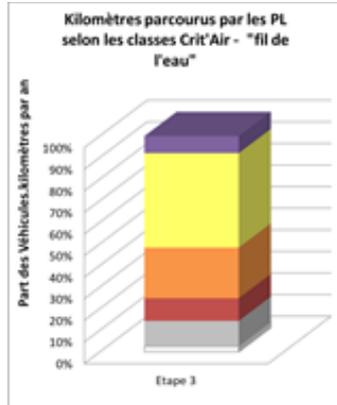
**Parc
technologique
des VUL**



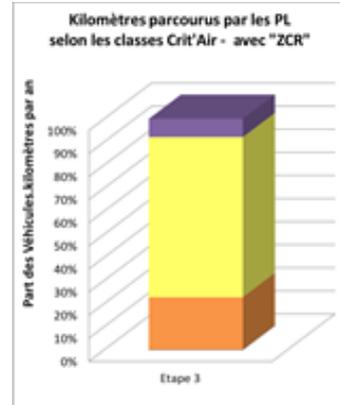
- Crit'air 1
- Crit'air 2
- Crit'air 3
- Crit'air 4
- Crit'air 5
- Non Classés



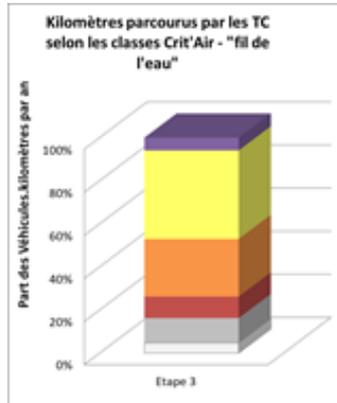
**Parc
technologique
des PL**



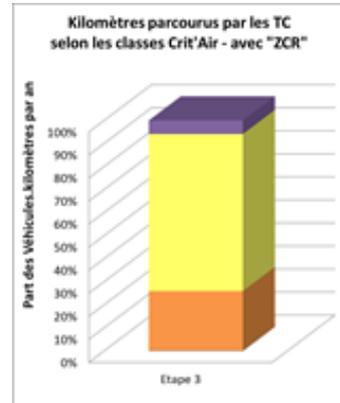
- Crit'air 1
- Crit'air 2
- Crit'air 3
- Crit'air 4
- Crit'air 5
- Non Classés



**Parc
technologique
des TC (bus et
cars)**



- Crit'air 1
- Crit'air 2
- Crit'air 3
- Crit'air 4
- Crit'air 5
- Non Classés



Parc
technologique
des 2RM

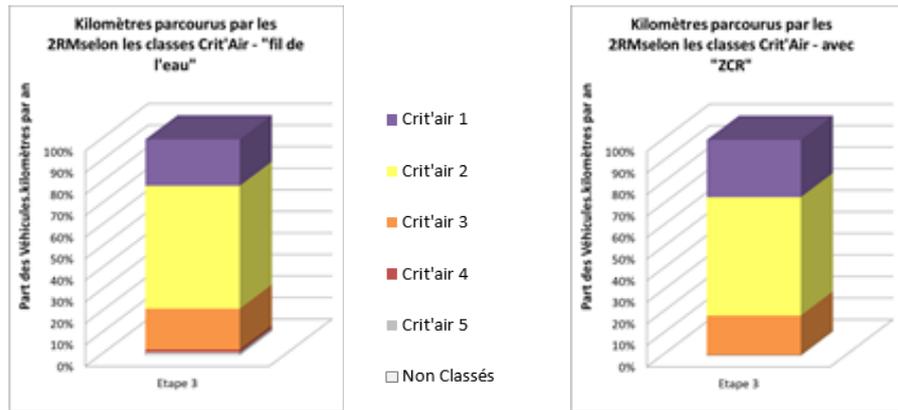


Figure 16 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris par la mise en œuvre de la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la 3^{ème} étape de la ZFE mise en œuvre selon la classification Crit'Air.

Pour mémoire, ces résultats illustrent le nombre de kilomètres parcourus par les différentes classes Crit'Air année par année en lien avec la mise en place de la ZFE parisienne, sans tenir compte d'une anticipation de changement de véhicules les années précédentes.

4.3. Émissions liées au trafic routier

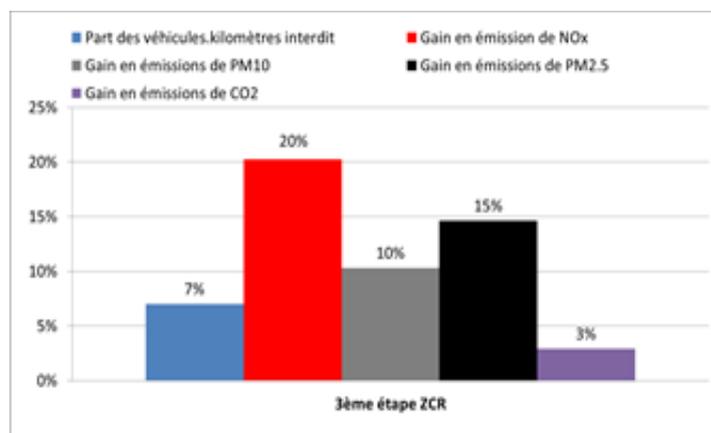
4.3.1. Émissions de polluants atmosphériques

4.3.1.1. Influence à Paris de la mise en œuvre d'une ZFE parisienne

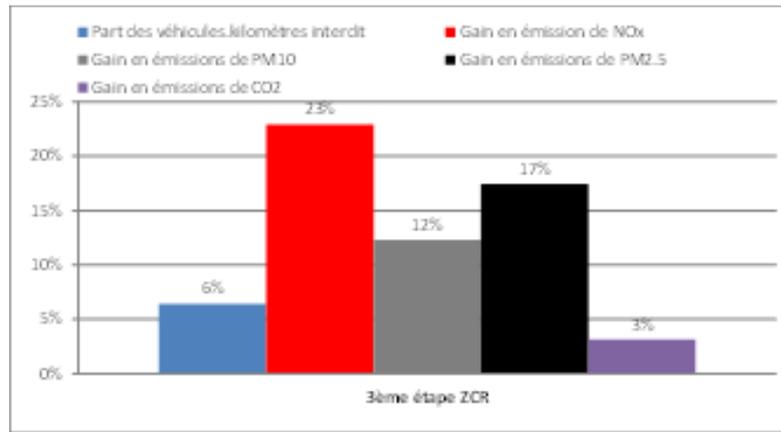
La Figure 17 présente la part des véhicules touchés par la restriction de circulation et les gains en émissions qui en résultent pour les NO_x, les particules PM₁₀ et PM_{2,5} et le CO₂.

Nota bene : les gains sont évalués par comparaison à la situation « Fil de l'eau » pour la troisième étape de la ZFE sur le périmètre parisien comprenant le Boulevard Périphérique (a) et sur Paris Intramuros (b).

Pour tous les polluants, la modernisation du parc technologique en lien avec la restriction de circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 4 » à Paris entraîne une baisse des émissions de polluants atmosphériques.



a) Périmètre Paris et Boulevard Périphérique



b) Périmètre Paris Intramuros

Figure 17 : Gains en émissions, à Paris avec le Bd Périphérique(a) et à Paris Intramuros (b), avec la mise en œuvre de la ZFE parisienne sans Boulevard Périphérique et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation pour la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne.

La mise en œuvre de la ZFE accentue le renouvellement du parc technologique et la baisse des émissions de polluants atmosphériques liées au trafic routier parisien initiés avec la mise en œuvre des étapes antérieures.

Sur le périmètre parisien, le gain sur les émissions de NO_x par rapport au « Fil de l'eau » est, lors de la troisième étape, de 20 %.

Pour les particules, le gain des émissions par rapport à l'évolution naturelle du « Fil de l'eau » atteint 10 % pour les PM₁₀ et 15 % pour les PM_{2.5} pour la troisième étape de la ZFE.

Sur le périmètre strictement ciblé de **Paris Intramuros**, la ZFE entraîne une diminution de 23 % des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) lors de la troisième étape. Les réductions des émissions de particules sont légèrement inférieures, avec une diminution de 12 % pour les PM₁₀ et de 17 % pour les PM_{2.5}.

La ZFE favorise une baisse des émissions de l'ensemble des polluants locaux supérieure au nombre de kilomètres réalisés initialement (avant restriction de circulation) par les véhicules concernés (6 % à 7 %).

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 ancien¹⁴, sans influence sur l'abrasion. Les émissions de 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.

Les émissions de benzène sont essentiellement liées aux véhicules essence les plus anciens. Pour cette 3^{ème} étape de mise en œuvre d'une ZFE, le gain d'émission est essentiellement lié à l'interdiction des véhicules essence de type deux-roues motorisés. En effet, lors de cette 3^{ème} étape interdisant les « Crit' Air 4 », hormis les deux-roues motorisés essence, seuls des véhicules diesel sont concernés. Le gain sur les émissions de benzène est de 18 % pour la 3^{ème} étape par rapport au « fil de l'eau ».

¹⁴ 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.

La Figure 18 illustre les gains d'émissions pour les trois premières étapes de mise en œuvre d'une ZFE parisienne. Cette représentation permet de mettre en relief la baisse des émissions du trafic routier de manière anticipée par rapport à l'évolution attendue des émissions au fil de l'eau.

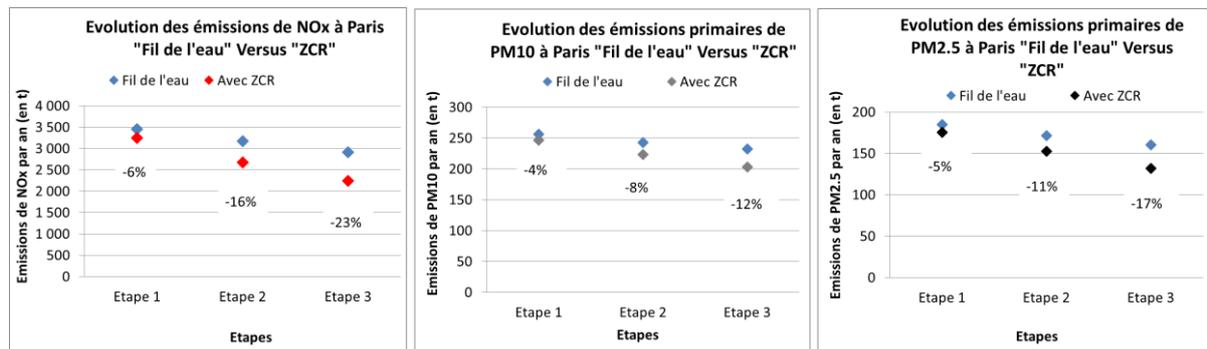


Figure 18 : Évolution des baisses d'émissions sur le périmètre parisien pour les 3 premières étapes définies entre 2016 et 2018 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZFE au sein de la Capitale).

Si la modernisation du parc technologique est modeste la première année en anticipant le fil de l'eau d'une année, dès la seconde étape de la ZFE avec la restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 5 », la mesure permet de gagner deux ans par rapport à l'évolution « Fil de l'eau ». Autrement dit, la mise en œuvre de la 2^{ème} étape de la ZFE à Paris en 2017 permet d'obtenir les émissions « Fil de l'eau » de 2019, et ainsi d'**anticiper la modernisation naturelle du parc technologique de deux années**.

La mise en œuvre de la restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 4 » engendre une anticipation de la modernisation du parc technologique encore plus précoce, avec des gains importants sur les émissions.

Afin d'estimer le nombre d'années d'anticipation pour la 3^{ème} étape, les données sur la part des véhicules particuliers selon leur norme Euro à l'échelle nationale fournies par le CITEPA ont été utilisées. La part des véhicules particuliers selon leur norme Euro estimée avec la mise en œuvre de la troisième étape de la ZFE est comparée avec la part estimée de ces mêmes véhicules pour le « Fil de l'eau » à l'échelle nationale. Ainsi, l'anticipation est de 5 ans pour la 3^{ème} étape ZFE restreignant la circulation jusqu'au « Crit'Air 4 ». Autrement dit, le parc technologique des véhicules particuliers au sein de la ZFE parisienne suite à la mise en œuvre de la 3^{ème} étape est comparable à celui du fil de l'eau à l'échelle nationale de 2023. La modernisation du parc technologique est de plus en plus rapide avec la mise en œuvre d'une ZFE touchant un nombre de véhicules.kilomètres de plus en plus important.

La baisse des émissions relativement à la part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation dans Paris est présentée à la Figure 19.

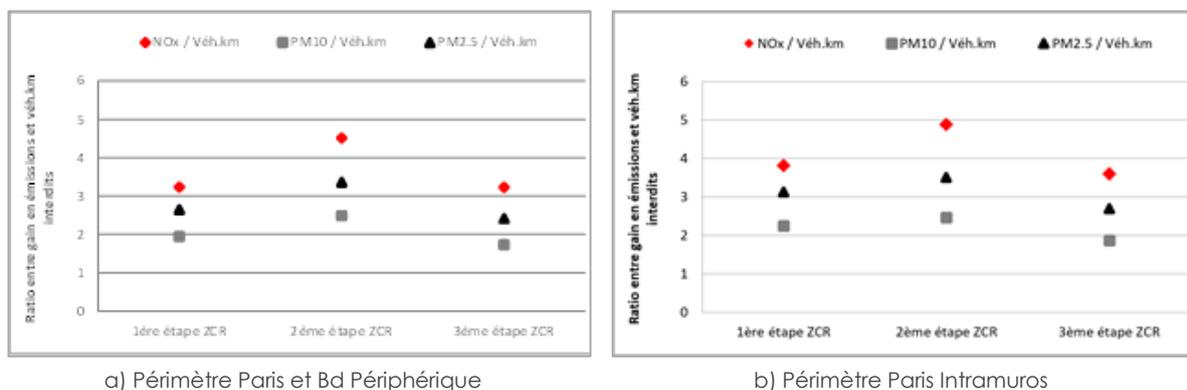


Figure 19 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre de la ZFE et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation à Paris : périmètre comprenant le Bd Périphérique (a) et périmètre Paris Intramuros (b).

Le ratio pour la 3^{ème} étape de la ZFE est plus faible que pour les deux étapes précédentes. Cependant, les réductions d'émissions par rapport au « Fil de l'eau » sont beaucoup plus importantes au regard des étapes précédentes, car elles touchent un plus grand nombre de véhicules. A l'inverse, les deux premières étapes présentent les ratios les plus forts mais pour des réductions d'émissions plus faibles. Les premières étapes restreignant la circulation des véhicules les plus anciens et les plus polluants, la réduction des émissions est, relativement aux kilomètres parcourus, plus importante. La troisième étape concerne un nombre de kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation plus important, mais moins émetteurs unitairement de polluants atmosphériques que les véhicules les plus anciens, d'où un ratio moins fort.

Sur l'ensemble des étapes de la ZFE, le ratio entre les gains d'émissions et la part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation est toujours supérieur à 1 pour les polluants atmosphériques, autrement dit les gains d'émissions sont supérieurs aux kilomètres parcourus par les véhicules concernés par la ZFE.

4.3.1.2. Influence en dehors de Paris de la mise en œuvre d'une ZFE parisienne

La mise en œuvre de la ZFE parisienne entraîne une diminution des émissions de polluants, non seulement à Paris mais également en dehors de Paris. Les gains d'émissions en dehors de Paris sont logiquement moins importants. Ils sont dus au renouvellement des véhicules les plus anciens ayant un lien avec la ZFE (trajets en transit ou d'échange avec Paris) au profit de véhicules plus récents autorisés dans la ZFE. En dehors de Paris, les véhicules les plus anciens, et les plus polluants, peuvent continuer de circuler s'ils ne sont pas en lien avec la ZFE parisienne, d'où des baisses d'émissions moins importantes en dehors de Paris qu'au sein de la Capitale.

De plus, le report modal, du véhicule particulier en faveur des transports en commun pour les trajets en lien avec Paris, contribue également à la baisse des émissions en dehors de Paris. Le trafic routier en dehors de la ZFE évolue très légèrement à la baisse pour la troisième étape (diminution inférieure à 0.5 % par rapport au fil de l'eau).

Cette diminution des émissions pourrait être légèrement compensée par les émissions des véhicules les plus anciens ayant auparavant un trajet passant par Paris mais ayant changé d'itinéraire au profit d'un parcours plus long, car ne pouvant pas emprunter la ZFE. Malgré cela, globalement les bénéfices de la ZFE sur les émissions sont positifs en dehors de Paris.

Lors de la troisième étape de mise en œuvre d'une ZFE parisienne, environ 95 % des kilomètres réalisés à Paris par les véhicules « Non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 » ne sont plus effectués par ces véhicules anciens, mais par des véhicules autorisés à la circulation, suite à la mise en œuvre de la ZFE ; en dehors de Paris, la **diminution des kilomètres réalisés par ces mêmes véhicules est de 25 %**.

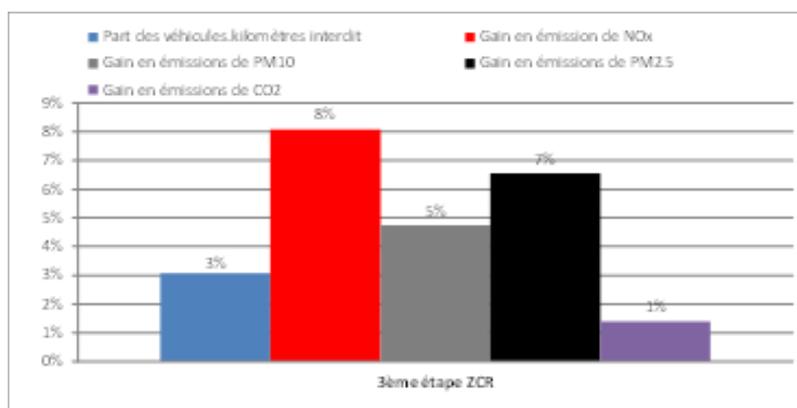


Figure 20 : Gains en émissions en dehors de Paris avec la mise en œuvre de la ZFE parisienne et part des kilomètres parcourus en dehors de Paris par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en lien avec la ZFE, pour la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne.

En dehors de la ZFE parisienne (3^{ème} étape), les kilomètres parcourus par les classes Crit'Air concernées par la restriction de circulation représentent 3 % du kilométrage total réalisé dans la situation « Fil de l'eau ».

Les gains d'émissions lors de la troisième étape atteignent en dehors de Paris environ 8 % pour les NO_x, 5 % pour les PM₁₀ Et 7% pour les PM_{2.5}.

Concernant le benzène, les gains par rapport au « Fil de l'eau » est de 4 % pour cette 3^{ème} étape.

4.3.2. Émissions de gaz à effet de serre

La mise en œuvre de la troisième étape de la ZFE parisienne 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.

Les gains d'émissions de CO₂ augmentent progressivement et de manière de plus en plus importante au fil de la mise en œuvre des étapes ZFE. Pour la première étape de la ZFE, le gain en émissions de CO₂ est très faible (1 %). Lors de la troisième étape, un gain à Paris de 3 % est atteint par rapport à un scénario sans mise en œuvre de ZFE (« Fil de l'eau »).

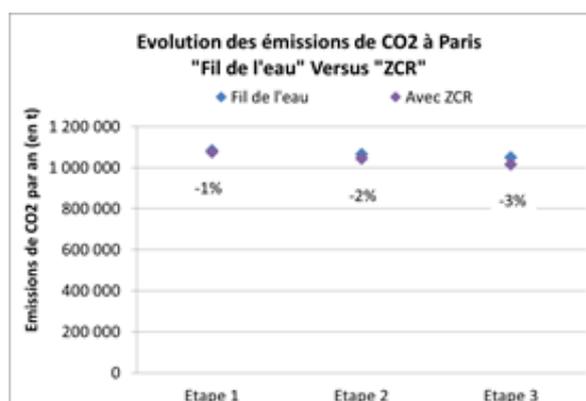


Figure 21 : Évolution des baisses d'émissions de CO₂ sur le périmètre parisien pour les 3 étapes définies entre 2016 et 2018 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZFE au sein de la Capitale).

L'efficacité de la ZFE est moins importante pour le dioxyde de carbone que pour les polluants locaux. En effet, si pour les polluants atmosphériques, 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 un, cela n'est pas le cas pour le CO₂ pour lequel les pourcentages de gains d'émissions sont inférieurs à ceux des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation (cf. Figure 22).

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

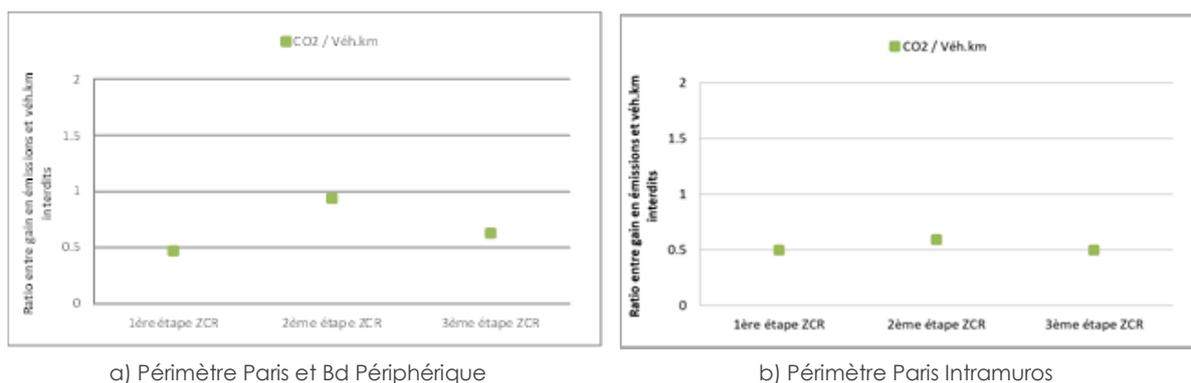


Figure 22 : Ratio entre les gains en émissions de CO₂ attendus avec la mise en œuvre de la ZFE et la part des véhicules.kilomètres concernés par les restrictions de circulation à Paris : périmètre comprenant le Bd Périphérique (a) et périmètre Paris Intramuros (b).

Ces résultats confirment ceux de l'étude¹⁵ 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 à des diminutions de trafic dans Paris.

Le renouvellement du parc technologique des véhicules les plus anciens par des véhicules moins polluants engendre sur Paris et au-delà de ce périmètre des diminutions progressives et importantes des 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 modérée.

¹⁵ « Evolution 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

Dans un deuxième temps, les travaux réalisés ont porté sur l'évaluation de l'impact de la ZFE sur les concentrations de polluants atmosphériques respirées par les Franciliens selon les différents scénarios, à la fois de degrés de restriction de la circulation et d'étendue du périmètre.

5.1. Concentrations de polluants atmosphériques

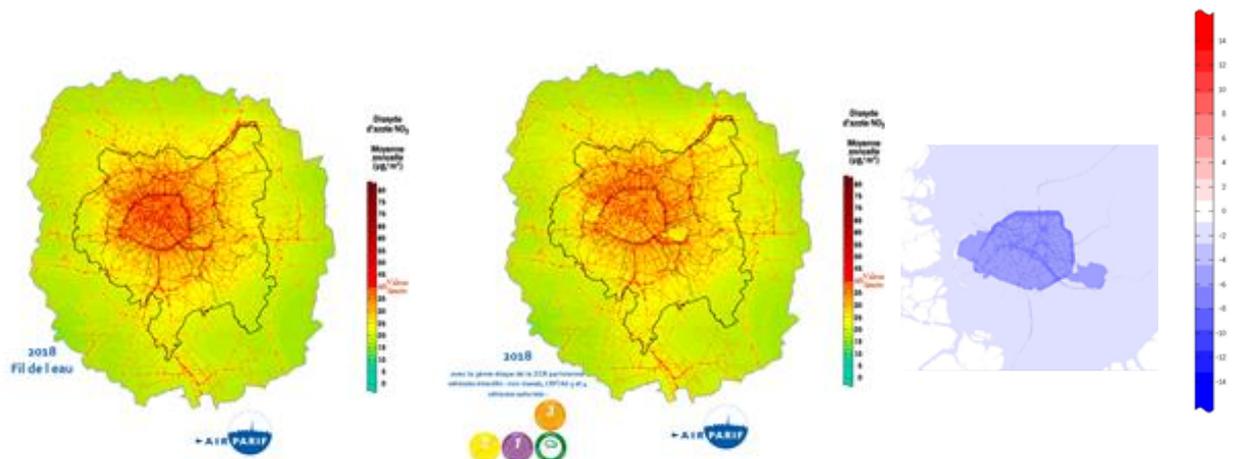
Les cartographies de la Figure 23 illustrent les concentrations annuelles de NO₂ au « Fil de l'eau » en 2018, et pour la troisième étape de mise en œuvre d'une ZFE parisienne. Une cartographie de différences présente également les diminutions de concentrations de NO₂ (en µg/m³) et les éventuelles augmentations liées au report de trafic routier.

Afin de tenir compte des impacts au-delà du périmètre de mise en œuvre du dispositif, le périmètre de visualisation s'étend au-delà du périmètre de la ZFE envisagé, jusqu'aux contours de la Francilienne, ce qui représente environ 80 % de la population régionale. Il représente le niveau de zoom pour lequel les gains et les reports de trafic routier sont les plus importants. Ce périmètre illustre ainsi les teneurs de NO₂ au-delà de la limite (illustré en noir sur les cartographies) de la Métropole du Grand Paris (MGP).

Compte-tenu de la diminution importante des émissions liées à la mise en œuvre de la ZFE et à la part importante du trafic routier dans les émissions parisiennes totales de NO_x, la baisse des teneurs de NO₂ à Paris est relativement importante. Ainsi, la diminution est en moyenne de 5 µg/m³ lors de la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne. À proximité immédiate du trafic routier la diminution peut être encore plus marquée (jusqu'à près de 10 µg/m³), notamment sur les axes majeurs.

En dehors de Paris, une diminution des teneurs est également constatée. La baisse des niveaux de NO₂ en dehors de la ZFE parisienne atteint, lors de la 3^{ème} étape, une diminution moyenne de 1 µg/m³ en moyenne annuelle au plus près de Paris (zone intra A86).

Il est important de noter que le scénario évalué aboutit à une baisse des concentrations, avec aucune hausse observée en Ile-de-France (pas de zones « rouges » dans la carte de différences).

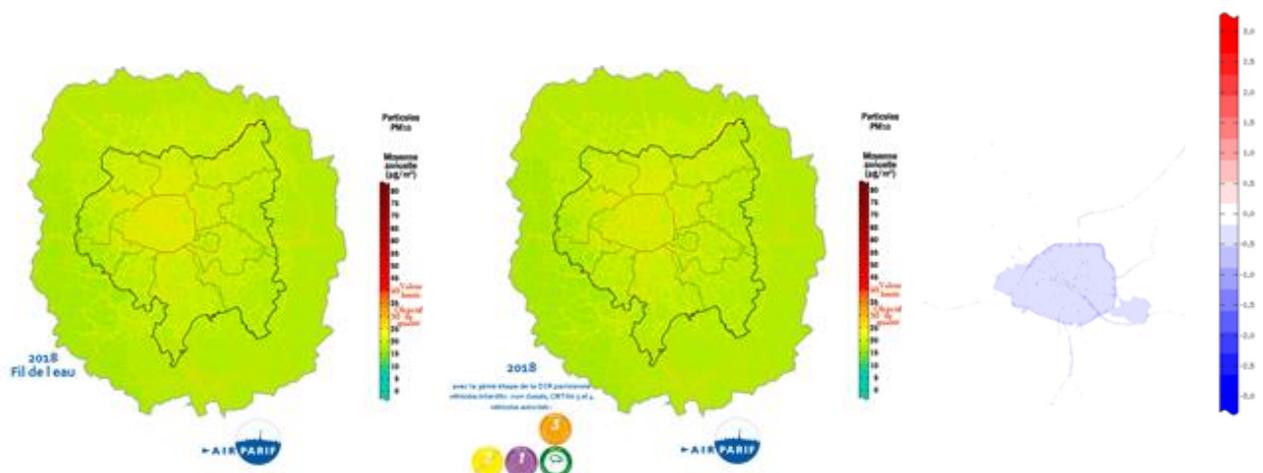


Différence de concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre scénario ZFE et Fil de l'eau

Figure 23 : Cartographies des niveaux annuels de NO_2 dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau et pour la 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre le scénario ZFE et le fil de l'eau.

La Figure 24 illustre les concentrations de particules PM_{10} au sein de la zone d'étude avec la mise en œuvre d'une ZFE parisienne concernant les véhicules jusqu'au « Crit' Air 4 » en 2018.

Par rapport au « Fil de l'eau », les concentrations de particules PM_{10} avec la mise en œuvre de la ZFE diminuent de manière moins importante que celles modélisées pour le dioxyde d'azote. En effet, compte-tenu de la part moins importante du trafic routier dans les émissions régionales de particules PM_{10} , et de la réduction plus faible des émissions liées à la modernisation du parc, les gains sur les concentrations de PM_{10} sont relativement faibles par rapport à ceux du NO_2 .



Différence de concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre scénario ZFE et Fil de l'eau

Figure 24 : Cartographies des niveaux annuels de PM_{10} dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau et pour la 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre la ZFE et le fil de l'eau.

Au sein de la ZFE parisienne, lors de la 3^{ème} étape, la diminution par rapport au « Fil de l'eau » des niveaux de particules est d'environ $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en situation de fond, avec des baisses légèrement plus importantes au plus près du trafic routier. En dehors de la ZFE parisienne, l'influence de la baisse des émissions n'est visible qu'à proximité du trafic routier, sur les axes autoroutiers au plus près de Paris.

Enfin, pour les particules $\text{PM}_{2.5}$, comme pour les particules PM_{10} , la 3^{ème} étape présente une évolution par rapport au fil de l'eau à la fois à proximité du trafic routier, en situation de fond au sein de la Capitale, et sur les axes autoroutiers majeurs en dehors de Paris.

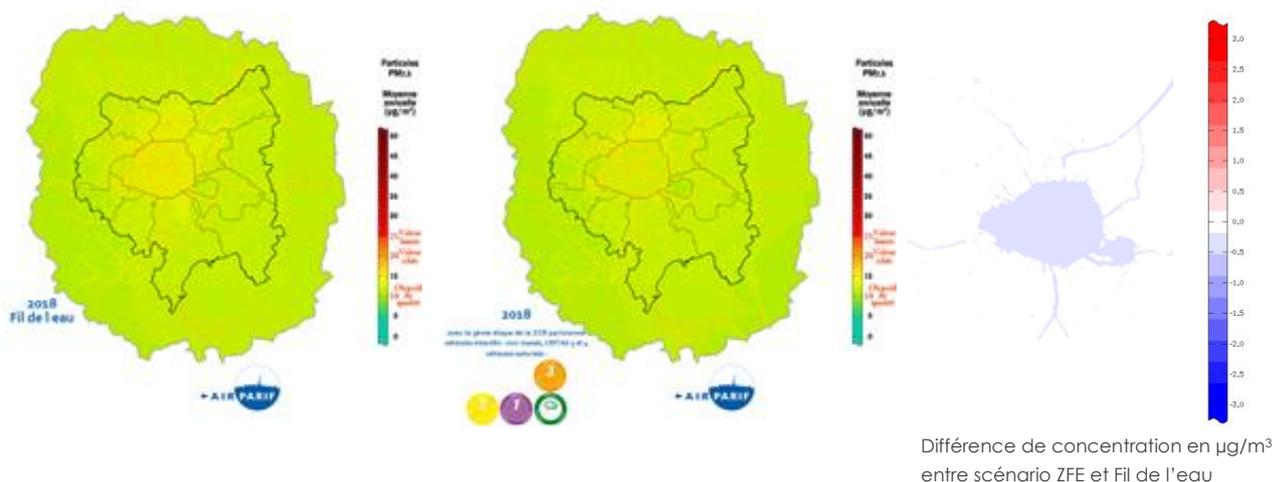


Figure 25 : Cartographies des niveaux annuels de PM_{2.5} dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau et pour la 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre la ZFE et le fil de l'eau.

Une restriction de la circulation des véhicules « Non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 » dans Paris (hors Boulevard Périphérique) entraîne le renouvellement du parc technologique et une diminution importante des niveaux de dioxyde d'azote au sein de la ZFE mais également en dehors avec le renouvellement des véhicules en lien avec la ZFE (à destination ou en transit par Paris). Ce constat est naturellement vrai à proximité du trafic routier mais également en situation de fond et de manière très marquée à Paris, compte-tenu à la fois des baisses d'émissions attendues et du poids prépondérant des émissions liées au trafic routier au sein de la Capitale.

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

5.2. Indicateurs d'exposition

5.2.1. Exposition de la population

Afin d'évaluer l'impact de la mise en œuvre de la 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne (restriction en 2018 de la circulation des véhicules « Non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air 4 » dans Paris (hors Boulevard Périphérique)), une estimation de la population exposée aux différentes concentrations de polluants atmosphériques a été réalisée par rapport au fil de l'eau.

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'habitants¹⁶ potentiellement exposés suivant les différentes classes de concentrations. Ces estimations sont réalisées pour le « Fil de l'eau » et sur le scénario correspondant à la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne.

La Figure 26 présente le nombre d'habitants résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (b) potentiellement exposés en fonction des concentrations de dioxyde d'azote en 2018 pour le « Fil de l'eau » et pour la 3^{ème} étape de la ZFE.

¹⁶ Les données de population résidente sont produites par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France. Les données de population sur la période d'étude couvrant les quatre étapes entre 2016 et 2019 est considérée comme constante afin de comparer les bénéfices de la ZFE sur une base de population similaire.

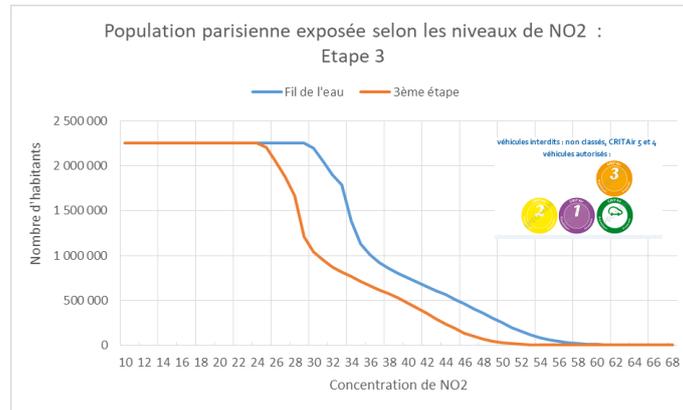


Figure 26 : Population résidant à Paris exposée par classes de concentrations de dioxyde d'azote pour le fil de l'eau 2018 et la ZFE parisienne.

L'évolution de la qualité de l'air avec la mise en œuvre de la ZFE entraîne une baisse significative de la population soumise aux plus fortes teneurs de dioxyde d'azote. La 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne engendre une exposition de la population parisienne maximale à 52 µg/m³ contre 60 µg/m³ sans sa mise en œuvre (« Fil de l'eau »). L'ensemble des Parisiens est, dans le cadre de ce scénario, soumis à des teneurs minimales de 24 µg/m³, contre 29 µg/m³ dans le cas du « Fil de l'eau ». Dans le périmètre d'étude plus large de la MGP, la population profite également des baisses des émissions du trafic routier dans la cadre de la 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne.

Concernant les particules PM₁₀, les gains de population exposée sont moins importants que pour le NO₂, en lien avec des gains moindres à la fois sur les émissions et les concentrations dans l'air.

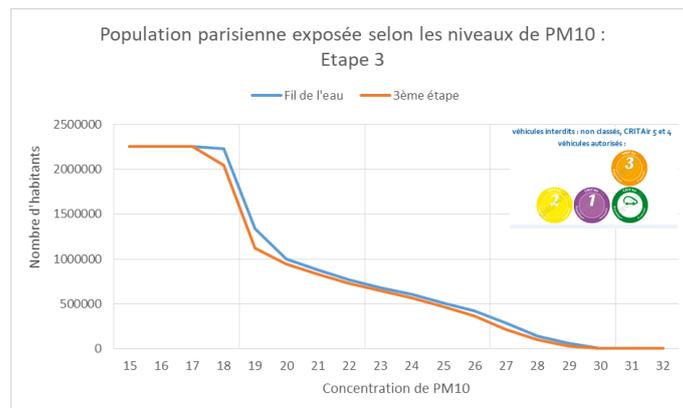


Figure 27 : Population résidant à Paris exposée par classes de concentrations de particules PM₁₀ pour le fil de l'eau 2018 et la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne.

Les gains sur la population exposée aux particules PM₁₀ sont peu significatifs avec la mise en œuvre d'une ZFE parisienne par rapport au « Fil de l'eau ».

Les diminutions des teneurs de particules PM_{2.5} entraînent une baisse de la population parisienne exposée, avec 250 000 personnes en moins exposées à des teneurs de 12 µg/m³ et plus.

5.2.1.2. Exposition de la population au-delà des normes

Afin d'illustrer les gains d'exposition des Parisiens et 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 à Paris dans le scénario sans ZFE est représenté par le total (barres orange et grise) ; le gain de population parisienne exposée suite à la mise en place de la ZFE est figuré en orange.

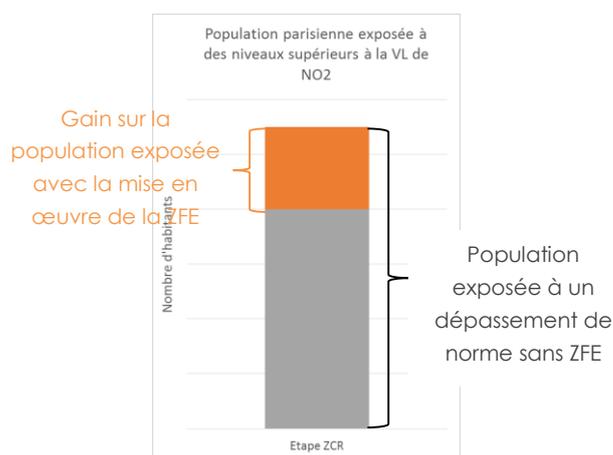


Figure 28 : Présentation de l'indicateur de population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ pour une situation « Fil de l'eau » et gain sur la population engendré par la mise en œuvre de la 3^{ème} étape d'une ZFE parisienne.

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 d'une ZFE parisienne atteint 290 000 personnes pour la 3^{ème} étape restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit' Air 4 ». Le nombre d'habitants exposés à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ passe de 700 000 à 410 000 Parisiens.

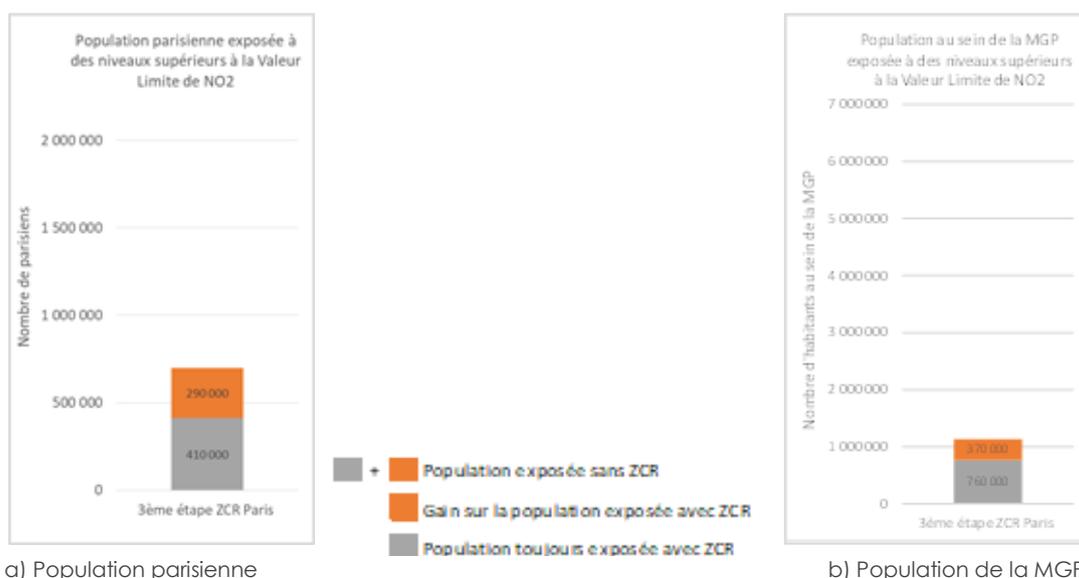


Figure 29 : Indicateurs de population parisienne exposée à des dépassements de la VL annuelle en NO₂.

Le gain sur la population exposée au sein de la MGP dû à la mise en œuvre d'une ZFE parisienne est de 370 000 personnes avec la restriction de circulation des véhicules « Crit' Air 4 ». Le nombre d'habitants de la MGP exposés à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ atteint alors 760 000 personnes (3^{ème} étape de la ZFE parisienne).

Concernant **les particules PM₁₀**, la quasi-totalité de la population est exposée à des teneurs inférieures à l'objectif de qualité. La Figure 30 illustre le nombre d'habitants exposés au regard de la recommandation OMS¹⁷ fixée, à l'échelle annuelle, à 20 µg/m³.

¹⁷ 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 mise en œuvre de la troisième de la ZFE à Paris entraîne un gain d'environ 50 000 Parisiens qui ne sont ainsi plus soumis à un dépassement de la recommandation OMS, par rapport à une situation sans ZFE.

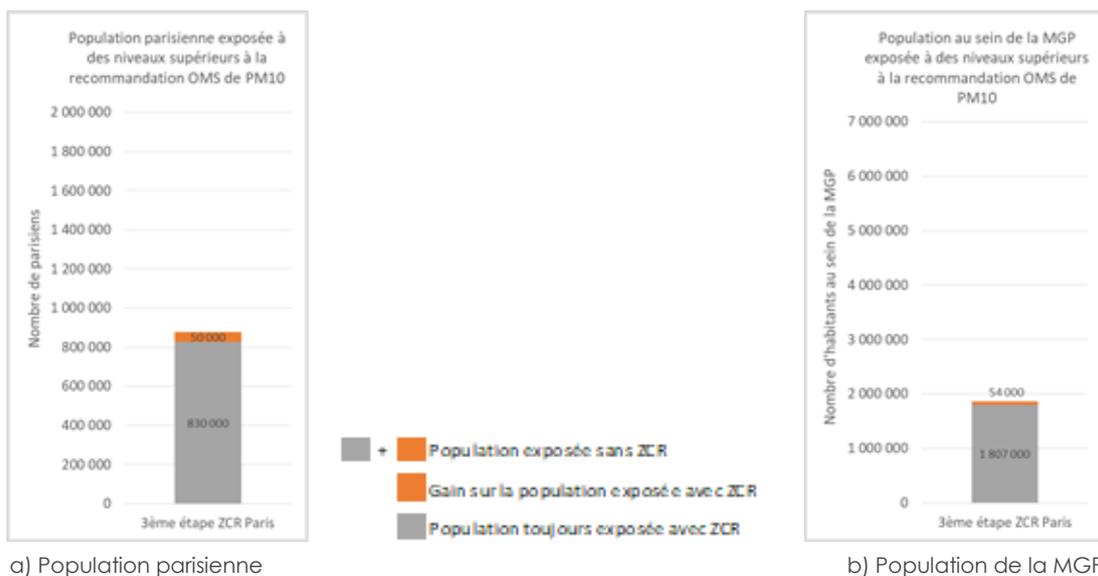


Figure 30 : Indicateurs de population parisienne exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS de 20 µg/m³ en moyenne annuelle en PM₁₀.

À l'échelle de la MGP, la ZFE parisienne engendre un gain similaire (environ 54 000 personnes ne seraient plus exposées à un dépassement de la recommandation OMS, par rapport à une situation sans ZFE).

Pour les **particules PM_{2.5}**, la comparaison de la population exposée pour le scénario ZFE (étape 3) et le fil de l'eau est établie au regard de l'objectif de qualité fixé à l'échelle annuelle à 10 µg/m³ (valeur correspondant également à la valeur guide de l'OMS pour ce polluant).

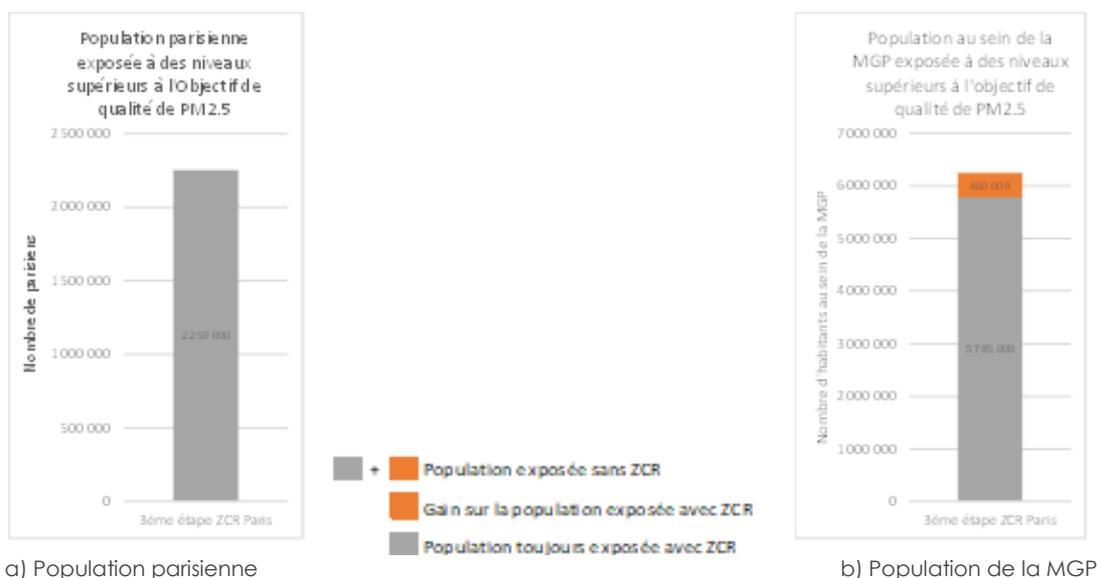


Figure 31 : Indicateurs de population parisienne exposée à des dépassements de l'objectif de qualité de 10 µg/m³ en moyenne annuelle en PM_{2.5}.

A Paris, la 3^{ème} étape de la ZFE en 2018 n'engendre pas de réduction de la population exposée à l'objectif de qualité (cf. Figure 31) même si la mise en œuvre de celle-ci contribue à la diminution des teneurs annuelles.

Toutefois, au sein de la MGP, la mise en œuvre d'une ZFE parisienne entraîne, lors de la 3^{ème} étape un gain de 460 000 habitants passant sous le seuil de l'objectif de qualité.

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

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

La Figure 32 illustre le pourcentage de voirie à Paris (a) et au sein de la MGP (b) dont les concentrations sont supérieures à la valeur limite définie pour le NO₂ pour le fil de l'eau et le scénario correspondant à la troisième étape de la ZFE parisienne.

Par rapport à une situation sans ZFE, le gain sur le nombre de kilomètres de voirie exposée à Paris à des dépassements de la valeur limite annuelle de NO₂ dû à la mise en œuvre de la ZFE parisienne est de l'ordre de 20 pourcents pour la 3^{ème} étape restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit' Air 4 ».

Pour cette étape, le pourcentage de kilomètres de voirie parisienne dépassant la valeur limite est de 57 % avec la mise en œuvre de la ZFE contre près des 80 % du réseau modélisé sans sa mise en place, soit une baisse de près de 30 % du nombre de kilomètres soumis à des dépassements.

Le nombre de kilomètres à Paris dont les teneurs sont supérieures à 40 µg/m³ passe ainsi de 560 km dans le scénario « Fil de l'eau » en 2018 à 410 km avec la restriction de circulation des véhicules jusqu'à la catégorie « Crit' Air 4 ».

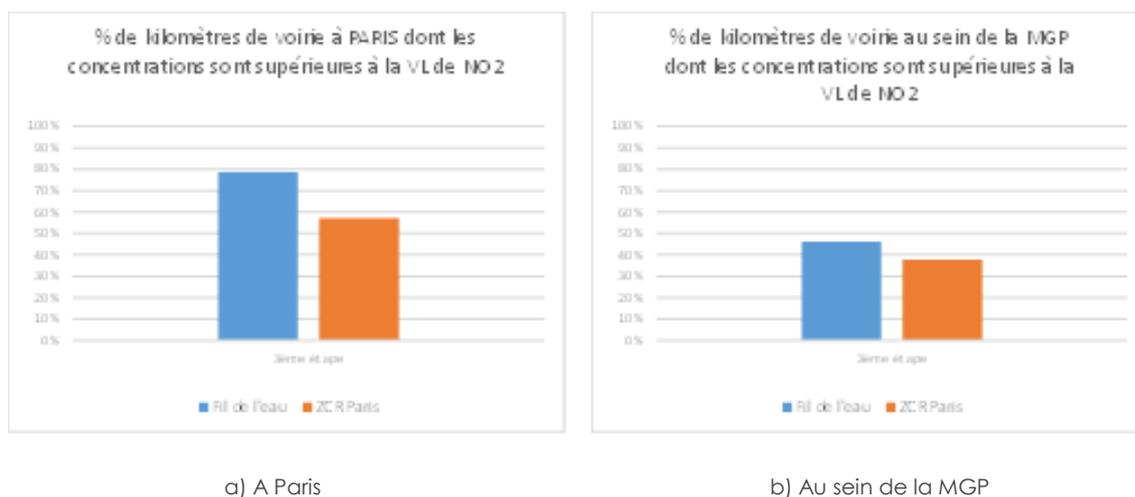
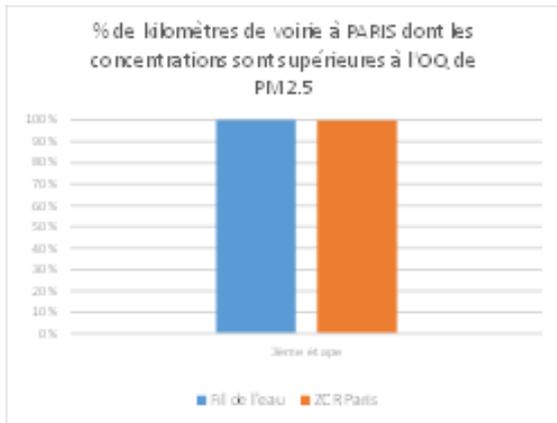
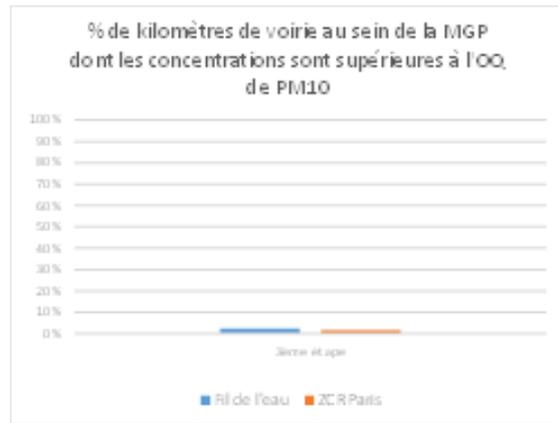


Figure 32 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ à Paris.

Les gains sur les **particules PM₁₀** à proximité immédiate du trafic routier sont, par rapport au fil de l'eau, relativement faibles (cf. Figure 33). Avec l'évolution à la baisse des concentrations de PM₁₀ au fil de l'eau et la mise en œuvre de la ZFE (étape 3), le pourcentage de kilomètres de voirie au-delà de l'objectif de qualité fixé à 30 µg/m³ passe de 7 % (« Fil de l'eau ») à 5 % à Paris en 2018 avec l'adoption de la restriction de circulation des véhicules jusqu'au « Crit' Air 4 ».



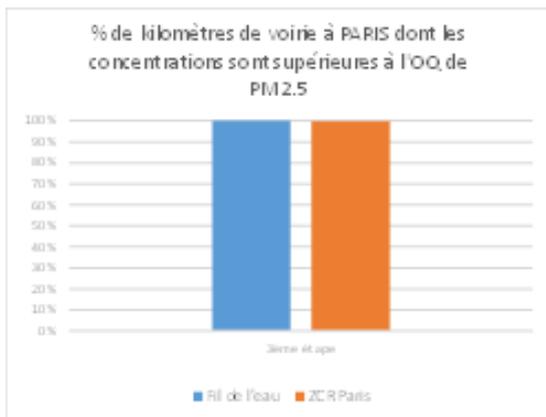
a) A Paris



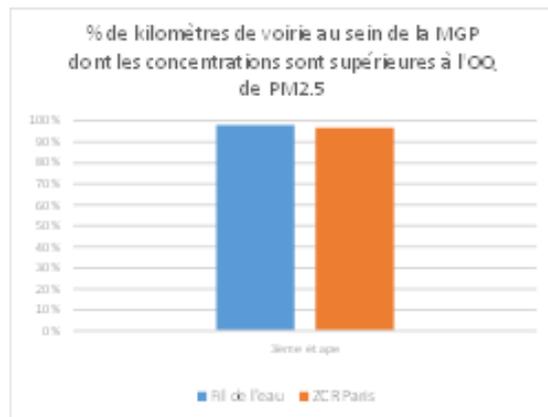
b) Au sein de la MGP

Figure 33 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de l'objectif de qualité en PM_{10} à Paris (a) et au sein de la MGP (b).

Concernant les **particules $PM_{2.5}$** (cf. Figure 34), au regard de l'objectif de qualité fixé à $10 \mu g/m^3$, la situation en proximité immédiate du trafic n'évolue pas, avec un dépassement généralisé sur le réseau routier modélisé parisien dans la situation « Fil de l'eau » et pour la troisième étape de la ZFE parisienne. Une légère amélioration est toutefois notée au sein de la MGP (b) avec 97 % du réseau dont les teneurs sont supérieures à l'objectif de qualité avec la mise en œuvre de la ZFE parisienne contre 98% sans mesure (« fil de l'eau »).



a) A Paris



b) Au sein de la MGP

Figure 34 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de l'objectif de qualité en $PM_{2.5}$ à Paris (a) et au sein de la MGP (b).

6. IMPACT D'UN DÉCALAGE TEMPOREL DE MISE EN ŒUVRE DE LA 3^{ÈME} ÉTAPE

L'objet de cette partie est de présenter une évaluation de la différence, sur les impacts attendus, de la mise en place de la troisième étape de la ZFE en juillet 2019 par rapport à ce qui a été calculé pour juillet 2018, soit un décalage d'un an.

6.1. Sur le parc technologique

Le parc technologique pour la situation « fil de l'eau » en juillet 2019 présente, par rapport à celui de juillet 2018, une légère baisse des véhicules les plus anciens au profit de véhicules plus récents (Figure 35 et Figure 37). Ces différences traduisent l'évolution tendancielle du parc technologique, c'est-à-dire son renouvellement « naturel ».

Le parc technologique pour le scénario de ZFE parisienne, étape 3 mise en œuvre en juillet 2019, est construit en considérant les mêmes hypothèses que celles prises dans le cadre de l'étude globale (Figure 36). Notamment, les véhicules concernés par les restrictions de circulation se reportent vers des véhicules de la catégorie la plus vertueuse à carburant et cylindrée identiques ; la part des véhicules électrique est renforcée.

Pour rappel, la part restante des véhicules concernés par les restrictions de circulation dans les parcs ZFE représente les véhicules de catégories interdites circulant uniquement le week-end, l'interdiction portant seulement sur les jours ouvrés.

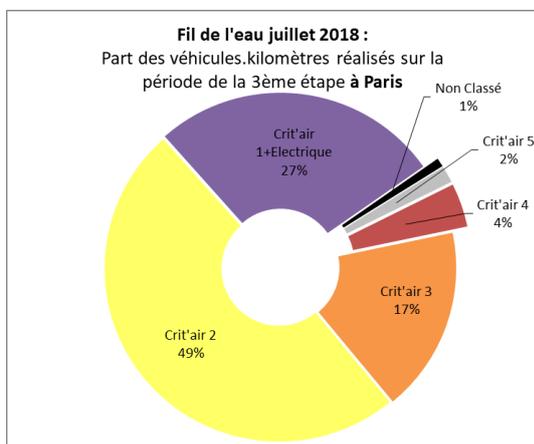


Figure 35 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris pour le fil de l'eau en juillet 2018

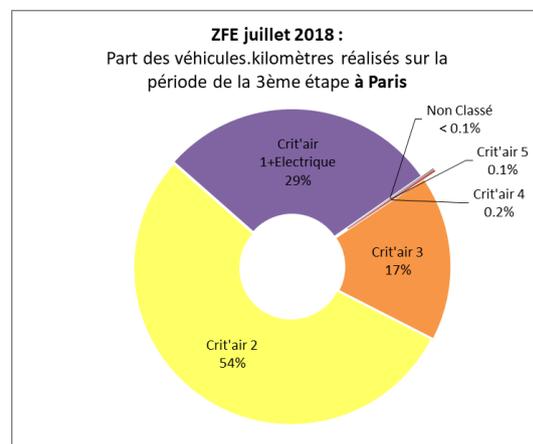


Figure 36 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris avec la 3^{ème} étape de la ZFE en juillet 2018

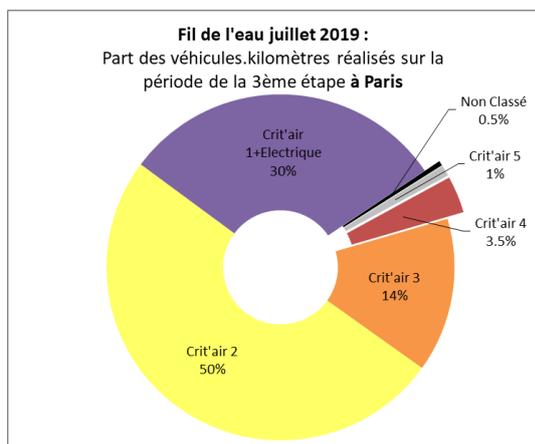


Figure 37 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris pour le fil de l'eau à l'horizon juillet 2019

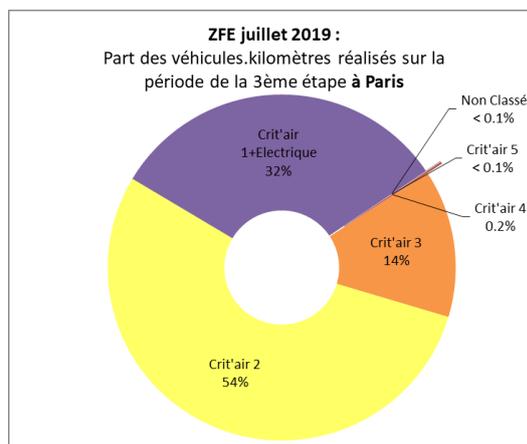


Figure 38 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris avec la 3ème étape de la ZFE à l'horizon juillet 2019

La part des kilomètres parcourus par les véhicules les plus anciens, concernés par la mise en œuvre de la 3ème étape de la ZFE, est moins élevée dans le cas d'une mise en œuvre de la ZFE en juillet 2019 (Figure 37 et Figure 38) qu'en juillet 2018 (Figure 35 et Figure 36) : **de l'ordre de 7% en juillet 2018, contre environ 5% en juillet 2019**. En effet, l'évolution tendancielle pendant ces 12 mois se traduit par une baisse des véhicules les plus anciens (non classés, Crit' Air 5 et Crit' Air 4) ; l'impact de l'interdiction des Crit' Air 4 est alors moins important.

Compte tenu du renouvellement naturel du parc, pour un Crit' Air donné, plus la date de restriction de circulation est tardive, plus la part des véhicules concernés est restreinte et moins l'effet d'une mesure restreignant la circulation de ces véhicules sera significatif

6.2. Sur les émissions du trafic routier

Le rapport entre le parc du scénario ZCR (3ème étape) mis en œuvre en juillet 2018 et celui du scénario ZCR (3ème étape) mis en œuvre en juillet 2019 permet de quantifier l'évolution du parc entre ces deux dates. Un coefficient d'évolution est ainsi défini par zone (dans la ZFE et hors ZFE). Ce coefficient par zone est alors appliqué aux émissions issues du trafic routier calculées pour le scénario ZCR en juillet 2018 et permet d'évaluer les émissions du trafic routier pour le scénario ZCR à l'horizon juillet 2019. Cette évaluation est menée sur le scénario d'interdiction dans Paris intramuros, excluant le boulevard périphérique.

6.2.1 Influence à Paris

Les Figure 39 et Figure 40 présentent les émissions de NO_x associées à la mise en place de la ZFE en juillet 2018 et juillet 2019 par rapport au « fil de l'eau » de chaque échéance. Les émissions du « fil de l'eau » 2019 et de la ZFE 2019 sont respectivement plus faibles que celles du « fil de l'eau » 2018 et de la ZFE 2018. Cela est en accord avec le renouvellement naturel du parc technologique qui tend à diminuer le nombre de véhicules parmi les catégories les plus anciennes, induisant une baisse des émissions liées au trafic routier.

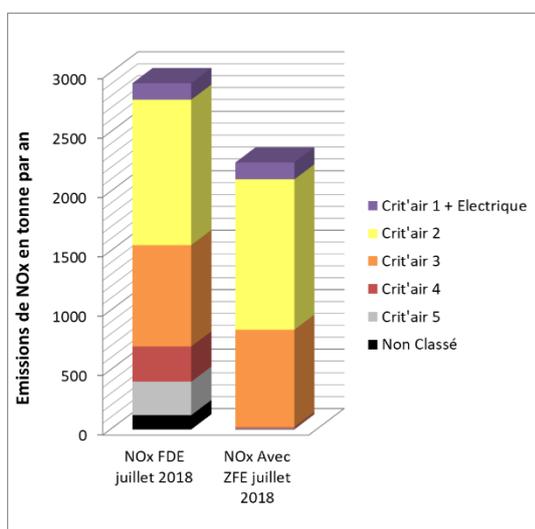


Figure 39 : Gains en émissions de NO_x, à Paris, mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2018

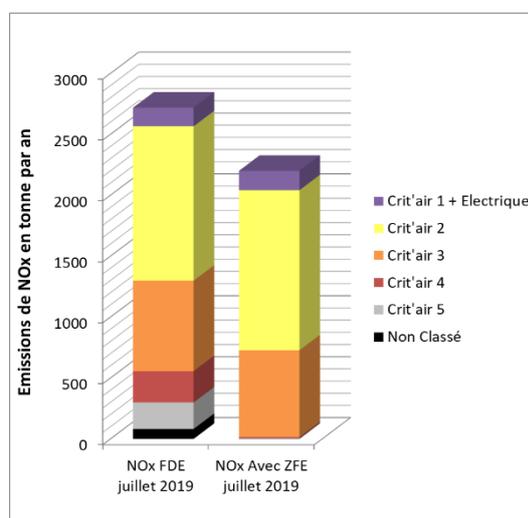


Figure 40 : Gains en émissions de NO_x, à Paris, mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2019

Les pourcentages de baisses des émissions de chaque polluant, associées aux cas 2018 et 2019 sont présentés en Figure 41. Les baisses sont évaluées relativement au « fil de l'eau » de chaque scénario ZFE.

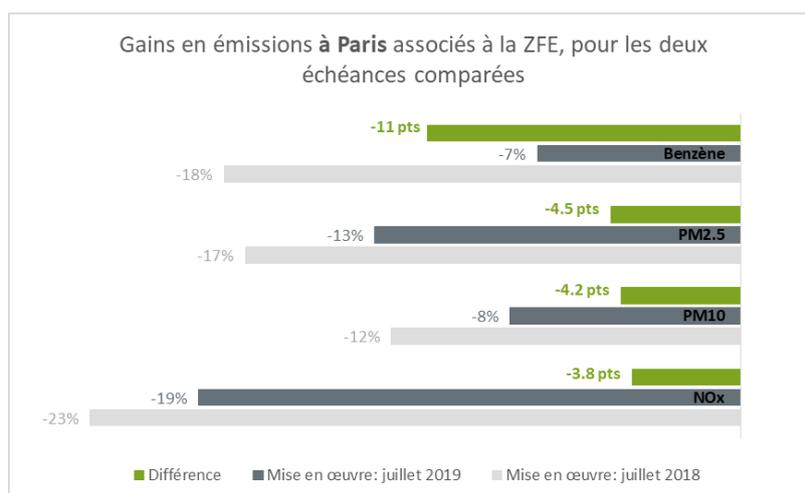


Figure 41 : Gains en émissions (en %) associés à la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne, par polluants, dans Paris. En gris clair : mise en œuvre en juillet 2018 ; en gris foncé : mise en place en juillet 2019. En vert : différence entre les 2 cas.

La Figure 41 souligne que les gains relatifs liés à la 3^{ème} étape de la ZFE sont moins importants pour une mise en place en juillet 2019 qu'en juillet 2018. Les différences, aux deux échéances, entre les baisses d'émissions induites par la ZFE sont inférieures à 5 points, sauf en ce qui concerne le benzène. Hormis ce polluant, les variations observées sont comprises entre 3.8 points pour les oxydes d'azote (NO_x) et 4.5 points pour les PM_{2.5}. La différence la plus importante pour le benzène est de 11 points.

Le benzène est principalement émis par les véhicules de motorisation essence et plus particulièrement les deux roues motorisés, qui représentent environ la moitié des émissions de benzène associées au trafic routier. Ces véhicules deux roues motorisés comptent selon les scénarios « fil de l'eau » 1.4 % de Crit'Air 4 en juillet 2018 contre 0.4 % en juillet 2019. Cette forte diminution relative (-70 %), se traduit par un potentiel de baisse plus faible des émissions lors de la mise en œuvre de la 3^{ème} étape de la ZFE.

Ces différences traduisent des baisses d'émissions induites par la ZFE moindres pour une mise en place en juillet 2019. Encore une fois, ceci s'explique par le gain « naturel » induit par l'évolution tendancielle qui tend à réduire les émissions associées au trafic routier entre juillet 2018 et juillet 2019.

Ainsi, les gains relatifs de la mise en œuvre de la 3^{ème} étape sont plus faibles pour une mise en place plus tardive.

Globalement, un gain substantiel en émissions de polluants atmosphériques est toujours obtenu à Paris par la mise en œuvre de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2019.

6.2.2 En dehors de Paris

Les Figure 42 et Figure 43 présentent les émissions de NO_x liées au trafic routier, hors Paris, associées aux deux échéances de mise en œuvre de la troisième étape de la ZFE parisienne. Elles montrent également des émissions plus faibles en juillet 2019, tant pour le scénario « fil de l'eau » que pour celui de la ZFE, en lien avec le renouvellement naturel du parc technologique.

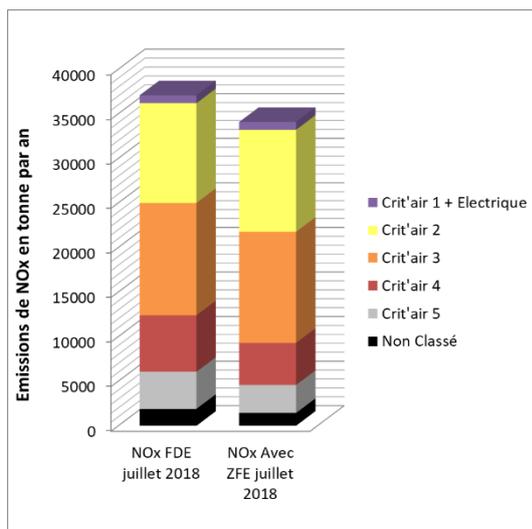


Figure 42 : Gains en émissions de NO_x, hors Paris, mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2018

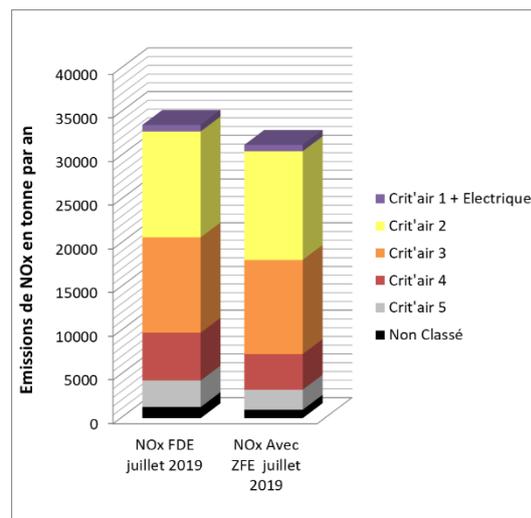


Figure 43 : Gains en émissions de NO_x, hors Paris, mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2019

La Figure 44 expose les gains relatifs obtenus hors Paris par la mise en œuvre de la ZFE, calculés par rapport à leur « fil de l'eau » respectifs, pour les deux dates comparées. De même que dans Paris, des gains relatifs moins importants sont observés pour une mise en œuvre de la 3^{ème} étape en juillet 2019, en lien avec l'influence du renouvellement naturel du parc technologique.

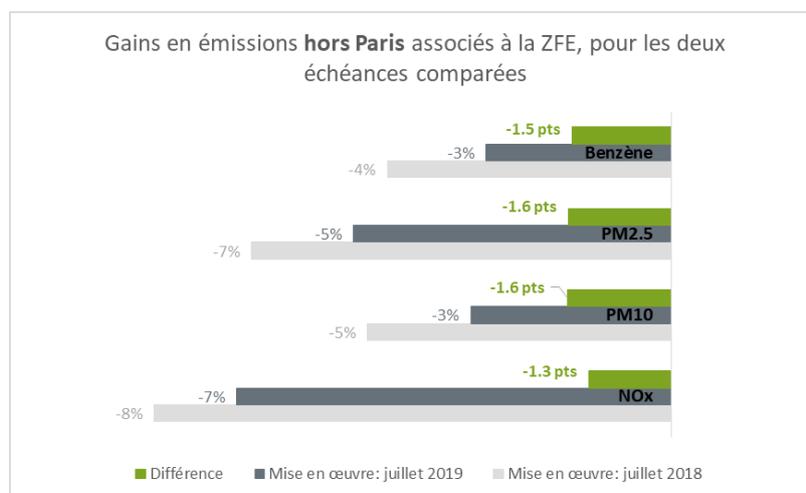


Figure 44 : Gains en émissions (en %) associés à la 3^{ème} étape de la ZFE parisienne, par polluants, hors Paris. En gris clair : mise en œuvre en juillet 2018 ; en gris foncé : mise en place en juillet 2019. En vert : différence entre les 2 cas.

Les différences de gains en émissions entre les deux dates, comprises entre 1.3 points pour les NO_x et 1.6 points pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5} sont peu élevées. Les variations observées sont

légèrement plus faibles que celles concernant les émissions dans Paris intramuros, l'impact de la ZFE étant moins élevé hors du périmètre de restriction.

Pour les mêmes raisons que dans Paris, les différences observées traduisent des gains en émissions induits par la ZFE moindres pour une mise en place en juillet 2019 qu'en juillet 2018. Toutefois, **les gains obtenus pour cette nouvelle étape de la ZFE, par rapport au fil de l'eau (i.e. : sans aucune mesure prise) restent positifs en terme d'émissions de polluants du trafic routier, et sont du même ordre de grandeur que les gains évalués pour l'échéance de juillet 2018.**

6.3 Sur les concentrations de polluants

Dans l'étude globale sur la ZFE, l'impact de la ZFE sur les concentrations de polluants dans l'air a été évalué non seulement à proximité des axes routiers, mais également sur l'ensemble de la zone. Les concentrations calculées résultent de trois composantes :

- les concentrations de « fond »
- les impacts associés au trafic routier à proximité de la voirie
- les gains sur les impacts du trafic routier apportés par la mise en œuvre de la ZFE.

Ainsi, l'évolution des gains en concentrations entre la mise en œuvre de l'étape 3 en juillet 2018 et juillet 2019 dépend de l'évolution de ces trois paramètres.

Les niveaux de fond des scénarios « fil de l'eau » ont été définis à partir des concentrations mesurées en 2016 et de celles calculées à l'horizon 2020, et diminuent de manière linéaire entre ces deux dates. Le niveau de fond « fil de l'eau » diminue donc entre juillet 2018 et juillet 2019. De même, les impacts du trafic routier à proximité de la voirie diminuent au « fil de l'eau » entre juillet 2018 et juillet 2019. Enfin, le décalage dans le temps de la mise en œuvre de la ZFE induit des gains plus faibles sur les émissions du trafic routier, et donc sur les impacts à proximité de la voirie.

Ainsi, sur les concentrations en polluants, les bénéfices associés à la ZFE en juillet 2019 sont légèrement plus faibles que ceux estimés pour juillet 2018. Cependant, les concentrations résultantes sont proches de celles estimées dans l'étude globale pour juillet 2018, du fait de la baisse tendancielle des niveaux de fond.

Par conséquent, **l'estimation des concentrations à horizon juillet 2018 suite à la mise en œuvre de la ZFE reste donc valide si l'on décale la mise en œuvre de la ZFE en juillet 2019.**

Il est délicat d'évaluer l'impact du décalage de date sur l'exposition de la population francilienne, du fait d'effet de seuil dans le calcul du nombre de Franciliens exposés.

6.4. À retenir à propos du décalage temporel

À l'exception du benzène, les gains en émissions engendrés par la mise en place de la troisième étape de la ZFE parisienne en juillet 2019 sont comparables à ceux estimés pour juillet 2018, tant dans Paris intramuros qu'en dehors du périmètre de la ZFE. Les écarts sont inférieurs à 5 points entre les deux scénarios. Les gains sur les émissions restent ainsi importants avec plus de 20% pour les oxydes d'azote et de 10 et 15% respectivement pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}.

Les concentrations de polluants, dans le cas d'une mise en œuvre de la ZFE en juillet 2019 plutôt qu'en juillet 2018, sont à la baisse par rapport au « fil de l'eau ». Cette mesure est positive pour la qualité de l'air, avec des gains néanmoins plus faibles que pour une mise en œuvre en juillet 2018.

7. RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS

Les tableaux suivants présentent de façon synthétique les **indicateurs obtenus pour les émissions et l'exposition des populations, pour la troisième étape de la ZFE parisienne** (restriction à l'horizon de juillet 2018 de la circulation des véhicules de catégories « Non classés », « Crit'Air 5 » et « Crit'Air4 »), et pour le scénario « Fil de l'eau » (aucune mesure de type zone à faibles émissions métropolitaine mise en place).

Pour mémoire, les indicateurs obtenus pour les deux premières étapes de la ZFE parisienne (restriction en janvier 2017 de la circulation des véhicules « Non classés », puis en juillet 2017 des véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 ») sont mentionnés.

Les résultats sont exprimés par rapport aux périmètres parisien et métropolitain.

Emissions de polluants		"Fil de l'eau" Sans ZBE				Périmètre de la ZBE			
						 Zone Paris			
		NOx	PM10	PM2.5	CO2	NOx	PM10	PM2.5	CO2
Etape 1 : 2016/17	Paris	3 500	260	185	1 080 000	3 200 (-2%)	250 (-1%)	175 (-1%)	1 080 000 (0%)
	Intra A86	12 300	990	730	3 830 000	11 800 (-4%)	960 (-3%)	700 (-4%)	3 800 000 (-1%)
Etape 2 : 2017/18	Paris	3 200	240	170	1 070 000	2 700 (-4%)	220 (-2%)	150 (-3%)	1 050 000 (-1%)
	Intra A86	11 300	940	680	3 790 000	10 000 (-12%)	880 (-6%)	625 (-8%)	3 730 000 (-2%)
Etape 3 : 2018/19	Paris	2 900	230	160	1 050 000	2 200 (-6%)	200 (-3%)	130 (-4%)	1 020 000 (-1%)
	Intra A86	10 300	890	630	3 750 000	8 500 (-17%)	810 (-9%)	550 (-13%)	3 670 000 (-2%)

Figure 45 : Tableau de synthèse des émissions liées au trafic routier pour une situation « Fil de l'eau » et selon les trois premières étapes d'une ZFE parisienne. Le pourcentage de diminution des émissions est exprimé au regard des émissions du périmètre intra A86 et est indiqué entre parenthèses.

Population exposée		"Fil de l'eau" Sans ZBE	Périmètre de la ZBE
			 Zone Paris
Etape 1 : 2016/17	Parisiens	880 000	800 000 (-5%)
	Métropolitains	1 580 000	1 470 000 (-7%)
Etape 2 : 2017/18	Parisiens	790 000	600 000 (-13%)
	Métropolitains	1 350 000	1 100 000 (-19%)
Etape 3 : 2018/19	Parisiens	700 000	410 000 (-25%)
	Métropolitains	1 130 000	760 000 (-33%)

Figure 46 : Tableau de synthèse de la population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ pour une situation « Fil de l'eau » et selon les trois premières étapes d'une ZFE parisienne. Le pourcentage de diminution de l'exposition est exprimé au regard de la population de la MGP et est indiqué entre parenthèses. Les indicateurs permettant de quantifier l'impact de cette mesure concernent les émissions de polluants, les concentrations de polluants atmosphériques et l'exposition de la population, tant dans le périmètre parisien de mise en œuvre de la ZFE, qu'au-delà de ce périmètre.

La mise en place, en 2018, de la troisième étape d'une zone de faibles émissions restreignant les véhicules jusqu'à la catégorie « Crit'Air4 » (ou toute mesure équivalente qui permettrait d'accélérer le renouvellement du parc roulant et/ou de réduire le trafic) aurait un impact important sur les concentrations de dioxyde d'azote.

Comme dans les évaluations réalisées pour les 2 premières étapes de la ZFE, les gains apportés par la mise en œuvre de la troisième étape d'une ZFE calculés sur les différents indicateurs sont plus conséquents pour le dioxyde d'azote¹⁸ que pour les particules PM_{2.5} et PM₁₀. Cela provient 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 pour faire baisser les niveaux franciliens de particules en-deçà des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé sur les particules, et notamment sur les autres sources de pollution comme le chauffage résidentiel.

¹⁸ Oxydes d'azote dans le cas des émissions.

ANNEXES

Annexe 1 : Classification des véhicules selon la nomenclature Crit'Air

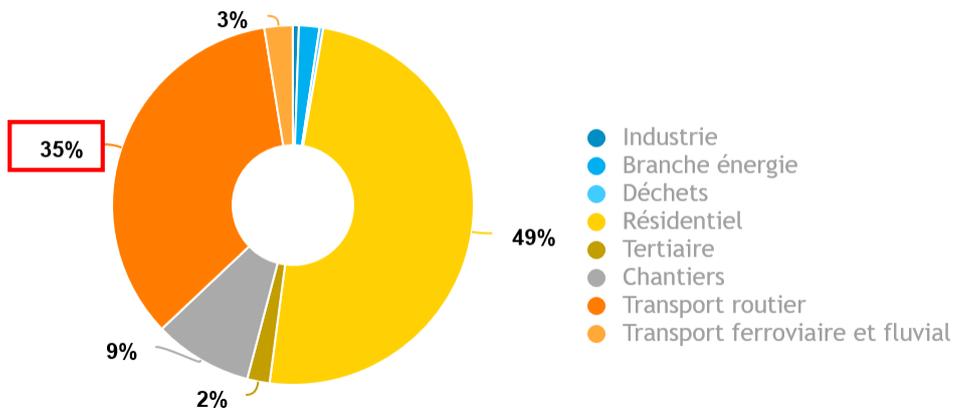
Classe	2 ROUES, TRICYCLES ET QUADRICYCLES À MOTEUR	VOITURES	VÉHICULES UTILITAIRES LÉGERS	POIDS LOURDS, AUTOBUS ET AUTOCAR
Électrique	Véhicules électriques et hydrogène			
1	Véhicules gaz Véhicules hybrides rechargeables			

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 : Émissions primaires de PM_{2.5} et de CO₂ du trafic routier parisien par secteurs d'activité

PM 2.5 - Paris

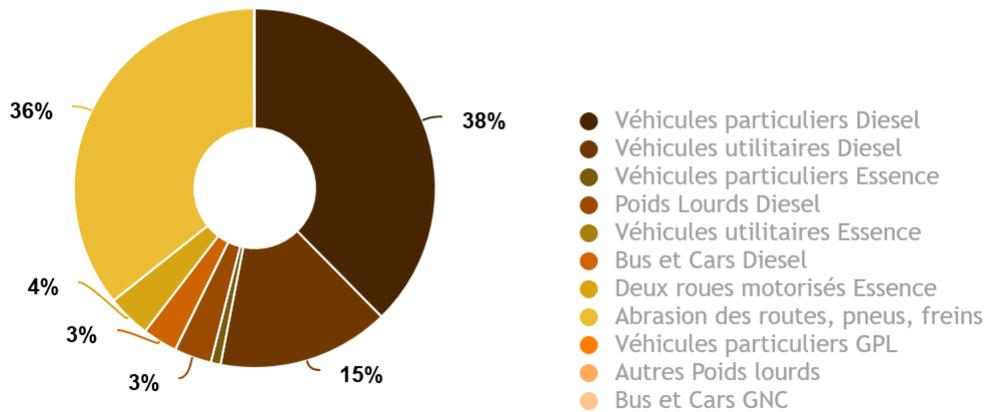


AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

Répartition des émissions - PM 2.5

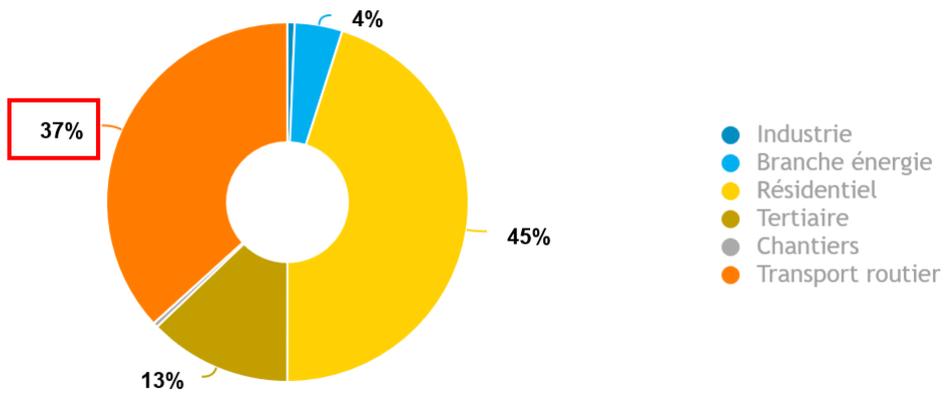
2015 - Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

CO2 - Paris

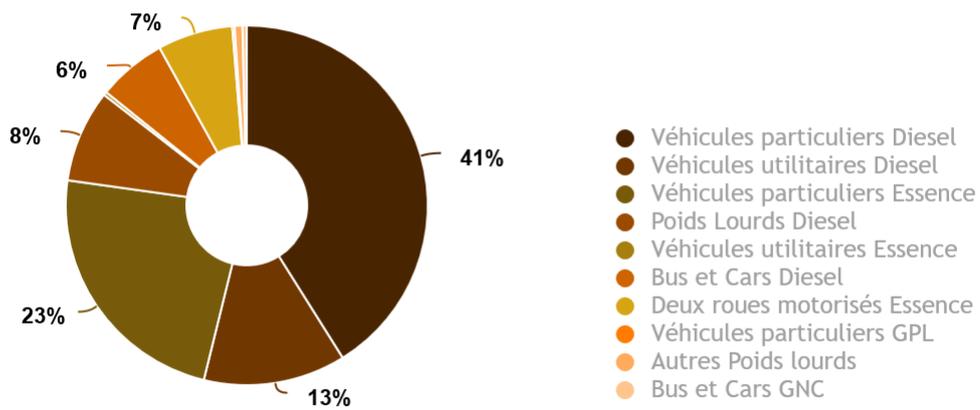


AIRPARIF DECEMBRE 2018

a) Contribution par secteur d'activité

Répartition des émissions - CO2

2015 - Paris



AIRPARIF DECEMBRE 2018

b) Contribution des différents véhicules

Annexe 3 : Éléments méthodologiques relatifs à la modélisation de l'impact de la ZFE sur le trafic routier (source DRIEA)

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

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

Modèle de déplacements utilisé

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

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

Pour l'étude de la zone à faibles 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 faibles émissions prend en compte la description du réseau de transport en commun ainsi que son évolution de 2015 à 2020.

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

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

Les scénarios de zone à faibles émissions

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 ZFE :

- 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 ZFE et ayant leur origine et/ou leur destination dans la ZFE. Les véhicules en transit dans la

ZFE (qui n'ont ni leur origine de déplacement ni leur destination dans la ZFE) ne sont pas renouvelés du fait de l'instauration de la mesure ; on suppose qu'un itinéraire ou un mode de déplacement alternatif est choisi pour les déplacements concernés.

- La délimitation géographique de la ZFE. 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 4 : 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 d'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 dans le cadre de l'étude.....	11
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).....	13
Figure 3 : Nombre de jours de dépassement du seuil de 50 µg/m ³ en moyenne journalière pour les particules PM ₁₀ sur la petite couronne et zoom sur Paris pour l'année 2017.	16
Figure 4 : Concentration moyenne annuelle de particules PM ₁₀ sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.	17
Figure 5 : Concentration moyenne annuelle de particules PM _{2.5} sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.	18
Figure 6 : Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO ₂) sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.....	18
Figure 7 : Concentration moyenne annuelle de benzène sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2017.	19
Figure 8 : Contribution par secteur d'activité (a) et selon les catégories de véhicules (b) aux émissions d'oxydes d'azote (NO _x en équivalent NO ₂) à Paris pour l'année 2015.....	20
Figure 9 : Contribution par secteur d'activité (a) et selon les catégories de véhicules (b) aux émissions primaires de particules (PM ₁₀) à Paris pour l'année 2015.	21
Figure 10 : Contribution par secteur d'activité (a) et selon les catégories de véhicules (b) aux émissions primaires de COVNM à Paris pour l'année 2015.	23
Figure 11 : Réseau routier pris en compte pour le calcul des émissions liées au trafic routier (Source : DRIEA – traitement et image Airparif).....	24
Figure 12 : 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.	25
Figure 13 : Parc roulant appliqué les jours ouvrés (JO) sur les axes parisiens selon les heures de la journée.	26
Figure 14 : Parcs technologiques parisiens par type de véhicules pour l'année 2014.	28
Figure 15 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris par la mise en œuvre de la 3 ^{ème} étape d'une ZFE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la 3 ^{ème} étape de la ZFE mise en œuvre.....	29
Figure 16 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris par la mise en œuvre de la 3 ^{ème} étape de la ZFE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la 3 ^{ème} étape de la ZFE mise en œuvre selon la classification Crit' Air.....	31
Figure 17 : Gains en émissions, à Paris avec le Bd Périphérique(a) et à Paris Intramuros (b), avec la mise en œuvre de la ZFE parisienne sans Boulevard Périphérique et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation pour la 3 ^{ème} étape de la ZFE parisienne.	32
Figure 18 : Évolution des baisses d'émissions sur le périmètre parisien pour les 3 premières étapes définies entre 2016 et 2018 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZFE au sein de la Capitale)...	33
Figure 19 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre de la ZFE et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation à Paris : périmètre comprenant le Bd Périphérique (a) et périmètre Paris Intramuros (b).....	34
Figure 20 : Gains en émissions en dehors de Paris avec la mise en œuvre de la ZFE parisienne et part des kilomètres parcourus en dehors de Paris par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en lien avec la ZFE, pour la 3 ^{ème} étape de la ZFE parisienne.....	35
Figure 21 : Évolution des baisses d'émissions de CO ₂ sur le périmètre parisien pour les 3 étapes définies entre 2016 et 2018 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZFE au sein de la Capitale)...	36

Figure 22 : Ratio entre les gains en émissions de CO ₂ attendus avec la mise en œuvre de la ZFE et la part des véhicules.kilomètres concernés par les restrictions de circulation à Paris : périmètre comprenant le Bd Périphérique (a) et périmètre Paris Intramuros (b).	36
Figure 23 : Cartographies des niveaux annuels de NO ₂ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau et pour la 3 ^{ème} étape d'une ZFE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre le scénario ZFE et le fil de l'eau.	38
Figure 24 : Cartographies des niveaux annuels de PM ₁₀ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau et pour la 3 ^{ème} étape d'une ZFE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre la ZFE et le fil de l'eau.....	38
Figure 25 : Cartographies des niveaux annuels de PM _{2,5} dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau et pour la 3 ^{ème} étape d'une ZFE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre la ZFE et le fil de l'eau.....	39
Figure 26 : Population résidant à Paris exposée par classes de concentrations de dioxyde d'azote pour le fil de l'eau 2018 et la ZFE parisienne.	40
Figure 27 : Population résidant à Paris exposée par classes de concentrations de particules PM ₁₀ pour le fil de l'eau 2018 et la 3 ^{ème} étape de la ZFE parisienne.	40
Figure 28 : Présentation de l'indicateur de population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO ₂ pour une situation « Fil de l'eau » et gain sur la population engendré par la mise en œuvre de la 3 ^{ème} étape d'une ZFE parisienne.	41
Figure 29 : Indicateurs de population parisienne exposée à des dépassements de la VL annuelle en NO ₂	41
Figure 30 : Indicateurs de population parisienne exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle en PM ₁₀	42
Figure 31 : Indicateurs de population parisienne exposée à des dépassements de l'objectif de qualité de 10 µg/m ³ en moyenne annuelle en PM _{2,5}	42
Figure 32 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO ₂ à Paris.	43
Figure 33 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de l'objectif de qualité en PM ₁₀ à Paris (a) et au sein de la MGP (b).	44
Figure 34 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de l'objectif de qualité en PM _{2,5} à Paris (a) et au sein de la MGP (b).	44
Figure 35 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris pour le fil de l'eau en juillet 2018	45
Figure 36 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris avec la 3 ^{ème} étape de la ZFE en juillet 2018	45
Figure 37 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris pour le fil de l'eau à l'horizon juillet 2019 ...	46
Figure 38 : Répartition des véhicules.kilomètres à Paris avec la 3 ^{ème} étape de la ZFE à l'horizon juillet 2019	46
Figure 39 : Gains en émissions de NO _x , à Paris , mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2018	47
Figure 40 : Gains en émissions de NO _x , à Paris , mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2019	47
Figure 41 : Gains en émissions (en %) associés à la 3 ^{ème} étape de la ZFE parisienne, par polluants, dans Paris . En gris clair : mise en œuvre en juillet 2018 ; en gris foncé : mise en place en juillet 2019. En vert : différence entre les 2 cas.	47
Figure 42 : Gains en émissions de NO _x , hors Paris , mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2018	48
Figure 43 : Gains en émissions de NO _x , hors Paris , mise en place de l'étape 3 de la ZFE en juillet 2019	48
Figure 44 : Gains en émissions (en %) associés à la 3 ^{ème} étape de la ZFE parisienne, par polluants, hors Paris . En gris clair : mise en œuvre en juillet 2018 ; en gris foncé : mise en place en juillet 2019. En vert : différence entre les 2 cas.	48

Figure 45 : Tableau de synthèse des émissions liées au trafic routier pour une situation « Fil de l'eau » et selon les trois premières étapes d'une ZFE parisienne. Le pourcentage de diminution des émissions est exprimé au regard des émissions du périmètre intra A86 et est indiqué entre parenthèses. 50

Figure 46 : Tableau de synthèse de la population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ pour une situation « Fil de l'eau » et selon les trois premières étapes d'une ZFE parisienne. Le pourcentage de diminution de l'exposition est exprimé au regard de la population de la MGP et est indiqué entre parenthèses. 50