



Zones à basses 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



ZONES A BASSES EMISSIONS DANS L'AGGLOMERATION PARISIENNE

ETUDE PROSPECTIVE

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

Rapport final

MARS 2018

Pour nous contacter

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

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

Glossaire

Généralités :

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

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 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
1. INTRODUCTION.....	9
2. MISE EN ŒUVRE D'UNE ZBE A L'ECHELLE PARISIENNE	9
2.1. MODALITES DE MISE EN ŒUVRE TESTEES DANS L'ETUDE	9
2.2. PRESENTATION DES RESULTATS	11
2.3. DEMARCHE D'EVALUATION DES IMPACTS DE LA ZBE	12
2.3.1. Evaluation des impacts sur les émissions	12
2.3.2. Méthodologie pour la cartographie des concentrations	13
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 ZBE	14
2.4. LIMITES DE LA DEMARCHE D'EVALUATION	14
3. ETAT DES LIEUX DE LA QUALITE DE L'AIR FRANCILIEN	17
3.1. UNE POPULATION EXPOSEE A DES NIVEAUX DE POLLUTION AU-DELA DES VALEURS LIMITEES	17
3.1.1. Particules PM ₁₀	17
3.1.2. Particules PM _{2,5}	18
3.1.3. Dioxyde d'azote NO ₂	19
3.1.4. Benzène	20
3.2. DES EMISSIONS IMPORTANTES LIEES AU TRAFIC ROUTIER.....	21
4. IMPACTS D'UNE ZBE SUR LES EMISSIONS 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 ZBE sur le parc technologique.....	28
4.3. EMISSIONS LIEES AU TRAFIC ROUTIER.....	32
4.3.1. Emissions de polluants atmosphériques.....	32
4.3.1.1. Influence à Paris de la mise en œuvre d'une ZBE parisienne.....	32
4.3.1.2. Influence en dehors de Paris de la mise en œuvre d'une ZBE parisienne	36
4.3.1.3. Influence au sein de la zone délimitée par l'A86 de la mise en œuvre d'une ZBE élargie	37
4.3.1.4. Influence en dehors de la zone délimitée par l'A86 de la mise en œuvre d'une ZBE élargie	38
4.3.2. Emissions de gaz à effet de serre.....	39
5. IMPACTS D'UNE ZBE SUR LES CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS L'AIR	41
5.1. CONCENTRATIONS DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES.....	41

5.2. INDICATEURS D'EXPOSITION.....	46
5.2.1. Exposition de la population	46
5.2.1.1. Exposition de la population par classe de concentration	47
5.2.1.2. Exposition de la population au-delà des normes	50
5.2.2. Qualité de l'air au droit des axes routiers.....	53
5.2.3. Indicateurs d'exposition pour les Etablissements Recevant du Public (ERP).....	55
5.2.3.1. Dioxyde d'azote NO ₂	57
5.2.3.2. Particules PM ₁₀	59
5.2.3.3. Particules PM _{2,5}	60
6. RECAPITULATIF DES RESULTATS.....	62
ANNEXES.....	64
TABLE DES FIGURES.....	84

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 Basses Emissions (ZBE). La ZBE est un élément du plan de lutte contre la pollution atmosphérique liée au trafic routier lancé par la Mairie de Paris en février 2015. Au-delà du territoire de la Ville, des scénarios sur un périmètre élargi à l'intra A86 ont également été étudiés. Ils ont alimenté les travaux de révision du Plan de Protection de l'Atmosphère et alimentent les réflexions sur une Zone de Basses Emissions à l'échelle métropolitaine.

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 cette étude.

Des noms différents pour des dispositifs identiques

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

2. MISE EN ŒUVRE D'UNE ZBE 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) 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		✓		
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 ZBE. VP = véhicules particuliers, VUL = véhicules utilitaires légers, PL = poids lourds, TC = bus et cars, 2RM = deux roues motorisés

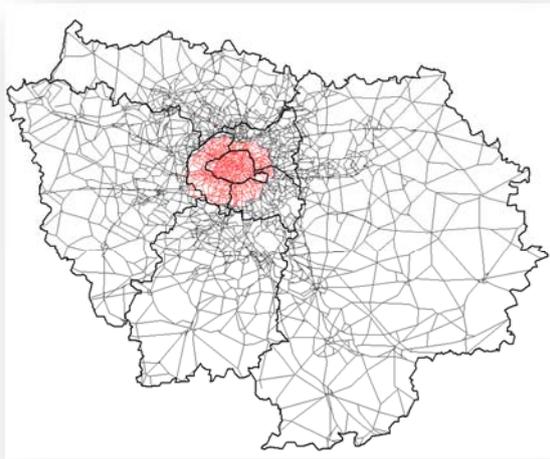
Outre la mise en œuvre de la ZBE sur le périmètre parisien et selon les modalités définies dans le Tableau 1, l'impact sur la qualité de l'air des scénarios d'élargissement de la ZBE au-delà de Paris et de prise en compte ou non du boulevard périphérique dans le périmètre d'une ZBE ont été étudiés.

La zone envisagée en dehors de Paris pour une mise en œuvre d'une ZBE « élargie » correspond au périmètre délimité par l'autoroute A86. Lors d'études précédentes dans le cadre de la faisabilité d'une ZAPA, c'est en effet ce périmètre qui avait montré le meilleur rapport coût - efficacité¹.

Les scénarios étudiés dans le cadre de cette ZBE élargie, concernent les 3 dernières étapes définies à partir du 1er juillet 2017 avec le même niveau Crit'Air de restriction que la ZBE parisienne, à savoir « Crit'Air 5 » en 2017, « Crit'Air 4 » en 2018 et « Crit'Air 3 » en 2019.

La Figure 1 ci-dessous illustre les axes routiers modélisés pris en compte (en rouge) dans le cadre d'une ZBE élargie envisagée avec un périmètre délimité par l'A86. Dans ces scénarios de ZBE élargie, l'autoroute A86 n'est pas incluse dans le périmètre de la ZBE.

¹ « Projet d'expérimentation d'une Zone d'actions prioritaires pour l'air – Novembre 2012 - Airparif <http://www.airparif.asso.fr/pdf/publications/zapa-rapport-121119.pdf>



a) Ile-de-France



b) Zoom sur la ZBE élargie (en rouge)

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

La mise en œuvre des deux premières étapes de la ZBE parisienne a fait l'objet d'une évaluation sur les gains en émissions de polluants, publiée sous la forme d'un rapport intermédiaire².

2.2. Présentation des résultats

Les émissions et les concentrations sont évaluées pour chaque étape de mise en œuvre de la ZBE (scénario « ZBE »), 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 naturelle du parc technologique.

La scénarisation en quatre étapes sur la période 2016 à 2019 permet l'étude des impacts de la mise en œuvre d'une ZBE de plus en plus contraignante, avec un échelonnement progressif.

Ainsi, par exemple, les résultats de la 2^{ème} étape correspondent à l'étude d'une mise en œuvre uniquement en 2017 d'une ZBE restreignant la circulation à la fois les « Non classés » et les « Crit'Air 5 » 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 ZBE 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 ZBE et d'étudier les effets de report d'itinéraires et de renouvellement des véhicules en dehors.

² Rapport « étude prospective dans le cadre de la création d'une zone à circulation restreinte à Paris - <http://www.airparif.asso.fr/pdf/publications/rapport-zcr-161220.pdf> - octobre 2016.

2.3. Démarche d'évaluation des impacts de la ZBE

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

En ce qui concerne la qualité de l'air, les particules et le dioxyde d'azote³ 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.

Afin de tenir compte des impacts au-delà du périmètre de mise en œuvre du dispositif (Paris ou Intra A86), la zone d'étude s'étend au-delà des deux périmètres de ZBE envisagés, jusqu'aux contours de la Francilienne, ce qui représente environ 80% de la population d'Ile-de-France.

2.3.1. Evaluation des impacts sur les émissions

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

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 EMEP⁴. A 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.

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

³ 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.

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

2.3.2. Méthodologie pour la cartographie des concentrations

Les cartographies des niveaux de polluants atmosphériques ZBE sont issues de **modélisations réalisées à l'échelle régionale** (description des concentrations de polluants en fond urbain et rural), d'une part, **et à l'échelle urbaine** (description des concentrations en proximité du trafic routier), d'autre part (cf. Figure 2). Le niveau de fond régional est différent selon les étapes (années) et les scénarios étudiés. Afin de tenir compte au mieux à la fois de cette évolution au cours des années et selon les scénarios ZBE étudiés, les paragraphes suivants précisent la méthodologie adoptée et l'ensemble des hypothèses définies.

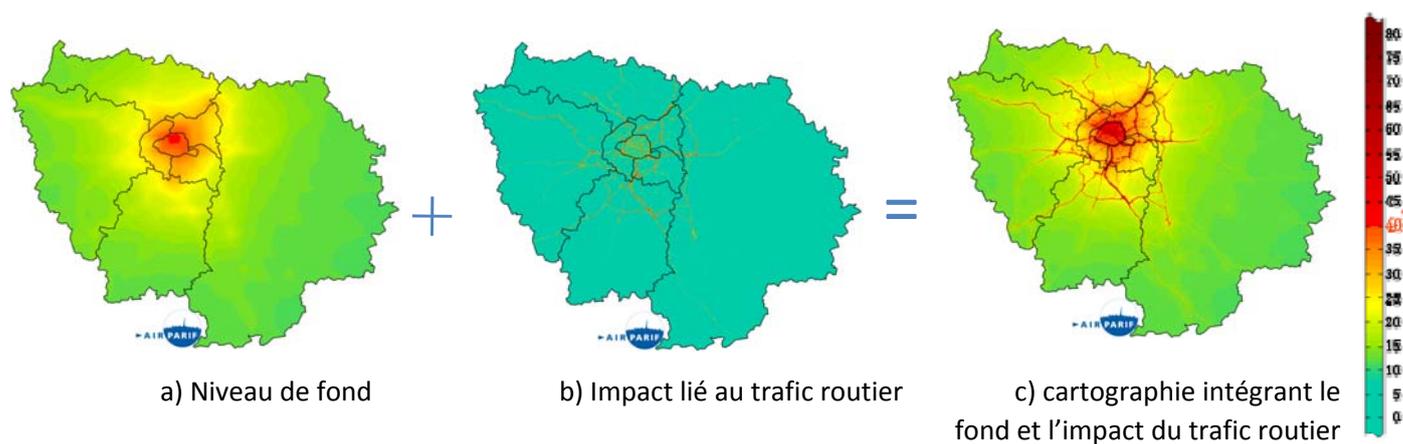


Figure 2 : Exemple du principe de modélisation des résultats de cartographie de la qualité de l'air (c) issus de croisement de la modélisation des niveaux de fond (a) et de l'impact issu du trafic routier (b).

2.3.2.1. 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-Urban⁵. Ce modèle permet de déterminer l'impact sur les concentrations à proximité immédiate de l'ensemble du réseau routier modélisé et également de tenir compte de 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, et en tenant compte des réactions chimiques de transformation des polluants.

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

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 ESERALDA (développée et opérée par Airparif), adaptée pour intégrer les conditions aux limites du périmètre géographique, calculées par l'INERIS (version 2014, travaux du PREPA réalisés pour le compte du ministère en charge de l'environnement).

Pour les années intermédiaires, 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.

⁵ Logiciel développé par CAMBRIDGE ENVIRONMENTAL RESEARCH Ltds (CERC) et distribué par la société Numtech.

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

Lorsqu'une ZBE 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.

A partir de la baisse des émissions attendue au sein et en dehors de la ZBE, 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 Airparif⁶, 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 ZBE ; 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 ZBE, 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-

⁶ Origine des particules en Ile-de-France, Airparif, LSCE – septembre 2011 <http://www.airparif.fr/pdf/publications/rapport-particules-110914.pdf>

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 ZBE 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'ADEME⁷. Cela permet cependant de maximiser les éventuels phénomènes de reports au plus près de la ZBE, c'est pourquoi il a été retenu.

Le taux de respect de la mesure est supposé égal à 100%, ce qui dans les faits est atteignable sous réserve de disposer d'un système de contrôle performant.

- Pour les deux premières étapes étudiées, la ZBE intègre le Boulevard Périphérique, contrairement à la ZBE parisienne effectivement mise en œuvre en 2016 et en 2017. Dans l'évaluation prospective réalisée, les phénomènes de report de trafic en dehors de Paris ont été maximisés, il en est de même pour les gains d'émissions sur le Boulevard Périphérique. Les évaluations font état d'un faible report de trafic lors des deux premières étapes de mise en œuvre de la ZBE à l'extérieur de Paris, y compris dans le cas où le Boulevard Périphérique ferait partie du périmètre de restriction de circulation

Pour les deux dernières étapes, une étude de sensibilité a été réalisée en considérant également une ZBE uniquement Intramuros (Boulevard Périphérique en dehors de la ZBE). L'étude de scénarios, en intégrant ou non le Boulevard Périphérique au sein de la ZBE parisienne, permet de mettre en relief d'éventuelles différences notamment sur les phénomènes de reports de trafic pouvant influencer de manière plus ou moins sensible la qualité de l'air sur certains axes routiers en proche Petite Couronne.

- 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-end⁸. 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 ZBE. Cela est probablement faux pour un certain nombre d'usagers amenés à se déplacer uniquement de 20 heures à 8 heures. Cette simplification induit une surestimation des gains d'émissions liés à la ZBE, 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.

⁷ 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>

⁸ Enquête TNS SOFRES sur le parc auto 2015 - volume Ile-de-France.

- En ce qui concerne la détermination du niveau de fond influencé par la réduction des émissions du trafic routier en lien avec une ZBE, 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 ZBE. Par exemple, pour une ZBE 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 ZBE, l'impact de la ZBE est homogène sur le reste de l'Île-de-France alors que la réduction des concentrations de fond est certainement plus importante au plus près de la ZBE 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 ZBE parisienne sont probablement légèrement sous-estimés près de sa frontière et surestimés loin de celle-ci.

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

Les éléments qui suivent sont ceux disponibles en 2015, date à laquelle l'état des lieux de la qualité de l'air a été rédigé pour le projet. Pour une actualisation de ces données, se référer aux bilans annuels publiés chaque année par Airparif sur son site Internet, ainsi qu'aux bilans d'émissions réalisés à une fréquence bi ou triennale, et dont les rapports sont également publiés sur le site de l'association.

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 2015.

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 2015 sur la petite couronne de l'Île-de-France, avec un zoom sur Paris.

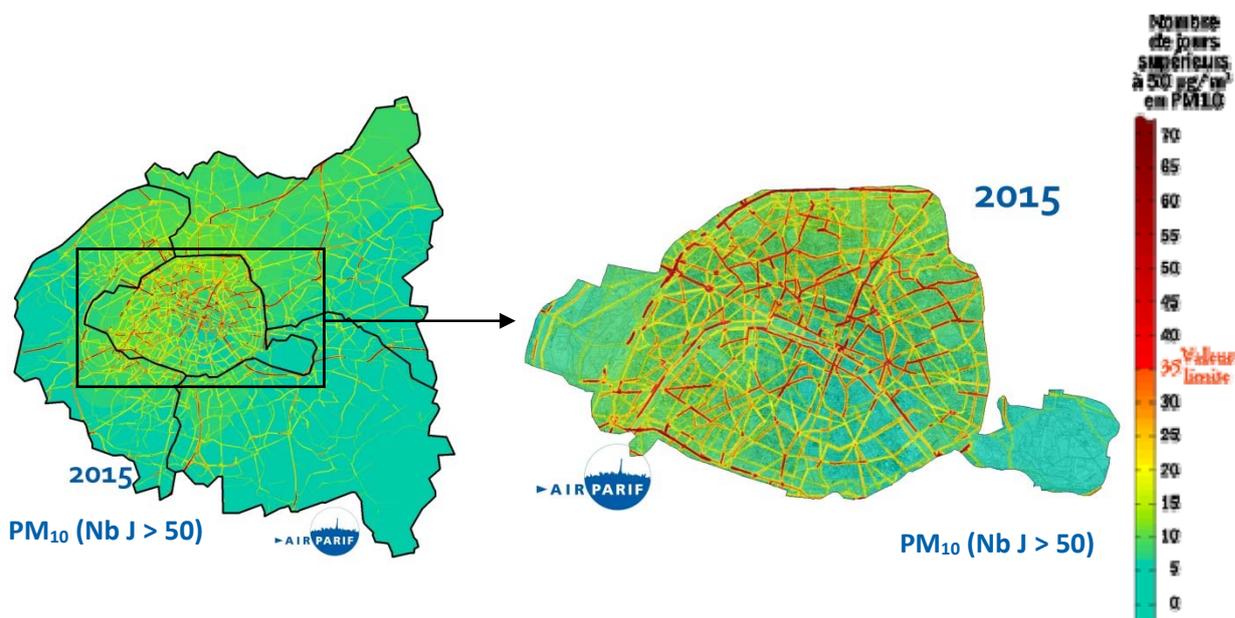


Figure 3 : Nombre de jours de dépassement du seuil de 50 µg/m³ en moyenne journalière pour les particules PM₁₀ sur la petite couronne et zoom sur Paris pour l'année 2015.

En 2015, 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 apparait 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 2015 sur environ 20% du réseau routier parisien modélisé** soit environ 170 km de voirie.

La superficie concernée par le dépassement de la valeur limite journalière est estimée à environ 10 km², soit environ 10% de la superficie parisienne. Environ **200 000 personnes sont potentiellement exposées à un dépassement⁹**, soit environ 10% des Parisiens.

Les cartes de la Figure 4 présentent la **concentration moyenne annuelle de particules PM₁₀** en 2015 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.

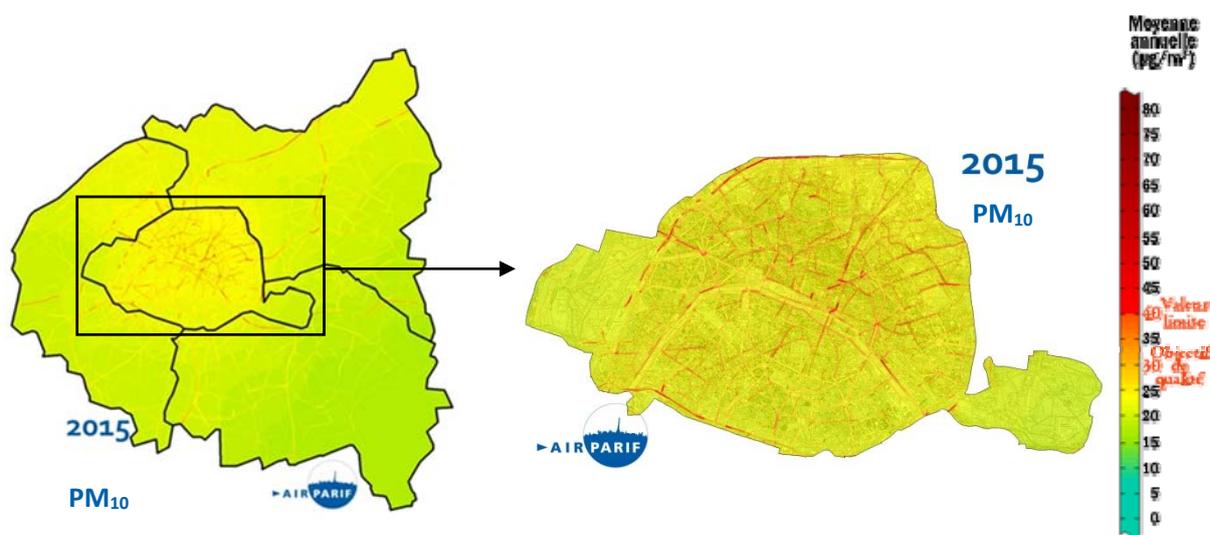


Figure 4 : Concentration moyenne annuelle de particules PM₁₀ sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.

Comme pour le nombre de jours de dépassement, il y apparait 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 2015, le dépassement de **l'objectif de qualité annuel** concerne environ 20 km d'axes routiers parisiens, soit environ 3% du réseau routier modélisé. Environ **100 000 parisiens sont potentiellement exposés⁹ 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 2015 sur la petite couronne, ainsi qu'un zoom sur Paris.

⁹ Exposition des personnes qui respireraient en permanence l'air extérieur au niveau de leur domicile.

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.

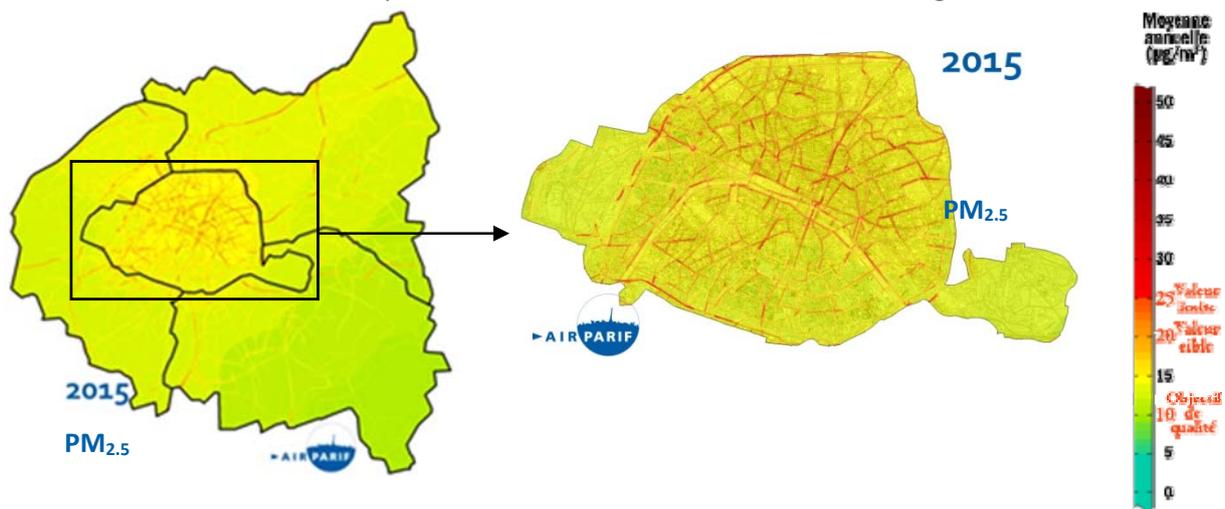


Figure 5 : Concentration moyenne annuelle de particules PM_{2.5} sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.

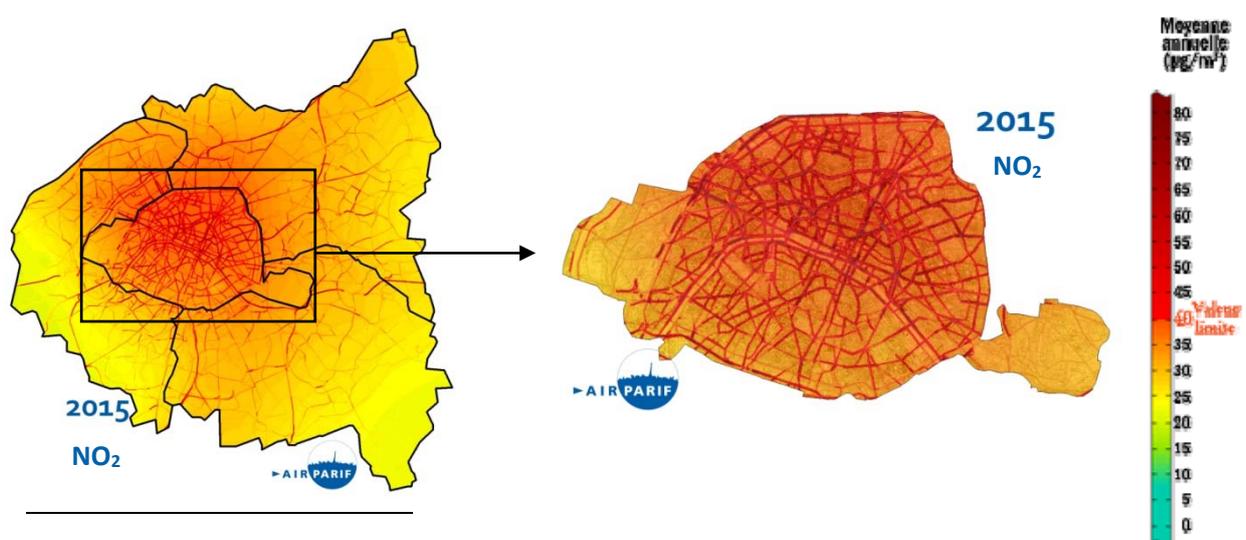
En 2015, environ 5 % des parisiens, soit environ 100 000 habitants, sont potentiellement exposés¹⁰ à un air excédant la valeur cible annuelle pour les particules PM_{2.5}.

La totalité du territoire parisien et des habitants sont concernés 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 2015 sur la petite couronne, ainsi qu'un zoom sur Paris.



¹⁰ Exposition des personnes qui respireraient en permanence l'air extérieur au niveau de leur domicile.

Figure 6 : Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO₂) sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.

Les concentrations les plus élevées sont relevées 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 2.5 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 µg/m³) 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 plus de deux fois supérieures au seuil réglementaire. **La valeur limite annuelle en NO₂ est ainsi dépassée en 2015 sur près de 500 km d'axes routiers parisiens, soit environ 70% du réseau modélisé.** Ce dépassement concerne en 2015 **près de 1.2 millions de Parisiens, soit plus d'un Parisien sur deux.** A l'échelle régionale, 1.6 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 2015 sur la petite couronne, ainsi qu'un zoom sur Paris.

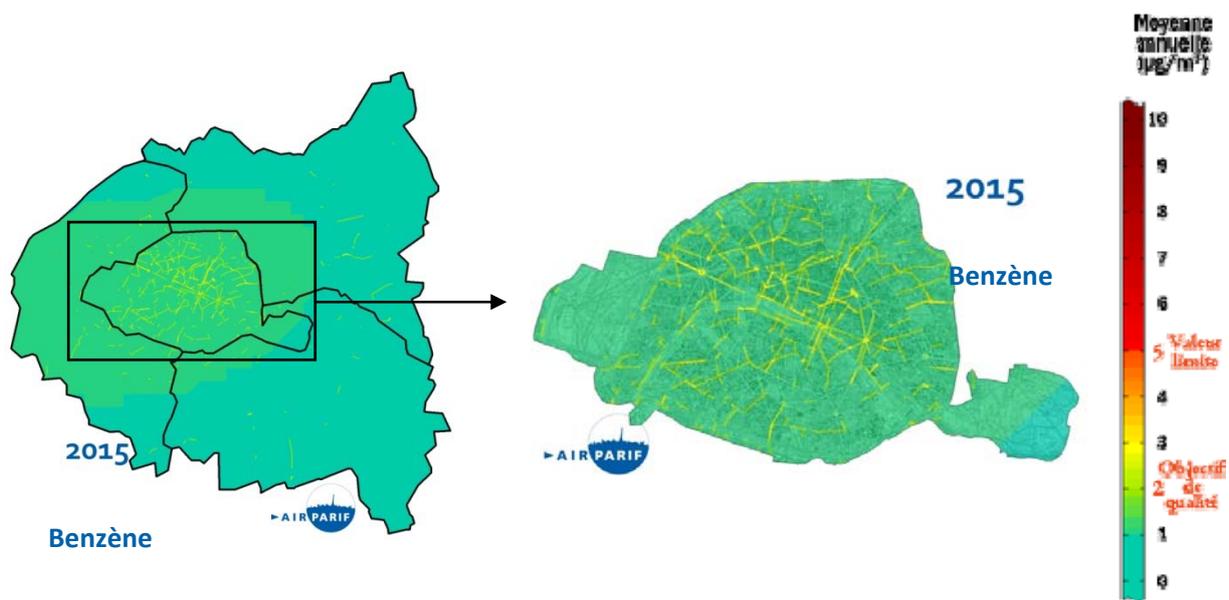


Figure 7 : concentration moyenne annuelle de benzène sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.

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 2015, sur environ de **150 km de voies** dans Paris. Ce **dépassement concerne moins de 100 000 habitants**, soit moins de 5% des parisiens.

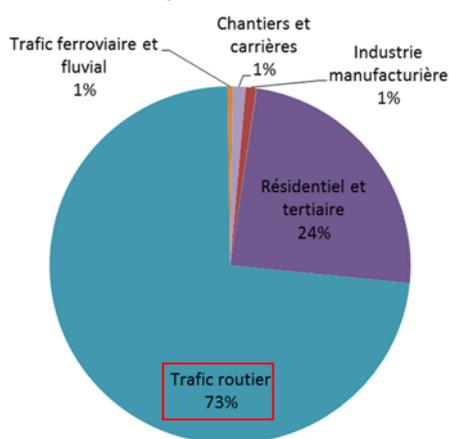
A Paris, les niveaux moyens de NO_2 sont les plus élevés de l'Ile-de-France, et supérieurs à la moyenne de l'agglomération parisienne. La valeur limite annuelle est dépassée sur une majorité des axes routiers parisiens, et ponctuellement en situation de fond. Pour les PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ les 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 ZBE, 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

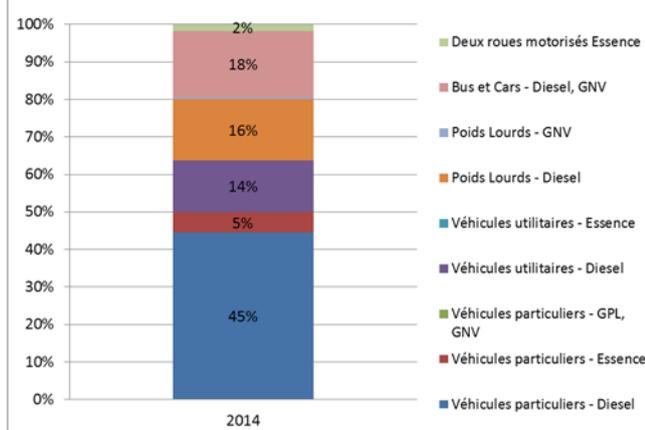
Le trafic routier est le principal contributeur aux émissions d'oxydes d'azote (NO_x) avec **73% des émissions parisiennes**. Les Véhicules Particuliers (VP) représentent 50% des émissions du trafic routier (dont 90% uniquement dues aux véhicules particuliers diesel alors qu'ils représentent 65% des kilomètres parcourus par des véhicules particuliers), soit 37% des émissions parisiennes. Les Bus et Cars (TC) et les Poids Lourds (PL) représentent respectivement 18% et 16% des émissions parisiennes de NO_x du transport routier alors qu'ils présentent moins de 3% des kilomètres parcourus à Paris.

Emissions de NO_x par secteur d'activité - Paris - 2014



a) Contribution par secteur d'activité

Emissions de NO_x du transport routier en 2014 Paris



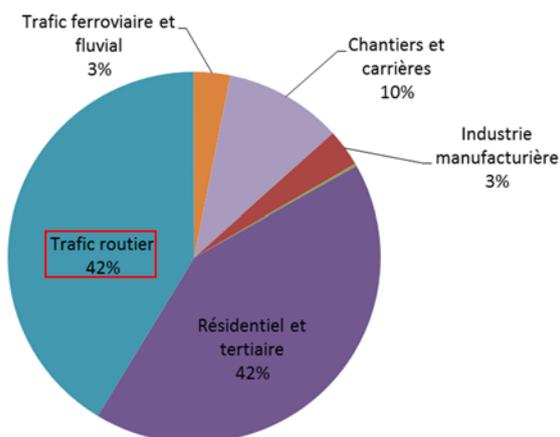
b) Contribution des différents véhicules

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 NO_2) à Paris pour l'année 2014.

Le trafic routier engendre également des émissions primaires¹¹ importantes en particules PM₁₀ avec 42% des émissions parisiennes en 2014.

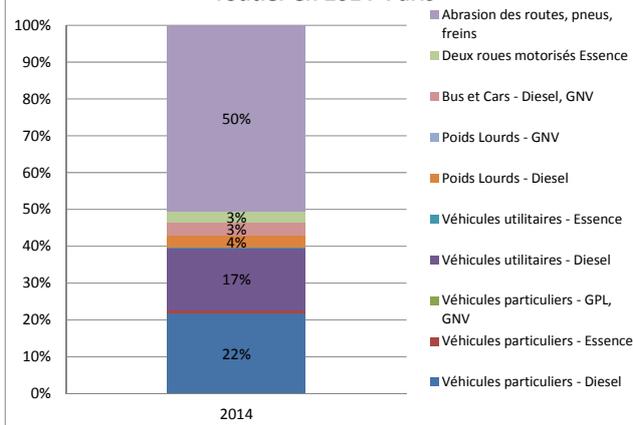
En 2014, pour les particules PM₁₀, l'échappement des véhicules particuliers diesel contribue pour 9% aux émissions parisiennes (22% des émissions du secteur du transport routier) alors que la contribution des véhicules particuliers essence est inférieure à 1%. Les véhicules utilitaires légers, les poids lourds sont responsables respectivement de 7% et 1% des émissions parisiennes totales (soit 17% et 4% du trafic routier parisien). A 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 20% des émissions parisiennes de particules (50% des émissions primaires du secteur du transport routier). Il est rappelé que la remise en suspension par le passage des véhicules n'est pas considérée dans les émissions primaires.

Emissions primaires de PM₁₀ par secteur d'activité - Paris - 2014



a) Contribution par secteur d'activité

Emissions primaires de PM₁₀ du transport routier en 2014 Paris



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 2014.

Pour les particules plus fines PM_{2,5}, la contribution du trafic routier à Paris est également importante puisque près de 40% des émissions primaires sont engendrées par le trafic routier (cf. Annexe 2).

Le trafic routier est également émetteur de COVNM à hauteur de 25% 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 routier¹², tandis que les particules et les oxydes d'azote sont principalement émis par les véhicules diesel.

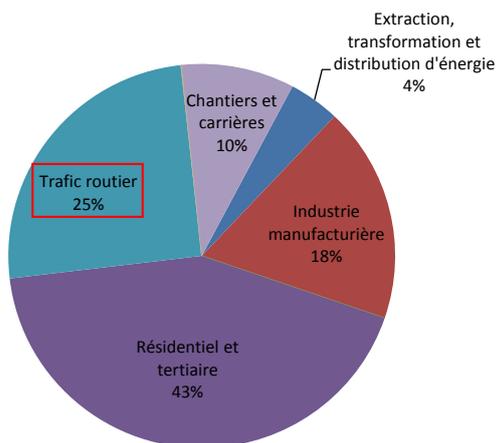
¹¹ Emissions primaires de particules : particules directement émises dans l'air contrairement aux particules secondaires produites par réactions chimiques ou agglomération de particules plus fines. Les particules secondaires représentent de l'ordre de 30% des PM₁₀ et de 40% des PM_{2,5} mesurées dans 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.

¹² Les COVNM sont émis par les véhicules à l'échappement, et également par évaporation, notamment au niveau du réservoir et du circuit de distribution du carburant. Les émissions se produisant au moment du remplissage du réservoir dans les stations-service ne sont pas comptabilisées ici.

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

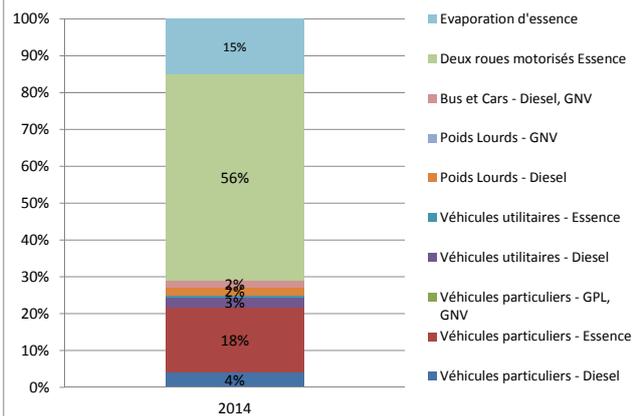
Le benzène est un des COVNM dont le trafic routier est le principal émetteur. Les véhicules essence, dont une grande majorité des deux-roues motorisés, émettent une part importante des émissions de benzène du trafic routier.

Emissions primaires de COVNM par secteur d'activité - Paris - 2014



a) Contribution par secteur d'activité

Emissions de COVNM du transport routier en 2014 à Paris



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 2014.

Concernant le **dioxyde de carbone (CO₂)**, principal gaz à effet de serre, le trafic routier parisien contribue à hauteur de 47% des émissions directes parisiennes (cf. Annexe 2), dont 18% pour les véhicules particuliers diesel et 12% 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.

4. IMPACTS D'UNE ZBE SUR LES EMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER

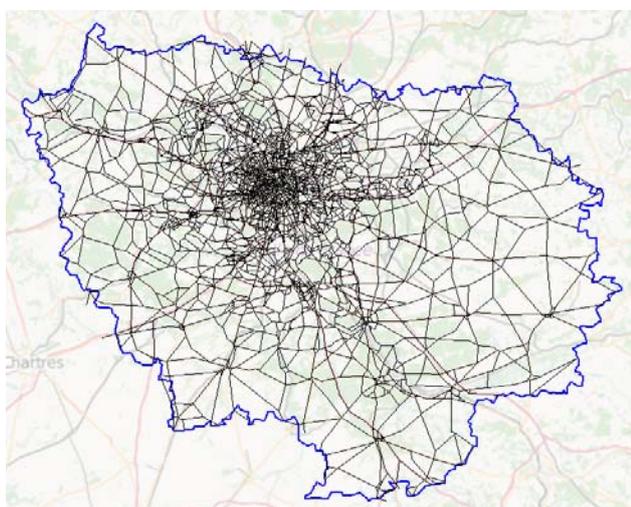
Préambule : L'ensemble des hypothèses, les choix des sources de données, les méthodologies de reconstitution des parcs technologiques et du trafic horaire pour la situation de référence, les scénarios « Fil de l'eau » et les scénarios « ZBE » ont été élaborés par Airparif à partir de données fournies 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.

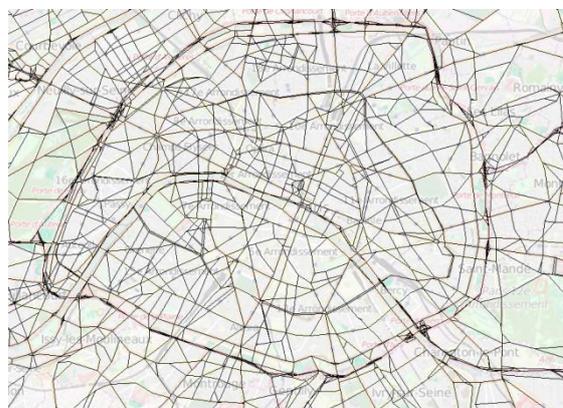
4.1. Trafic routier

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 « ZBE » (cf. Annexe 3). Le trafic routier est modélisé sur environ 10 000 km de voirie comme illustré à la Figure 11.



a) Réseau routier modélisé à l'échelle régionale



b) Zoom sur le réseau routier modélisé parisien

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 Paris¹³ pour le trafic parisien et du Boulevard Périphérique et la Direction des Routes d’Ile-de-France (DIRIF)¹⁴ 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.

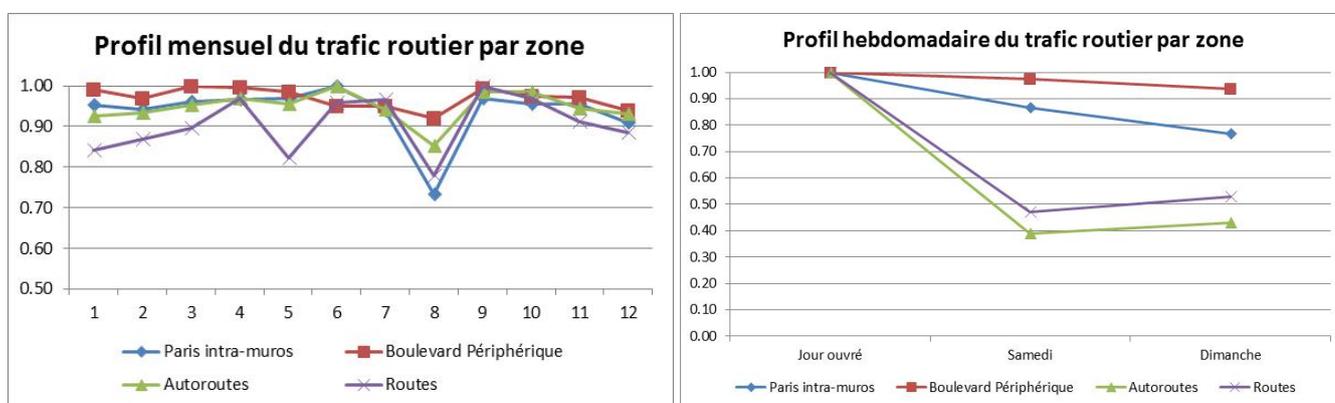


Figure 12. Profils mensuels (a) et hebdomadaires (b) du trafic routier, par zone (Paris intramuros, Bd Périphérique, Autoroutes et Routes).Source : Airparif d’après données DRIEA, DIRIF et Mairie de Paris.

A partir de ces profils mensuels, hebdomadaires et horaires, il est possible de reconstituer le trafic routier horaire (flux de véhicules et vitesses) pour n’importe quelle heure de l’année, sur tout type d’axe 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%¹⁵.

Avec la mise en œuvre de la ZBE, le volume de trafic routier reste relativement stable selon les différentes étapes et zones étudiées de la ZBE, avec notamment un trafic en baisse de moins de 0.1% en Ile-de-France lors des deux premières étapes. Pour les étapes plus contraignantes 3 et 4, le trafic routier diminue d’environ 0.5% à l’échelle régionale avec une diminution plus importante au sein de la ZBE pouvant aller jusqu’à environ 2.5% dans le cadre d’une ZBE parisienne.

¹³ Source : bilan des déplacements 2014.

¹⁴ 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.

¹⁵ 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.

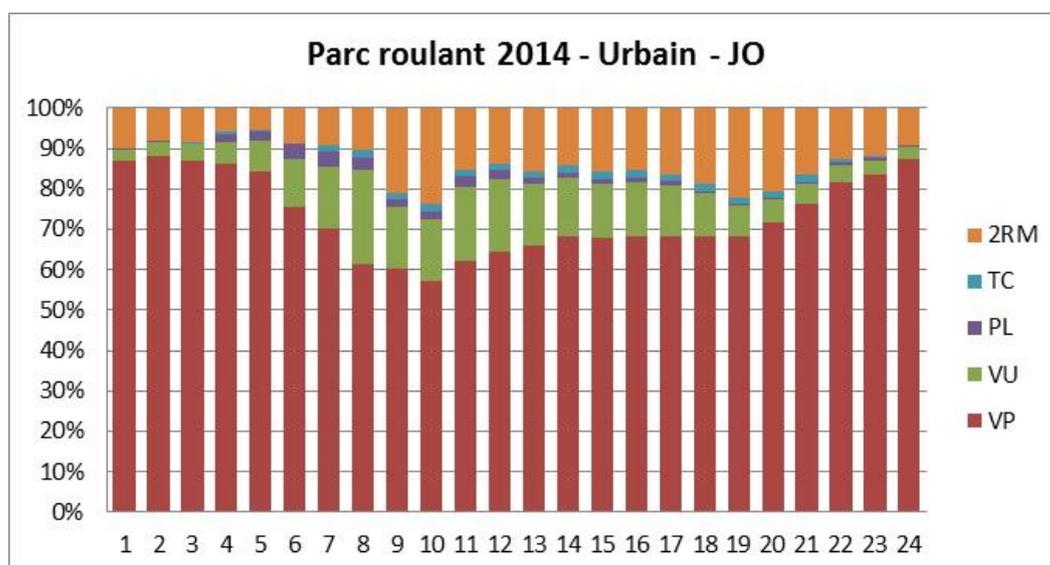


Figure 13. Parc roulant appliqué les jours ouvrés (JO) sur les axes parisiens selon les heures de la journée.

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

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 ZBE 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 part 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%).

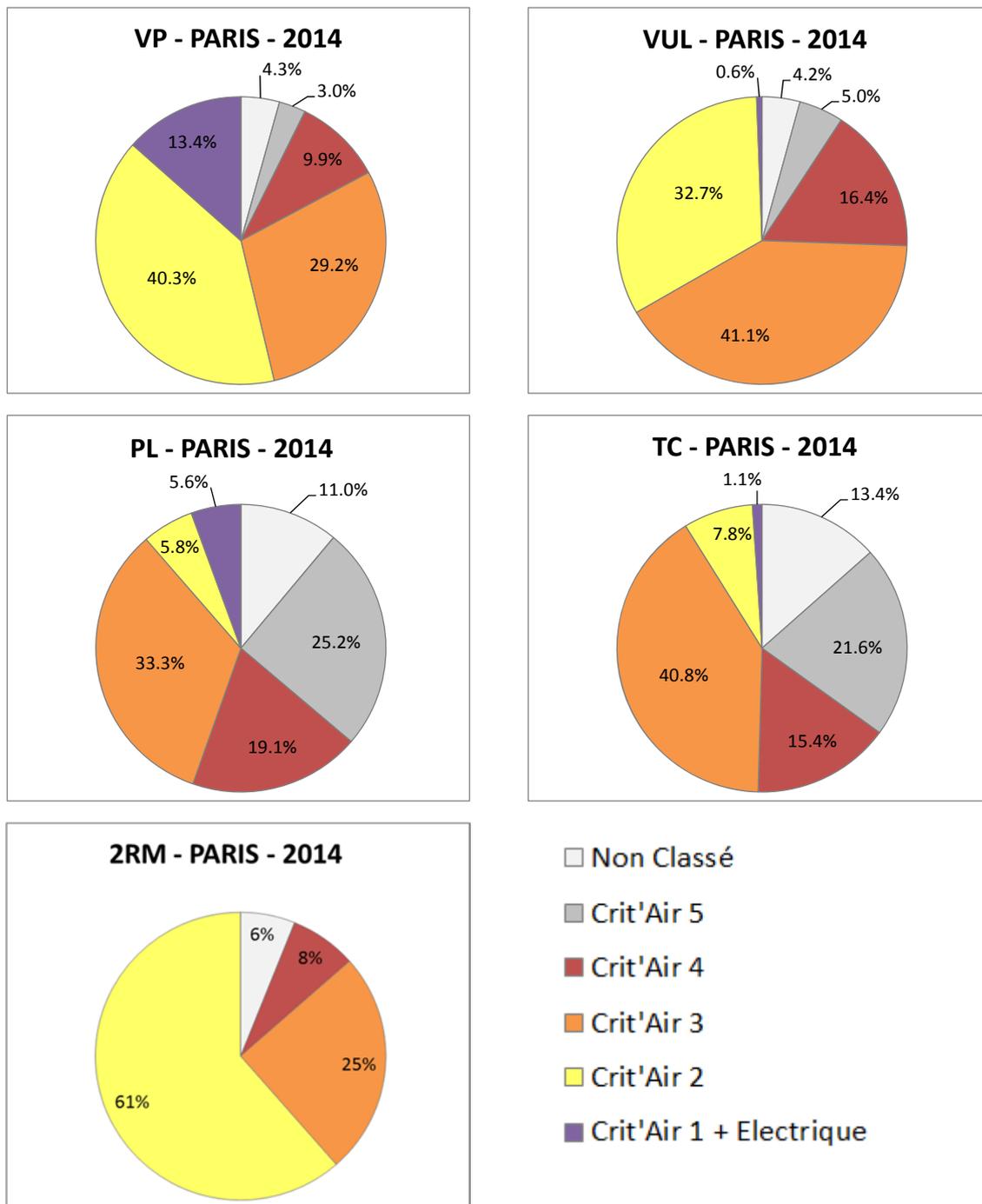


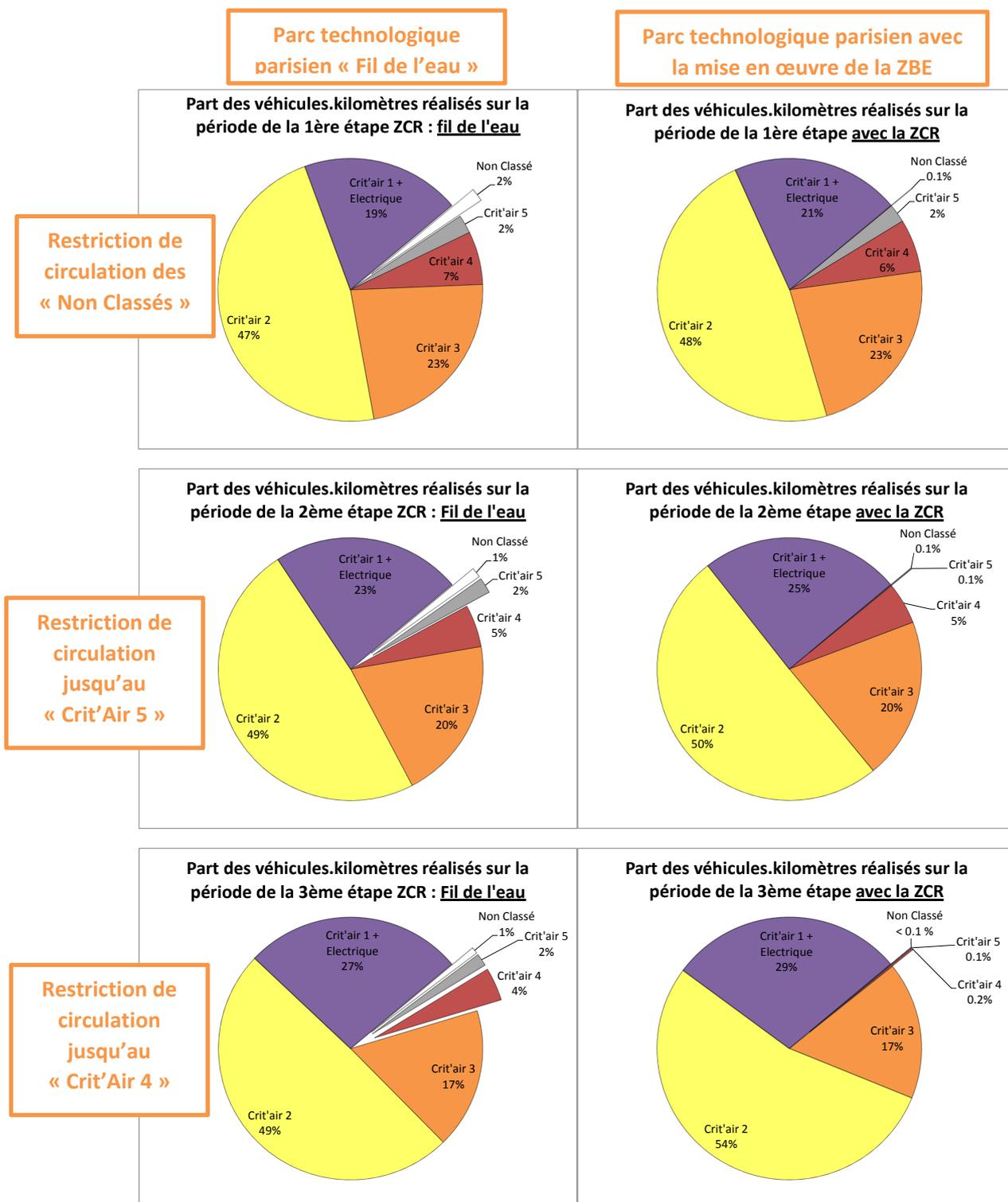
Figure 14. Parcs technologiques parisiens par type de véhicules pour l'année 2014.

4.2.3. Impact de la ZBE sur le parc technologique

Les parcs technologiques prospectifs pour les scénarios « Fil de l'eau » pour les quatre étapes de la ZBE ont été construits par Airparif à partir du parc de référence 2014 décrit précédemment et des évolutions nationales des parcs CITEPA pour ces échéances. 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 ZBE. Pour les différentes étapes de la ZBE

parisienne ou délimitée par l'A86, le parc technologique évolue en introduisant progressivement les différents niveaux de restriction.

La Figure 15 présente l'évolution du parc technologique parisien pour les différentes échéances « Fil de l'eau » et une fois la mise en œuvre de la ZBE à Paris. La présentation adoptée repose comme précédemment sur la nomenclature « Crit'Air ».



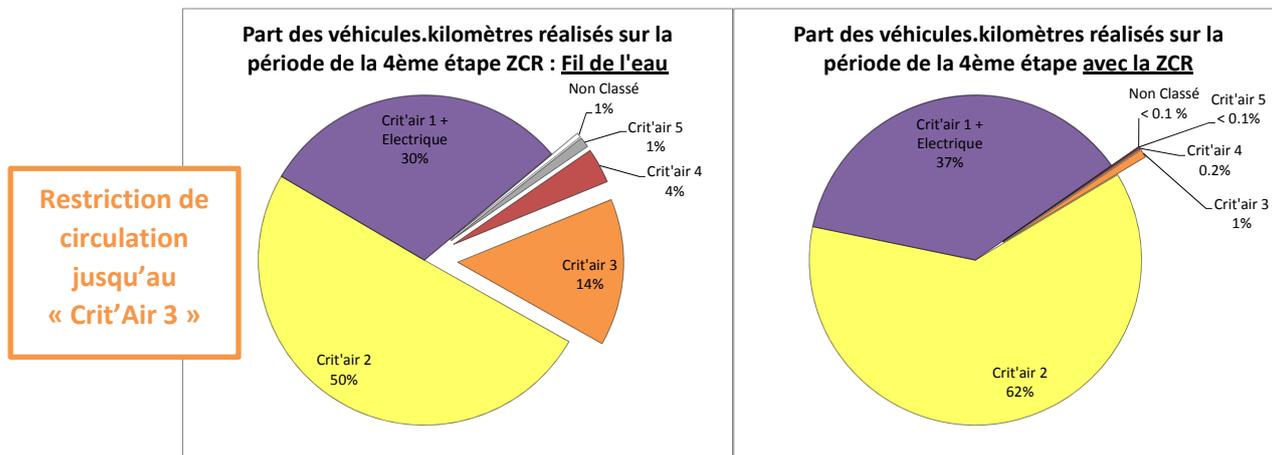


Figure 15. Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris par la mise en œuvre d'une ZBE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la ZBE mise en œuvre.

La part des kilomètres parcourus par les véhicules impactés à Paris par la mise en œuvre de la ZBE parisienne est mise en évidence pour chaque année (figures de gauche, fil de l'eau), avec une restriction progressive de la circulation des véhicules « Non Classés » (première étape de la ZBE parisienne), « Crit'Air 5 » (deuxième étape de la ZBE parisienne), « Crit'Air 4 » (troisième étape de la ZBE parisienne) et « Crit'Air 3 » (quatrième étape de la ZBE parisienne).

Lors de la première étape de la mise en œuvre de la ZBE parisienne, 2% des kilomètres parcourus au sein de la Capitale sont touchés par la restriction de circuler. Les véhicules touchés sont uniquement les véhicules de la catégorie « Non Classés ».

La mise en œuvre de la restriction de circulation des véhicules « Crit'Air 5 » touche 3% des kilomètres parcourus à Paris par les véhicules les plus anciens lors de la deuxième étape.

Le pourcentage des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation augmente au fur et à mesure des étapes de mise en œuvre de la ZBE parisienne, avec un potentiel de kilomètres touchés progressif. Les troisième et quatrième étapes concerneraient ainsi respectivement 7% des kilomètres parcourus puis près de 20% avec la restriction de circulation à Paris des « Crit'Air 4 » et « Crit'Air 3 ».

Le même travail a été réalisé pour la ZBE élargie à l'A86. Le parc technologique en dehors de Paris étant moins récent qu'à Paris, la répartition des classes selon la nomenclature Crit'Air est légèrement différente. Ainsi, lors de la quatrième étape, si potentiellement 20% des kilomètres parcourus à Paris par les véhicules sont touchés par la mise en œuvre de la ZBE parisienne (restriction de circulation des « Crit'Air 3 »), au sein de la ZBE élargie cette part atteint 25% au sein du périmètre délimité par l'A86.

La part des kilomètres parcourus potentiellement touchés au sein de la zone délimitée par l'A86 et la composition du parc technologique au sein de cette même zone une fois la ZBE mise en œuvre est présentée en Annexe 5.

Les véhicules des classes Crit'Air dont la circulation est restreinte à Paris et au sein de la ZBE élargie à l'A86 selon les différentes années ne disparaissent pas entièrement du parc parisien ou intra A86, 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 les scénarios de mise en œuvre de la ZBE parisienne.

Lors de la première étape de mise en œuvre de la ZBE parisienne, des variations de l'impact de cette mesure sont observées selon les types de véhicules. Les véhicules les plus anciens, définis comme

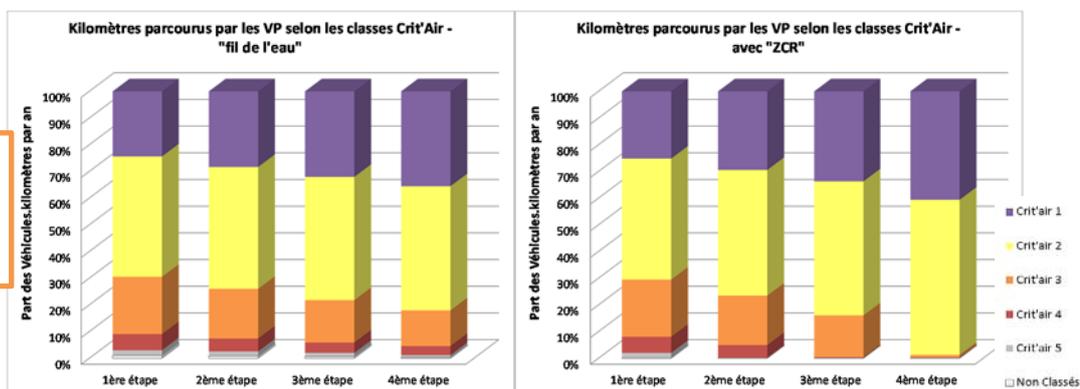
« Non classés », représentent au maximum près de 9% des kilomètres parcourus de leur catégorie, comme cela est le cas pour les Bus et Cars (TC). La restriction de circulation fixée pour ces plus anciens véhicules « Non classés » concerne 1.1% des kilomètres parcourus par les VP, 1.6% des VUL, près de 5% des PL et près de 4% des 2RM (figures de gauche, fil de l'eau).

Il en est de même lors des étapes suivantes de mise en œuvre de la ZBE. Les Poids-Lourds (PL) et les Bus et Cars (TC) représentent les véhicules les plus touchés. Lors de la dernière étape de la ZBE, au moins 40% des PL et TC sont « étiquetés » au mieux « Crit'Air 3 ». Pour rappel, ces catégories de véhicules présentent une classification Crit'Air différente des autres véhicules, en décalage d'une norme « Euro ».

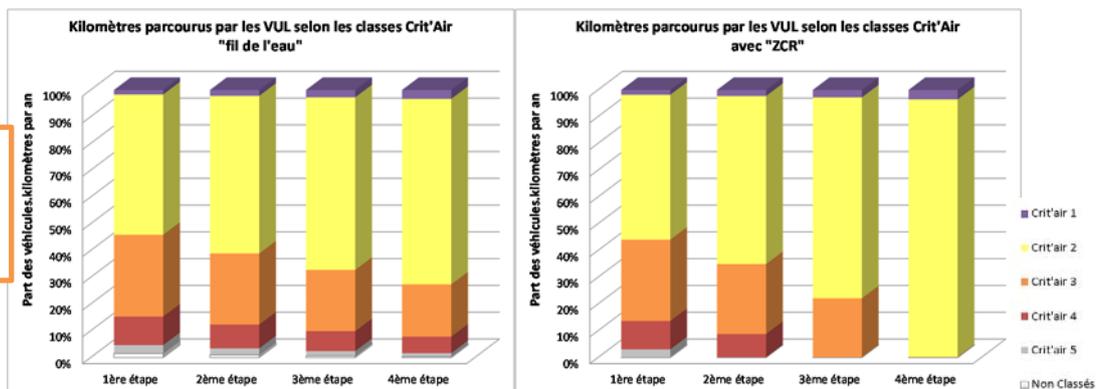
Parc technologique parisien « Fil de l'eau »

Parc technologique parisien avec la mise en œuvre de la ZBE

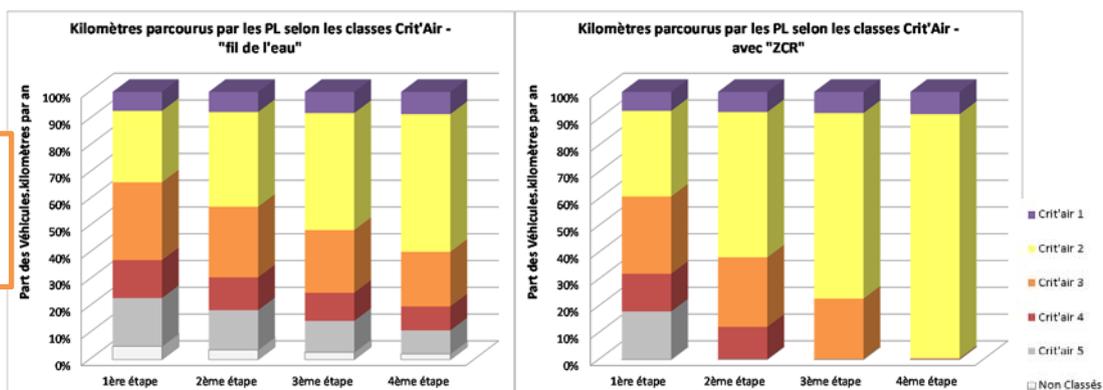
Parc technologique des VP



Parc technologique des VUL



Parc technologique des PL



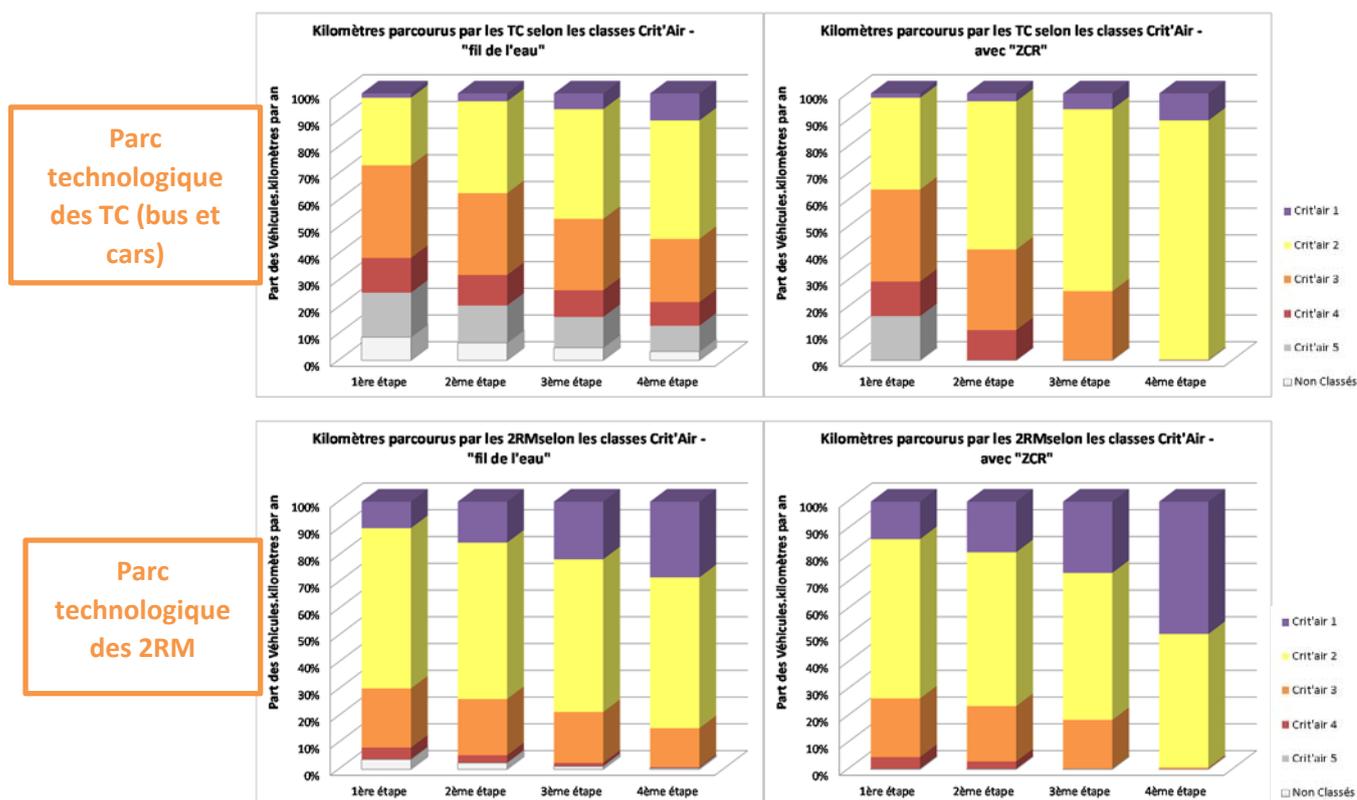


Figure 16. Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris par la mise en œuvre d'une ZBE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la ZBE mise en œuvre selon la classification Crit'Air.

La troisième étape restreignant la circulation jusqu'au « Crit'Air 4 », concerne 6% des kilomètres parcourus par les VP puis aboutit lors de la dernière étape avec une restriction jusqu'au « Crit'Air 3 » à potentiellement 18%. Le parc technologique des Véhicules utilitaires légers étant plus diesélisé, le pourcentage de kilomètres parcourus par les véhicules dont la restriction est ciblée jusqu'au « Crit'Air 4 » puis « Crit'Air 5 » est plus important avec respectivement de 10% pour la troisième étape et 27% pour la dernière étape.

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 ZBE parisienne, sans tenir compte d'une anticipation de changement de véhicules les années précédentes.

4.3. Emissions liées au trafic routier

4.3.1. Emissions de polluants atmosphériques

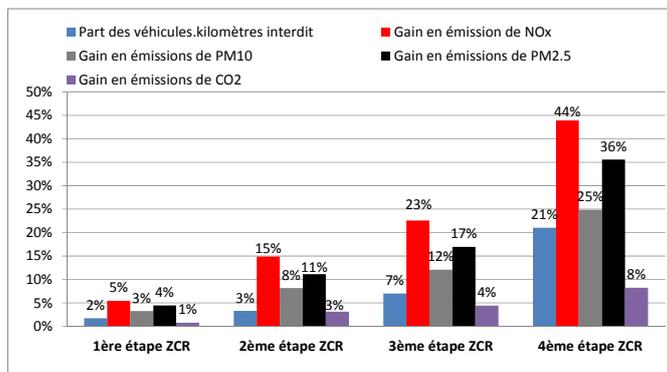
4.3.1.1. Influence à Paris de la mise en œuvre d'une ZBE parisienne

Dans un souci de lisibilité et dans la mesure où les résultats sur Paris sont très semblables, seul les résultats parisiens avec un scénario prenant en compte le Boulevard Périphérique sur les quatre étapes sont illustrés. Les scénarios d'une ZBE parisienne avec ou sans Boulevard périphérique présentent des gains d'émissions identiques à Paris intramuros. Les scénarios n'incluant pas le Boulevard Périphérique dans la ZBE engendrent toutefois un gain d'émissions légèrement moindre (de 2 à 4% plus faible) sur le périmètre parisien incluant cet axe pour les 3^{ème} et 4^{ème} étape (Annexe 6).

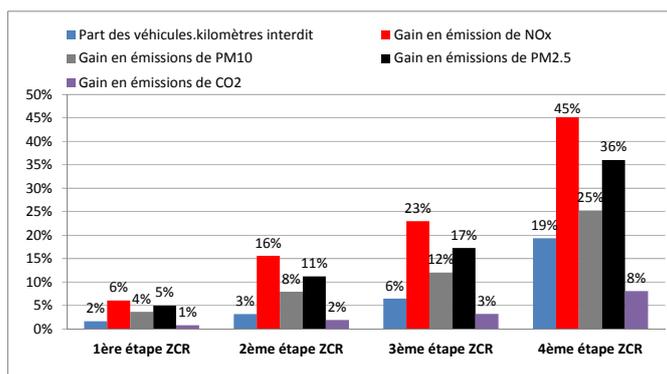
La Figure 17 présente, pour chaque échéance de la mise en œuvre de la ZBE, la part des véhicules touchés par la restriction de circulation et les gains en émissions qui en résultent pour les NO_x, les particules PM₁₀ et PM_{2,5} et le CO₂.

Nota bene : les gains sont évalués par comparaison à la situation « Fil de l'eau » pour chaque étape de la ZBE 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 les plus anciens 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 ZBE parisienne avec Boulevard Périphérique et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation pour les différentes étapes de la ZBE parisienne.

Si les émissions « Fil de l'eau » diminuent pendant les quatre premières étapes de mise en œuvre de la ZBE, compte-tenu de la modernisation « naturelle » du parc technologique, la mise en œuvre de la ZBE accentue le renouvellement du parc technologique et la baisse des émissions de polluants atmosphériques liées au trafic routier parisien.

Sur le périmètre parisien, la diminution des émissions de NO_x du trafic routier avec la mise en œuvre de la ZBE est de plus en plus importante au fil des restrictions de circulation. Le gain par rapport au « Fil de l'eau » est, lors de la première étape, de l'ordre de 5%, pour atteindre, lors de la quatrième étape avec la restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 3 », une diminution importante de près de 45%.

Pour les particules, le gain des émissions par rapport à l'évolution naturelle du « Fil de l'eau » atteint 3% pour les PM₁₀ et 4% pour les PM_{2,5} pour la première étape de la ZBE, et respectivement 25% et 36% pour la dernière étape de la ZBE.

Sur le périmètre strictement ciblé de Paris Intramuros, la ZBE entraîne une diminution de 6% des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) lors de la première étape puis 16% avec la mise en œuvre de la seconde étape. Les réductions des émissions de particules sont légèrement inférieures, avec une

diminution lors de la première étape de 4% pour les PM₁₀ et de 5% pour les PM_{2.5}. Les gains sur ce périmètre sont pour la deuxième étape de 8% et 11% respectivement pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5}.

La montée en puissance et progressive des restrictions de circulation engendre de plus en plus de gains d'émissions par rapport à une situation sans ZBE (« Fil de l'eau ») en conséquence de l'augmentation du renouvellement du parc technologique, pour atteindre une diminution de 23% et 45% des émissions de NO_x à Paris avec la mise en œuvre de la 3^{ème} et 4^{ème} étape de la ZBE parisienne. Même si les réductions des émissions pour les particules sont plus modestes que celles des NO_x, celles-ci atteignent, pour les PM₁₀, 12% et 25% respectivement pour les 3^{ème} et 4^{ème} étapes. Les gains d'émissions sont plus importants pour les PM_{2.5} et atteignent 36% lors de la 4^{ème} étape au sein de la Capitale.

La ZBE 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 (2% à 3%). Pour les deux dernières étapes, les gains d'émissions sont les plus importants.

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 ancien¹⁶, 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.

La mise en œuvre de la première étape, restreignant la circulation des véhicules les plus anciens « Non classés », engendre une **baisse importante des émissions de benzène**, avec une diminution de plus de 25% à Paris (que ce soit pour le périmètre comprenant le Boulevard Périphérique ou Paris Intramuros). Cette baisse est importante car le poids de ces véhicules sur les émissions totales liées au trafic routier est d'environ 30% sans la mise en œuvre de la ZBE. Cette mesure est très positive au regard du peu de kilomètres parcourus par les véhicules les plus anciens concernés par les restrictions de circulation lors de la mise en œuvre de la 1^{ère} étape de la ZBE.

Les émissions de benzène sont essentiellement liées aux véhicules essence les plus anciens. Les étapes de la ZBE mises en œuvre plus tardivement, enregistrent des gains moindres par rapport au « Fil de l'eau », malgré des restrictions de circulation plus contraignantes. Compte-tenu de l'évolution naturelle du parc technologique, en mettant en place une ZBE plus tardive, les véhicules les plus anciens sont de moins en moins nombreux, d'où un potentiel de réduction moindre. Ainsi, des gains importants sur les émissions de benzène sont notables dès la 1^{ère} étape puis lors de la 4^{ème} étape avec une restriction de véhicules essence.

La Figure 18 illustre les gains d'émissions pour les quatre étapes de mise en œuvre d'une ZBE 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.

¹⁶ Ce n'est pas le cas pour les émissions de NO_x des véhicules particuliers diesel de norme Euro 5, plus émetteurs que les véhicules particuliers diesel Euro 4.

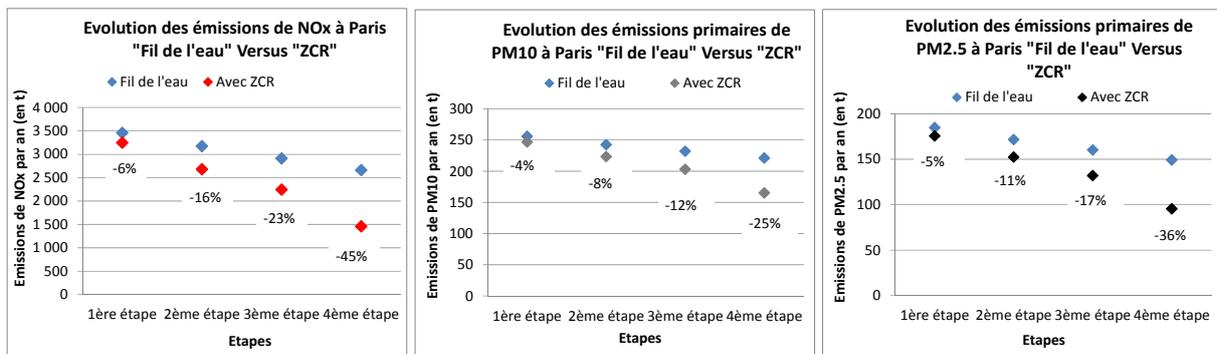


Figure 18 : Evolution des baisses d'émissions sur le périmètre parisien pour les 4 étapes définies entre 2016 et 2019 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZBE au sein de la Capitale).

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 ZBE 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 ZBE 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 la restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 4 » puis « Crit'Air 3 » engendre une anticipation de la modernisation du parc technologique de plus en plus précoce, avec des gains importants sur les émissions.

Afin d'estimer le nombre d'années d'anticipation pour les 3^{ème} et 4^{ème} étapes, les données sur la part des véhicules particuliers selon leur norme Euro à l'échelle nationale fournies par le CITEPA ont été utilisées. La comparaison de la part des véhicules particuliers selon leur norme Euro estimée avec la mise en œuvre des étapes ZBE 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 ZBE restreignant la circulation jusqu'au « Crit'Air 4 » et de 9 ans pour la dernière étape (restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 3 »). Autrement dit, le parc technologique des véhicules particuliers au sein de la ZBE parisienne suite à la mise en œuvre de la 4^{ème} étape est comparable à celui du fil de l'eau à l'échelle nationale de 2028. La modernisation du parc technologique est de plus en plus rapide avec la mise en œuvre d'une ZBE touchant un nombre de 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 maximale pour la deuxième étape comme illustré à la Figure 19. Pour cette étape, la diminution des émissions d'oxydes d'azote est environ 5 fois plus importante que le pourcentage de véhicules.kilomètres touchés par la restriction de circuler à Paris. Le ratio est également très positif pour les particules PM₁₀ et plus encore pour les PM_{2.5}.

Lors de la dernière étape, les gains d'émissions en PM₁₀ sont modérés et l'efficacité de la ZBE est, comparativement aux étapes précédentes, moins bonne. Les véhicules les plus modernes émettent à l'échappement (combustion) de moins en moins de particules et la part liée à l'abrasion (usure des freins, pneus, routes...) reste la même avec et sans ZBE.

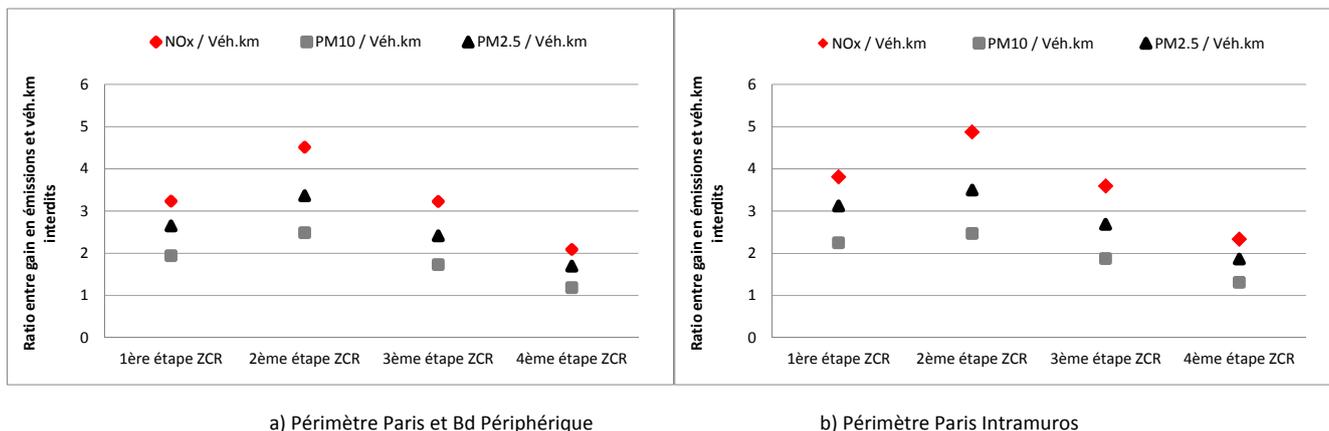


Figure 19 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre de la ZBE et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation à Paris : périmètre comprenant le Bd Périphérique (a) et périmètre Paris Intramuros (b).

Le ratio pour la 4^{ème} étape de la ZBE est plus faible que pour les 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 dernière 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 ZBE, 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 ZBE.

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

La mise en œuvre de la ZBE 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 ZBE (trajets en transit ou d'échange avec Paris) au profit de véhicules plus récents autorisés dans la ZBE. 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 ZBE 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 ZBE évolue très légèrement à la baisse pour les deux dernières étapes (diminution inférieure à 0.5%).

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 ZBE. Malgré cela, globalement les bénéfices de la ZBE sur les émissions sont positifs en dehors de Paris.

Lors de la première étape de mise en œuvre d'une ZBE parisienne, 95% des kilomètres réalisés à Paris par les véhicules « Non classés » ne sont plus effectués suite à la mise en œuvre de la ZBE ; en dehors de Paris, la diminution des kilomètres réalisés par ces mêmes véhicules « Non classés » est de 25 %. Ce constat est vrai pour l'ensemble des scénarios, avec une diminution d'environ 95% des kilomètres

parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation au sein de la ZBE parisienne et 25% en dehors de celle-ci.

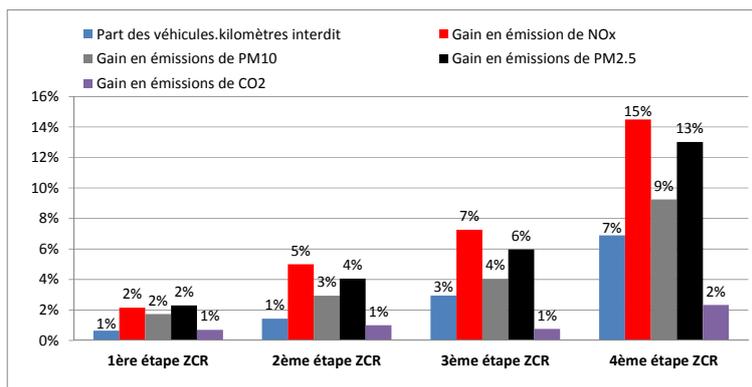


Figure 20 : Gains en émissions en dehors de Paris avec la mise en œuvre de la ZBE parisienne et part des kilomètres parcourus en dehors de Paris par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en lien avec la ZBE, pour les quatre étapes de la ZBE parisienne.

En dehors de la ZBE parisienne, les kilomètres parcourus par les classes Crit’Air diminuent de manière plus ou moins importante selon le degré de restriction de la circulation, allant de 1 à 7% respectivement pour la première et la quatrième étape.

La mise en œuvre de la ZBE parisienne, touchant de plus en plus de véhicules au fil des quatre étapes, engendre un renouvellement du parc technologique également de plus en plus important en dehors de Paris. Ainsi, les gains d’émissions lors de la quatrième étape atteignent en dehors de Paris environ 15% pour les NOx et les PM_{2,5} et 10% pour les PM₁₀.

Concernant le benzène, la mise en œuvre de la ZBE est très favorable même en dehors de Paris lors de la première étape puisque la baisse des émissions est estimée à 8%. Pour une mise en œuvre plus contraignante mais plus tardive, les gains par rapport au « Fil de l’eau » sont relativement similaires, compris entre 4 et 6% selon le scénario.

4.3.1.3. Influence au sein de la zone délimitée par l’A86 de la mise en œuvre d’une ZBE élargie

La mise en œuvre d’une ZBE élargie est étudiée pour les étapes 2 à 4, restreignant la circulation respectivement jusqu’au « Crit’Air 5 », « Crit’Air 4 » et « Crit’Air 3 ».

Si les gains attendus avec une restriction de circulation dans la ZBE élargie des véhicules jusqu’au « Crit’Air 5 » (2^{ème} étape) sont relativement faibles, ils atteignent lors de la 4^{ème} étape des réductions importantes avec respectivement une baisse d’environ 50% pour les NO_x et les particules PM_{2,5} et d’environ 40% pour les particules PM₁₀. La restriction de circulation des véhicules jusqu’au « Crit’Air 3 » caractérisant cette 4^{ème} étape touche un quart des kilomètres parcourus au sein de cette zone.

Le périmètre étendu à la zone délimité par l’A86 présente des pourcentages de gains d’émissions légèrement plus élevés que sur le périmètre parisien, car le parc technologique en dehors de la Capitale est en moyenne plus ancien. Le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation est effectivement plus important avec un maximum de 25% lors de la 4^{ème} étape au sein du périmètre de l’A86, contre 19% au sein même de Paris. Le renouvellement des véhicules les plus anciens est plus important en faveur de normes « Euro » plus récentes en dehors de Paris.

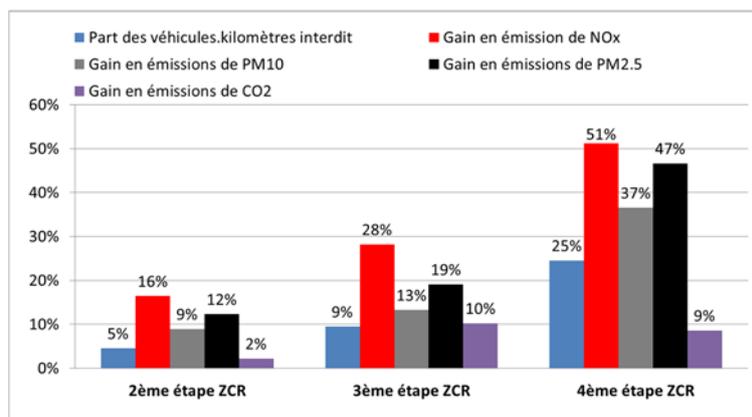


Figure 21 : Gains en émissions, au sein de la zone délimitée par l'A86, avec la mise en œuvre de la ZBE élargie et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation pour les trois étapes de la ZBE élargie entre 2017 (2^{ème} étape) et 2019 (4^{ème} étape).

4.3.1.4. Influence en dehors de la zone délimitée par l'A86 de la mise en œuvre d'une ZBE élargie

Les véhicules dont les trajets empruntaient la zone intra A86 avant la restriction de circulation font l'objet d'un renouvellement en faveur de véhicules plus modernes. Compte-tenu de ce renouvellement, des gains d'émissions sont à noter également en dehors de la ZBE élargie pour les émissions régionales (cf. Figure 22). La réduction sur les émissions est favorable également en dehors de la ZBE avec une baisse par rapport au fil de l'eau d'au moins 20% des NO_x et de 15% des PM_{2,5} lors de la 4^{ème} étape restreignant la circulation des « Crit'Air 3 ». L'élargissement de la ZBE entraîne également des gains relatifs plus importants au-delà de la ZBE car le renouvellement du parc technologique concerne plus de véhicules, à la fois au sein de la ZBE mais également en dehors pour les véhicules effectuant des trajets en lien avec la zone délimitée par l'A86.

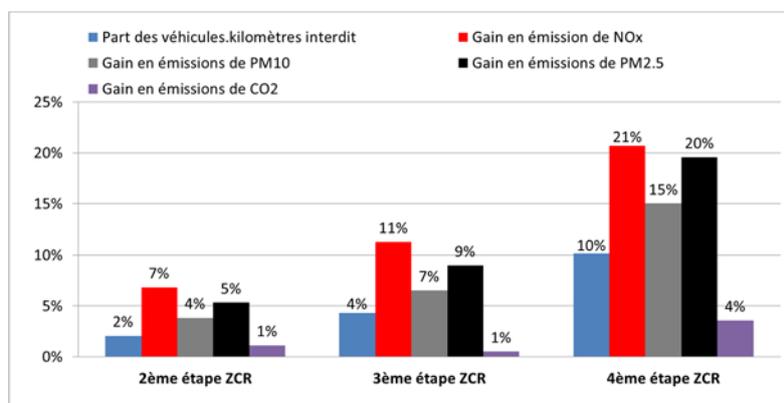


Figure 22 : Gains en émissions en dehors du périmètre délimité par l'A86 avec la mise en œuvre de la ZBE élargie et part des kilomètres parcourus en dehors de l'intra A86 par les véhicules concernés par les restrictions de circulation de la ZBE élargie pour les trois étapes entre 2017 et 2019.

La Figure 23 illustre les gains d'émissions en Ile-de-France pour le secteur du trafic routier pour le scénario d'une ZBE parisienne et d'une ZBE élargie à l'A86. En considérant la ZBE parisienne avec ou sans le Boulevard Périphérique, les gains d'émissions à l'échelle régionale selon ces deux scénarios sont similaires.

A l'échelle de l'Ile-de-France, les gains d'émissions sont plus importants (relativement au fil de l'eau et en valeur absolue) en étendant le périmètre de la ZBE à l'A86.

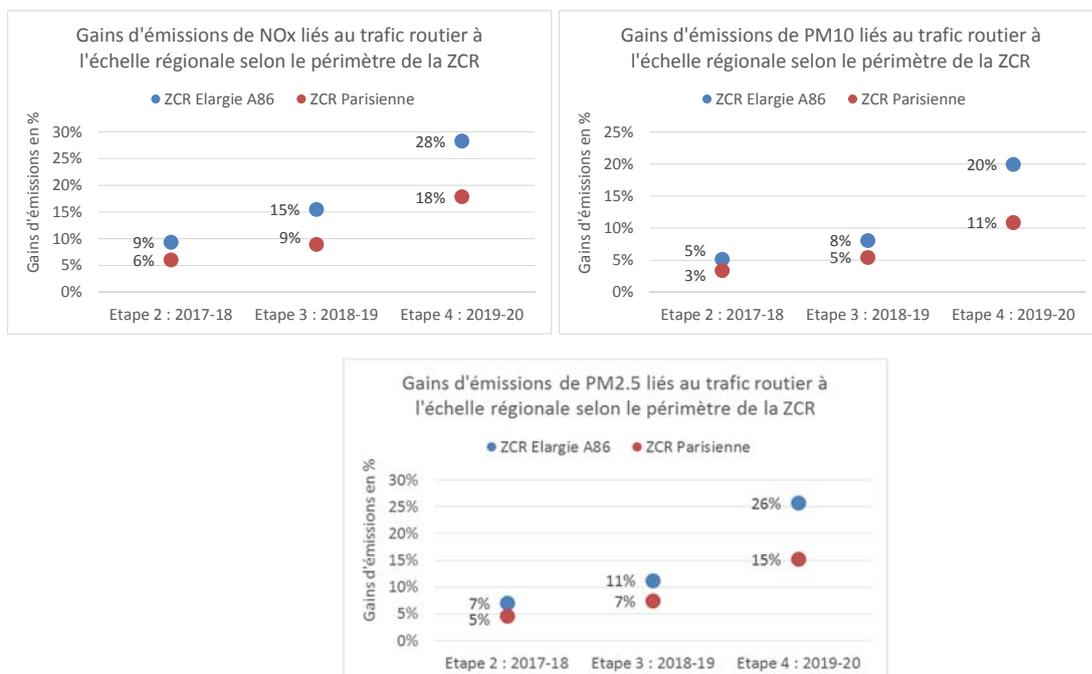


Figure 23 : Evolution des gains d'émissions de NO_x, PM₁₀ et PM_{2.5} liés au trafic routier à l'échelle régionale selon le périmètre de la ZBE : ZBE parisienne et ZBE élargie à l'A86.

Les gains d'émissions liés au trafic routier sont *a fortiori* plus importants à l'échelle régionale pour la ZBE dont le périmètre est le plus étendu. Par rapport au fil de l'eau, la mise en œuvre d'une restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 3 » engendre ainsi une réduction des émissions de NO_x régionales liées au trafic routier de 28% pour la ZBE élargie contre 18% pour la ZBE parisienne. Le constat est similaire pour les particules : les gains de la ZBE élargie à l'A86 sont d'au moins 20% pour les PM₁₀ et atteignent 26% pour les PM_{2.5}.

4.3.2. Emissions de gaz à effet de serre

La mise en œuvre de la ZBE 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 ZBE. Pour la première étape de la ZBE, le gain en émissions de CO₂ est très faible (1%) mais augmente d'étape en étape pour atteindre, lors de la quatrième étape, un gain à Paris de 8% par rapport à un scénario sans mise en œuvre de ZBE (« Fil de l'eau »).

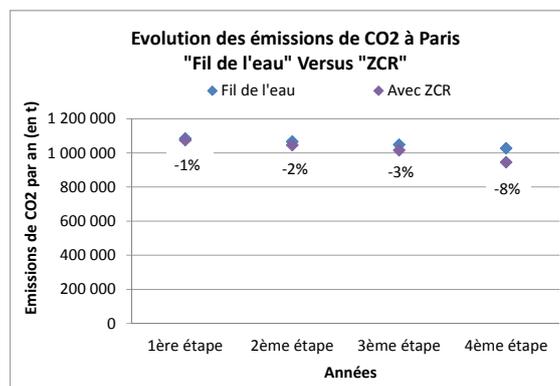


Figure 24 : Evolution des baisses d'émissions de CO₂ sur le périmètre parisien pour les 4 étapes définies entre 2016 et 2019 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZBE au sein de la Capitale).

L'efficacité de la ZBE 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 25).

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 Euros a engendré de plus fortes diminutions des émissions. En effet, les normes Euros n'ont pas été mises en place pour résoudre la question du changement climatique mais bien celle des polluants locaux.

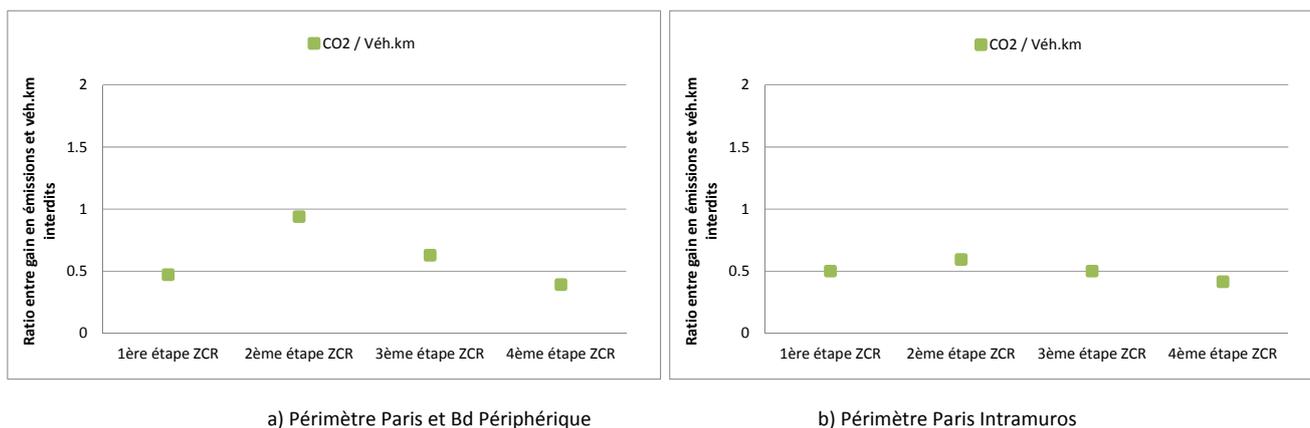


Figure 25 : Ratio entre les gains en émissions de CO₂ attendus avec la mise en œuvre de la ZBE et la part des véhicules.kilomètres concernés par les restrictions de circulation à Paris : périmètre comprenant le Bd Périphérique (a) et périmètre Paris Intramuros (b).

Ces résultats confirment ceux de l'étude¹⁷ sur l'impact des modifications de trafic dans Paris entre 2002 et 2012, avec la diminution des émissions des polluants atmosphériques la plus importante liée au renouvellement du parc automobile (avec des véhicules récents moins polluants) et la diminution des rejets de CO₂ la plus importante liée au contraire à des diminutions de trafic dans Paris.

Le renouvellement du parc technologique des véhicules les plus anciens par des véhicules moins polluants engendre sur 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.

¹⁷ « 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 ZBE 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 ZBE 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 26 illustrent les concentrations annuelles de NO₂ au « Fil de l'eau » entre 2016 et 2019 et pour les quatre étapes de mise en œuvre d'une ZBE parisienne (ici avec le Boulevard Périphérique inclus). Des cartographies de différences présentent 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 des deux périmètres de ZBE envisagés, 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).

Des étapes de plus en plus contraignantes avec la restriction de circulation d'une classe Crit'Air supplémentaire tous les ans engendrent des réductions sur les niveaux de NO₂ de plus en plus marquées au regard du « Fil de l'eau » à proximité du trafic routier et en situation de fond. Les gains de plus en plus marqués sont visibles au sein de la ZBE mais également en dehors, même si ceux-ci sont plus faibles.

Compte-tenu de la diminution importante des émissions liées à la mise en œuvre de la ZBE 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 comprise entre 1 et 10 µg/m³ respectivement pour la première et la 4^{ème} étape de la ZBE parisienne. A proximité immédiate du trafic routier la diminution peut être encore plus marquée, notamment sur les axes majeurs et le Boulevard Périphérique.

En dehors de Paris, une diminution des teneurs est également constatée. Si les niveaux de NO₂ en dehors de la ZBE parisienne restent stables lors de la première étape, les baisses des teneurs se dessinent au fur et à mesure des étapes pour atteindre, lors de la 4^{ème} étape, une diminution moyenne de 2 µg/m³ en moyenne annuelle au plus près de Paris (zone intra A86).

Il est important de noter que tous les scénarios évalués aboutissent à des baisses des concentrations, avec aucune hausse observée en Ile-de-France (pas de zones « rouges » dans les cartes de différences).

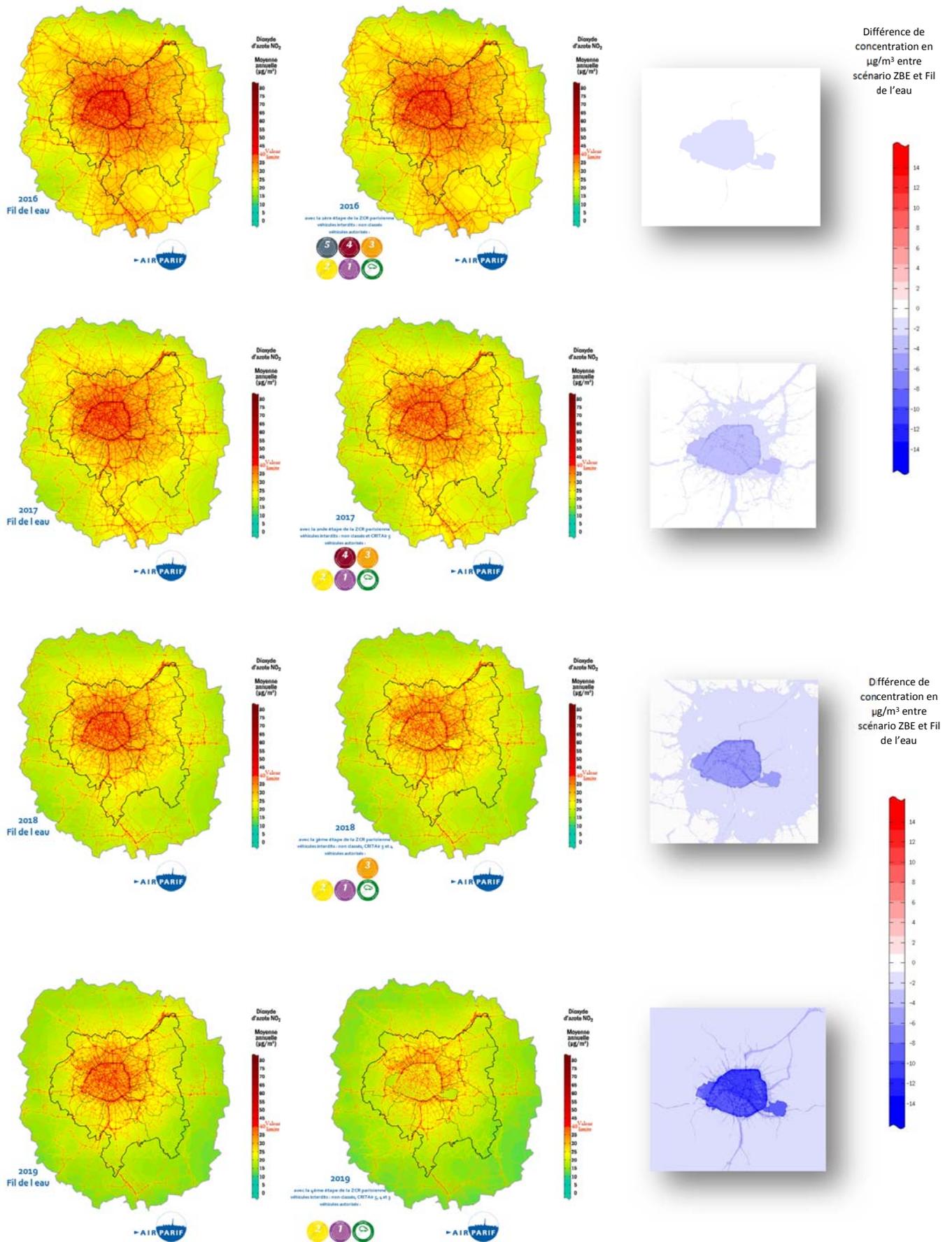


Figure 26 : Cartographies des niveaux annuels de NO₂ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 4 étapes d'une ZBE parisienne (Boulevard Périphérique inclus) et différences de concentrations entre le scénario ZBE et le fil de l'eau.

Si la diminution des concentrations est globalement visible en dehors de la ZBE parisienne, certains axes de contournement de la Capitale au-delà du Boulevard périphérique ne présentent pas de bénéfices, au regard du « Fil de l'eau ». Dans le cadre de ces scénarios restreignant l'accès aux véhicules les plus anciens à Paris et sur le Boulevard périphérique, un report de trafic routier est identifié notamment lors de la 4^{ème} étape au sein de la Petite Couronne, essentiellement à l'Est et au Sud de Paris, qui vient modérer les baisses d'émissions et donc de concentrations liées à la mise en œuvre de la ZBE.

Le scénario autorisant le contournement de Paris par le Boulevard Périphérique par les véhicules concernés par les restrictions de circulation dans la ZBE parisienne permet de réduire cet effet de report de trafic des véhicules concernés par les restrictions de circulation comme illustré à la Figure 27.

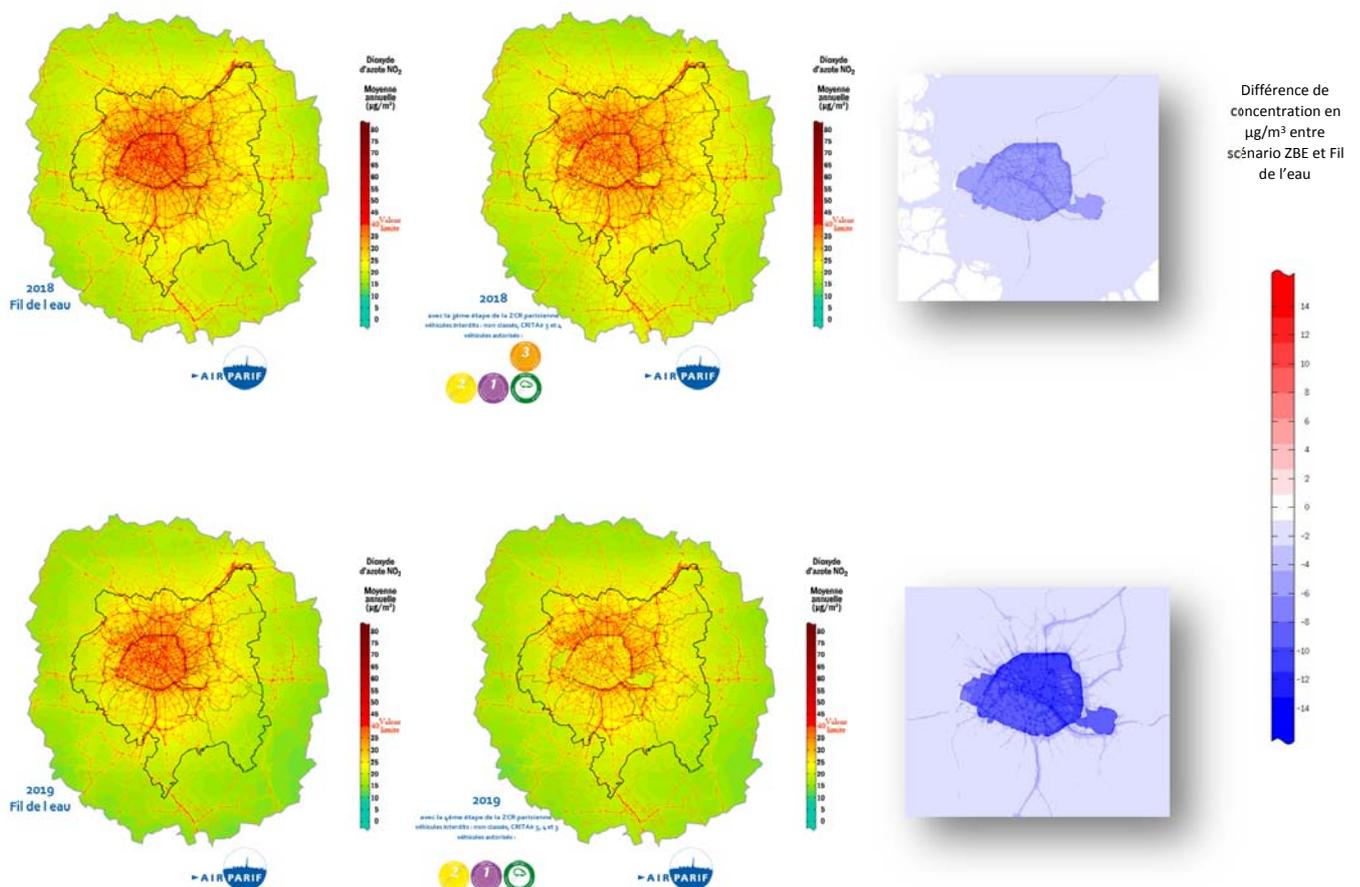


Figure 27 : Cartographies des niveaux annuels de NO₂ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 2 dernières étapes d'une ZBE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre le scénario ZBE et le fil de l'eau.

Les scénarios envisageant une ZBE plus large délimitée par l'autoroute A86, présentent des réductions des concentrations de NO₂ plus marquées sur un périmètre plus grand, que cela soit dans la ZBE élargie ou en dehors de celle-ci (cf. Figure 28). Au sein de la zone comprise entre Paris et l'A86, la mise en œuvre d'une ZBE élargie à l'A86 restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 » (4^{ème} étape) engendre un gain moyen plus important que dans le cas d'une ZBE parisienne, avec une réduction de 9 µg/m³. Dans le centre de Paris, la baisse peut atteindre 14 µg/m³ en moyenne annuelle, en situation de fond.

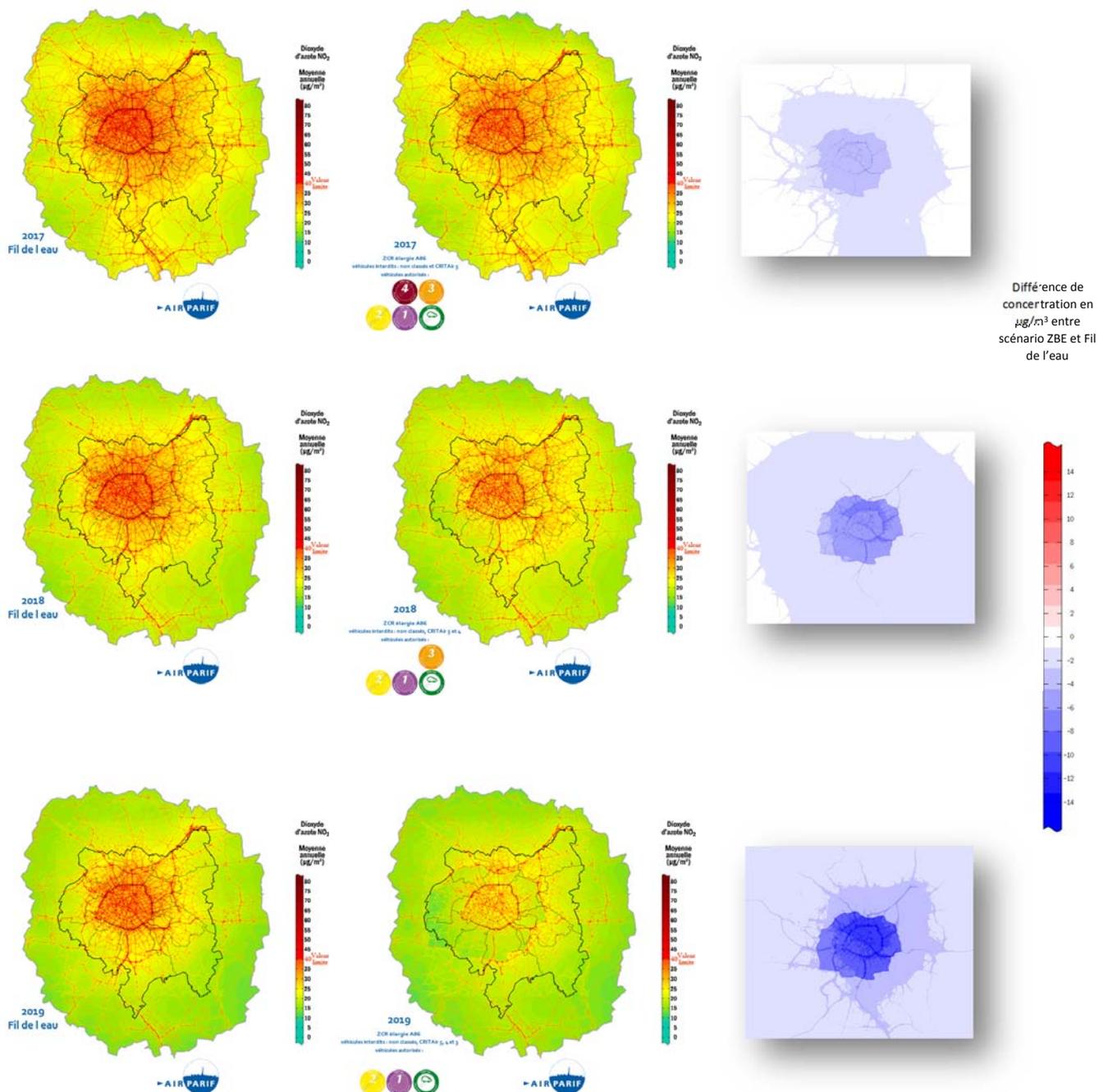


Figure 28 : Cartographies des niveaux annuels de NO₂ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 3 étapes d'une ZBE élargie à l'A86 et différences de concentrations entre le scénario ZBE et le fil de l'eau.

La Figure 29 illustre les concentrations de particules PM₁₀ au sein de la zone d'étude avec la mise en œuvre d'une ZBE selon les quatre étapes allant de la moins restrictive en restreignant la circulation des véhicules « Non classés » en 2016, jusqu'à la plus restrictive concernant les véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 » en 2019.

Par rapport au « Fil de l'eau », les concentrations de particules PM₁₀ avec la mise en œuvre de la ZBE 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 PM₁₀, et de la réduction plus faible des émissions liées à la modernisation du parc, les gains sur les concentrations de PM₁₀ sont relativement faibles par rapport à ceux du NO₂.

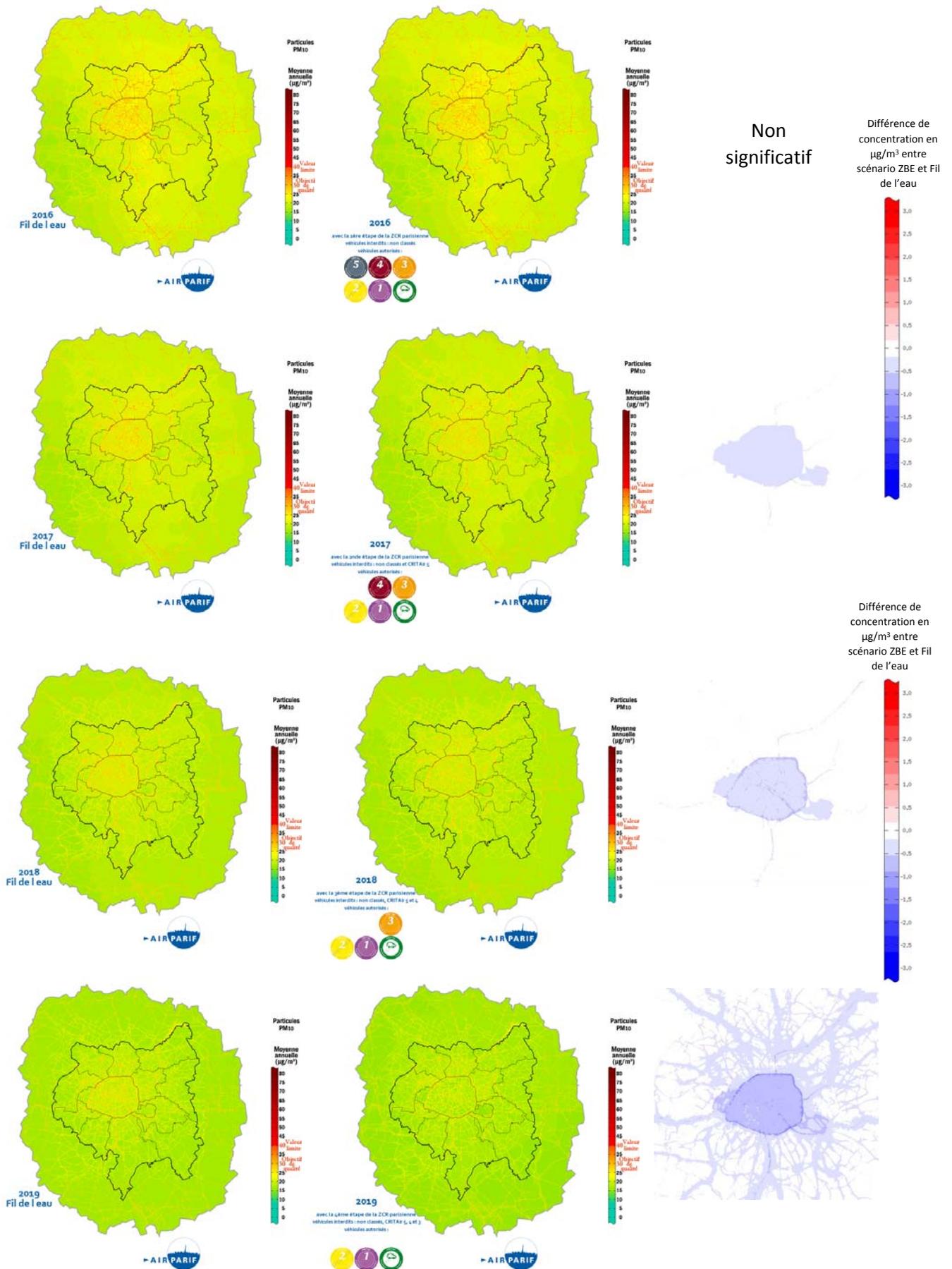


Figure 29 : Cartographies des niveaux annuels de PM₁₀ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 4 étapes d'une ZBE parisienne (Boulevard Périphérique inclus) et différences de concentrations entre la ZBE et le fil de l'eau.

Au sein de la ZBE parisienne, la différence avec le « Fil de l'eau » n'est pas significative avec la mise en place de la 1^{ère} étape compte-tenu de la baisse très modeste (4-5%) des émissions de ce polluant. Dans les scénarios pour lesquels la restriction de circulation concerne un nombre plus important de véhicules, la diminution des niveaux de particules est d'environ 0.5 µg/m³ en situation de fond pour les 2^{ème} et 3^{ème} étapes. Avec la restriction de circulation des véhicules « Crit'Air 3 » en 2019, les teneurs de particules diminuent d'environ 1 µg/m³ sur l'ensemble de la Capitale, avec des baisses légèrement plus importantes au plus près du trafic routier. En dehors de la ZBE parisienne, l'influence de la baisse des émissions n'est visible qu'à proximité du trafic routier, lors de la 3^{ème} étape sur les axes autoroutiers au plus près de Paris et lors de la 4^{ème} étape restreignant la circulation jusqu'au « Crit'Air 3 » sur l'ensemble du réseau routier modélisé.

Les scénarios avec une ZBE élargie au périmètre délimité par l'A86 entraînent des gains sur les concentrations du même ordre de grandeur, mais sur une zone plus étendue. Une ZBE élargie engendre une diminution des teneurs plus importantes en dehors de Paris et en dehors de la ZBE que dans le cas d'une ZBE parisienne.

L'ensemble des cartographies pour les particules PM₁₀, selon les différents scénarios, est présenté en Annexe 7.

Enfin, pour les particules PM_{2.5}, comme pour les particules PM₁₀, les gains en concentrations pour la 1^{ère} étape restreignant la circulation des véhicules « Non classés » sont non significatifs. La mise en œuvre d'une ZBE plus tardive et plus contraignante entraîne par rapport au « Fil de l'eau » une légère diminution essentiellement à proximité des grands axes routiers parisiens lors de la 2^{ème} étape. La 4^{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.

L'ensemble des cartographies pour les particules PM_{2.5}, selon les différents scénarios, est présenté en Annexe 8.

Plus la restriction touche de véhicules, plus le renouvellement du parc technologique entraîne une diminution importante des niveaux de dioxyde d'azote au sein de la ZBE mais également en dehors avec le renouvellement des véhicules en lien avec la ZBE (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 ZBE est également positif du point de vue des particules PM₁₀ et PM_{2.5}. L'extension de la ZBE au périmètre délimité par l'A86 entraîne une baisse des concentrations sur une zone plus étendue, et d'intensité plus importante, que la ZBE parisienne.

5.2. Indicateurs d'exposition

5.2.1. Exposition de la population

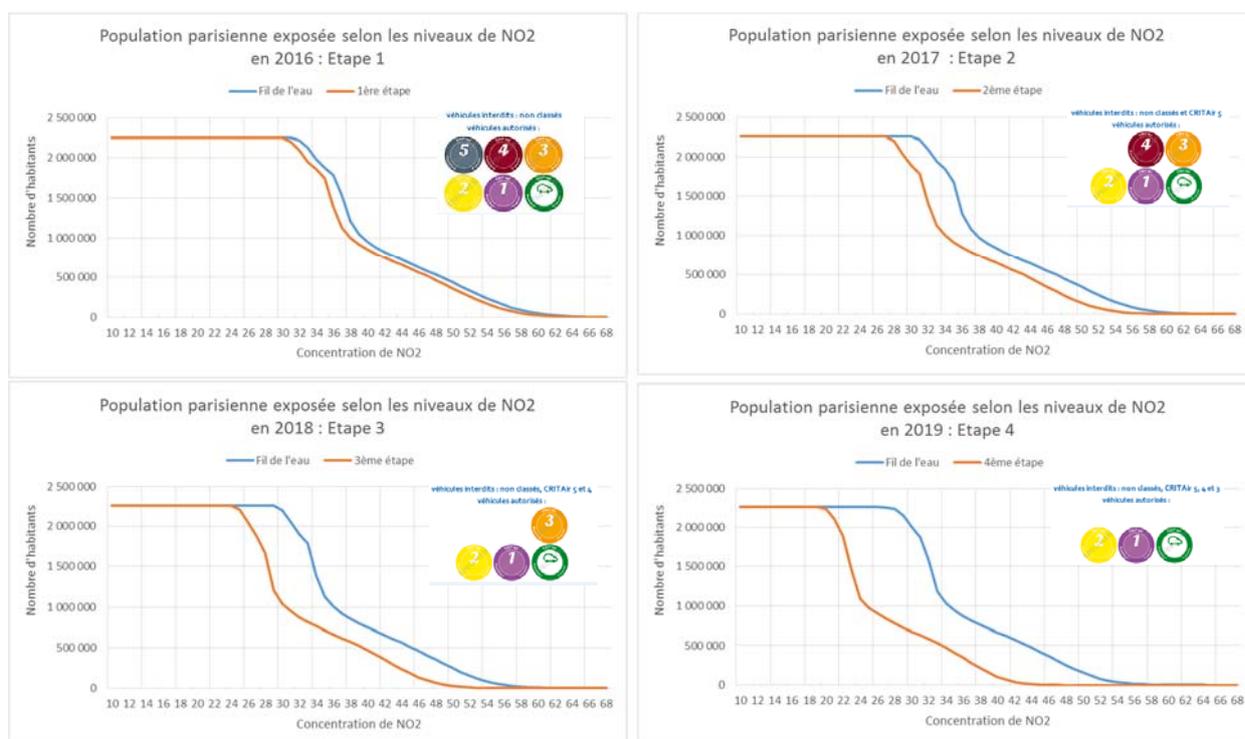
Afin d'évaluer l'impact de la mise en œuvre d'une ZBE selon les scénarios, une estimation de la population exposée aux différentes concentrations de polluants atmosphériques a été réalisée pour chaque scénario.

5.2.1.1. Exposition de la population par classe de concentration

Les cartographies des concentrations, croisées avec les données de population spatialisées à haute résolution, permettent d'estimer le nombre d'habitants¹⁸ potentiellement exposés suivant les différentes classes de concentrations. Ces estimations sont réalisées pour le « Fil de l'eau » et sur l'ensemble des scénarios ZBE.

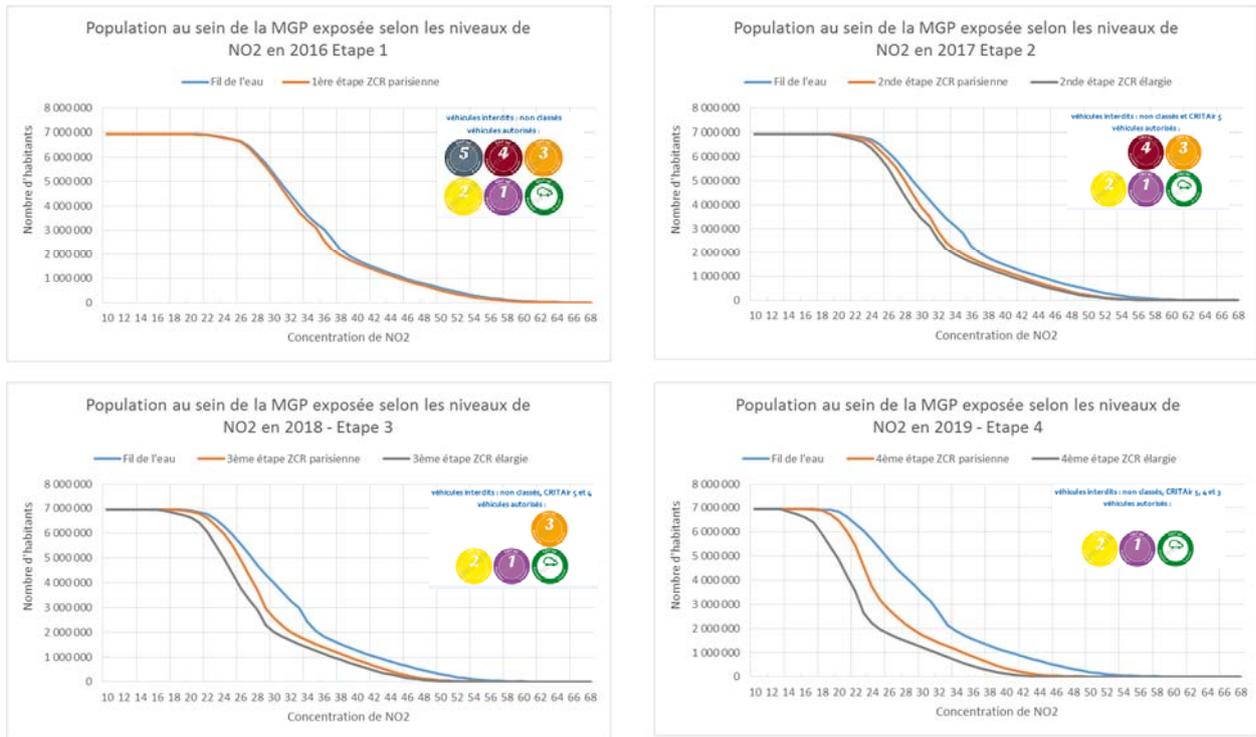
La Figure 30 présente le nombre d'habitants résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (b) potentiellement exposés en fonction des concentrations de dioxyde d'azote entre 2016 et 2019 pour le « Fil de l'eau » et pour les différentes étapes et scénarios de la ZBE.

Les scénarios d'une ZBE parisienne avec ou sans Boulevard périphérique présentent des impacts très similaires sur l'exposition de la population. De plus, les résultats au sein de la Capitale sont également très similaires avec les scénarios d'élargissement d'une ZBE à l'A86. Ainsi, dans un souci de lisibilité et dans la mesure où les résultats sur Paris sont très semblables, seul les résultats parisiens avec un scénario prenant en compte le Boulevard Périphérique sont illustrés.



a) Paris

¹⁸ 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 ZCR sur une base de population similaire.

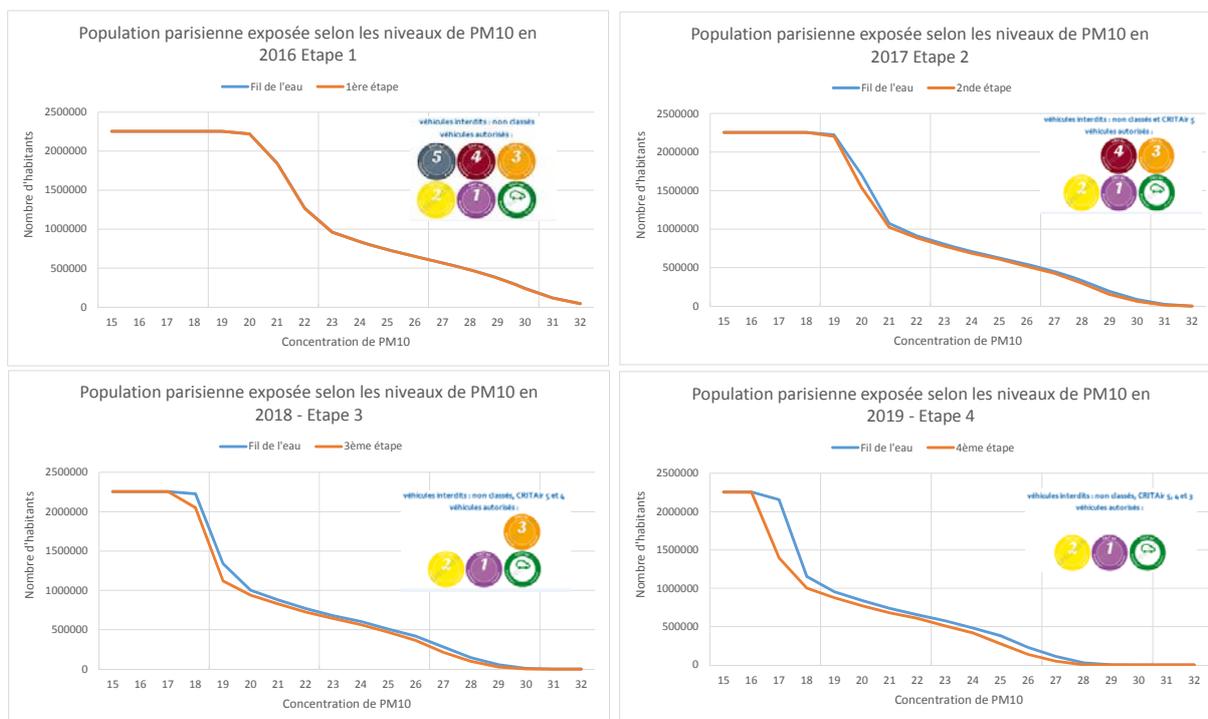


b) Métropole du Grand Paris

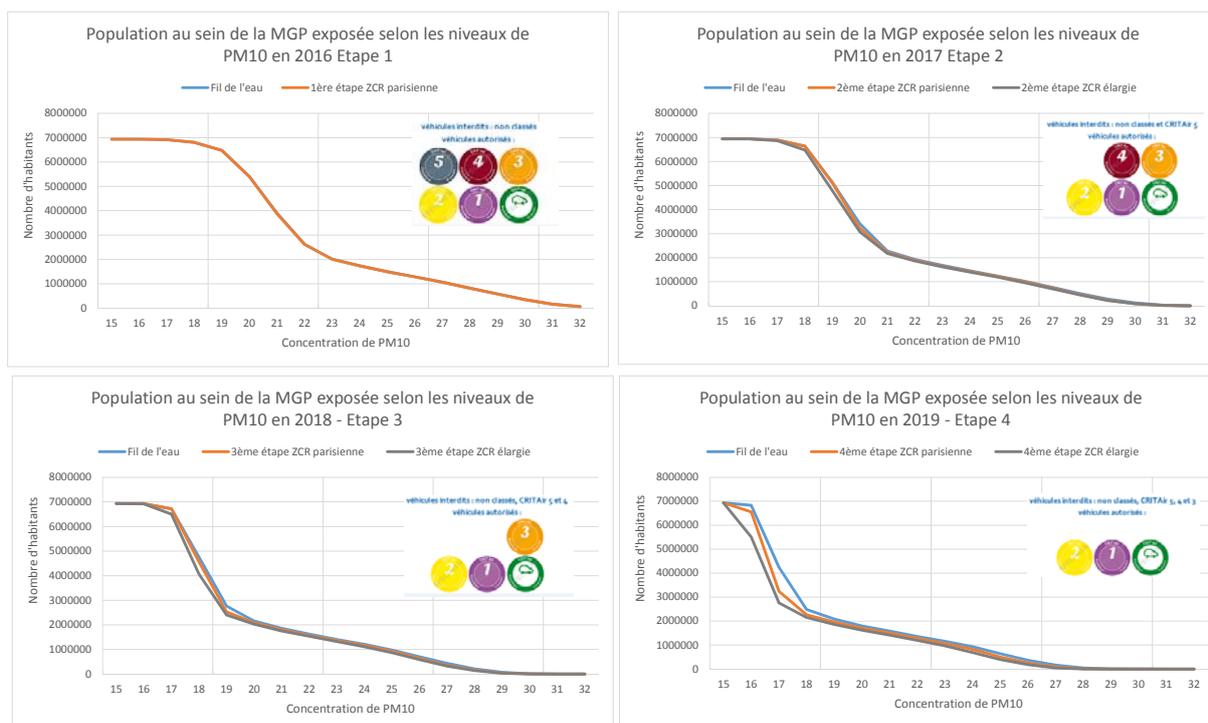
Figure 30 : Population résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) exposée par classes de concentrations de dioxyde d'azote selon les étapes et scénarios.

En parallèle des gains sur les émissions et les concentrations de plus en plus importants au fur et à mesure des étapes, l'exposition de la population est de plus en plus favorable. L'évolution de la qualité de l'air avec la mise en œuvre de la ZBE entraîne une baisse significative de la population soumise aux plus fortes teneurs de dioxyde d'azote. La 4^{ème} étape d'une ZBE parisienne, pour laquelle la baisse des niveaux de NO₂ est importante, engendre une exposition de la population parisienne maximale à 42 µg/m³ contre 55 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 de 20 µg/m³ et plus contre 28 µg/m³ et plus 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 le cadre d'une ZBE parisienne, mais plus encore avec une ZBE élargie à l'A86. Plus la restriction de circulation concerne de véhicules et plus les gains au sein de la MGP (en nombre de personnes exposées) sont importants par rapport à une ZBE uniquement 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.



a) Paris



b) Métropole du Grand Paris

Figure 31 : Population résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) exposée par classes de concentrations de particules PM_{10} selon les étapes et scénarios.

Les gains sur la population exposée aux particules PM_{10} sont peu significatifs avec la mise en œuvre d'une ZBE parisienne ou élargie à l'intra A86 par rapport au « Fil de l'eau », hormis pour la 4^{ème} étape où la quasi-totalité des Parisiens est exposée à des concentrations de $17 \mu g/m^3$ et plus de particules PM_{10} sans mise en œuvre d'une ZBE, contre 1.4 millions dans le cadre d'une restriction de circulation jusqu'aux « Crit'Air 3 » (soit une diminution d'environ 800 000 Parisiens).

De la même manière, la population résidant au sein de la MGP présente un gain significatif sur les niveaux d'exposition aux PM_{10} avec la mise en œuvre d'une 4^{ème} étape. Par rapport au « Fil de l'eau », si la quasi-totalité des habitants de la MGP, soit près de 7 millions de résidents, sont soumis à $16 \mu g/m^3$

et plus de PM₁₀, 300 000 personnes en moins sont exposées à cette valeur avec la mise en œuvre de la 4^{ème} étape de la ZBE à l'échelle de la Capitale. Ce gain est amplifié en étendant le périmètre de la ZBE à l'A86 avec un gain d'un million de personnes supplémentaires.

Les diminutions des teneurs de particules PM_{2.5} entraînent essentiellement une baisse de la population parisienne exposée à partir de l'étape 3, pour laquelle 250 000 personnes en moins sont exposées à des teneurs de 12 µg/m³. La 4^{ème} étape restreignant la circulation jusqu'au « Crit'Air 3 » engendre un gain plus important par rapport au « Fil de l'eau » de 900 000 personnes sur des teneurs de 11 µg/m³. A l'échelle de la MGP, le constat est relativement similaire avec un gain sur la population exposée essentiellement marqué pour le scénario de la 4^{ème} étape avec une réduction du nombre d'habitant exposés à 11 µg/m³ et plus de l'ordre de 110 000 personnes supplémentaires.

Les résultats de l'exposition de la population aux particules PM_{2.5} selon les scénarios sont illustrés en Annexe 9.

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 ZBE est représenté par le total (barres orange et grise) ; le gain de population parisienne exposée suite à la mise en place de la ZBE est figuré en orange.

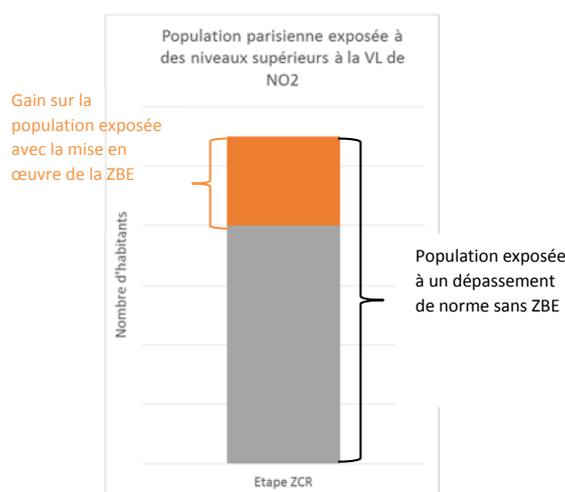
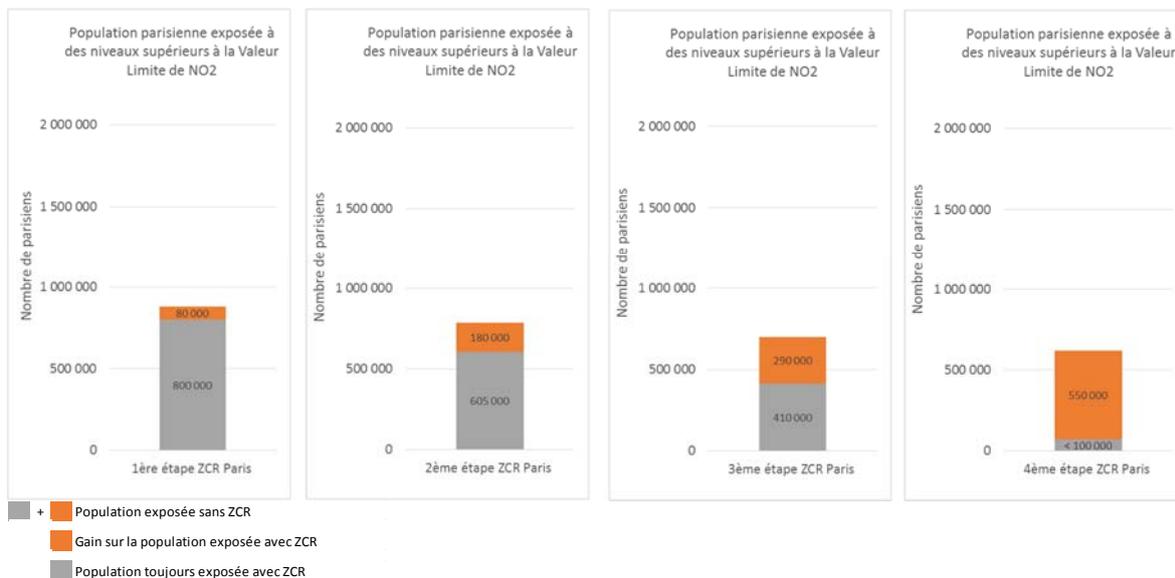
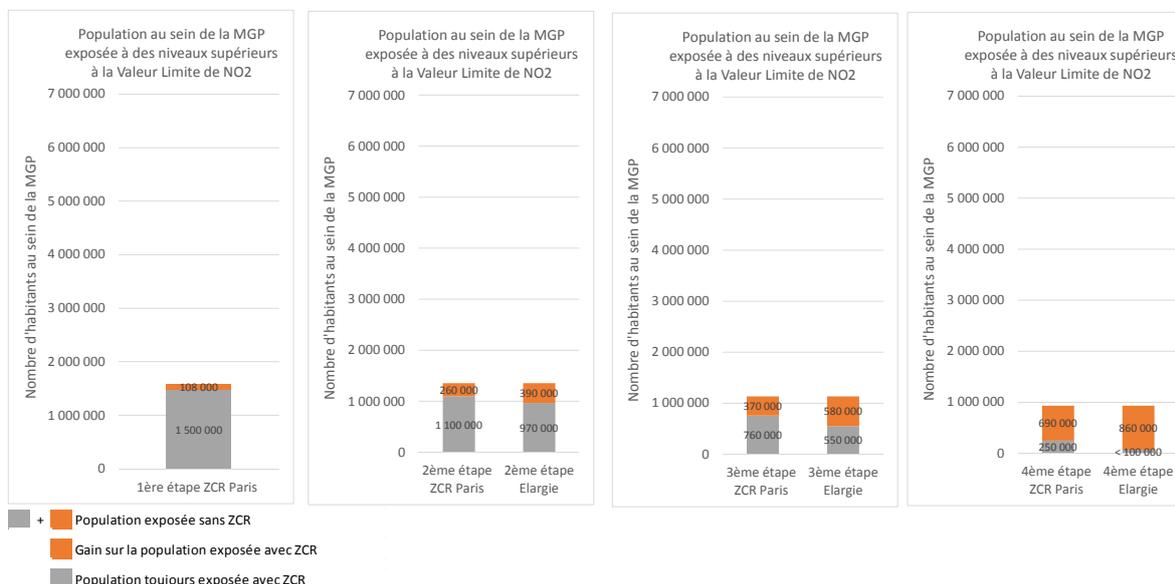


Figure 32 : Présentation de l'indicateur de population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ pour une situation « Fil de l'eau » et gain sur la population engendré par la mise en œuvre d'une ZBE.

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 ZBE parisienne est compris entre 80 000 personnes avec la restriction de circulation des véhicules « Non classés » lors de la 1^{ère} étape et 550 000 personnes pour la 4^{ème} étape restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 ». Le nombre d'habitants exposés à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ passe de 800 000 (1^{ère} étape de la ZBE parisienne) à moins de 100 000 Parisiens (4^{ème} étape de la ZBE parisienne).



a) Paris



b) Métropole du Grand Paris

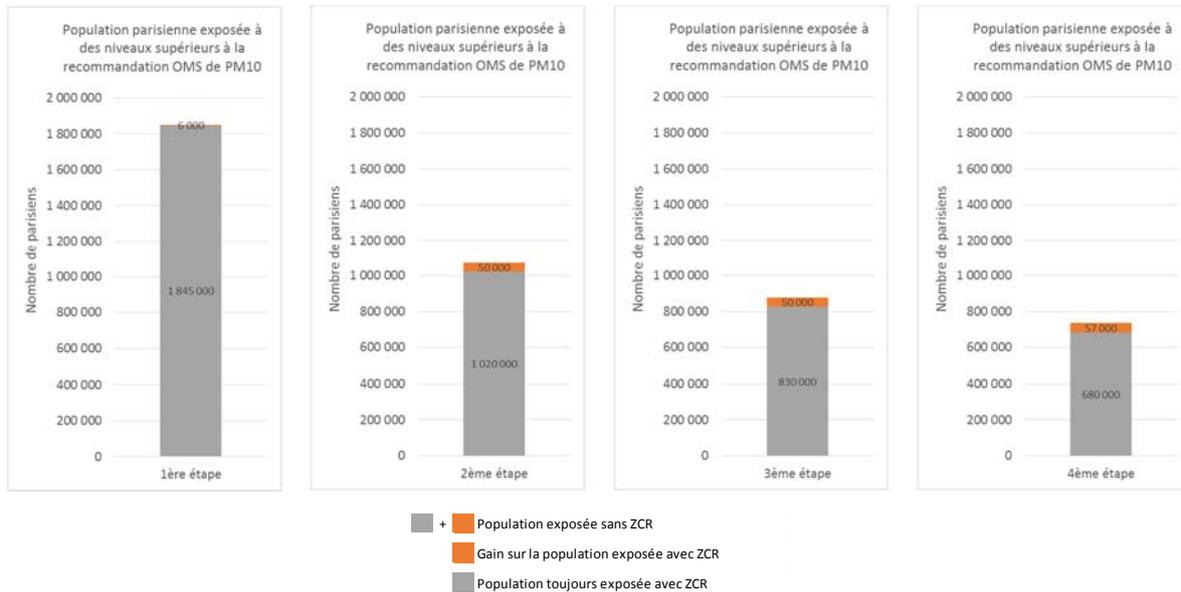
Figure 33 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la VL annuelle en NO₂ résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) selon les étapes et scénarios.

Le gain sur la population exposée au sein de la MGP dû à la mise en œuvre d'une ZBE parisienne est compris entre 110 000 personnes avec la restriction de circulation des véhicules « Non classés » lors de la 1^{ère} étape et près de 700 000 personnes pour la 4^{ème} étape restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 ». Le nombre d'habitants de la MGP exposés à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ passe ainsi de 1,5 millions (1^{ère} étape de la ZBE parisienne) à 250 000 personnes (4^{ème} étape de la ZBE parisienne).

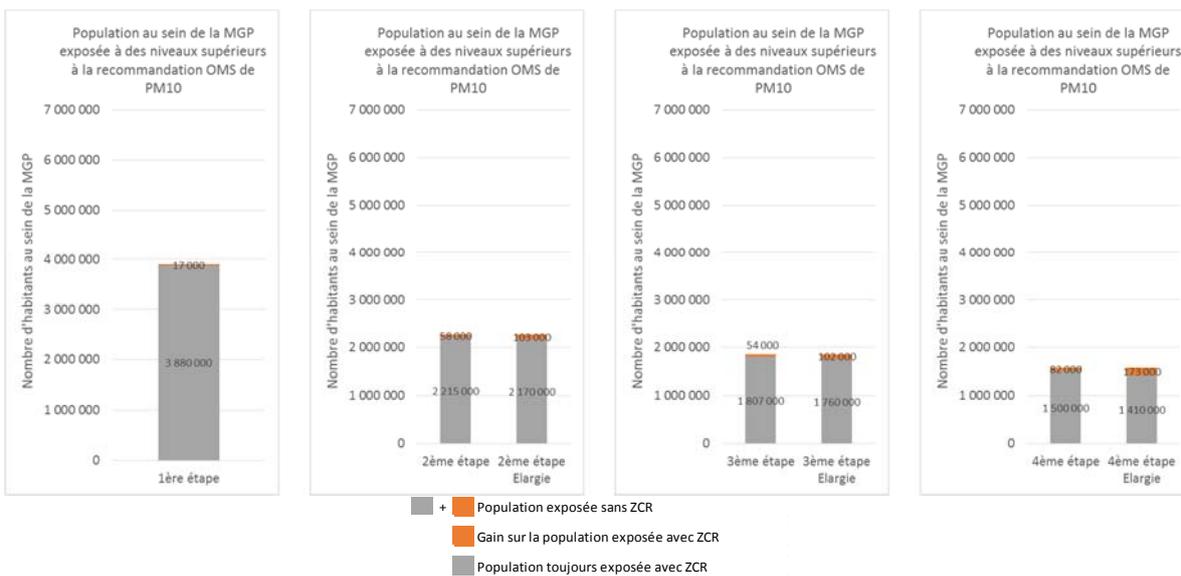
La mise en œuvre de la 2^{ème} étape de la ZBE élargie à l'intra A86 entraîne une baisse de près de 400 000 du nombre de personnes exposées au sein de la MGP à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ ; cette baisse atteint 860 000 personnes pour la 4^{ème} étape de la ZBE élargie. Le nombre d'habitants de la MGP exposés à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ passe ainsi de près de 1 million (2^{ème} étape de la ZBE élargie) à moins de 100 000 personnes (4^{ème} étape de la ZBE élargie).

Concernant les particules PM₁₀, la quasi-totalité de la population est exposée à des teneurs inférieures à l'objectif de qualité (voir Annexe 10). La Figure 34 illustre le nombre d'habitants exposés au regard de la recommandation OMS¹⁹ fixée, à l'échelle annuelle, à 20 µg/m³.

Hormis pour la 1^{ère} étape, pour laquelle le gain sur la population exposée est relativement faible, la mise en œuvre d'une ZBE 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 ZBE, pour chacune des étapes 3, 4 et 5.



a) Paris



b) Métropole du Grand Paris

Figure 34 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS de 20 µg/m³ en moyenne annuelle en PM₁₀ résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) selon les étapes et scénarios.

¹⁹ 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.

A l'échelle de la MGP, la ZBE parisienne engendre un gain similaire pour les étapes 2 et 3, et plus élevé avec la 4^{ème} étape (environ 80 000 personnes ne seraient plus exposées à un dépassement de la recommandation OMS, par rapport à une situation sans ZBE). Avec une ZBE élargie à l'A86, la population ne dépassant plus la valeur guide de l'OMS est plus importante avec environ 100 000 personnes pour les étapes 2 et 3, et près de 175 000 habitants avec la mise en place d'une 4^{ème} étape restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 ».

Pour les **particules PM_{2.5}**, la comparaison de la population exposée pour les scénarios ZBE 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).

A Paris, seule la 4^{ème} étape de la ZBE en 2019 engendre une réduction de la population exposée à l'objectif de qualité, avec un gain de 870 000 Parisiens qui n'y sont plus soumis.

Au sein de la MGP, les bénéfiques sur la population sont les plus importants avec une mise en œuvre d'une ZBE élargie à l'A86. En effet, si la mise en œuvre d'une ZBE parisienne entraîne, lors de la 4^{ème} étape un gain d'un peu plus d'un million d'habitants passant sous le seuil de l'objectif de qualité, l'élargissement d'une ZBE à l'A86 engendre un bénéfice supplémentaire d'environ 400 000 habitants.

L'ensemble des indicateurs de population exposée à des dépassements de l'objectif de qualité fixé pour les PM_{2.5} à 10 µg/m³ à l'échelle annuelle est présenté en Annexe 11.

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 ZBE engendre une diminution des concentrations en situation de fond et plus encore à proximité au 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 ZBE au plus près des émissions du trafic routier, en bordure de voirie.

La Figure 35 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 les scénarios ZBE.

Par rapport à une situation sans ZBE, 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 ZBE parisienne ou élargie est compris entre 4 pourcents avec la restriction de circulation des véhicules « Non classés » lors de la 1^{ère} étape et 51 pourcents pour la 4^{ème} étape restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 ». Pour cette dernière étape, le pourcentage de kilomètres de voirie parisienne dépassant la valeur limite est de 24% avec la mise en œuvre de la ZBE contre près des trois-quarts du réseau modélisé sans sa mise en place, soit une baisse de près de 70% du nombre de kilomètres soumis à des dépassements.

Plus la restriction de circulation est contraignante, plus le nombre de kilomètres de voirie passant sous le seuil de la valeur limite est élevé. Le nombre de kilomètres à Paris dont les teneurs sont supérieures à 40 µg/m³ passe ainsi de 600 km en 2016 avec la restriction de circulation des véhicules « Non classés » à 170 km en 2019 avec la restriction de circulation des « Crit'Air 3 ».

Pour le territoire de la MGP, le gain sur le nombre de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite annuelle en NO₂ est amplifié avec la mise en œuvre de l'élargissement de la ZBE à l'intra A86.

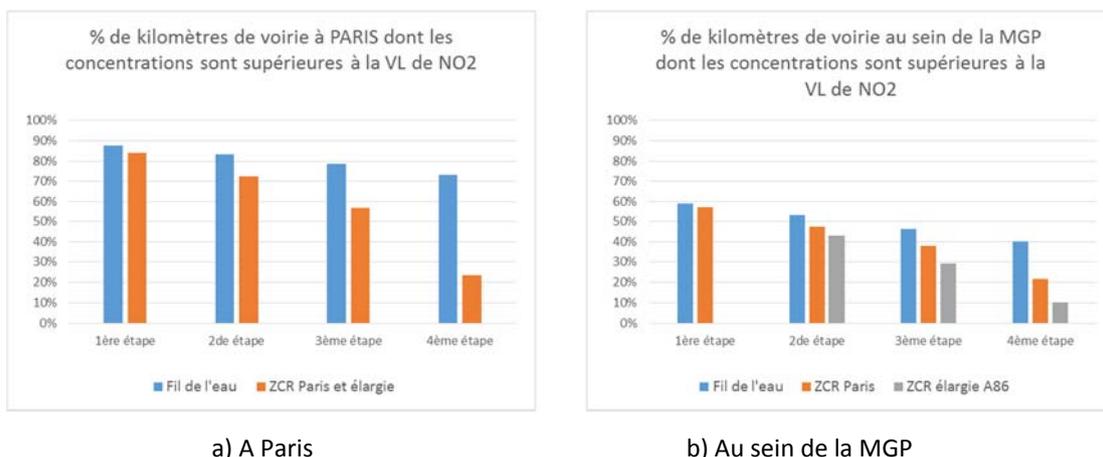


Figure 35 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO₂ à Paris (à gauche) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (à droite) selon les étapes et scénarios.

Les gains sur les **particules PM₁₀** à proximité immédiate du trafic routier sont, par rapport au fil de l'eau, relativement faibles (cf. Figure 36). Avec l'évolution à la baisse des concentrations de PM₁₀ au fil de l'eau et la mise en œuvre de la ZBE, le pourcentage de kilomètres de voirie au-delà de l'objectif de qualité fixé à 30 µg/m³ passe de 30 % en 2016 à plus aucun dépassement à Paris en 2019 avec l'adoption de la restriction de circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 ». Ce constat est également vrai au sein de la MGP avec un pourcentage initial en 2016 d'un peu moins de 20% pour aboutir avec la 4^{ème} étape en 2019 à plus aucun dépassement.

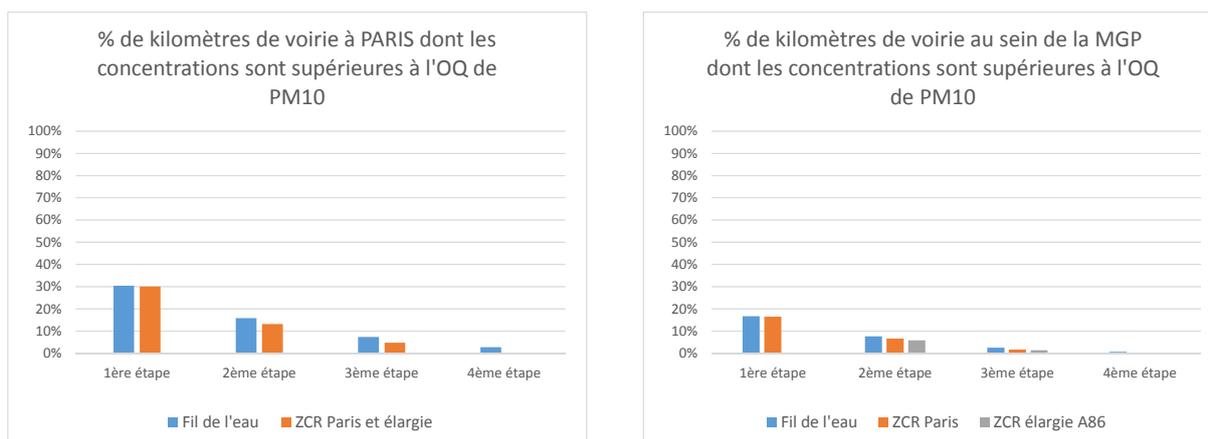


Figure 36 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de l'objectif de qualité en PM₁₀ à Paris (à gauche) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (à droite) selon les étapes et scénarios.

Concernant les **particules PM_{2.5}**, au regard de l'objectif de qualité fixé à 10 µg/m³, la situation en proximité immédiate du trafic n'évolue que très peu, avec un dépassement généralisé sur le réseau routier modélisé parisien au fil de l'eau et pour les trois premières étapes. Seule l'évolution à la baisse des teneurs au fil de l'eau, renforcée par la mise en œuvre de la 4^{ème} étape, engendre une diminution du pourcentage de kilomètres de voirie à Paris exposée à 10 µg/m³ et plus, avec 4 % du réseau en dessous de ce seuil.

Au sein de la MGP, la mise en œuvre de la restriction de circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 4 » et « Crit'Air 3 » respectivement en 2018 et 2019, entraîne une diminution du pourcentage de kilomètres de voirie exposée à 10 µg/m³ et plus en PM_{2.5}.

Ainsi, pour le scénario restreignant la circulation des véhicules « Crit'Air 3 », entre 25 et 160 kilomètres de voirie au sein de la MGP ne sont plus concernés par un dépassement de l'objectif de qualité avec la mise en œuvre de cette 4^{ème} étape en 2019, respectivement pour un scénario d'une ZBE parisienne et élargie à l'A86.

L'ensemble des figures illustrant l'évolution du pourcentage de voirie à Paris et au sein de la MGP dont les concentrations sont supérieures à l'objectif de qualité en PM_{2.5} est illustré en Annexe 12.

5.2.3. Indicateurs d'exposition pour les Etablissements Recevant du Public (ERP)

Afin de compléter l'évaluation de l'impact de la mise en œuvre d'une zone à basses émissions sur la qualité de l'air respirée par les habitants, l'impact ZBE sur la qualité de l'air au voisinage de certaines catégories d'Etablissements Recevant du Public (ERP), dans Paris et la Petite Couronne a été évalué. Parmi les ERP de ce périmètre, fournis par l'APUR²⁰, les établissements recevant des personnes dites « sensibles » ont été sélectionnés :

- enseignement des 1^{er} et 2nd degrés
- enseignement spécialisé (Instituts médico-éducatifs...)
- action éducative et périscolaire
- accueil de petite enfance (crèches...)
- établissements sportifs
- centres d'action sociale pour personnes âgées
- centres d'action sociale pour parents et enfants (aide sociale à l'enfance...)
- établissements de santé (hôpitaux, maternités, centres médicalisés...)

Cette sélection comporte, sur Paris et la Petite Couronne 8 255 établissements.

Le croisement sous SIG de la géolocalisation de ces établissements avec les cartes de concentrations des polluants soumis à dépassements réglementaires permet d'estimer, par polluant, par année, et par scénario, la concentration au voisinage des établissements (cf. Figure 37).

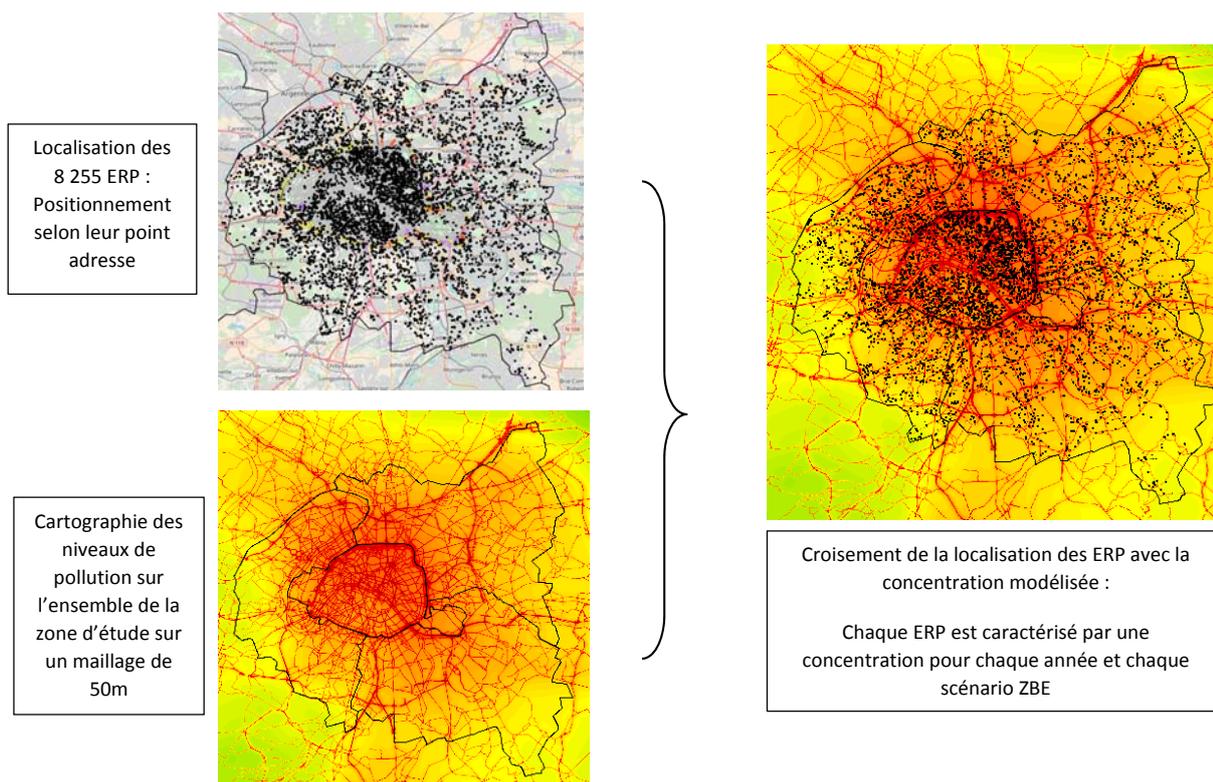


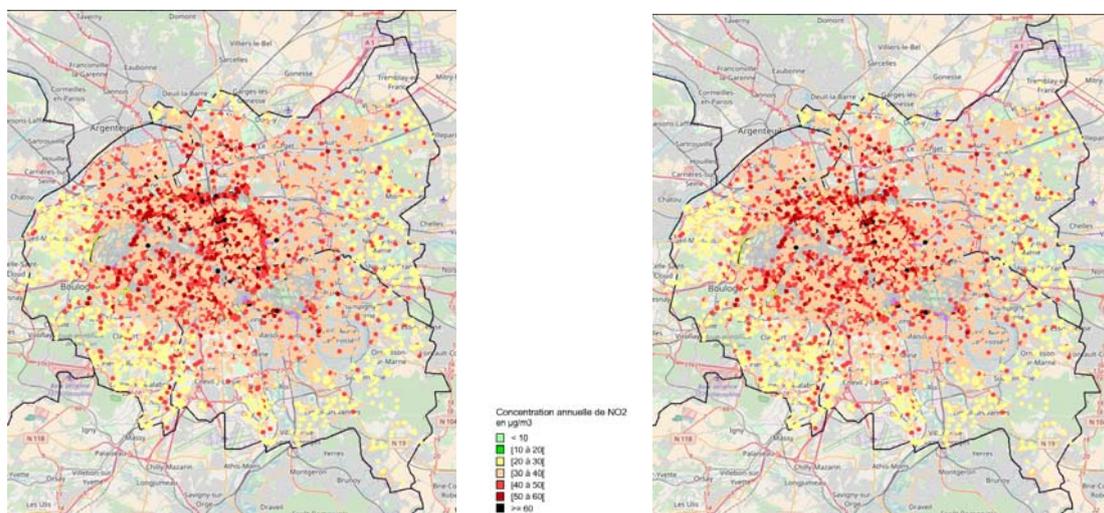
Figure 37 : Croisement de la géolocalisation des ERP au sein de Paris et de la Petite Couronne avec les données de pollution cartographiées sur un maillage de 50 m.

²⁰ APUR : Atelier Parisien d'Urbanisme

Les figures suivantes présentent les concentrations pour les trois polluants étudiés, au voisinage des établissements.

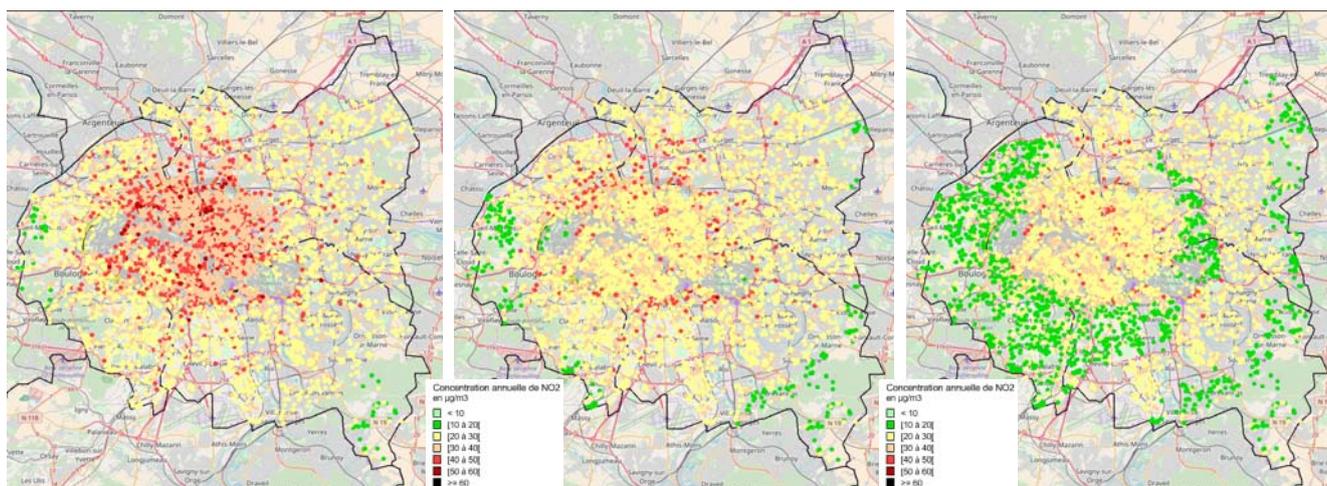
Les concentrations de dioxyde d'azote aux emplacements des ERP au sein de Paris et de la Petite Couronne sont cartographiées (Figure 38) pour la situation « Fil de l'eau » et les scénarios d'une ZBE parisienne et élargie à l'A86 en 2016 (1^{ère} étape) et 2019 (4^{ème} étape).

Les Annexes 13 et 14 illustrent ces mêmes cartographies pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5}.



a) « Fil de l'eau » 2016

b) Restriction de circulation « Non Classés » à Paris



c) « Fil de l'eau » 2019

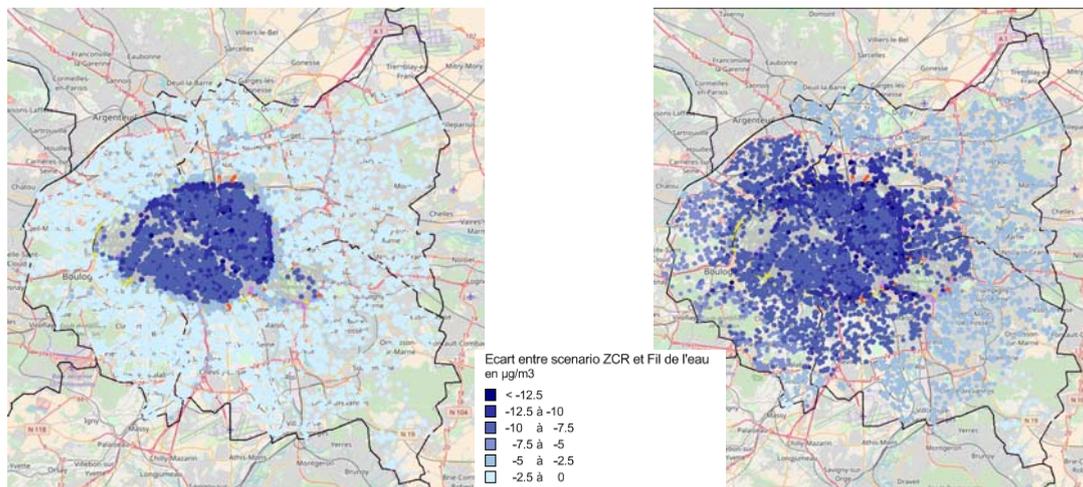
d) Restriction de circulation « Crit'Air 3 » à Paris

e) Restriction de circulation « Crit'Air 3 » intra A86

Figure 38 : Cartographie des teneurs annuelles de NO₂ aux emplacements des ERP pour le fil de l'eau et selon les scénarios ZBE de la 1^{ère} et la 4^{ème} étape.

La 1^{ère} étape d'une ZBE restreignant la circulation des « Non classés » sur Paris (b) n'entraîne que peu de modification par rapport au « Fil de l'eau » (a), comme déjà étudié au travers des cartographies des concentrations, pour le dioxyde d'azote comme pour les particules.

La différence de teneurs de NO₂ aux emplacements des ERP est très marquée pour la 4^{ème} étape de la ZBE restreignant la circulation jusqu'aux « Crit'Air 3 » avec, dans le cas d'une ZBE parisienne (d), la quasi-totalité des ERP parisiens qui se trouvent en dessous des 40 µg/m³. Dans le cadre d'un périmètre ZBE ciblé sur Paris, la majorité des ERP dont les teneurs restent supérieures à 40 µg/m³ est localisée en dehors de Paris, essentiellement au plus près de la Capitale. En élargissant le périmètre à l'intra A86 (e), l'essentiel des ERP tend à avoir des teneurs entre 20 et 30 µg/m³ à Paris et entre 10 et 20 µg/m³ au sein de la Petite Couronne.



a) ZBE parisienne

b) ZBE élargie à l'A86

Figure 39 : Différence de concentration annuelle en NO₂ sur l'ensemble des ERP étudiés entre les scénarios ZBE parisienne (a) et élargie à l'intra A86 (b) par rapport au « Fil de l'eau » en 2019.

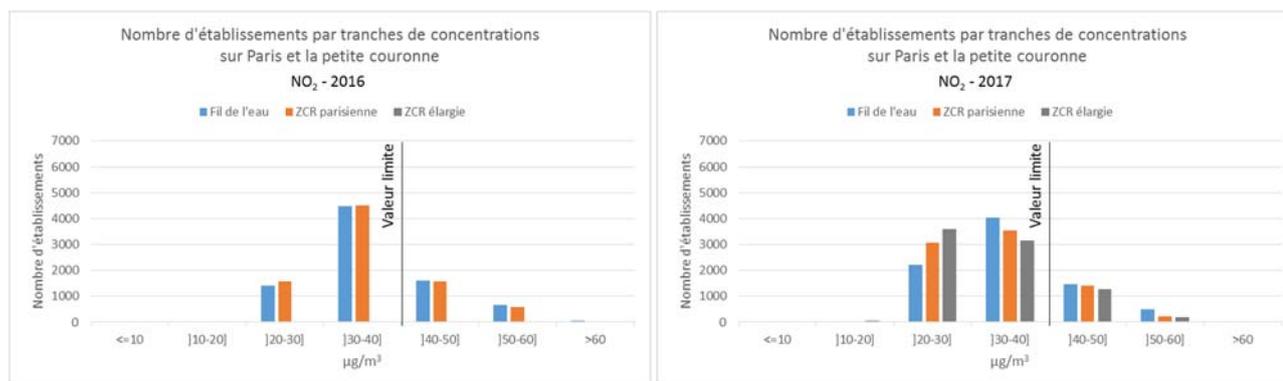
L'influence de la ZBE est nettement plus importante dans le cas de la ZBE élargie, sur la partie de la Petite Couronne (hors Paris) se trouvant au sein de la ZBE élargie, mais également en dehors de celle-ci.

A la différence du NO₂, pour les PM₁₀, les ERP exposés aux niveaux les plus élevés (supérieurs aux recommandations de l'OMS) sont disséminés un peu partout à Paris et en Petite Couronne. Pour les particules PM_{2,5}, les gains entre les niveaux « Fil de l'eau » et les scénarios ZBE, en 2016 comme en 2019, sont moins marqués.

Les figures suivantes représentent cette répartition pour chaque polluant d'intérêt, positionnée par rapport aux valeurs réglementaires.

5.2.3.1. Dioxyde d'azote NO₂

La Figure 40 présente le nombre d'ERP par tranches de concentrations de NO₂ sur Paris et la Petite Couronne pour les quatre années étudiées et chaque scénario. Les comparaisons du nombre d'ERP par tranche de concentrations sont réalisées entre le « Fil de l'eau » et les scénarios de mise en place d'une ZBE, selon un périmètre plus ou moins large (Paris ou élargie à l'Intra A86). Cela permet de déterminer les bénéfices des restrictions de circulation pour les véhicules les plus polluants sur les concentrations à proximité des ERP, notamment au regard des normes en vigueur.



Nombre d'établissements qui passent sous le seuil de 40 µg/m ³ en NO ₂ par scénario, par rapport au fil de l'eau :			
Scénario ZCR parisienne	174	établissements, soit	2%

Nombre d'établissements qui passent sous le seuil de 40 µg/m ³ en NO ₂ par scénario, par rapport au fil de l'eau :			
Scénario ZCR parisienne	345	établissements, soit	4%
Scénario ZCR élargie :	531	établissements, soit	6%

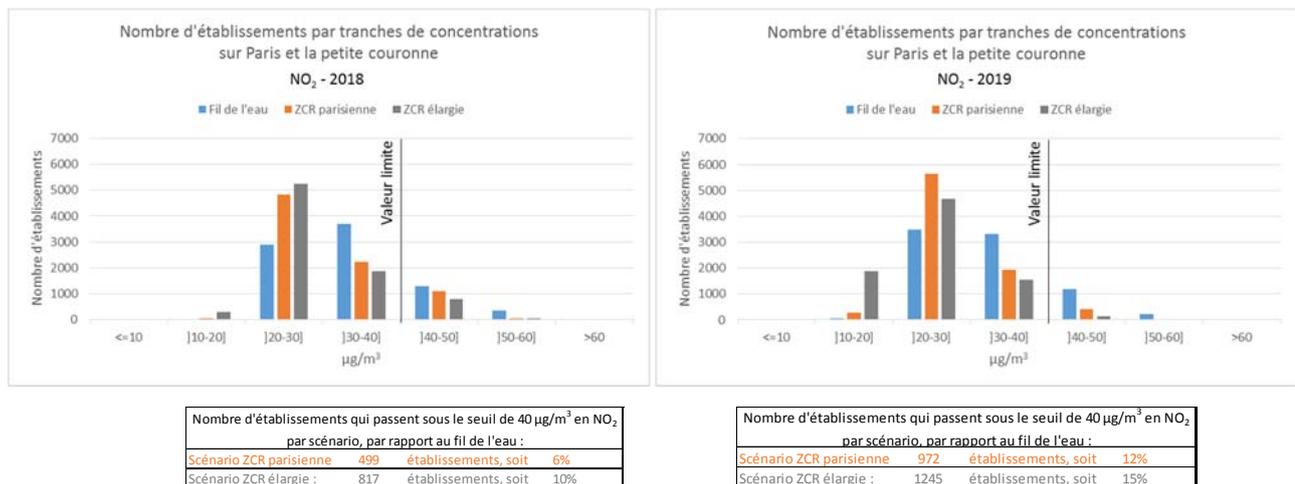


Figure 40 : Nombre d'établissements recevant un public sensible dans Paris et la Petite Couronne par tranches de concentrations, selon les étapes et les scénarios ZBE étudiés.

Quel que soit le scénario, de plus en plus d'établissements passent dans les tranches de concentrations plus faibles au fil des années. L'influence de la mise en place d'une ZBE est positive, qu'elle soit à l'échelle de Paris, ou plus encore à l'échelle du périmètre intra A86.

Dans le cas du scénario « Fil de l'eau », les établissements sont initialement répartis dans des classes de concentrations allant de 20 à 30 µg/m³, à plus de 60 µg/m³, avec un passage de quelques établissements dans la classe dont les teneurs sont les plus faibles (classe]10-20]) à partir de 2019 (5 établissements) et aucun établissement dans la classe la plus élevée.

Dans le cas du scénario d'une ZBE parisienne, les établissements sont majoritairement exposés à des teneurs de NO₂ comprises entre 30 et 40 µg/m³ en 2016 et 2017. Les restrictions de circulation plus importantes à partir de la 3^{ème} étape entraînent un basculement des ERP vers des teneurs plus faibles et inférieures à 30 µg/m³. Un passage d'établissements dans la classe comprise entre 10 et 20 µg/m³ à partir de 2018 (45 établissements) est observé pour atteindre, avec la restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 3 » en 2019, plus de 250 établissements dans cette tranche de concentrations. Parallèlement, il n'y a plus d'établissements localisés au sein d'un environnement dont les teneurs sont supérieures à 50 µg/m³ avec la mise en œuvre de la 4^{ème} étape de 2019.

Dans le cas du scénario « ZBE élargie », étudié à partir de 2017, le nombre d'établissements de la classe]10-20] passe de 45 en 2017 à 305 en 2018, près de 2000 en 2019. Parallèlement, il n'y a plus d'établissements dans la classe de concentration la plus élevée (> 60µg/m³) à partir de 2018, et il n'y a plus d'établissements dans la classe]50-60] à partir de 2019 avec une mise en œuvre de la restriction de circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 ».

Sur une même année, le scénario ZBE élargie compte toujours le plus d'établissements dans les tranches de faibles concentrations, et inversement, toujours le moins dans les tranches de concentrations les plus élevées.

En termes de seuils réglementaires, sous chaque graphique sont mentionnés le nombre et le pourcentage d'établissements passant sous le seuil de la valeur limite annuelle pour le NO₂ (40 µg/m³), par scénario, par rapport au « Fil de l'eau » de la même année. Dans le cadre de la mise en œuvre d'une ZBE parisienne dont le degré de restriction est limité aux véhicules les plus anciens (véhicules « Non classés » et « Crit'Air 5 »), le gain au regard de la valeur limite est relativement faible avec respectivement 2% à 4% des ERP étudiés pour lesquels les gains sur les niveaux de NO₂ engendrent un passage en dessous de la valeur limite. Le nombre d'ERP bénéficiant de la mise en œuvre d'une ZBE parisienne par un passage des teneurs en dessous de la valeur limite augmente au fur et à mesure des étapes pour atteindre 12% lors de la dernière étape restreignant la circulation des véhicules jusqu'au « Crit'Air 3 ».

Le nombre d'établissements passant sous le seuil de la valeur limite annuelle pour le NO₂ est le plus élevé dans le cas du scénario ZBE élargie. En élargissant la ZBE à l'intra A86, le nombre d'ERP bénéficiant d'un gain au regard de la valeur limite est plus grand, permettant le passage de 200 à 300 ERP supplémentaires sous le seuil de la valeur limite par rapport à un scénario ZBE limité à Paris selon les étapes.

Plus de 1 200 ERP implantés dans une zone où les teneurs de NO₂ sont supérieures à la valeur limite sans mise en œuvre d'une ZBE passent en dessous du seuil fixé de la valeur limite dans le cadre d'une ZBE élargie à l'A86 lors de la 4^{ème} étape.

5.2.3.2. Particules PM₁₀

La Figure 41 représente le nombre d'ERP par tranches de concentrations de PM₁₀ sur Paris et la Petite Couronne pour les quatre années étudiées et chaque scénario.

Comme pour le NO₂, quel que soit le scénario, de plus en plus d'établissements passent dans les tranches de faibles concentrations au fil des années. Cependant, les gains en nombre d'établissements sont faibles comparativement aux gains obtenus pour le dioxyde d'azote.

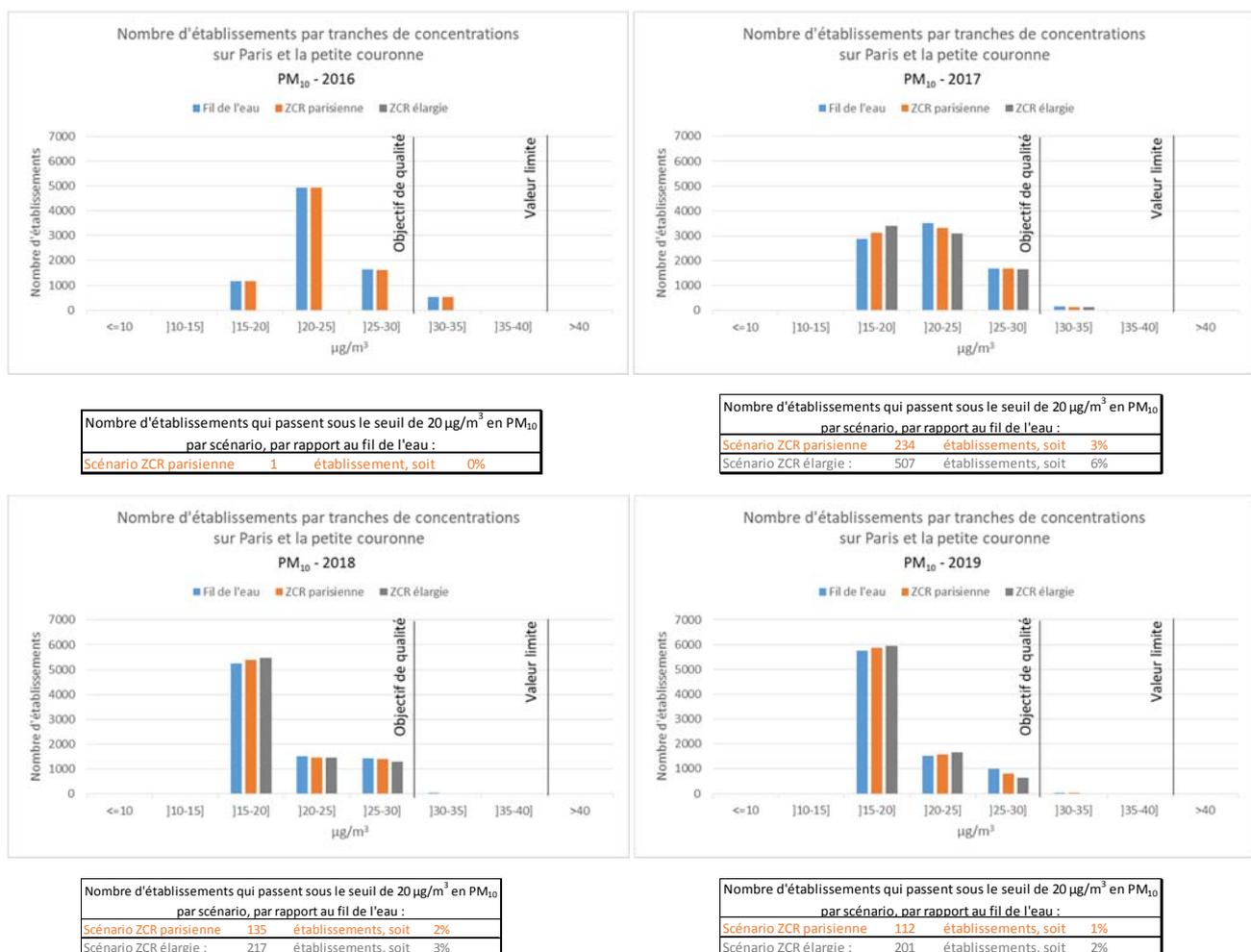


Figure 41 : Nombre d'établissements recevant un public sensible dans Paris et la Petite Couronne par tranches de concentrations, selon les scénarios ZBE étudiés.

Dans le cas du scénario « Fil de l'eau », les établissements sont initialement répartis dans les classes de concentrations, en µg/m³, allant de]15-20] à]30-35]. Dans la classe la plus basse, de]15-20], le nombre d'établissements passe de 1160 en 2016 à 5748 en 2019, mais aucun établissement ne passe sous la valeur de 15 µg/m³. En 2019, il reste 2 établissements dans la classe des plus hautes concentrations (]30-35]).

Dans le cas du scénario ZBE parisienne, les établissements sont initialement répartis dans les classes de concentrations, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, allant de]15-20] à]30-35]. Dans la classe la plus basse, de]15-20], le nombre d'établissements passe de 1161 en 2016 à 5860 en 2019, mais aucun établissement ne passe sous la valeur de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En 2019, il reste 1 établissement dans la classe des plus hautes concentrations (]30-35]). Ce scénario diffère peu du fil de l'eau.

Dans le cas du scénario ZBE élargie, appliqué à partir de 2017, les établissements sont initialement répartis dans les classes de concentrations, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, allant de]10-20] à]25-30]. Le nombre d'établissements de la classe]15-20] passe de 3392 en 2017 à 5475 en 2018, puis à 5949 en 2019. Parallèlement, il n'y a plus d'établissements dans la classe]30-35] à partir de 2019.

Sur une même année, l'impact de la ZBE sur la qualité de l'air aux abords des ERP est relativement modéré : le nombre d'établissements par tranches de concentrations varie assez peu d'un scénario à l'autre. En revanche, d'une année à l'autre, pour les différents scénarios, le nombre d'établissements dans les classes de faibles concentrations augmente significativement, pour diminuer dans les classes de fortes concentrations.

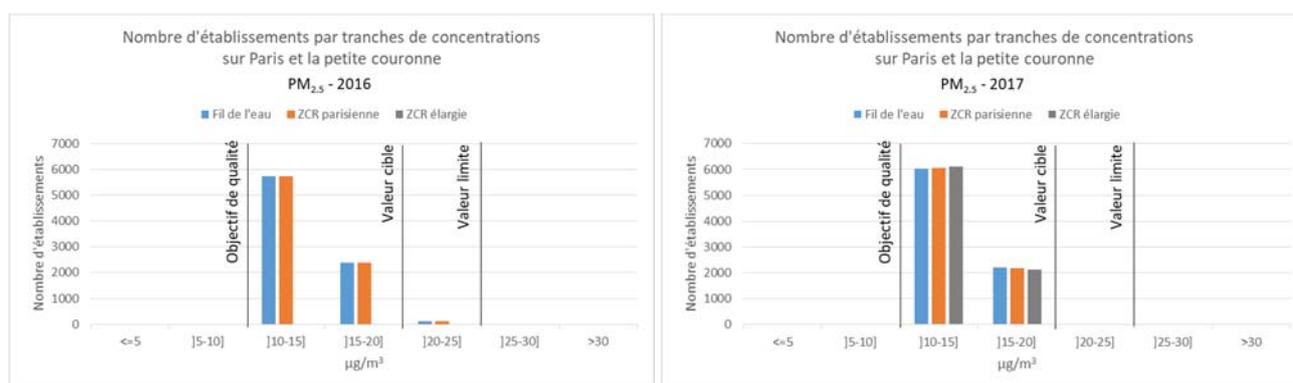
En termes de seuils réglementaires, aucun établissement ne se trouve dans une zone où les concentrations moyennes annuelles dépassent la valeur limite de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Certains, assez peu nombreux, dépassent l'objectif de qualité ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) : leur nombre décroît de près de 550 en 2016 à moins de 5 en 2019.

Sous chaque graphique sont mentionnés le nombre et le pourcentage d'établissements qui passent sous le seuil de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle (recommandations de l'OMS pour les PM_{10}), pour chaque scénario par rapport au fil de l'eau de la même année. C'est dans le cas de la ZBE élargie et pour l'année 2017 que ce nombre est le plus élevé, bien que plutôt modéré (6 %).

Par ailleurs, pour chaque scénario ZBE, par rapport à l'année précédente, c'est en 2018 que le plus grand nombre d'établissements passe sous le seuil de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport à 2017.

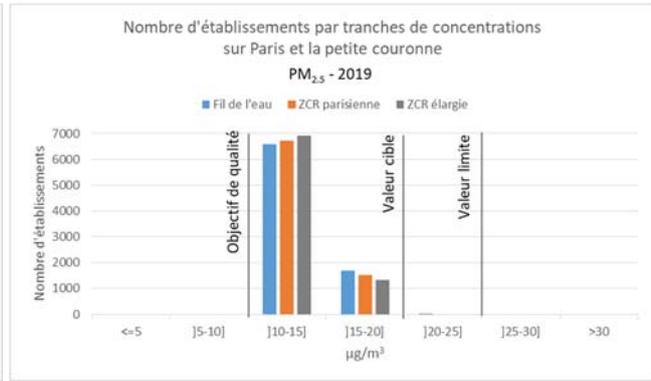
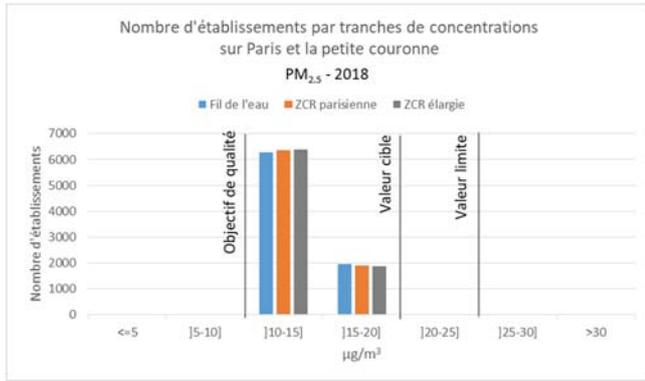
5.2.3.3. Particules $\text{PM}_{2.5}$

La Figure 42 représente le nombre d'ERP par tranches de concentrations de $\text{PM}_{2.5}$ sur Paris et la Petite Couronne pour les quatre années étudiées et chaque scénario.



Nombre d'établissements qui passent sous le seuil de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2.5}$ par scénario, par rapport au fil de l'eau :		
Scénario ZCR parisienne	6 établissements, soit	0.1%

Nombre d'établissements qui passent sous le seuil de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2.5}$ par scénario, par rapport au fil de l'eau :		
Scénario ZCR parisienne	15 établissements, soit	0.2%
Scénario ZCR élargie	17 établissements, soit	0.2%



Nombre d'établissements qui passent sous le seuil de 20 µg/m ³ en PM _{2,5} par scénario, par rapport au fil de l'eau :		
Scénario ZCR parisienne	0 établissement, soit	0%
Scénario ZCR élargie :	0 établissement, soit	0%

Nombre d'établissements qui passent sous le seuil de 20 µg/m ³ en PM _{2,5} par scénario, par rapport au fil de l'eau :		
Scénario ZCR parisienne	1 établissement, soit	0%
Scénario ZCR élargie :	1 établissement, soit	0%

Figure 42 : Nombre d'établissements recevant un public sensible dans Paris et la Petite Couronne, par tranches de concentrations, selon les scénarios ZBE étudiés.

Comme pour les PM₁₀ et le NO₂, quel que soit le scénario, de plus en plus d'établissements passent dans les tranches de faibles concentrations au fil des années.

Dans tous les scénarios, les établissements sont initialement répartis dans les classes de concentrations, en µg/m³, allant de]10-15] à]20-25]. A partir de 2018, il ne reste plus dans cette dernière classe, qu'un seul établissement pour chaque scénario.

Pour toutes les années, comme pour les PM₁₀, il y a peu de d'écarts de répartition des établissements dans les différentes classes d'un scénario à l'autre.

En termes de seuils réglementaires, aucun établissement ne se trouve dans une zone où les concentrations moyennes annuelles dépassent la valeur limite de 25 µg/m³. Jusqu'en 2017, quelques établissements, peu nombreux, sont entre la valeur limite et la valeur cible (20 µg/m³). A partir de 2018, les concentrations aux abords des ERP ne dépassent plus la valeur cible pour la quasi-totalité d'entre eux. En revanche, aucune zone aux abords des ERP ne passe sous l'objectif de qualité (10 µg/m³), quel que soit le cas de figure.

Les écarts entre fil de l'eau et scénarios ZBE sont faibles, aussi ceux-ci ne sont pas mentionnés sous les graphiques.

Pour chaque scénario indépendamment du Fil de l'eau, par rapport à l'année précédente, les écarts sont également modérés.

6. RECAPITULATIF DES RESULTATS

Les tableaux suivants présentent de façon synthétique les indicateurs obtenus pour les émissions et l'exposition des populations, pour les différentes étapes de la ZBE parisienne et de la ZBE métropolitaine, et pour le scénario « Fil de l'eau » (aucune mesure de type Zone à basses émissions métropolitaine mise en place).

Les résultats sont exprimés par rapport aux périmètres parisien et métropolitain, afin de pouvoir comparer les gains sur chaque indicateur.

Emissions de polluants		"Fil de l'eau" Sans ZBE				Périmètre de la ZBE							
						Zone Paris				Zone intra A86			
		NOx	PM10	PM2.5	CO2	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%)	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%)	Non évalué			
Etape 2 : 2017/18	Paris	3 200	240	170	1 070 000	2 700 (-4%)	220 (-2%)	150 (-3%)	1 050 000 (-1%)	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%)	9 400 (-17%)	850 (-10%)	590 (-13%)	3 700 000 (-2%)
Etape 3 : 2018/19	Paris	2 900	230	160	1 050 000	2 200 (-6%)	200 (-3%)	130 (-4%)	1 020 000 (-1%)	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%)	7 400 (-28%)	770 (-13%)	510 (-19%)	3 360 000 (-10%)
Etape 4 : 2019/20	Paris	2 700	220	150	1 030 000	1 500 (-13%)	165 (-7%)	95 (-9%)	950 000 (-2%)	1 500 (-13%)	165 (-7%)	95 (-9%)	950 000 (-2%)
	Intra A86	9 400	850	580	3 710 000	6 200 (-34%)	690 (-19%)	430 (-26%)	3 510 000 (-5%)	4 600 (-51%)	540 (-36%)	310 (-47%)	3 390 000 (-9%)

Figure 43 : Tableau de synthèse des émissions liées au trafic routier pour une situation « Fil de l'eau » et selon les différents scénarios d'une ZBE. 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	Zone intra A86
Etape 1 : 2016/17	Parisiens	880 000	800 000 (-5%)	Non évalué
	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%)	970 000 (-29%)
Etape 3 : 2018/19	Parisiens	700 000	410 000 (-25%)	
	Métropolitains	1 130 000	760 000 (-33%)	550 000 (-51%)
Etape 4 : 2019/20	Parisiens	620 000	<100 000 (-59%)	
	Métropolitains	940 000	250 000 (-73%)	<100 000 (-91%)

Figure 44 : 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 différents scénarios d'une ZBE. Le pourcentage de diminution de l'exposition est exprimé au regard de la population de la MGP et est indiqué entre parenthèses.

L'étude menée par Airparif s'inscrit dans le plan de gestion de la qualité de l'air initié en 2015 par la Mairie de Paris. Elle démontre qu'un dispositif tel que la ZBE est efficace pour améliorer la qualité du parc technologique circulant, baisser 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 ZBE, qu'au-delà de ce périmètre.

L'élargissement de la ZBE à l'intra A86 apporte des gains encore plus importants, qui vont également au-delà du périmètre strict d'application de la mesure.

La mise en place d'une zone de basses émissions (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.

Les gains apportés par la mise en œuvre d'une ZBE calculés sur les différents indicateurs sont plus conséquents pour le dioxyde d'azote²¹ 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.

²¹ Oxydes d'azote dans le cas des émissions.

ANNEXES

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

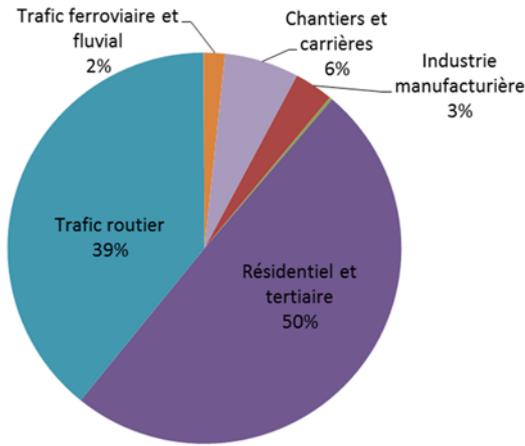
Classe	2 ROUES, TRICYCLES ET QUADRICYCLES À MOTEUR	VOITURES	VÉHICULES UTILITAIRES LÉGERS	POIDS LOURDS, AUTOBUS ET AUTOCAR
Électrique	Véhicules électriques et hydrogène			
1	Véhicules gaz Véhicules hybrides rechargeables			

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

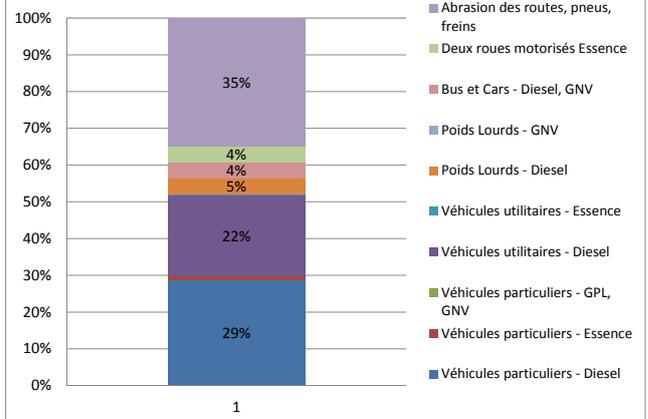
Tableau 2. Classification des véhicules selon la nomenclature Crit’Air – Arrêté du 21 juin 2016 établissant la nomenclature des véhicules classés en fonction de leur niveau d’émission de polluants atmosphériques en application de l’article R. 318.2 du code de la route

Annexe 2 : Emissions primaires de PM_{2.5} et de CO₂ du trafic routier parisien par secteurs d'activité

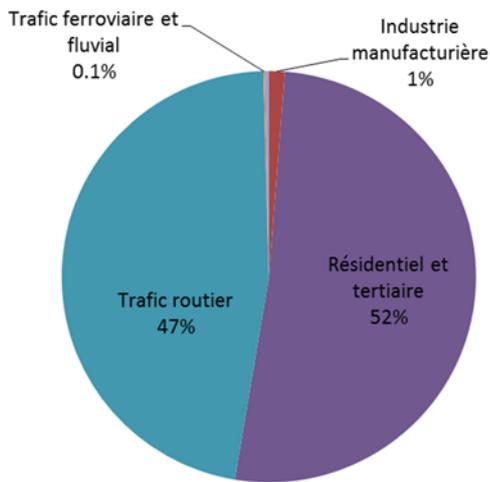
Emissions primaires de PM_{2.5} par secteur d'activité - Paris - 2014



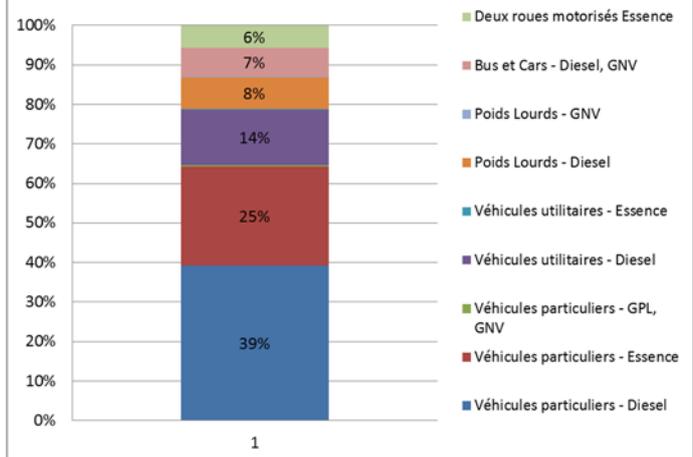
Emissions primaires de PM_{2.5} du transport routier en 2014 Paris



Emissions de CO₂ par secteur d'activité - Paris - 2014



Emissions de CO₂ du transport routier en 2014 Paris



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

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

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

Modèle de déplacements utilisé

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

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

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

Réseaux routier et de transports en commun

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

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

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

Les scénarios de zone à basses émissions

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

- le taux de renouvellement du parc automobile. Après concertation avec les différents partenaires, celui-ci a été fixé à 70%, uniquement pour les flux de véhicules concernés par la ZBE et ayant leur origine et/ou leur destination dans la ZBE. Les véhicules en transit dans la

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

- La délimitation géographique de la ZBE. Le choix d'inclure le Boulevard Périphérique (BP) dans ces modélisations permet de rendre compte, dans un premier temps, de l'impact d'un scénario relativement contraignant sur le trafic par rapport à un scénario excluant le BP. Ainsi, les résultats obtenus permettent d'obtenir un majorant de l'impact d'une restriction de circulation excluant le BP.
- Le groupe de véhicules concernés par les restrictions de circulation.

Annexe 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.

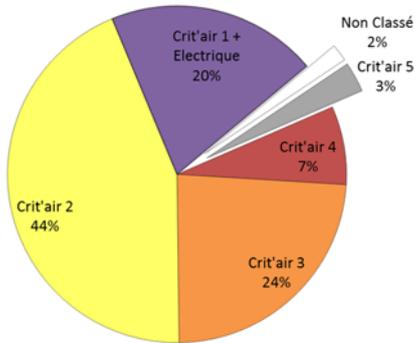
Par ailleurs, l'**IFSTTAR** a piloté le projet de recherche **ZAPARC** dont un but était d'améliorer la connaissance des parcs automobiles dans l'agglomération parisienne afin d'évaluer l'impact des scénarios de réduction de la pollution de l'air. Pour cela, des observations vidéos du trafic routier 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 une bonne photographie du parc technologique parisien pour les véhicules particuliers, les véhicules utilitaires et les deux-roues motorisés. La caractérisation des poids lourds et des bus dans Paris doit cependant faire appel à une autre source de données.

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

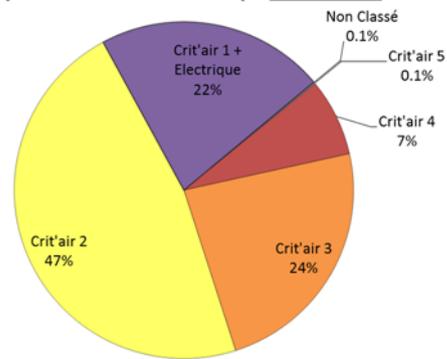
Annexe 5 : Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés au sein du périmètre délimité par l'A86 et part des véhicules une fois la ZBE élargie à l'A86 mise en œuvre

Part des véhicules.kilomètres réalisés sur la période de la 2ème étape ZCR : Fil de l'eau

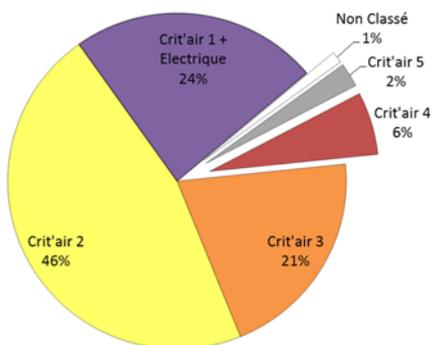


Restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 5 »

Part des véhicules.kilomètres réalisés sur la période de la 2ème étape avec la ZCR

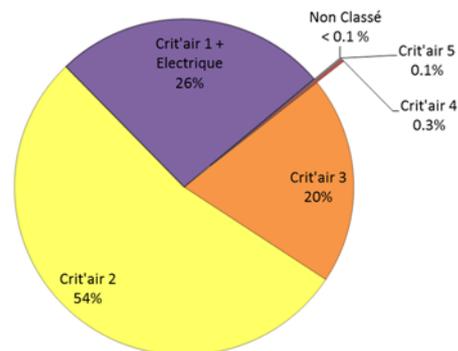


Part des véhicules.kilomètres réalisés sur la période de la 3ème étape ZCR : Fil de l'eau

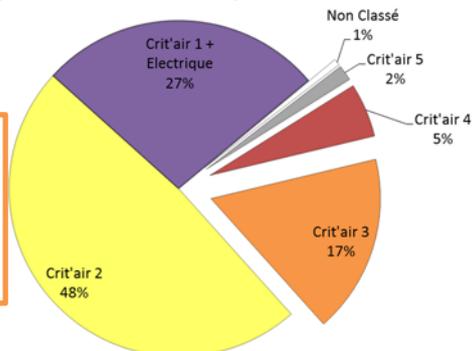


Restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 4 »

Part des véhicules.kilomètres réalisés sur la période de la 3ème étape avec la ZCR

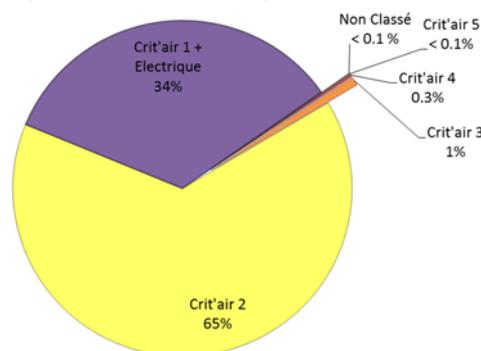


Part des véhicules.kilomètres réalisés sur la période de la 4ème étape ZCR : Fil de l'eau



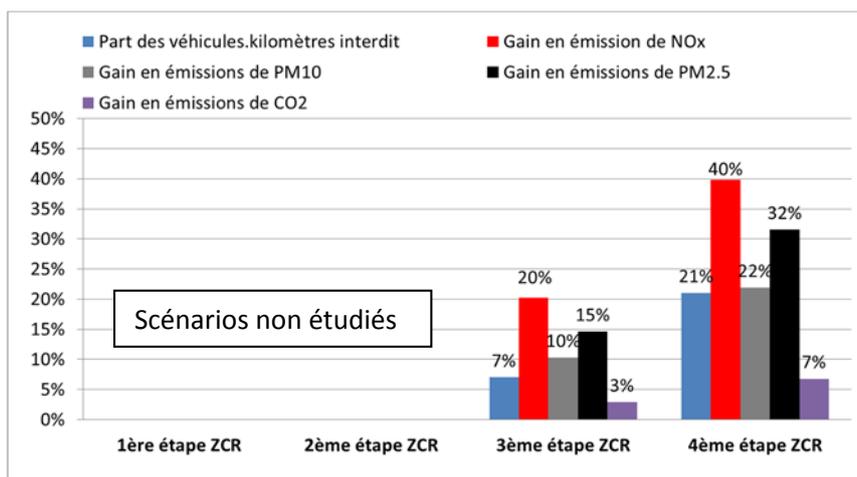
Restriction de circulation jusqu'au « Crit'Air 3 »

Part des véhicules.kilomètres réalisés sur la période de la 4ème étape avec la ZCR

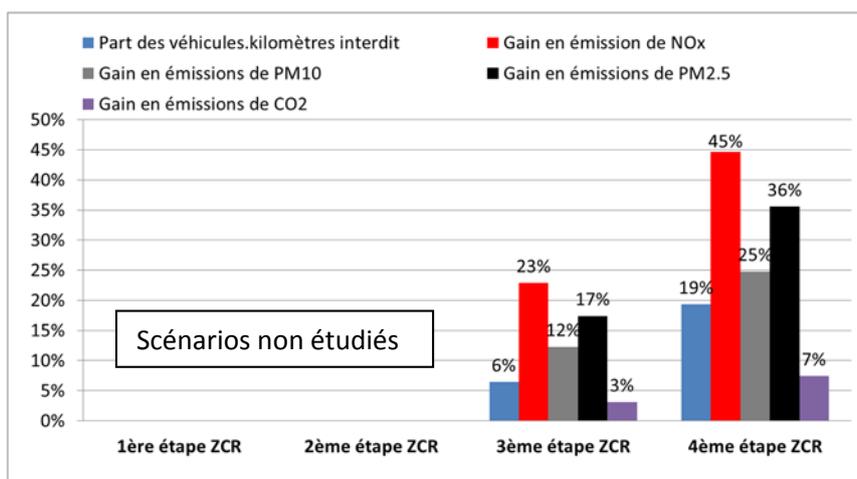


Annexe 6 :

Gains en émissions, à Paris avec le Bd Périphérique(a) et à Paris Intramuros (b), avec la mise en œuvre de la ZBE parisienne sans le Boulevard Périphérique et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation pour les différentes étapes de la ZBE parisienne.



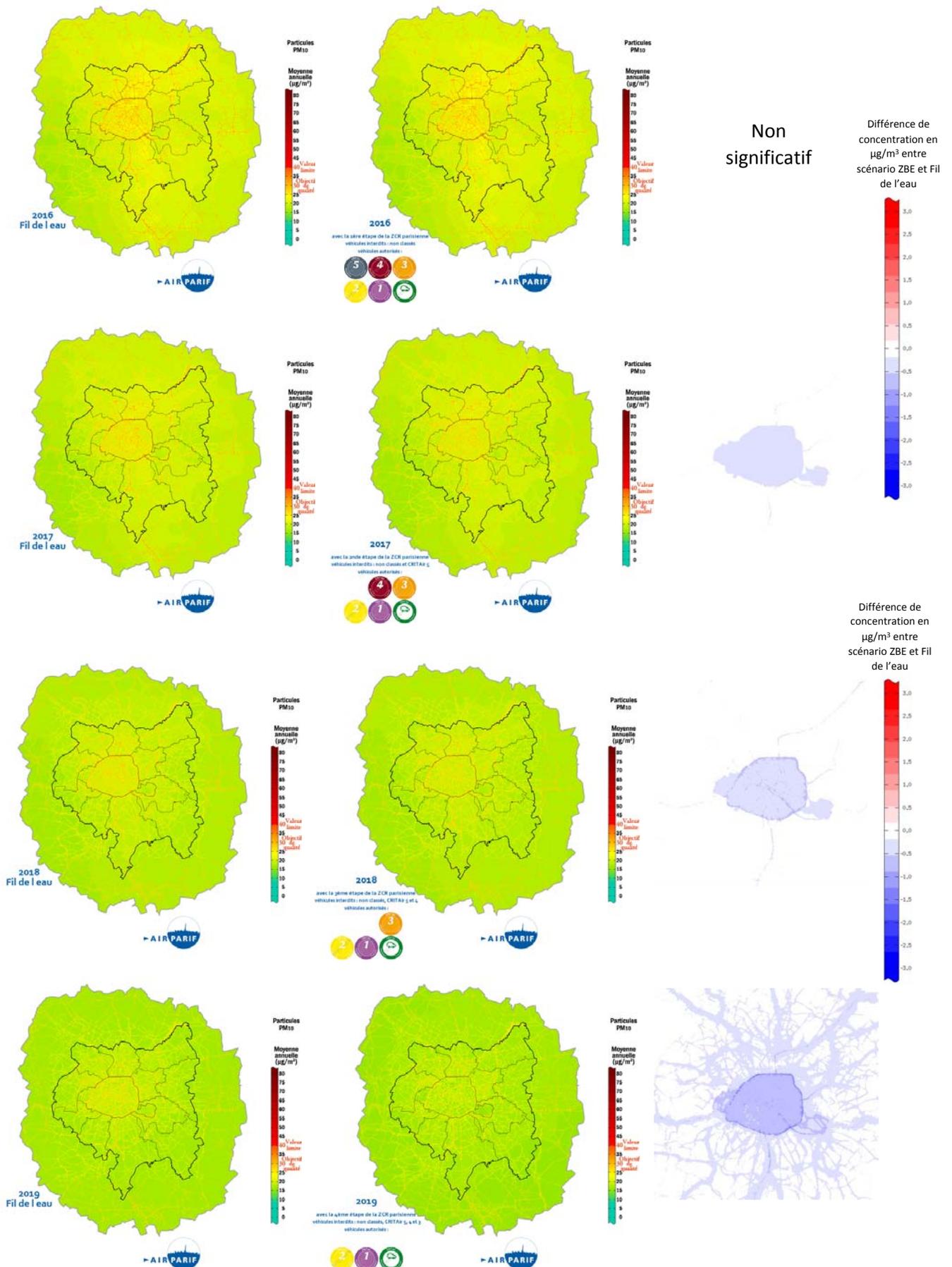
a) A Paris avec le Boulevard périphérique



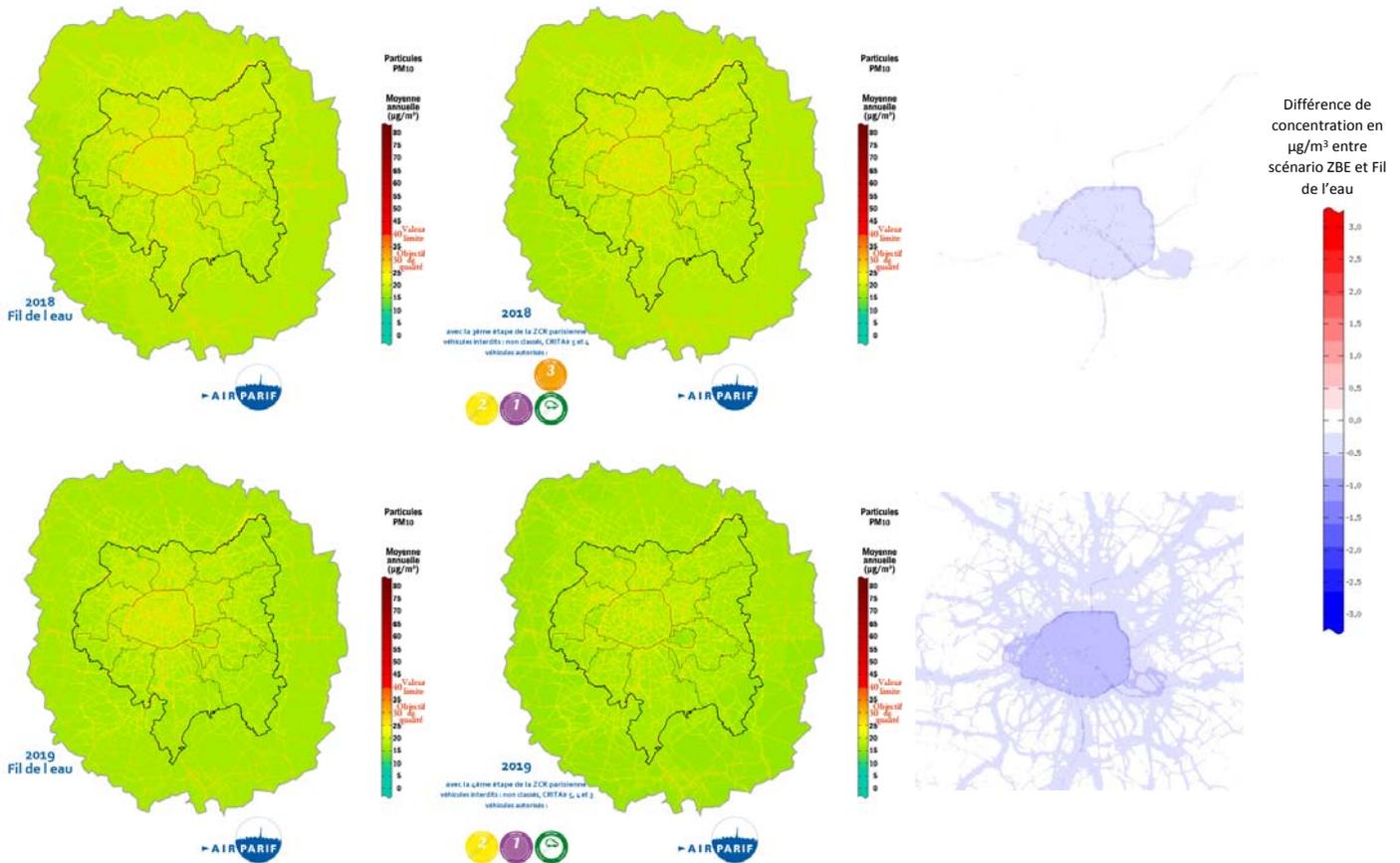
b) A Paris Intramuros

Annexe 7 :

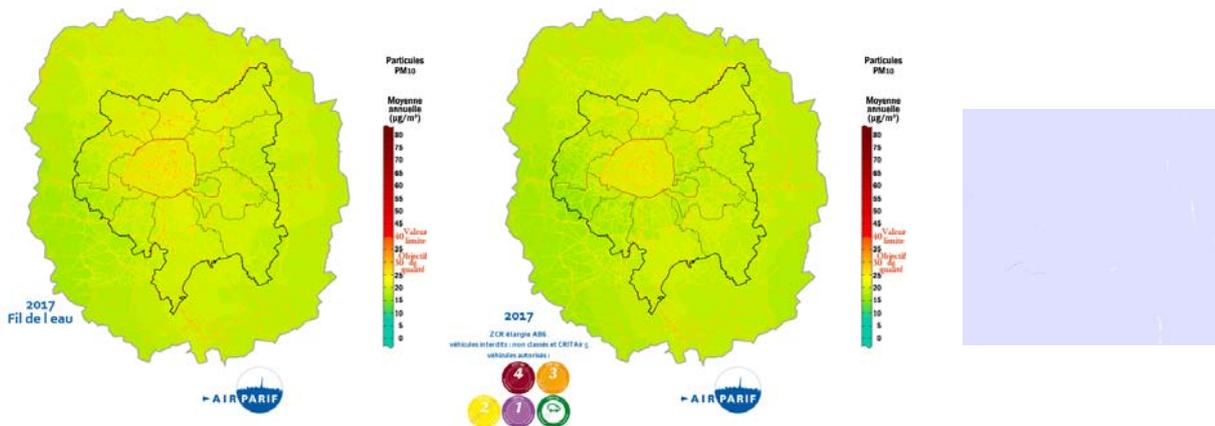
Cartographies des niveaux annuels de PM₁₀ autour du périmètre de la MGP pour le Fil de l'eau de chaque année étudiée et les 4 étapes d'une ZBE parisienne (Boulevard Périphérique inclus) et différences de concentrations entre la ZBE et le Fil de l'eau

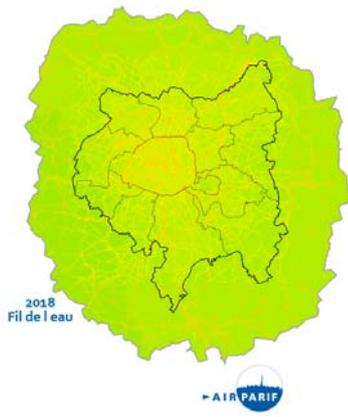


Cartographies des niveaux annuels de PM₁₀ autour du périmètre de la MGP pour le fil de l'eau et pour les 2 étapes d'une ZBE parisienne (sans BP) et différences de concentrations entre la ZBE et le fil de l'eau.



Cartographies des niveaux annuels de PM₁₀ autour du périmètre de la MGP pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 3 étapes d'une ZBE élargie à l'A86 et différences de concentrations entre la ZBE et le fil de l'eau.





Particules
PM10

Moyenne
annuelle
(µg/m³)

80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0

Valeur
limite

90
80
70
60
50
40
30
20
10
0



Particules
PM10

Moyenne
annuelle
(µg/m³)

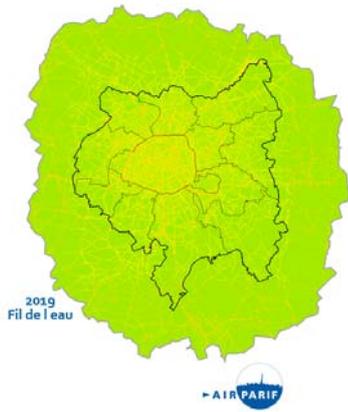
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0

Valeur
limite

90
80
70
60
50
40
30
20
10
0



Différence de
concentration en
µg/m³ entre
scénario ZBE et Fil
de l'eau



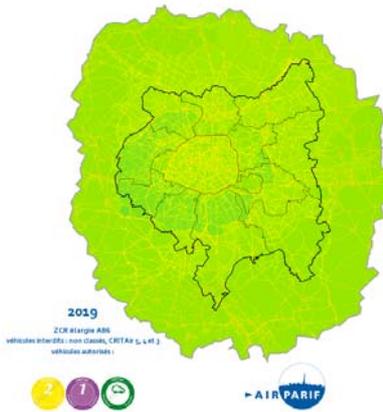
Particules
PM10

Moyenne
annuelle
(µg/m³)

80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0

Valeur
limite

90
80
70
60
50
40
30
20
10
0



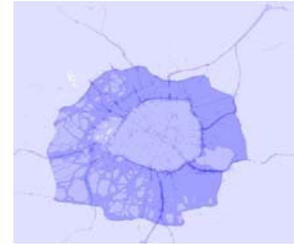
Particules
PM10

Moyenne
annuelle
(µg/m³)

80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0

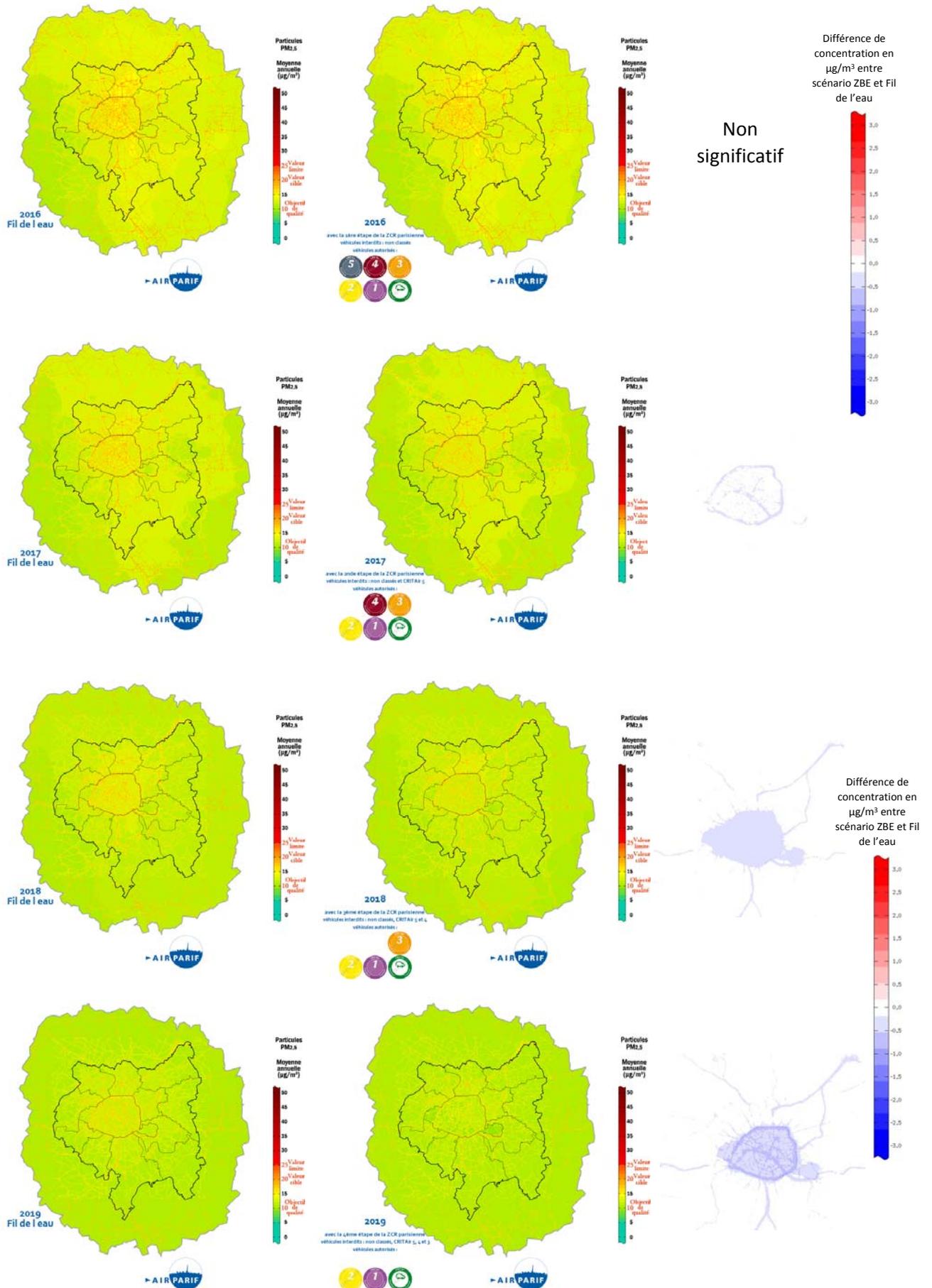
Valeur
limite

90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

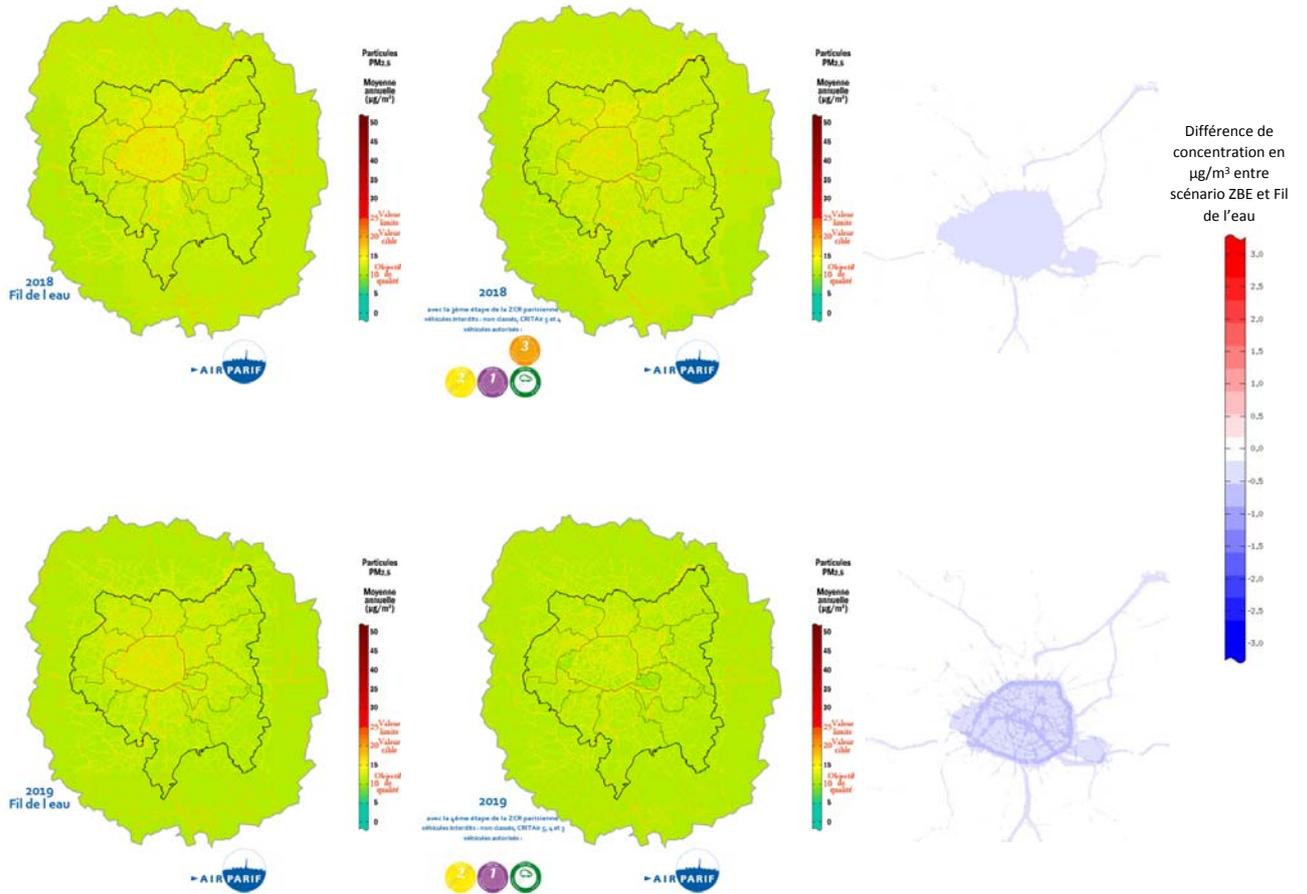


Annexe 8 :

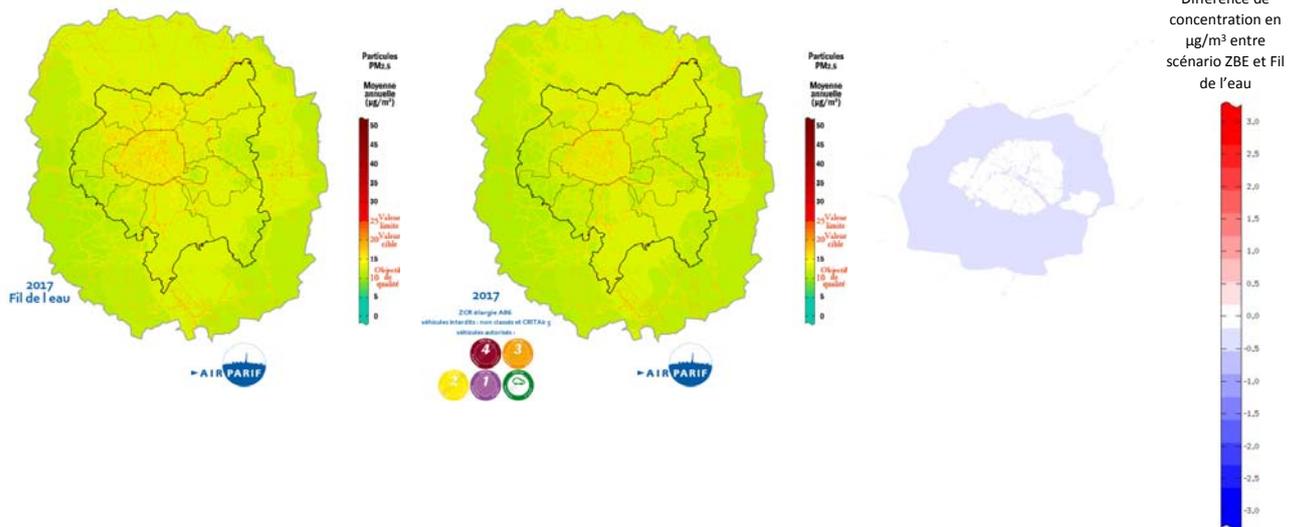
Cartographies des niveaux annuels de PM_{2.5} autour du périmètre de la MGP pour le Fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 4 étapes d'une ZBE parisienne (Boulevard Périphérique inclus) et différences de concentrations entre la ZBE et le Fil de l'eau.



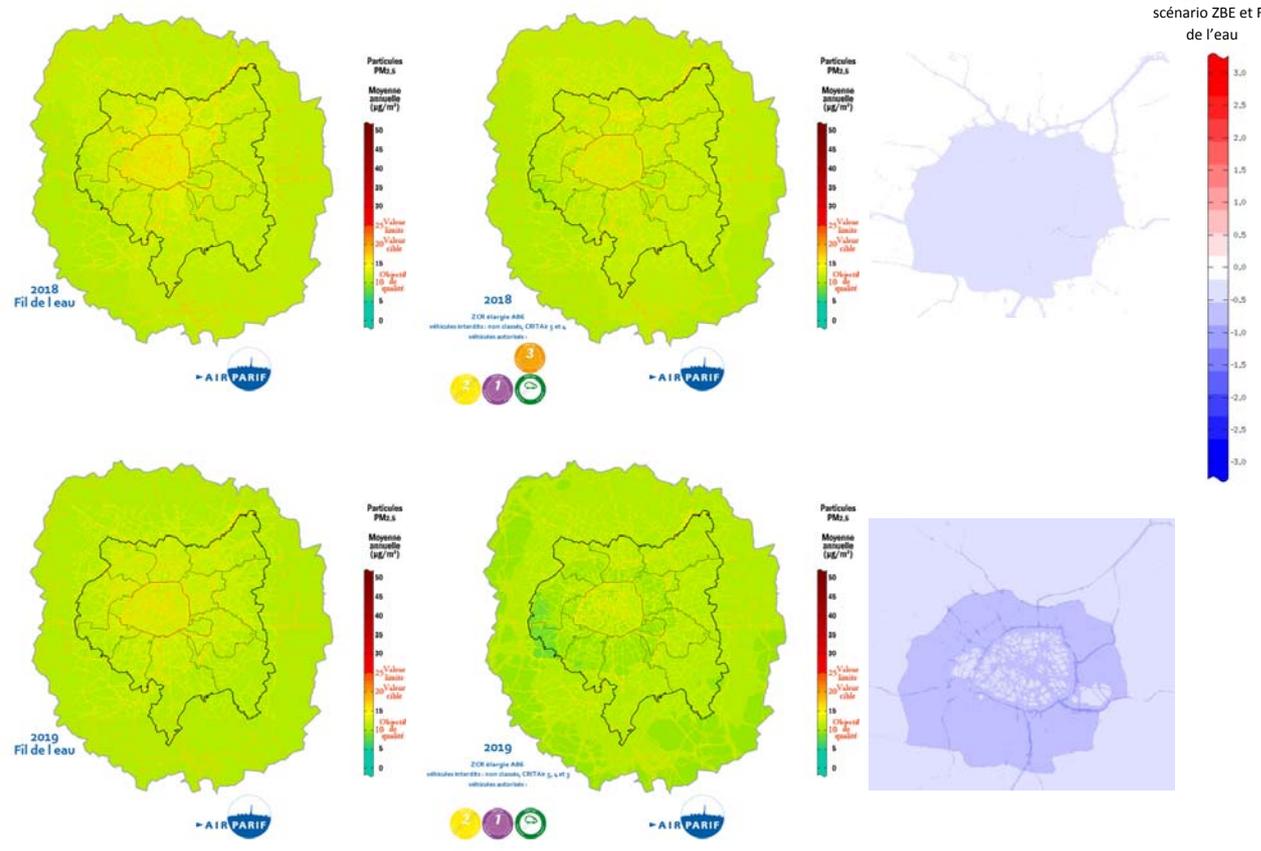
Cartographies des niveaux annuels de PM_{2.5} autour du périmètre de la MGP pour le fil de l'eau et pour 2 étapes d'une ZBE parisienne (sans BP) et différences de concentrations entre la ZBE et le fil de l'eau.



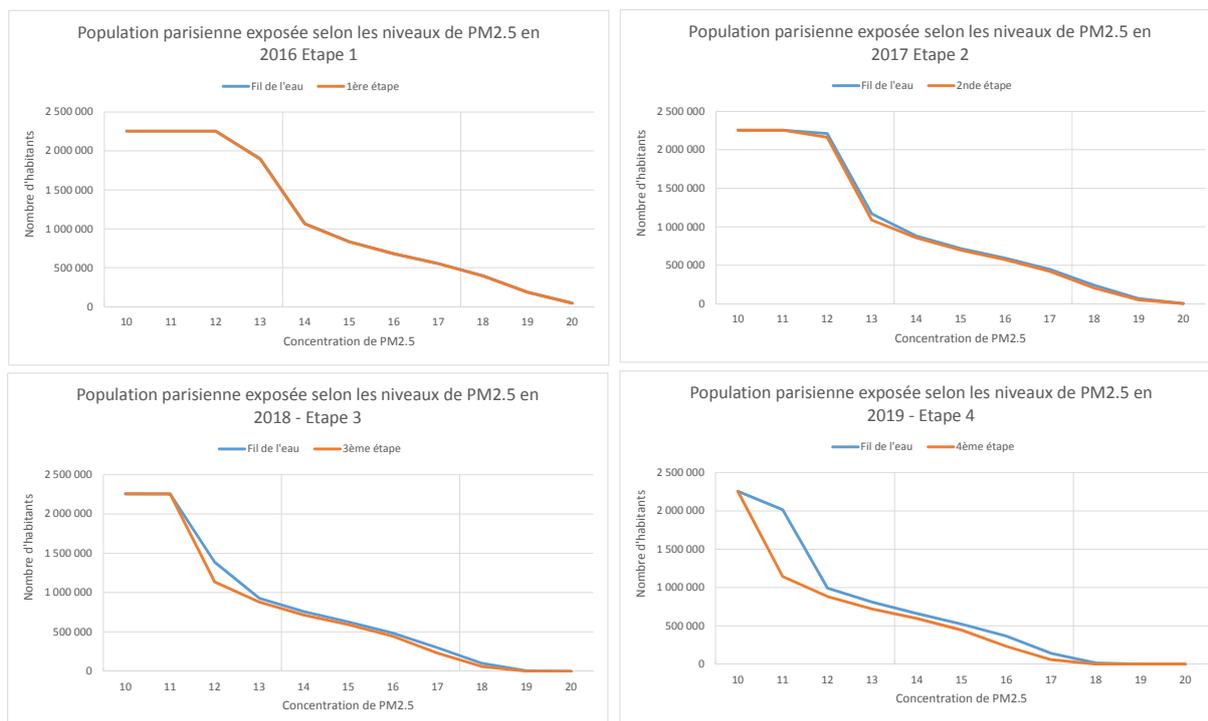
Cartographies des niveaux annuels de PM_{2.5} autour du périmètre de la MGP pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour 3 étapes d'une ZBE élargie à l'A86 et différences de concentrations entre la ZBE et le fil de l'eau.



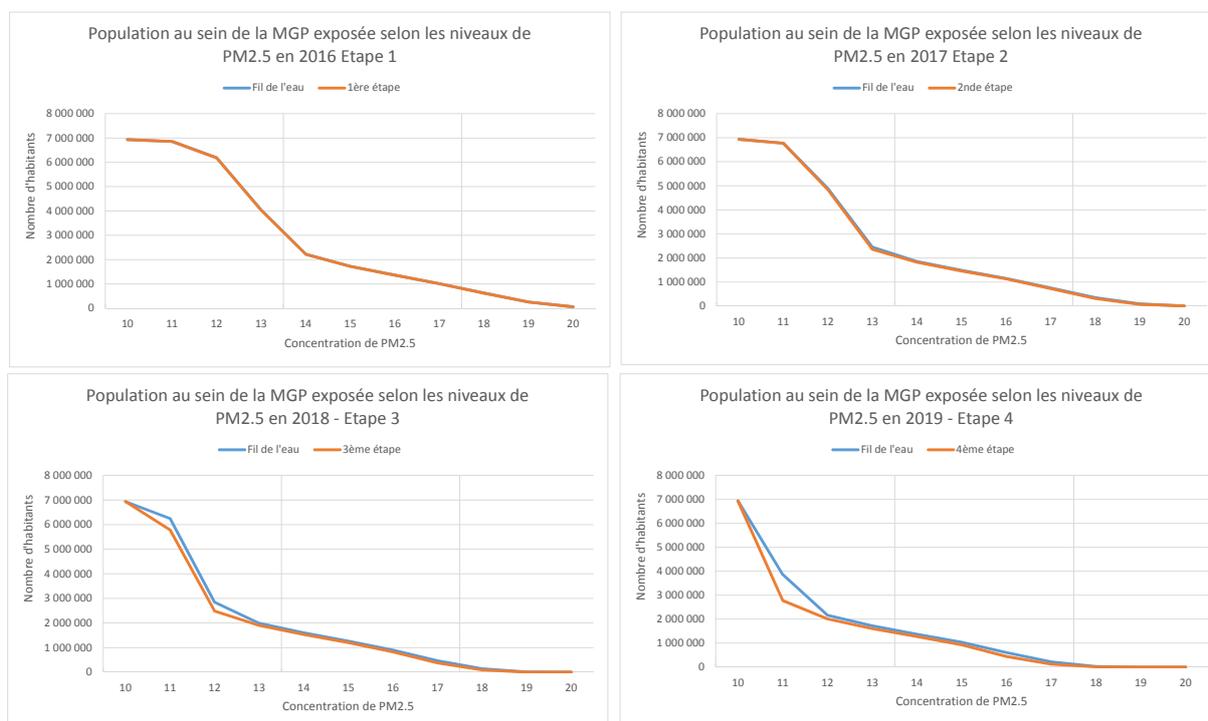
Différence de concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre scénario ZBE et Fil de l'eau



Annexe 9 : Population résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) exposée par classes de concentrations de particules PM_{2.5} selon les étapes et scénarios



a) Paris

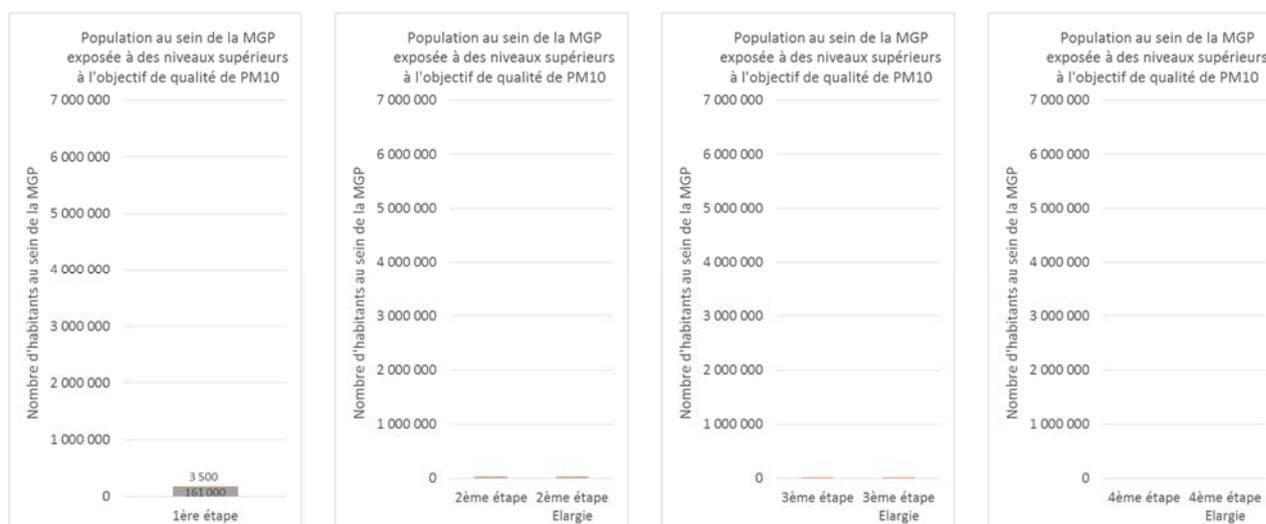


b) Métropole du Grand Paris

Annexe 10 : Population résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) exposée à un dépassement de l'objectif de qualité pour les particules PM₁₀ selon les étapes et scénarios

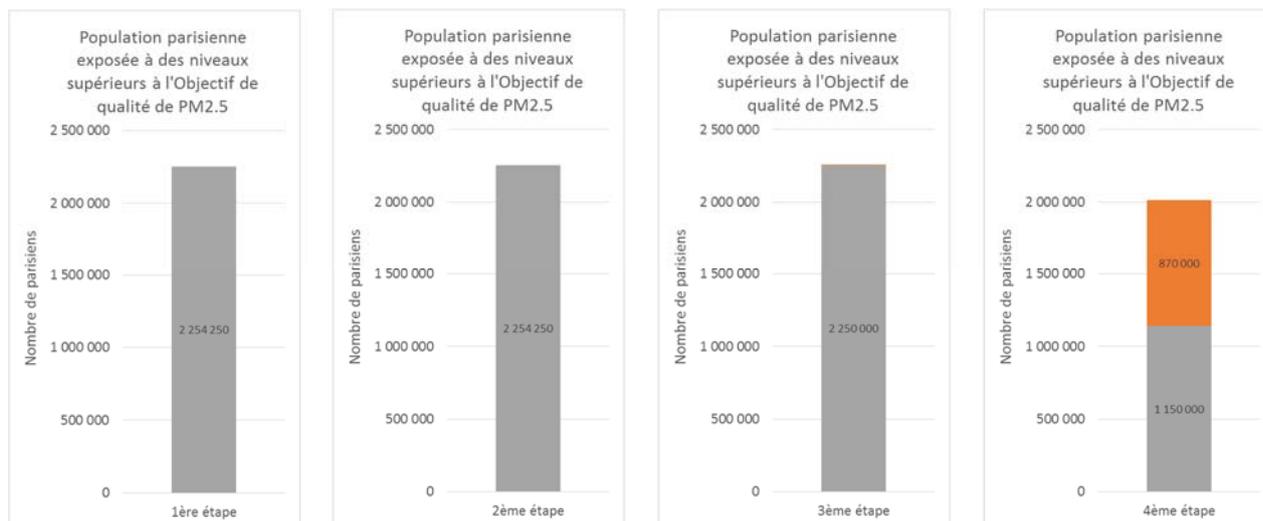


a) Paris

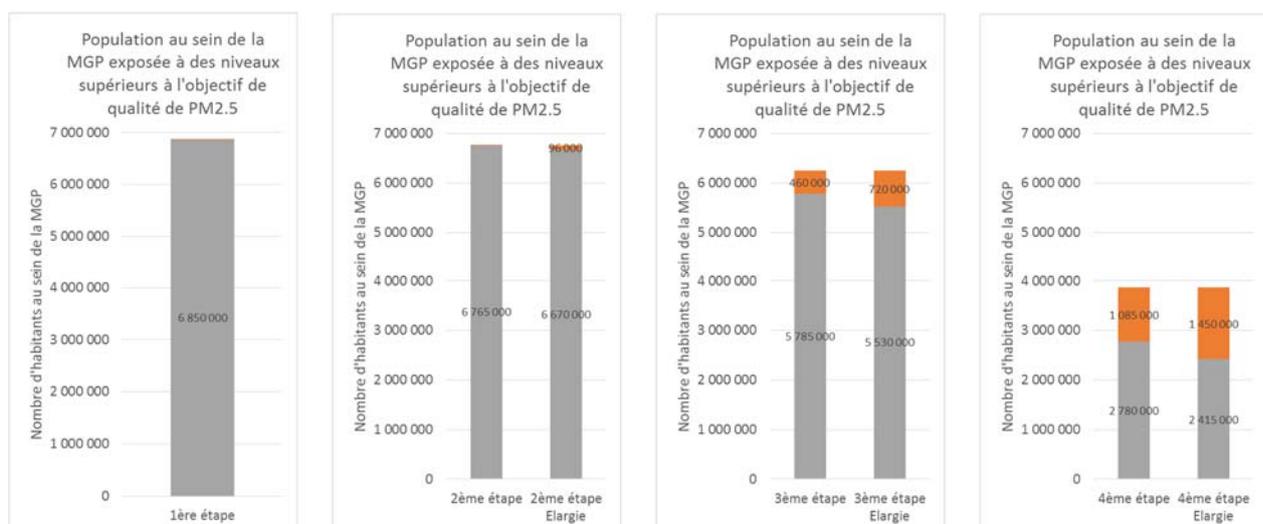


b) Métropole du Grand Paris

Annexe 11 : Population résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) exposée à un dépassement de l'objectif de qualité pour les particules PM_{2.5} selon les étapes et scénarios

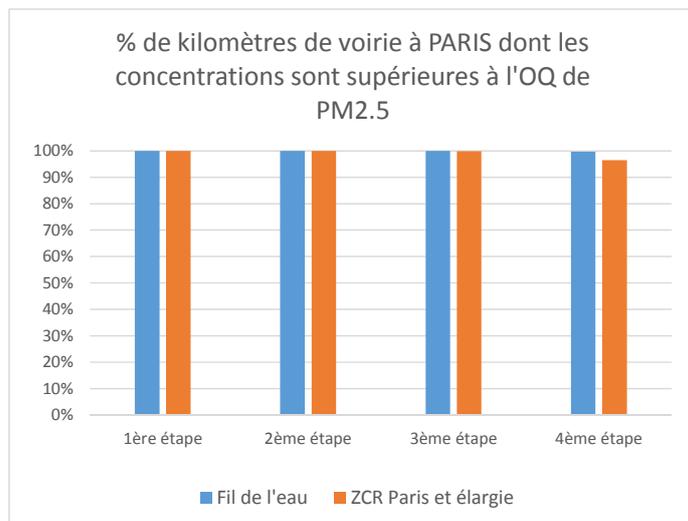


a) Paris

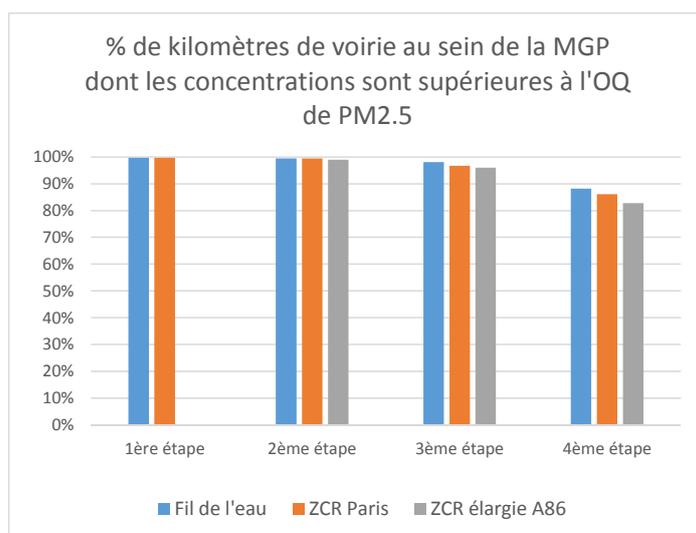


b) Métropole du Grand Paris

Annexe 12 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de l'objectif de qualité (OQ) annuel en PM_{2.5} à Paris et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) selon les étapes et scénarios

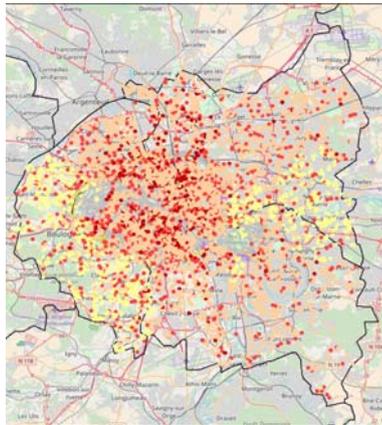


a) Paris

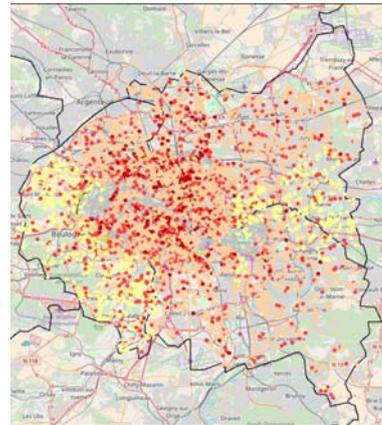


b) Au sein de la MGP

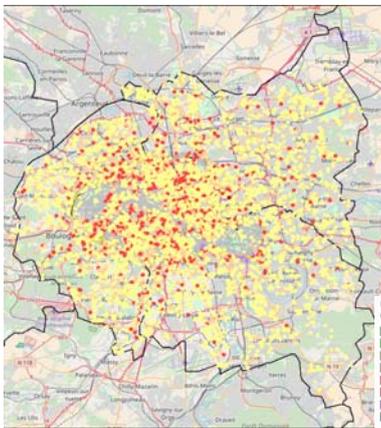
Annexe 13 : Cartographie des teneurs annuelles en PM₁₀ aux emplacements des ERP pour le Fil de l'eau et les scénarios ZBE de la 1^{ère} et la 4^{ème} étape



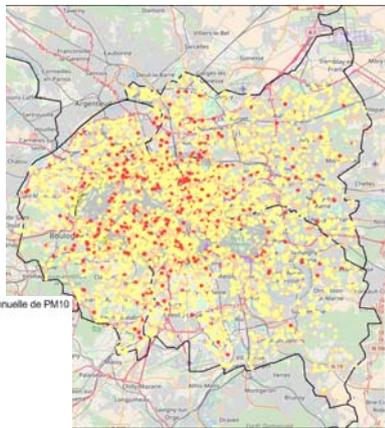
a) « Fil de l'eau » 2016



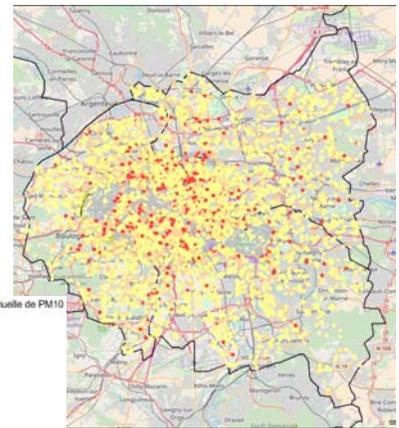
b) Restriction de circulation « Non Classés » à Paris



c) « Fil de l'eau » 2019

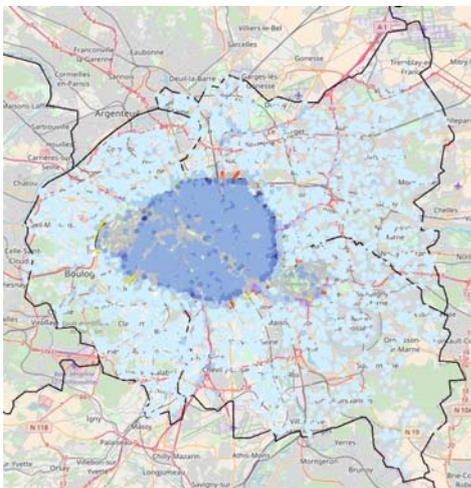


d) Restriction de circulation « Crit'Air 3 » à Paris

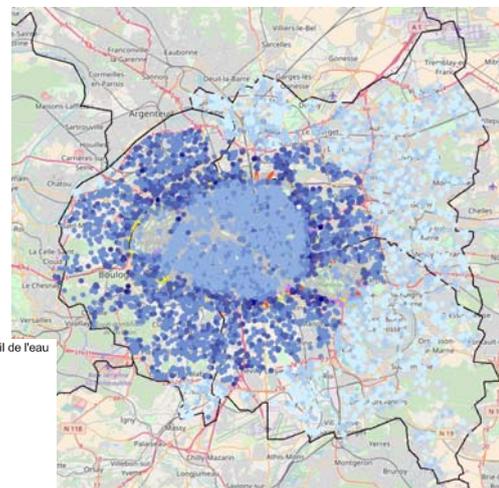


e) Restriction de circulation « Crit'Air 3 » intra A86

Différence de concentration annuelle en PM₁₀ sur l'ensemble des ERP étudiés entre les scénarios ZBE parisienne (a) et élargie à l'A86 (b) par rapport au « Fil de l'eau » en 2019

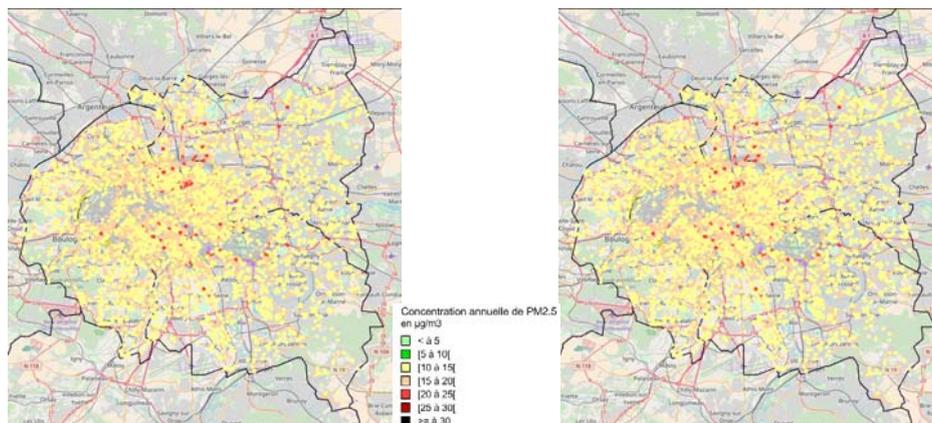


a) ZBE parisienne



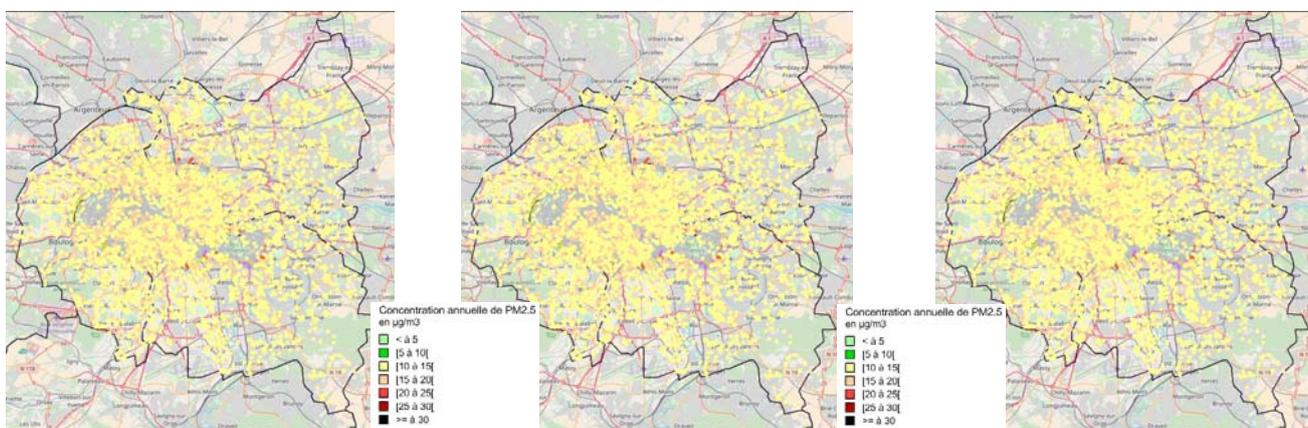
b) ZBE élargie à l'A86

Annexe 14 : Cartographie des teneurs annuelles en PM_{2.5} aux emplacements des ERP pour le Fil de l'eau et les scénarios ZBE de la 1^{ère} et la 4^{ème} étape



a) « Fil de l'eau » 2016

b) Restriction de circulation « Non Classés » à Paris



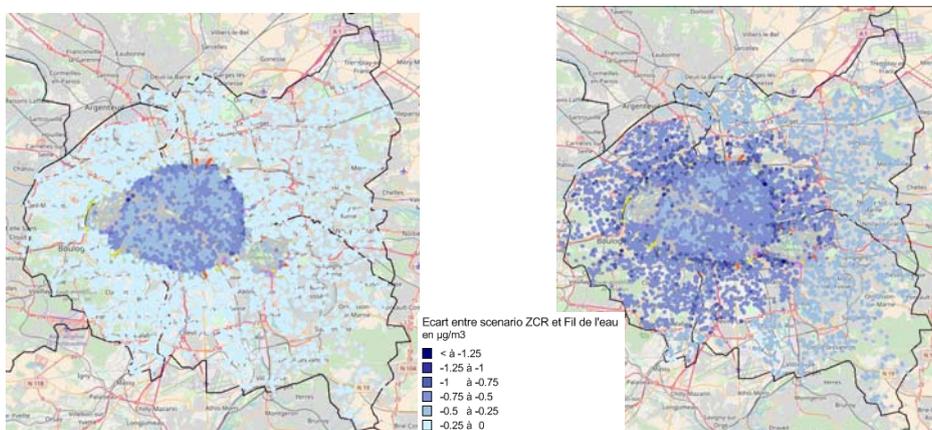
c) « Fil de l'eau » 2019

d) Restriction de circulation « Crit'Air 3 » à Paris

e) Restriction de circulation

« Crit'Air 3 » intra A86

Différence de concentration annuelle de PM_{2.5} sur l'ensemble des ERP étudiés entre les scénarios ZBE parisienne (a) et élargie à l'A86 (b) par rapport au « Fil de l'eau » en 2019



a) ZBE parisienne

b) ZBE élargie à l'A86

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Axes routiers modélisés de la ZBE élargie (en rouge) dans le périmètre délimité par l'autoroute urbaine A86.	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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière pour les particules PM_{10} sur la petite couronne et zoom sur Paris pour l'année 2015.	17
Figure 4 : Concentration moyenne annuelle de particules PM_{10} sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.	18
Figure 5 : Concentration moyenne annuelle de particules $\text{PM}_{2,5}$ sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.	19
Figure 6 : Concentration moyenne annuelle de dioxyde d'azote (NO_2) sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.	20
Figure 7 : concentration moyenne annuelle de benzène sur la petite couronne francilienne et zoom sur Paris en 2015.	20
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 2014.	21
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 2014.	22
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 2014.	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 d'une ZBE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la ZBE mise en œuvre.	30
Figure 16. Part des véhicules.kilomètres potentiellement touchés à Paris par la mise en œuvre d'une ZBE parisienne (fil de l'eau) et part des véhicules.kilomètres une fois la ZBE mise en œuvre selon la classification Crit'Air.	32
Figure 17 : Gains en émissions, à Paris avec le Bd Périphérique(a) et à Paris Intramuros (b), avec la mise en œuvre de la ZBE parisienne avec Boulevard Périphérique et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation pour les différentes étapes de la ZBE parisienne.	33

Figure 18 : Evolution des baisses d'émissions sur le périmètre parisien pour les 4 étapes définies entre 2016 et 2019 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZBE au sein de la Capitale).	35
Figure 19 : Ratio entre les gains en émissions attendus avec la mise en œuvre de la ZBE et la part des kilomètres concernés par les restrictions de circulation à Paris : périmètre comprenant le Bd Périphérique (a) et périmètre Paris Intramuros (b).	36
Figure 20 : Gains en émissions en dehors de Paris avec la mise en œuvre de la ZBE parisienne et part des kilomètres parcourus en dehors de Paris par les véhicules concernés par les restrictions de circulation, en lien avec la ZBE, pour les quatre étapes de la ZBE parisienne.	37
Figure 21 : Gains en émissions, au sein de la zone délimitée par l'A86, avec la mise en œuvre de la ZBE élargie et part des kilomètres parcourus par les véhicules concernés par les restrictions de circulation pour les trois étapes de la ZBE élargie entre 2017 (2 ^{ème} étape) et 2019 (4 ^{ème} étape).	38
Figure 22 : Gains en émissions en dehors du périmètre délimité par l'A86 avec la mise en œuvre de la ZBE élargie et part des kilomètres parcourus en dehors de l'intra A86 par les véhicules concernés par les restrictions de circulation de la ZBE élargie pour les trois étapes entre 2017 et 2019.	38
Figure 23 : Evolution des gains d'émissions de NO _x , PM ₁₀ et PM _{2.5} liés au trafic routier à l'échelle régionale selon le périmètre de la ZBE : ZBE parisienne et ZBE élargie à l'A86.	39
Figure 24 : Evolution des baisses d'émissions de CO ₂ sur le périmètre parisien pour les 4 étapes définies entre 2016 et 2019 (fil de l'eau versus mise en œuvre d'une ZBE au sein de la Capitale).	39
Figure 25 : Ratio entre les gains en émissions de CO ₂ attendus avec la mise en œuvre de la ZBE 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).	40
Figure 26 : Cartographies des niveaux annuels de NO ₂ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 4 étapes d'une ZBE parisienne (Boulevard Périphérique inclus) et différences de concentrations entre le scénario ZBE et le fil de l'eau.	42
Figure 27 : Cartographies des niveaux annuels de NO ₂ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 2 dernières étapes d'une ZBE parisienne (sans Boulevard Périphérique) et différences de concentrations entre le scénario ZBE et le fil de l'eau.	43
Figure 28 : Cartographies des niveaux annuels de NO ₂ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 3 étapes d'une ZBE élargie à l'A86 et différences de concentrations entre le scénario ZBE et le fil de l'eau.	44
Figure 29 : Cartographies des niveaux annuels de PM ₁₀ dans le périmètre de la Francilienne pour le fil de l'eau de chaque année étudiée et pour les 4 étapes d'une ZBE parisienne (Boulevard Périphérique inclus) et différences de concentrations entre la ZBE et le fil de l'eau.	45
Figure 30 : Population résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) exposée par classes de concentrations de dioxyde d'azote selon les étapes et scénarios.	48
Figure 31 : Population résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) exposée par classes de concentrations de particules PM ₁₀ selon les étapes et scénarios.	49
Figure 32 : 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 d'une ZBE.	50
Figure 33 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la VL annuelle en NO ₂ résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) selon les étapes et scénarios.	51

Figure 34 : Indicateurs de population exposée à des dépassements de la recommandation de l'OMS de 20 µg/m ³ en moyenne annuelle en PM ₁₀ résidant à Paris (a) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (b) selon les étapes et scénarios.	52
Figure 35 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO ₂ à Paris (à gauche) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (à droite) selon les étapes et scénarios.....	54
Figure 36 : Pourcentage de kilomètres de voirie exposée à des dépassements de l'objectif de qualité en PM ₁₀ à Paris (à gauche) et dans la Métropole du Grand Paris (MGP) (à droite) selon les étapes et scénarios.....	54
Figure 37 : Croisement de la géolocalisation des ERP au sein de Paris et de la Petite Couronne avec les données de pollution cartographiées sur un maillage de 50 m.....	55
Figure 38 : Cartographie des teneurs annuelles de NO ₂ aux emplacements des ERP pour le fil de l'eau et selon les scénarios ZBE de la 1 ^{ère} et la 4 ^{ème} étape.	56
Figure 39 : Différence de concentration annuelle en NO ₂ sur l'ensemble des ERP étudiés entre les scénarios ZBE parisienne (a) et élargie à l'intra A86 (b) par rapport au « Fil de l'eau » en 2019.	57
Figure 40 : Nombre d'établissements recevant un public sensible dans Paris et la Petite Couronne par tranches de concentrations, selon les étapes et les scénarios ZBE étudiés.....	58
Figure 41 : Nombre d'établissements recevant un public sensible dans Paris et la Petite Couronne par tranches de concentrations, selon les scénarios ZBE étudiés.	59
Figure 42 : Nombre d'établissements recevant un public sensible dans Paris et la Petite Couronne, par tranches de concentrations, selon les scénarios ZBE étudiés.....	61
Figure 43 : Tableau de synthèse des émissions liées au trafic routier pour une situation « Fil de l'eau » et selon les différents scénarios d'une ZBE. Le pourcentage de diminution des émissions est exprimé au regard des émissions du périmètre intra A86 et est indiqué entre parenthèses.	62
Figure 44 : Tableau de synthèse de la population exposée à des dépassements de la valeur limite (VL) annuelle en NO ₂ pour une situation « Fil de l'eau » et selon les différents scénarios d'une ZBE. Le pourcentage de diminution de l'exposition est exprimé au regard de la population de la MGP et est indiqué entre parenthèses.	62