www.atmonormandie.fr

Evaluation de l'impact sur la qualité de l'air de dispositifs de réduction de la circulation routière sur l'agglomération rouennaise

Volet 1 : Mise en œuvre d'une zone à faibles émissions

ZFE-m

Référence : 2050-006

Diffusion : Juillet 2022

Atmo Normandie
3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN
Tél. : +33 2.35.07.94.30
Fax : +33 2.35.07.94.40
contact@atmonormandie.fr

Avertissement

Atmo Normandie est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Normandie. Elle diffuse des informations sur les problématiques liées à la qualité de l'air dans le respect du cadre légal et réglementaire en vigueur et selon les règles suivantes :

La diffusion des informations vers le grand public est gratuite. Atmo Normandie est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (www.atmonormandie.fr), ... Les documents ne sont pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

Lorsque des informations sous quelque forme que ce soit (éléments rédactionnels, graphiques, cartes, illustrations, photographies...) sont susceptibles de relever du droit d'auteur elles demeurent la propriété intellectuelle exclusive de l'association. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle de ces informations faites sans l'autorisation écrite d'Atmo Normandie est illicite et constituerait un acte de contrefaçon sanctionné par les articles L.335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle.

Pour le cas où le présent document aurait été établi pour partie sur la base de données et d'informations fournies à Atmo Normandie par des tiers, l'utilisation de ces données et informations ne saurait valoir validation par Atmo Normandie de leur exactitude. La responsabilité d'Atmo Normandie ne pourra donc être engagée si les données et informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées, quelles qu'en soient les répercussions.

Atmo Normandie ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels et publications diverses de toutes natures, quels qu'en soient les supports, résultant directement ou indirectement de ses travaux et publications.

Les recommandations éventuellement produites par Atmo Normandie conservent en toute circonstance un caractère indicatif et non exhaustif. De ce fait, pour le cas où ces recommandations seraient utilisées pour prendre une décision, la responsabilité d'Atmo Normandie ne pourrait en aucun cas se substituer à celle du décideur.

Toute utilisation totale ou partielle de ce document, avec l'autorisation contractualisée d'Atmo Normandie, doit indiquer les références du document et l'endroit où ce document peut être consulté.

Rapport n° 2050-006
Le 20/07/2022

Le rédacteur,
Jérôme Godart

Le responsable,
Christophe Legrand

Atmo Normandie – 3, Place de la Pomme d'Or - 76000 ROUEN
Tél. : 02 35 07 94 30 - mail : *contact@atmonormandie.fr*
www.atmonormandie.fr

Résumé

Cette étude évalue l'impact de la mise en place d'une zone à faible émission mobilité (ZFE-m) sur la qualité de l'air de la Métropole Rouen Normandie (MRN) et sur la population exposée aux dépassements de valeurs réglementaires. Le territoire de la MRN connait depuis de nombreuses années une situation de non-respect de la valeur limite règlementaire pour la protection de la santé humaine pour le dioxyde d'azote et la mise en œuvre d'une ZFE-m fait partie des outils réglementaires visant à la diminution des zones géographiques exposées à ces fortes concentrations de polluants.

La comparaison d'un scenario de trafic à l'horizon 2023, sans mise en œuvre d'une ZFE-m et ne prenant en compte que l'évolution naturelle du trafic et du parc routier, avec plusieurs scénarios incluant une ZFE-m, a permis d'évaluer l'impact d'une ZFE-m sur la qualité de l'air de la MRN. La ZFE-m étudiée aura des périmètres variables (incluant ou excluant les principaux axes structurants) et différents niveaux d'exclusion des véhicules selon les vignettes Crit'air. Les principales conclusions de cette étude sont :

- Au regard des hypothèses d'élaboration des modèles de trafic transmis par les services de la MRN, la mise en œuvre d'une ZFE-m a un effet bénéfique sur les émissions de polluants, sur les superficies et les populations exposées.
- Ces effets bénéfiques augmentent significativement avec l'exclusion de la classe Crit'air 3.
- Ces effets bénéfiques augmentent si les axes structurants sont inclus dans la ZFE-m
- Des effets bénéfiques de moindre importance sont mis en évidence dans la zone hors ZFE-m de la zone d'étude.

Le scénario S7, scénario défini par l'exclusion des classes Crit'air NC, 5, 4 et 3 et incluant les axes structurants est le scénario présentant les meilleurs résultats pour l'amélioration de la qualité de l'air en comparaison avec le fil de l'eau 2023.

Sommaire

1. Introduction 7

2. Présentation de l'étude, méthodologie et limites 9

2.1. Contexte 9

2.2. Définitions utiles pour la compréhension de l'étude 11

2.3. Approche méthodologique choisie 12

2.4. Les outils nécessaires à la modélisation et les données d'entrée 14

2.5. Les principales limites de l'étude 16

3. Traitement des résultats par l'exemple 17

3.1. Effet de l'évolution naturelle du parc automobile entre 2017 et 2023 17

3.2. Résultats pour les scénarios S5 et S6 : « Tout véhicule – NC,5,4 », avec et sans axes structurants 24

3.2.1. Impact de la ZFE-m (scénarios S5 et S6) sur les émissions de NO_2, les PM_{10} et les $PM_{2.5}$ 24

3.2.2. Impact de la ZFE-m (scénarios S5 et S6) sur les concentrations de NO_2, les PM_{10} et les $PM_{2.5}$ et les superficies exposées 29

4. Synthèse des résultats pour l'ensemble des scénarios 31

4.1. Résultats de l'impact sur les émissions de polluant pour l'ensemble des scénarios 31

4.2. Résultats de l'impact sur les superficies exposées pour l'ensemble des scénarios 32

4.3. Impact de la ZFE-m sur l'exposition des populations 33

4.4. Discussions sur les résultats 35

4.4.1. Importance du scénario « fil de l'eau 2023 » au regard des classes Crit'air exclues 35

4.4.2. Importance du scénario « fil de l'eau 2023 » au regard des classes Crit'air exclues 35

4.4.3. La prise en compte des axes structurants 35

4.4.4. Un effet bénéfique hors ZFE-m 35

5. Conclusion et perspectives 37

6. Annexes 39

6.1. Annexe 1 : Liste des communes du périmètre d'étude 39

6.2. Annexe 2 : Présentation du modèle SIRANE 40

6.3. Annexe 3 : Paramètres du modèle de trafic 42

6.4. Annexe 4 : présentation de l'outil CIRCUL'AIR 5.0 44

6.5. Annexe 5 : Atlas cartographique 46

6.5.1. Résultats du scénario 3 et 4 : exclusion VUL/PL Crit'air NC/5/4 : ZFE-m sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2022) 46

6.5.2. 48

6.5.2 Résultats du scénario 7 et 8 : exclusion tous véhicules Crit'air NC/5/4/3 : ZFEm sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2023) 53

6.5.3 53

NO_2 54

PM_{10} *56*
6.5.3. Résultats du scénario 5 et 6: « Tout véhicule – NC, 5, 4 » avec et sans axes structurants (mise en place éventuelle 1/7/2022) – Cartes PM_{10} et $PM_{2.5}$ *60*
PM_{10} *60*
$PM_{2.5}$ *62*
7. Bibliographie **65**

Sigles, symboles et abréviations

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'air
ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
CEN : Comité Européen de Normalisation
CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
CMM : Comparaison Modèle Mesure, outil interne de visualisation des données
CODERST : Conseil Département de l'Environnement, des Risques Sanitaires et Technologiques
COPERT : COmputer Programme to Calculate Émissions from Road Transport
CRIANN : Centre Régional Informatique et d'Applications Numériques de Normandie
CSS : Commission de Suivi de Site
DGFIP : Direction générale des Finances publiques
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
ECL : Ecole Centrale de Lyon
EMEP : European Monitoring and Evaluation Programme
ERP : Etablissement Recevant du Public
ESMERALDA : ÉtudeS MultiRégionALes De l'Atmosphère
IGNF : Institut national de l'information géographique et Forestière
INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques
INSEE : Institut National de Statistique et des Etudes Économiques
LCSQA : Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air
MRN : Métropole Rouen Normandie
OLT : Objectif à Long Terme
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PCAET : Plan Climat Air Énergie Territorial
PCIT : Pôle National de Coordination des Inventaires Territoriaux
PDU : Plan de Déplacement Urbain
PL : Poids lourds (PLJO : trafic moyen PL pour un jour ouvré ; trafic moyen PL journalier annuel)
PLU : Plan Local d'Urbanisme
PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère
PCIT : Pôle national de Coordination des Inventaires Territoriaux
PREV'AIR : plateforme nationale de modélisation de la qualité de l'air
PRSE : Plan Régional Santé Environnement
SCoT : Schéma de Cohérence Territoriale
SOeS : Service d'Observation et des Études Statistiques
SPPPI : Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles
SRADDET : Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires
TMJA : Trafic moyen journalier annuel
TGAP : Taxe Générale sur les Activités Polluantes
VC : Valeur Cible
VL : Valeur Limite
VP : Véhicule Particulier
VPJO : trafic moyen VP pour un Jour Ouvré
VPJA : trafic moyen VP Journalier Annuel
VSA : Voiries Structurantes d'Agglomération
VUL : Véhicule Utilitaire Léger
VULJO : trafic moyen VUL pour un jour ouvré
VULJA : trafic moyen VUL journalier annuel
ZAG : Zone Agglomérée
ZAR : Zone A Risque
ZFE-m : Zones à faibles émissions mobilité

1. Introduction

Pour lutter contre la pollution de l'air et l'exposition des populations au dépassement des valeurs règlementaires, l'État souhaite accélérer la mise en place de zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m, cf. 0), avec pour ambition de ne plus constater de dépassements de seuils réglementaires pour les particules (PM_{10} et $PM_{2.5}$) et le dioxyde d'azote (NO_2), dès 2022 sur le territoire national.

Le territoire de la Métropole Rouen Normandie (MRN) connait depuis de nombreuses années[1] une situation de non-respect de la valeurs limite règlementaire pour la protection de la santé humaine pour le dioxyde d'azote.

La Métropole Rouen Normandie a été lauréate de l'appel à projet « Ville respirable en 5 ans » en 2018 en proposant une étude de faisabilité en vue de la mise en œuvre d'une Zone à Faible Emission (ZFE-m) sur son territoire, sur la base de plusieurs scénarios et plusieurs échéances temporelles.

Dans ce contexte la MRN et la DREAL ont conjointement sollicité Atmo Normandie pour les accompagner sur l'évaluation de l'impact de la mise en place d'une ZFE-m sur la qualité de l'air.

L'objectif de cette étude est d'évaluer pour différents scénarios l'impact de la mise en place d'une zone à faible émission mobilité au centre de la MRN sur les émissions de pollution liées au trafic, la qualité de l'air et plus précisément sur la population exposée au dépassement de valeurs réglementaires.

Ce rapport présente l'approche méthodologique choisie pour la réalisation de cette étude, le principe des calculs d'émissions et de la modélisation, les limites de l'approche ainsi que les résultats obtenus.
Le présent document est destiné en premier lieu à la Métropole Rouen Normandie et aux services de l'Etat en charge du sujet « mobilité ». Il est ensuite rendu disponible sur le site www.atmonormandie.fr pour tout public intéressé.

[1] Voir les bilans de la qualité de l'air en Normandie : http://www.atmonormandie.fr/Publications/Publications-telechargeables/Programmes-de-surveillance-Bilans

2. Présentation de l'étude, méthodologie et limites

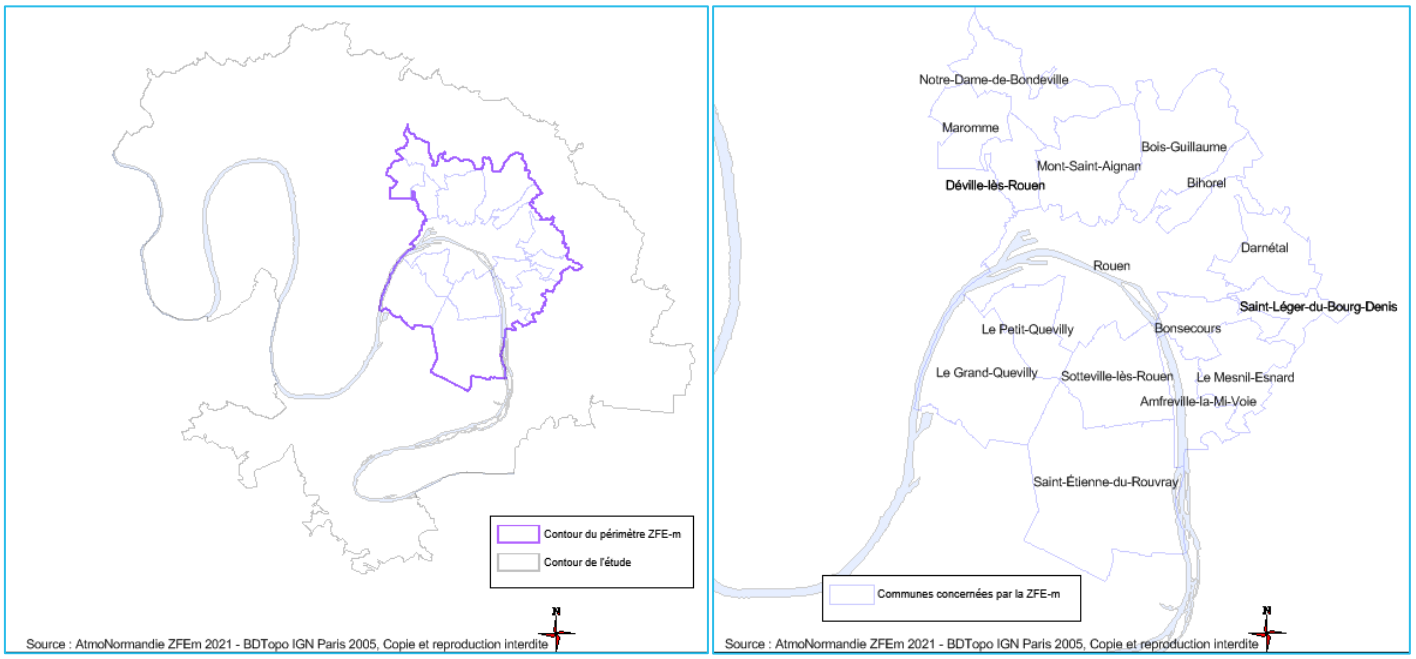
2.1. Contexte

Les Zones à Faibles Emissions sont des territoires dans lesquels est instaurée une interdiction des véhicules qui ne répondent pas à certaines normes des émissions. Cette sélection repose sur le système des vignettes Crit'air. Ces vignettes, mises en place par l'état français, permettent de classer les véhicules selon leur année de mise en circulation et leur type de carburation.

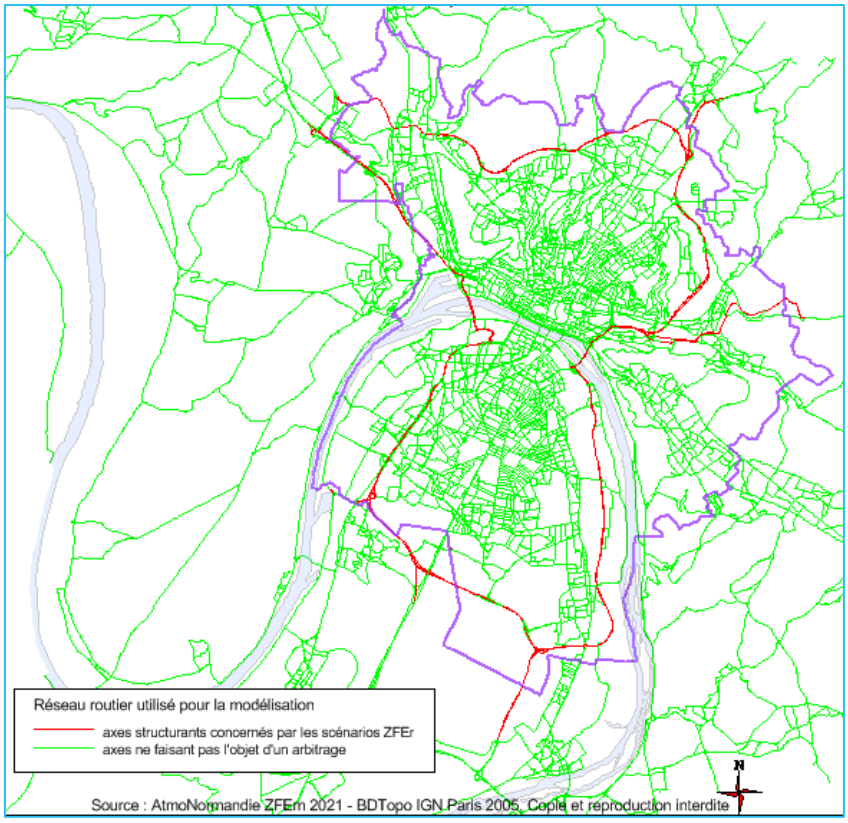
Le transport à l'échelle de la Métropole Rouen Normandie est en 2021 responsable de plus de 57% des émissions d'oxydes d'azote (et 27% dues au trafic routier) [1]. L'objectif d'une ZFE-m est de réduire notablement les quantités de polluants émis par le trafic routier, afin de réduire leurs concentrations dans l'air et d'améliorer la qualité de l'air respirée par la population.

Le périmètre de l'étude, présenté sur la carte de gauche (graphique 2-1), est composé des communes de la Métropole Rouen Normandie complétées des communes de Villers-Ecalles, Barentin, Pissy-Poville, Roumare, Saint Jean du Cardonnay, La Vaupalière et Montigny (voir annexe 1 pour la liste complète des communes). La carte de droite représente le périmètre géographique de la ZFE-m[2] avec le nom des communes associées. La zone complémentaire de l'étude est donc composée des communes de l'étude hors périmètre ZFE-m.

[2] Ce périmètre de l'étude est le périmètre initialement envisagé pour la définition de la ZFE-m.



Graphique 2-1 : carte illustrant le contour de l'étude avec en violet le périmètre de la ZFE-m et les communes associées sur la carte de droite



Graphique 2-2 : carte illustrant en rouge les axes structurants devant faire l'objet d'un arbitrage pour être inclus ou non dans la ZFE-m

La carte 2-2 illustre en rouge les axes structurants devant faire l'objet d'un arbitrage pour être inclus ou non dans la ZFE-m. Ces VSA (Voiries Structurantes d'agglomération) sont : A 150, Pont Flaubert (RN 1338), Voie Sud III (RN 338), RD 418, Boulevard Industriel (RD 18E), Pont Mathilde (RD 6028), RN 28, RN 31, RD 43 et RD 6015 (traversée de Maromme).

Les VSA sont donc des variantes de scénario.

Dans la suite du rapport, les précisions « Avec AS » ou « Sans AS » rappelleront pour chaque scénario s'il inclue ou non les VSA.

2.2. Définitions utiles pour la compréhension de l'étude

Modélisation : méthode mathématique qui, à partir de données d'entrée (par ex : trafic, météo, relief, voiries et bâti), permet d'estimer des concentrations de polluant sur un territoire.

Modèle de trafic : outil permettant d'estimer, à partir d'enquête ou de comptage réel, les charges de trafic journalier sur chaque tronçon routier, les différences de charges selon chaque scénario, les matrices de demande Véhicules légers (VL) et Poids lourds (PL), les parts modales, les véhicules*km, etc…

ZFE-m : Zone de faible émissions – mobilité
Une ZFE-m est une zone géographique dans laquelle la circulation (voire le stationnement) des véhicules les plus émetteurs de polluants atmosphériques à effets sanitaires, principalement particules et oxydes d'azote, est interdite. Elle contribue au renouvellement anticipé du parc routier. En France, les contraintes de circulation dans les ZFE-m sont établies à partir des certificats qualité de l'air (vignette Crit'air).

Valeurs Limites pour la qualité de l'air : C'est une valeur contraignante qui représente un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement.

Valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :
Les **valeurs guides** pour la qualité de l'air de l'**OMS** constituent des **recommandations** afin de réduire les effets sanitaires de la pollution de l'air.

Les classes Crit'air : Elles sont représentées sous forme de vignettes : Non classé et Crit'air 5 qualifient les véhicules les plus polluants, et zéro ou vert les véhicules non émissifs pendant le déplacement.

2.3. Approche méthodologique choisie

L'étude cherche à rendre compte de l'impact d'une restriction de circulation routière sur un territoire sur la qualité de l'air entre deux échéances, 2017 (état initial), année de l'enquête déplacement… et 2023 (scénarios prospectifs).

Pour l'évaluation des concentrations un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain a été utilisé : le modèle SIRANE 2.0. (voir annexe 2).

Le modèle SIRANE 2.0 est utilisé depuis plusieurs années par Atmo Normandie pour réaliser des bilans de la qualité de l'air sur certaines zones urbaines régionales et pour l'évaluation des plans et programmes mis en œuvre sur ces territoires. L'évolution prospective de la qualité de l'air à l'horizon 2023 a été étudiée selon deux scénarios : « scénario fil de l'eau » sans la mise en place de projets de ZFE-m et « scénario cible » avec la mise en place de projets de ZFE-m.

Le calcul des émissions et des concentrations a été effectué dans le domaine d'étude présenté dans le paragraphe contexte de ce rapport, et qui s'étend au-delà de la zone ZFE-m (voir paragraphe 2.1).

Les scénarios d'étude

Pour pouvoir différencier l'impact des différents scénarios de ZFE-m il est important que tous les paramètres nécessaires aux modélisations autres que ceux liés aux émissions du trafic routier soient identiques dans l'ensemble des simulations. Les principaux paramètres ne variant pas dans les différentes modélisations réalisées sont en particulier la météo, les concentrations de fond des polluants imputables aux activités humaines autres que la circulation routière, le tracé des axes routiers. Les paramètres qui évoluent entre les différentes simulations sont le nombre de véhicule et la nature des véhicules, en fonction des classes Crit'air autorisées dans chacun des scénarios, sur les axes routiers du domaine d'étude. Ces données de trafic sont fournies par la Métropole Rouen Normandie au travers du modèle de trafic élaboré par le bureau d'étude Explain. Elles sont complétées des données de description du parc roulant élaborées par le CITEPA pour différents horizons temporels et fournies par le ministère en charge de l'écologie [2] et [3].

Au fil du temps, le parc de véhicule évoluera d'une part par son renouvellement naturel et d'autre part par la contrainte due à la mise en œuvre de la ZFE-m qui exclura les véhicules les plus polluants de son périmètre. Pour comprendre l'impact respectif de ces deux évolutions il nous faudra comparer différents scénarios :

- L'impact de l'évolution du parc roulant liée au renouvellement naturel des véhicules sera évalué par la comparaison des scénarios nommées « état initial 2017 (S1) » et « fil de l'eau 2023 (S2) ».
- L'impact des restrictions de circulation pour certains types de véhicule en fonction de leur classe Crit'air sera évalué par la comparaison des scénarios ZFE-m exposés dans le tableau 2-1 (de S3 à S8) avec le « fil de l'eau 2023 (S2)».

Enfin, chaque scénario de restriction Crit'air est doublé afin de prendre en compte, ou non dans le périmètre ZFE-m les axes routiers structurants d'agglomération présentés dans le contexte (cf graphique 2-2).

L'ensemble des scénarios sont présentés dans le tableau suivant :

Num.	Nom des scenarios	Description des scenarios
S1	Etat initial 2017	Simulation permettant le calage du modèle multimodal à partir de l'ensemble des comptages routiers récupérés. Pour cette étude, l'année référence choisie est 2017
S2	Fil de l'eau 2023	Scénario de base, c'est-à-dire en ne prenant en compte que l'application des hypothèses d'évolution naturelle du parc automobile, sans mise en place de la ZFE-m. L'année choisie est 2023.
S3	VUL/PL NC/5/4 Axes Inclus	Exclusion VUL/PL Crit'air NC/5/4 : ZFE-m incluant axes structurants sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2022)
S4	VUL/PL NC/5/4 Axes Exclus	Exclusion VUL/PL Crit'air NC/5/4 : ZFE-m excluant axes structurants sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2022)
S5	Tous véhicules NC/5/4 Axes Inclus	Exclusion tous véhicules Crit'air NC/5/4 Axes Inclus : ZFE-m incluant axes structurants sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/7/2022)
S6	Tous véhicules NC/5/4 Axes Exclus	Exclusion tous véhicules Crit'air NC/5/4 : ZFE-m excluant axes structurants sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/7/2022)
S7	Tous véhicules NC/5/4/3 Axes Inclus	Exclusion tous véhicules Crit'air NC/5/4/3 Axes Inclus : ZFE-m incluant axes structurants sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2023)
S8	Tous véhicules NC/5/4/3 Axes Exclus	Exclusion tous véhicules Crit'air NC/5/4/3 : ZFE-m excluant axes structurants sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2023)

Tableau 2-1 : description des scénarios étudiés

Méthodologie d'exploitation des résultats

Sur la base des scénarios définis par la Métropole, la Métropole Rouen Normandie a fourni à Atmo Normandie les 8 modélisations de trafic nécessaires au calcul des émissions de polluants liées au trafic routier et à la modélisation des champs de concentration du dioxyde d'azote, des PM_{10} et des $PM_{2.5}$. Ces modélisations ont été élaborées par le bureau d'étude Explain [4].

Le croisement des champs de concentration avec les données de population permet d'estimer pour chaque scénario la population exposée à des concentrations de polluants supérieures aux différents seuils, tels que les valeurs limites européennes ou les recommandations de l'OMS 2005[3].

L'exploitation des résultats se base sur une comparaison des scénarios entre eux pour quantifier les gains d'émissions de polluant, de nombre d'habitants exposés au-delà des différents seuils et de la surface exposée au-delà des différents seuils.

Le chapitre « Résultats » détaille selon un cheminement complet l'étude de l'impact de l'évolution naturelle du parc automobile entre 2017 et 2023 (sans ZFE-m) dans un premier temps, puis l'impact des scénarios ZFE-m S5 et S6 par rapport au « fil de l'eau 2023 (S2) ».

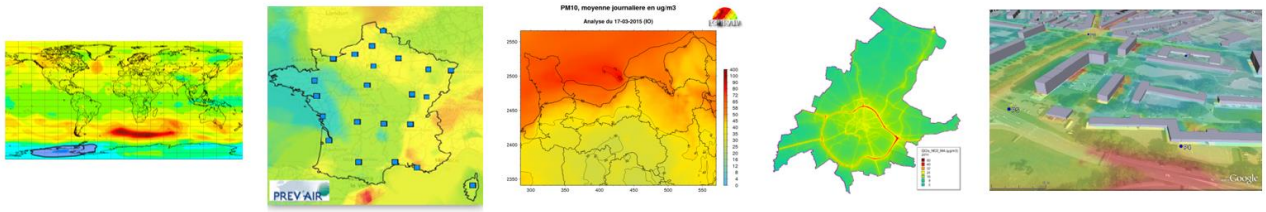
Pour les autres scénarios, seuls les résultats synthétiques seront présentés, le détail des résultats sera proposé en annexe 4.

[3] L'étude prend en compte les recommandations publiées en 2005. De nouvelles recommandations ont été publiées en octobre 2021. Ces nouvelles recommandations ne sont pas prises en compte dans cette étude.

2.4. Les outils nécessaires à la modélisation et les données d'entrée

La modélisation de la qualité de l'air permet d'estimer les concentrations de polluants en tout point d'un territoire étudié.

Il existe différentes échelles géographiques de modélisation pour différentes utilisations finales, de la prévision des épisodes de pollution au diagnostic annuel ou aux études prospectives (Graphique 2-3).



Graphique 2-3 : Illustration des différentes échelles de modélisation des concentrations de polluants atmosphériques.

Pour évaluer l'impact de la mise en place d'une ZFE-m sur un territoire, une modélisation à l'échelle dite « urbaine » est la plus adaptée (Graphique 2-3). Pour cela, l'outil de modélisation SIRANE, développé par le Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA) de l'Ecole Centrale de Lyon (ECL) a été utilisé. SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain à l'échelle d'un quartier (échelle de l'ordre de 1 km à 10 km). Il permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones constituées essentiellement de rues bordées de bâtiments. Sa description détaillée se trouve en annexe 2 [5].

Les principales données d'entrée nécessaires au modèle sont les suivantes :

- La structure du réseau routier

Elle est issue du modèle multimodal de déplacement fourni par la Métropole de Rouen Normandie. Ce modèle multimodal regroupe les nombreux paramètres nécessaires à la caractérisation des rues ainsi qu'aux calculs des émissions de polluants (nombre de voies, largeur des voies de circulation, vitesse, importance, pente, capacité, …).

Afin de construire le modèle de dispersion de polluant, il faut connaitre finement la géométrie des bâtiments jouxtant les voies. Ces paramètres sont fournis par la BDTopo de l'IGN.

- Les données de modélisation de trafic (voir annexe 3)

Pour chacun des scénarios étudiés, il est nécessaire d'estimer les charges de trafic sur chaque tronçon (VL, VUL, PL) afin de pouvoir calculer les émissions de polluants. Cette charge de trafic est calculée par le modèle de trafic élaboré par le bureau d'étude Explain à partir du modèle multimodal de déplacement développé pour la MRN.

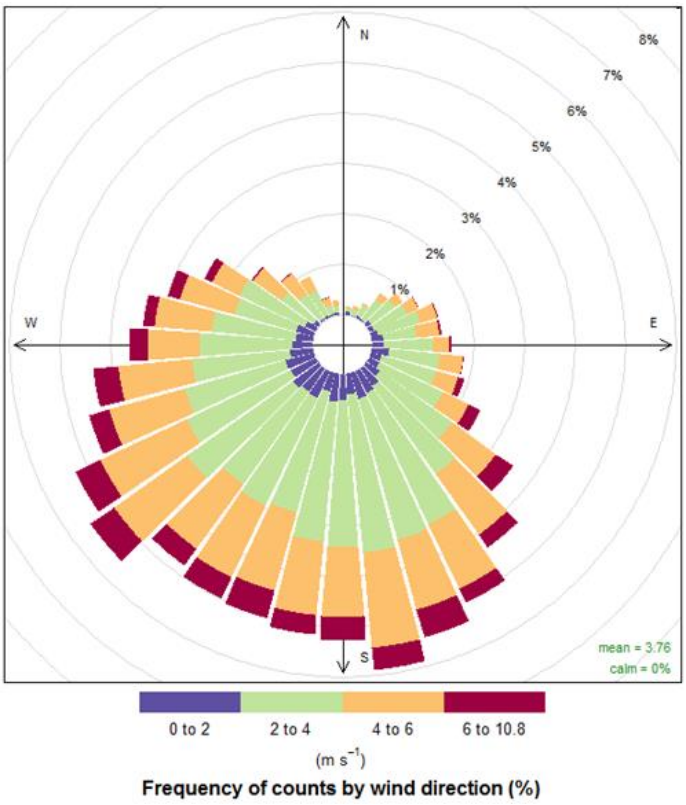
Le modèle de trafic fournit pour chaque tronçon du réseau routier de la MRN une valeur de trafic moyen sur l'année, et cela pour les différents scénarios : l'état référence 2017, le « fil de l'eau » 2023, et 6 scénarios « cibles » pour l'échéance 2023.

- Les émissions de polluants calculées sur chaque tronçon du réseau routier du modèle de dispersion

Les émissions de polluants (NO_2, PM_{10} et $PM_{2.5}$) sont estimées avec l'outil de calcul CIRCUL'AIR 5.0 développé par l'ATMO GE (AASQA de la Région Grand Est). CIRCUL'AIR 5.0 [6] se base sur la méthodologie européenne de calcul des émissions du transport routier COPERT V et sur les recommandations du PCIT2 secteur routier [7]. Une description technique de l'outil Circul'air annexe 4.

- Les données météorologiques

Afin de comparer les effets de chaque scénario par rapport à l'état initial et/ou fil de l'eau, un unique fichier Météo a été utilisé, composé des données moyennés sur les années 2016 et 2017 afin de lisser les variations interannuelles inhérentes à la météorologie. Les paramètres météo pris en compte sont : Direction du vent, Vitesse du vent, Température, Pluviométrie, Nébulosité (source Météo France station Rouen-Boos). Le graphique 2-4 illustre la rose des vents sur la période météorologique retenue pour l'étude.



Graphique 2-4 : rose des vents utilisée pour l'étude (données moyennes 2016/2017).

- La pollution de fond

Pour les mêmes raisons, un unique fichier de pollution de fond a été utilisé, composé des données horaires 2017 des stations urbaines/périurbaines d'Atmo Normandie sur le périmètre d'étude (Petit Quevilly Piscine, Rouen Palais de Justice, CHS du Rouvray).

- Spatialisation de la population

La spatialisation de la population aux bâtiments est fournie par le LCSQA selon une méthodologie nationale basée sur les données MAJIC de l'INSEE, la structure des bâtiments issue de l'IGN et les bases de données de la DGFIP. C'est la spatialisation de l'année 2016 (dernière année disponible au moment de l'étude) qui a était utilisée pour tous les scénarios. [8].

2.5. Les principales limites de l'étude

Limites liées aux hypothèses sur la scénarisation du trafic routier.

Les principales hypothèses utilisées lors des modélisations de trafic par le bureau d'étude Explain concernent :

- Le report modal lié à l'exclusion de certains types de véhicules dans le périmètre de la ZFE
- Le changement d'itinéraire pour les trafics de transit afin d'éviter la ZFE.
- Les adaptions de véhicule de certains usagers, essentiellement les professionnels, pour pouvoir circuler dans la ZFE

L'ensemble des hypothèses relative à la scénarisation du trafic routier est listé dans le document : « Etudes d'extension de la ZFE-m : Hypothèses retenues pour la modélisation des trafics » v. du 30 juin 2021 Métropole Rouen Normandie [4]. La pertinence des scénarios de modélisation des trafics routiers devra être vérifiée à terme.

Limites liées aux hypothèses de périmètre de la ZFE-m

Le choix définitif du périmètre de la ZFE-m par la MRN pourra être différent de celui envisagé pour l'étude. Cela pourra influer sur les résultats en termes de surface et de population exposées au-delà des seuils réglementaires.

Limites liées aux hypothèses pour le calcul des émissions

Une limite de l'étude est le fait que le calcul des émissions du trafic routier se base notamment sur la composition d'un parc automobile national prospectif pour l'année 2023 : en effet, rien ne garantit que le renouvellement du parc automobile par la population ne suive cette tendance.

De plus, les facteurs d'émission applicables au trafic routier, sont porteurs d'une incertitude et pourront évoluer dans le futur avec l'amélioration des connaissances.

Limites liées aux hypothèses pour le calcul des concentrations et des expositions

La modélisation des concentrations est réalisée pour des conditions météorologiques fixées au préalable, calculées sur la moyenne des observations météo des années 2016 et 2017. Or, le calcul des concentrations est sensible aux conditions météorologiques choisies pour les réaliser.

La méthodologie nationale de spatialisation de la population fournit le nombre d'habitants au lieu de leur domicile. Il existe donc un biais inhérent à la méthode de calcul de l'exposition avec le croisement des concentrations annuelles, la population pouvant être exposée aux polluants en d'autres lieux (dans la voiture, sur le lieu de travail, de loisirs…)

Le calcul d'exposition n'est réalisé qu'au regard des seuils réglementaires définis en moyenne annuelle car l'outil SIRANE utilisé pour la spatialisation ne permet pas de réaliser des évaluations aux regards des seuils définis en nombre de jour ou d'heure de dépassement d'une valeur de concentration donnée. Cependant, ces seuils définis en nombre de jours ou d'heures ne sont pas dépassés sur la métropole.

L'évolution des seuils de recommandation de l'OMS d'octobre 2021

En octobre 2021, l'Organisation Mondiale de la Santé a publié une actualisation de ses recommandations pour la protection de la santé humaine. Cette actualisation, en particulier concernant la recommandation pour le NO_2, avec une évolution de 40 µg/m^3 à 10 µg/m^3 en moyenne annuelle. Cette actualisation a pour conséquence qu'une grande majorité du territoire de la MRN est concernée par le dépassement du seuil OMS pour ce polluant.

3. Traitement des résultats par l'exemple

Ce chapitre a pour objectif de présenter au lecteur les méthodes d'analyse des données issues des calculs d'émissions et des modélisations des champs de concentration. Il portera dans un premier temps sur l'impact de l'évolution naturelle du parc automobile et de ses conséquences sur les émissions et sur les champs de concentration futurs de polluants. Dans un deuxième temps, une analyse des scénarios S5 et S6 est proposée (mise en œuvre d'une ZFE-m).

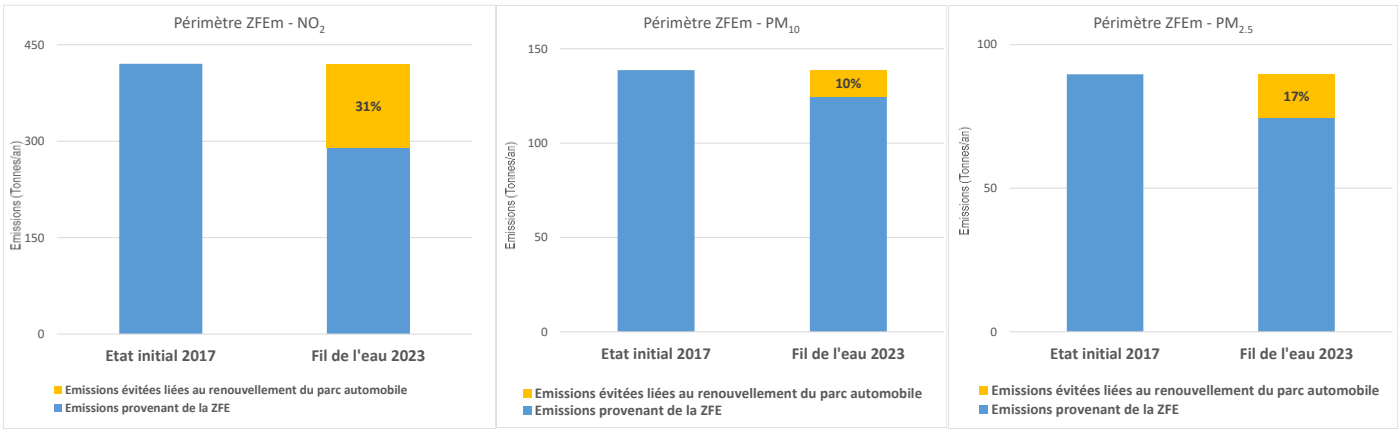
La synthèse des résultats pour l'ensemble des scénarios sur les émissions, sur les superficies exposées à des dépassements de seuil et sur la population concernée est présentée dans le chapitre 4.

3.1. Effet de l'évolution naturelle du parc automobile entre 2017 et 2023

L'évolution des émissions de polluants du trafic routier

Le graphique 3-1 présente pour les trois polluants étudiés la réduction des émissions liée à l'évolution naturelle du parc automobile entre les années 2017 et 2023. L'évolution du parc automobile entre ces deux dates est décrite en annexe 3. Dans le périmètre de la ZFE-m, le renouvellement du parc automobile entre 2017 et 2023 permet à lui seul de baisser les émissions de dioxyde d'azote liées au trafic routier de 31% (passant de 420 à 290 Tonnes/an), les émissions de PM10 de 10% (passant de 139 à 125 Tonnes/an) et les émissions de PM2.5 de 17% (passant de 90 à 75 Tonnes/an). Cette réduction des émissions est complètement liée à l'amélioration des motorisations pour les véhicules thermiques et l'augmentation en proportion des véhicules électriques. La diminution n'est pas imputable à une diminution du trafic car le scénario « fil de l'eau 2023 » prend en compte une augmentation du trafic routier de +2% entre 2017 et 2023. La diminution moindre constatée pour les émissions de particules s'explique par l'origine des particules émises par le trafic routier. Ces particules proviennent d'une part de la combustion des carburants dans les moteurs à explosion et d'autre part de l'érosion mécanique (usure des freins et des pneus, abrasion de la route, remise en suspension de particule sur la bande de roulage…). L'évolution du parc de véhicule aura surtout pour conséquence de diminuer les émissions de

Graphique 3-1 : Comparaison des émissions entre l'état initial 2017 et le fil de l'eau 2023



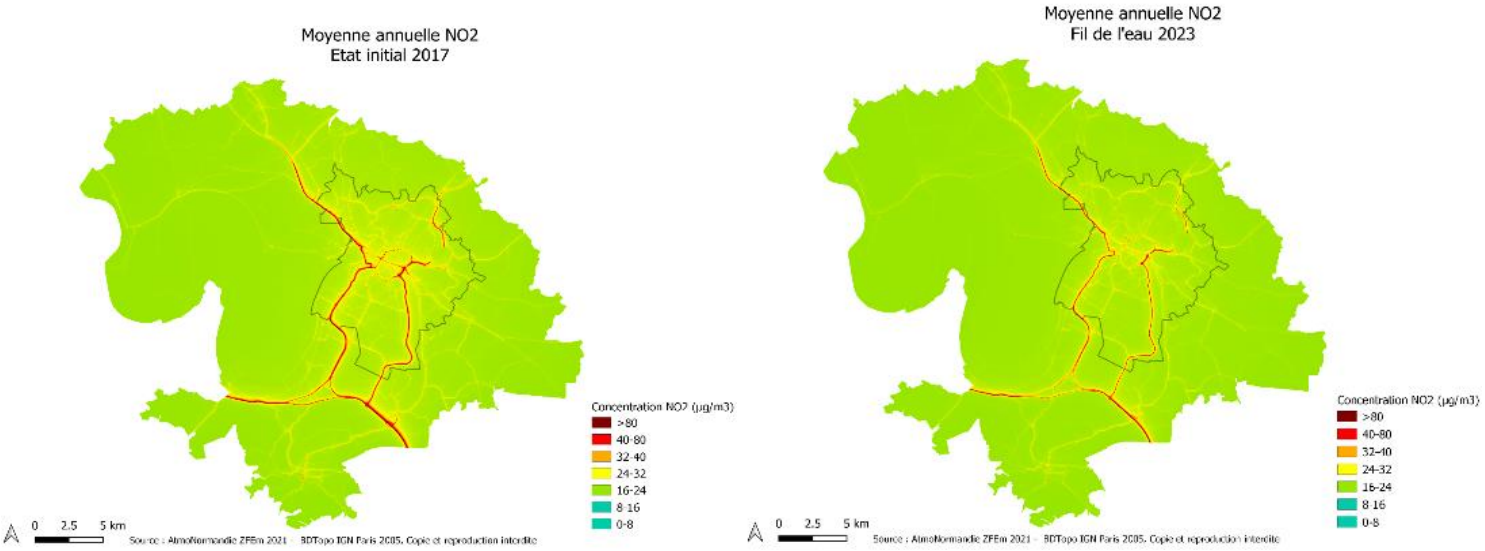
particules qui ont pour origine la combustion des carburants. En revanche, les émissions de particules ayant pour origine l'érosion mécanique seront surtout sensibles au nombre de kilomètre roulés.

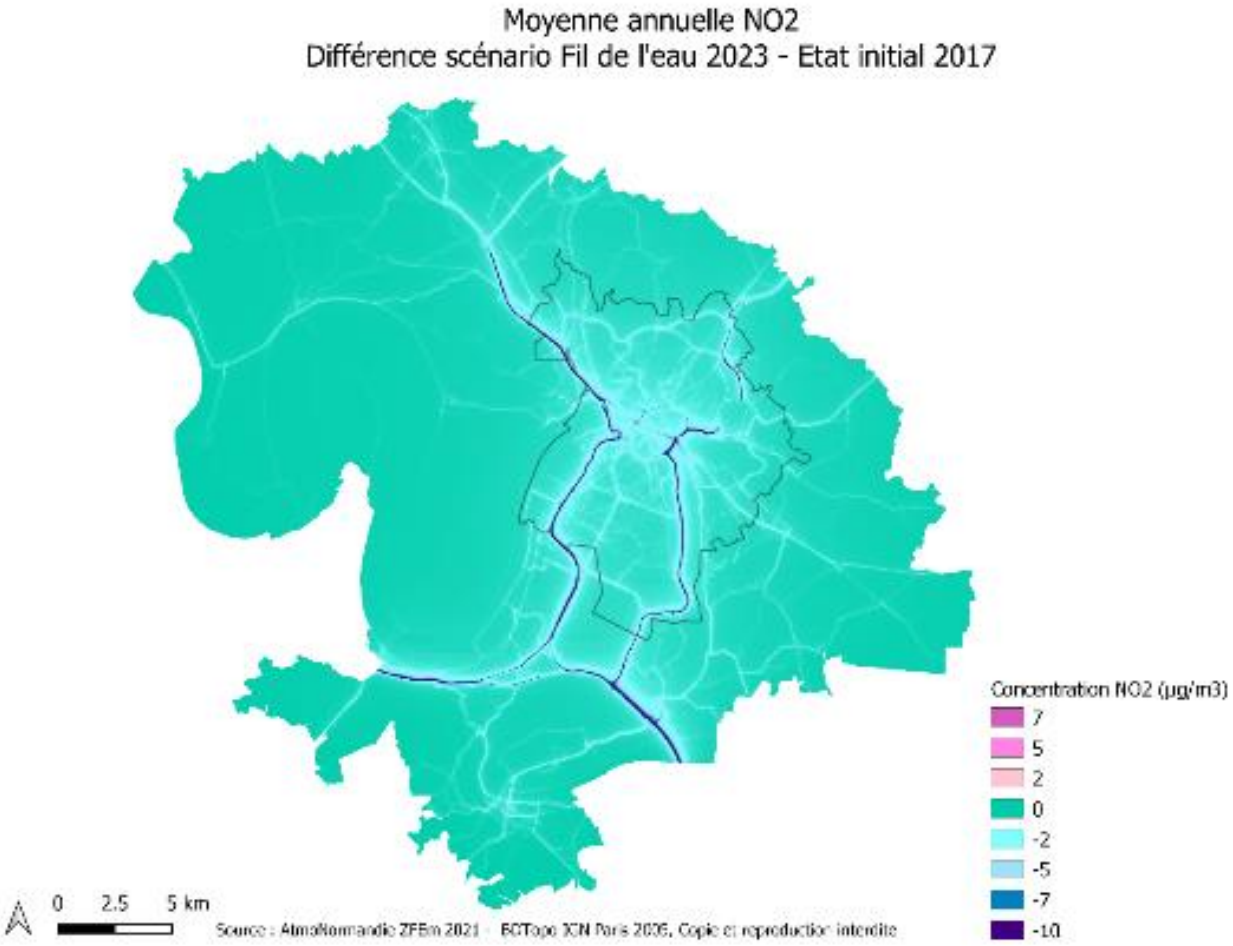
L'évolution des concentrations des trois polluants étudiés

Les graphiques 3-2, 3-3 et 3-4 montrent les cartes des concentrations spatialisées du NO_2, des PM_{10} et des $PM_{2.5}$ pour l'état initial 2017 et le fil de l'eau 2023 ainsi qu'une carte de différence mettant en évidence la diminution des concentrations moyennes annuelles de polluant entre ces deux échéances.

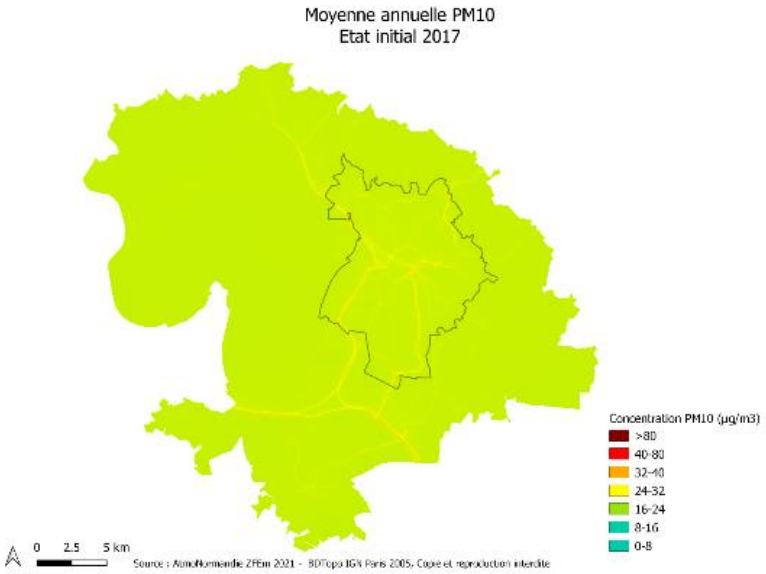
Cette diminution est surtout localisable sur et à proximité des axes routiers de la zone d'étude, l'effet étant d'autant plus marqué que l'axe routier est important. C'est pour le NO_2 que la diminution est la plus sensible, avec des baisses allant jusqu'à 10 µg/m^3, s'expliquant par la diminution importante des émissions. Pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$, la baisse des concentrations moyenne entre 2017 et 2023 est nettement moins importante avec des baisses ne dépassant pas 4 µg/m^3. Ceci s'explique d'une part par un plus faible impact de l'évolution naturelle du parc sur les émissions de particules et par le caractère multisectoriel des émissions de particules sur la zone d'étude. En effet, comme le montre le graphique 3-5, les émissions de particules PM_{10} et $PM_{2.5}$ en zone urbaines sont émises de façon équilibrée par plusieurs secteurs d'activités et l'étude de modélisation ne fait varier que la part des émissions liées au trafic routier alors que pour le dioxyde d'azote, les émissions sont majoritairement imputables au trafic routier

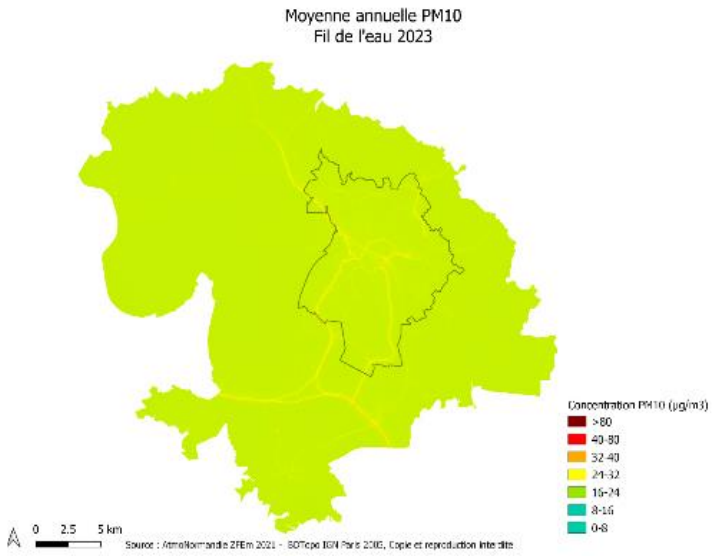
Graphique 3-2 : spatialisation des concentrations annuelles de dioxyde d'azote pour l'état initial 2017, le fil de l'eau 2023 et différence entre ces deux échéances.

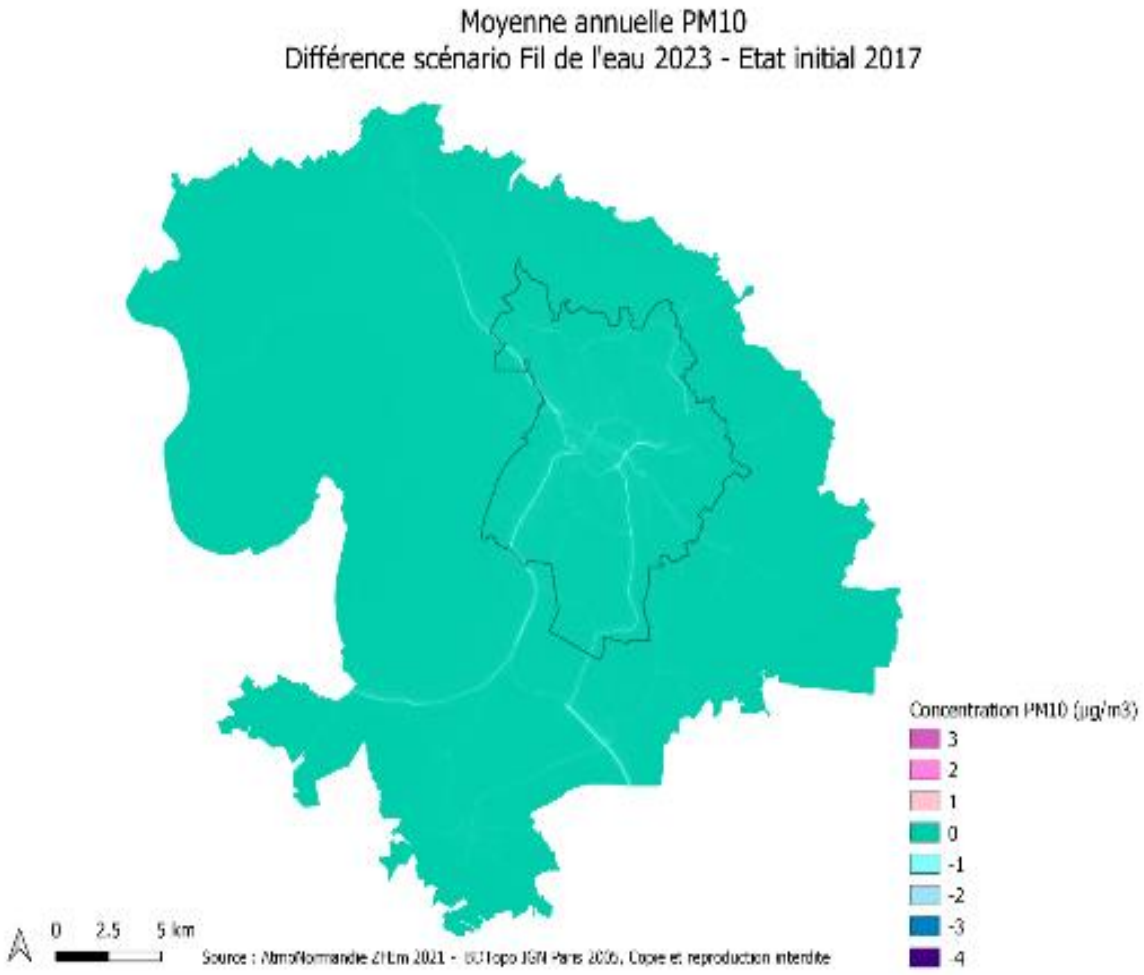




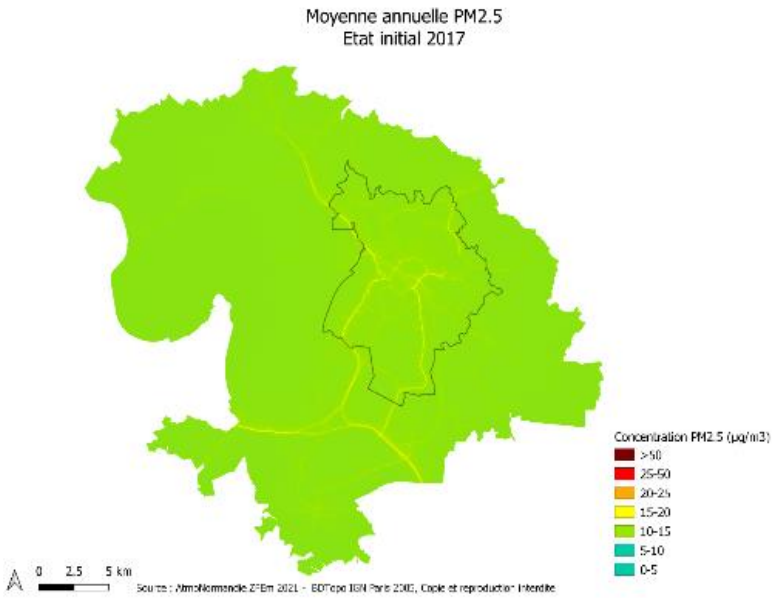
Graphique 3-3 : spatialisation des concentrations annuelles de PM_{10} pour l'état initial 2017, le fil de l'eau 2023 et différence entre ces deux échéances.

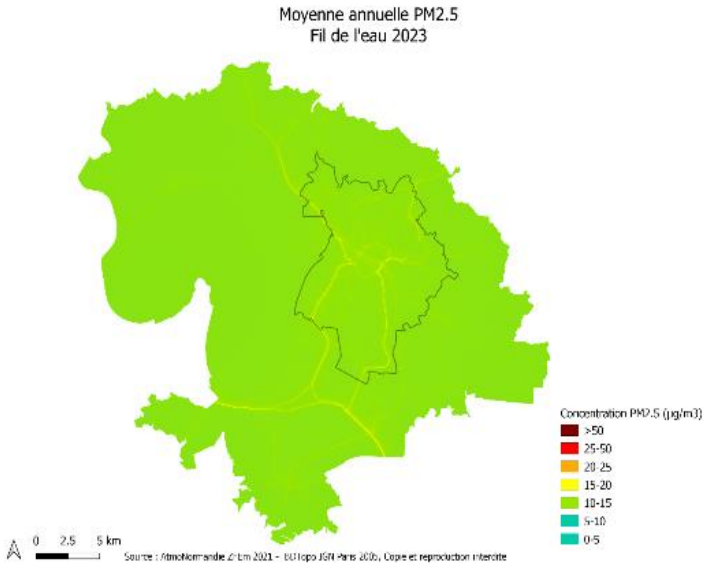


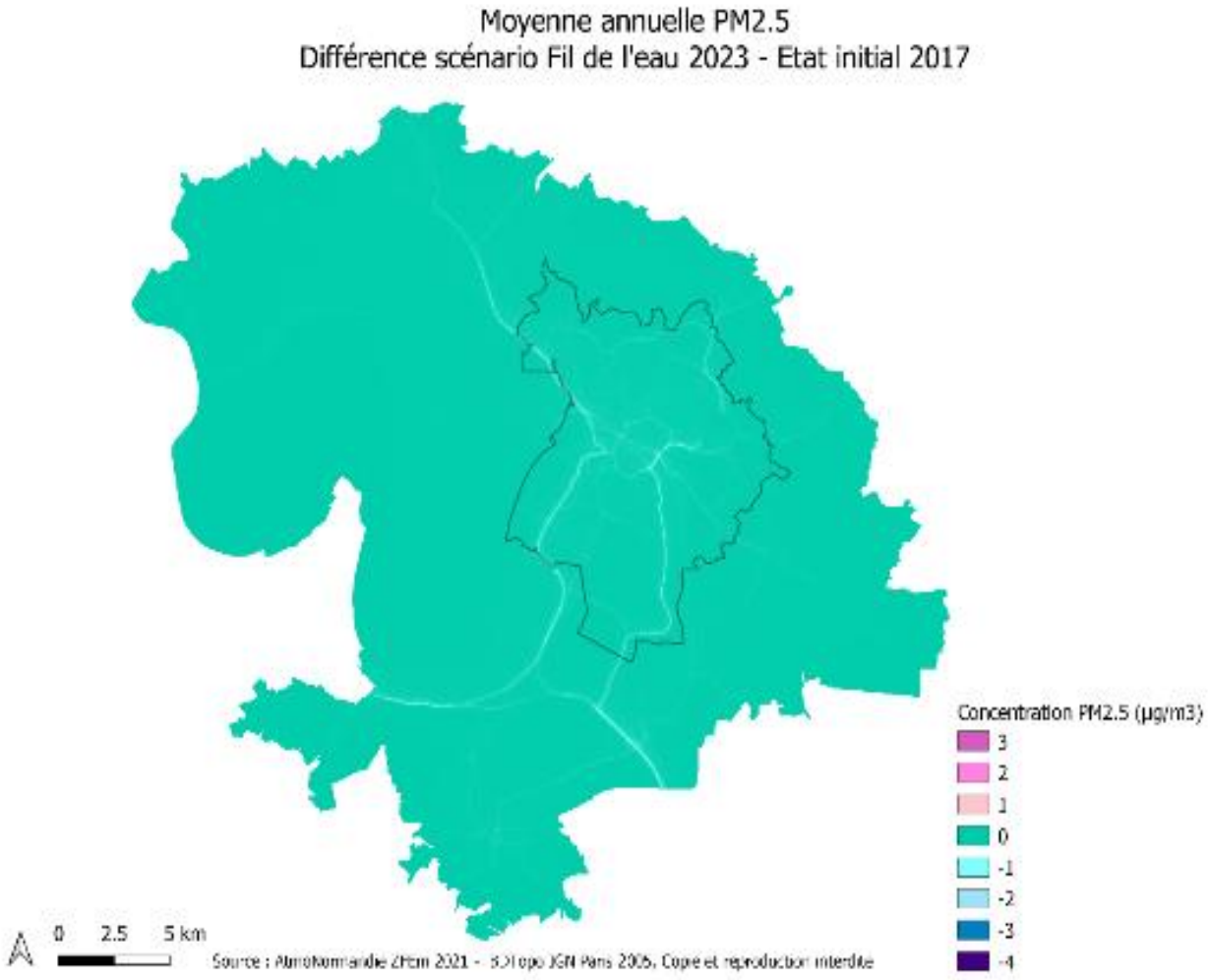


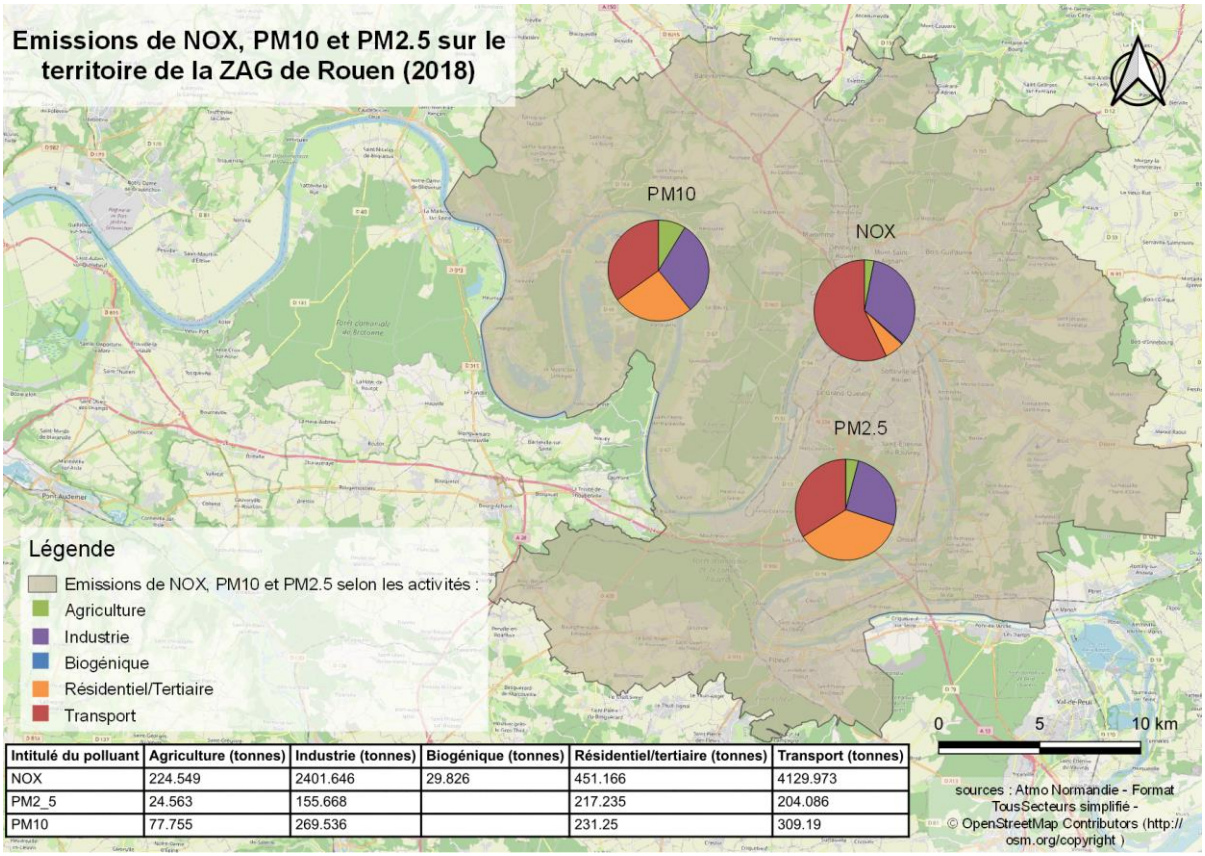


Graphique 3-4 : spatialisation des concentrations annuelles de $PM_{2.5}$ pour l'état initial 2017, le fil de l'eau 2023 et différence entre ces deux échéances.









Intitulé du polluant	Agriculture (tonnes)	Industrie (tonnes)	Biogénique (tonnes)	Résidentiel/tertiaire (tonnes)	Transport (tonnes)
NOX	224.549	2401.646	29.826	451.166	4129.973
PM2_5	24.563	155.668		217.235	204.086
PM10	77.755	269.536		231.25	309.19

Graphique 3-5 : répartition sectorielle des émissions de NOx, de PM_{10} et de $PM_{2.5}$ sur la zone d'étude en 2018 - Inventaire des émissions 2018 version 3.2.7 [1]

Bilan sur les expositions du scénario « Fil de l'eau »

Les cartes de concentration présentées dans les graphiques 3-2, 3-3 et 3-4 permettent d'estimer la surface en km² de la zone d'étude dont les concentrations sont supérieures aux différents seuils. Les seuils considérés sont les valeurs limites européennes en moyenne annuelle et les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé[4], aussi en moyenne annuelle. Le tableau 3-1 montre les superficies exposées à des dépassements de ces différents seuils ainsi que leur évolution prévisible selon le scénario fil de l'eau entre 2017 et 2023.

L'évaluation de la population exposée s'effectue en croisant les cartes de concentration des polluants avec la localisation des habitants sur leur lieu de domicile. Le tableau 3-1 montre la population exposée au lieu de domicile à des concentrations supérieures aux seuils pris en compte.

[4] L'étude prend en compte les recommandations de l'OMS publiées en 2005. Pour information, l'OMS a publié de nouvelles recommandations en octobre 2021.

Pour le NO_2 la superficie exposée à des concentrations supérieures à la valeur limite européenne réglementaire de 40 µg/m³ en moyenne annuelle (identique à la recommandation OMS 2005) diminue de 3,6 km² en 2017 à 1,8 km² en 2023, avec une population exposée passant de 369 à 34 personnes. L'évolution naturelle du parc de véhicule ne suffit pas pour éliminer tout risque d'exposition de la population à des concentrations de NO_2 supérieures à la valeur limite européenne en moyenne annuelle.

Tableau 3-1 : superficie de la zone d'étude et population exposés à des concentrations supérieures aux différents seuils étudiés

	Superficie 2017 (km²)	Superficie 2023 (km²)	Population 2017	Population 2023
NO_2				
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m³ (VL UE et recommandation OMS)	3.605	1.804	369	34
PM_{10}				
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m³ (VL UE)	0	0	0	0
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m³ (recommandation OMS)	33.4	28.74	54 924	39 353
$PM_{2.5}$				
Concentration moyenne annuelle > 25 µg/m³ (VL UE)	0	0	0	0
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m³ (recommandation OMS)	16.45	12.54	17 148	11 022

Concernant les particules PM_{10} et $PM_{2.5}$, les valeurs limites européennes annuelles ne sont dépassées en aucun lieu, que ce soit en 2017 ou la projection en 2023. En revanche, les modélisations montrent des dépassements francs et importants des recommandations OMS, bien que des diminutions des superficies et populations exposées soient mises en évidence. Pour les PM_{10} la superficie exposée à des concentrations supérieures à la recommandation OMS de 20 µg/m³ diminue de 33,4 à 28,7 km², pour une population exposée diminuant de 54 924 à 39 353. Pour les $PM_{2.5}$ la superficie exposée à des concentrations supérieures à la recommandation OMS de 10 µg/m³ diminue de 16.5 à 12.5 km², pour une population exposée diminuant de 17 148 à 11 022. Pour les particules, l'évolution naturelle du parc de véhicule ne permettra pas de passer en dessous des recommandations de l'OMS.

3.2. Résultats pour les scénarios S5 et S6 : « Tout véhicule – NC,5,4 », avec et sans axes structurants

Ce paragraphe présente en détail les résultats de l'évaluation des gains en termes d'émission et d'exposition pour les deux scénarios S5 et S6 mettant en jeu une interdiction des classes Crit'air NC, 5 et 4 pour tous les véhicules (véhicules particuliers, utilitaires, poids lourds…) et prenant en compte (S5) ou non (S6) les axes structurants tel qu'expliqué dans le contexte de cette étude. Ces deux scénarios sont des scénarios médians en ce qui concerne la restriction de circulation. Les résultats pour l'ensemble des scénarios sont présentés en chapitre 4. Ces deux scénarios sont comparés au fil de l'eau 2023 (qui intègre l'effet de renouvellement du parc) afin de ne rendre compte que de la mise en œuvre de la ZFE.

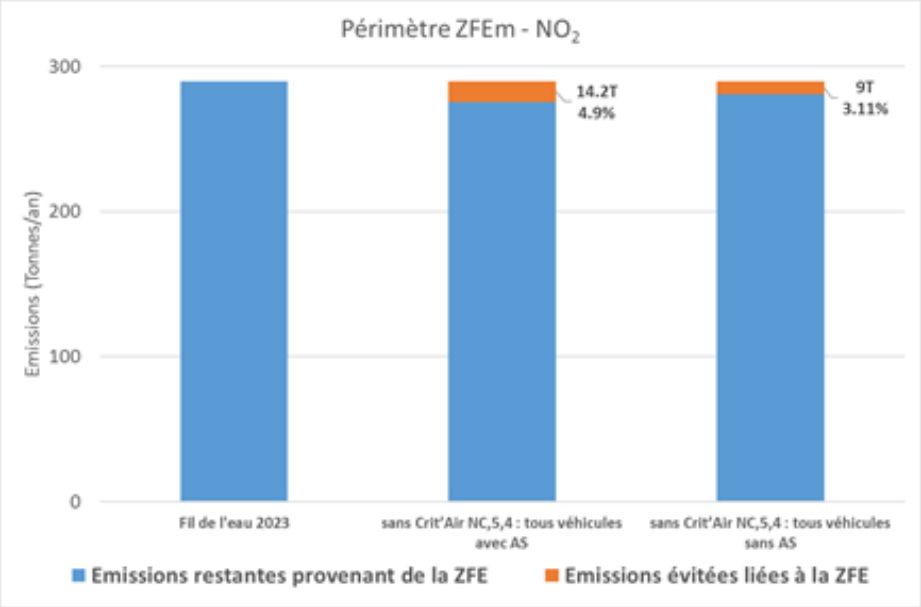
Dans les graphiques et tableaux suivants, « avec AS » évoquera le scénario prenant en compte les axes structurants et « sans AS » évoquera le scénario ne prenant pas en compte les axes structurants dans le périmètre de la ZFE.

3.2.1. Impact de la ZFE-m (scénarios S5 et S6) sur les émissions de NO_2, les PM_{10} et les $PM_{2.5}$

Les conséquences de l'interdiction des vignettes Crit'air NC, 5, 4 sur tous les véhicules dans le périmètre de la ZFE-m pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$ sont présentées dans les graphiques 3-6, 3-7 et 3-8.

Si l'interdiction de circulation s'applique sur les axes structurants :

- la baisse des émissions de NO_2 est de 4.9% par rapport au fil de l'eau 2023, soit un gain de 14.2 Tonnes/an, passant de de 290 à 276 Tonnes/an ;
- la baisse des émissions de PM_{10} est de 5.3% par rapport au fil de l'eau 2023, soit un gain de 6.6 Tonnes/an, passant de 125 à 118 Tonnes/an ;

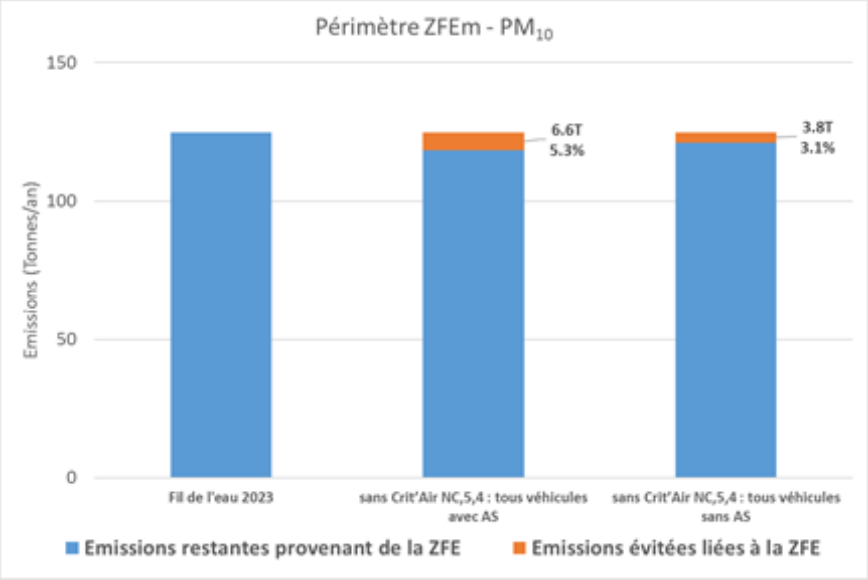


Graphique 3-6 : impact sur les émissions de NO2 de la mise en œuvre des scénarios « Tout véhicule – NC, 5, 4 » le périmètre de la ZFE-m, avec et sans prise en compte des axes structurants.

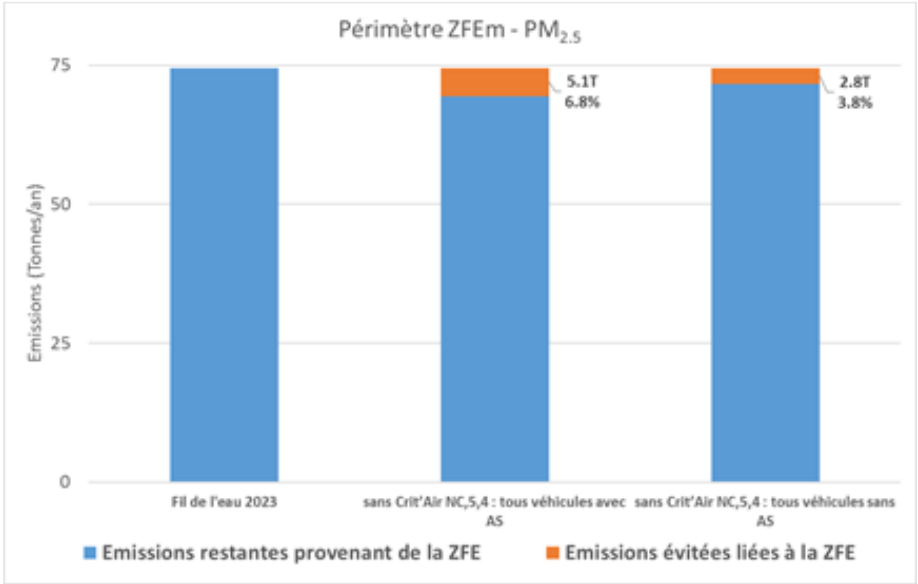
- la baisse des émissions de $PM_{2.5}$ est de 6.8% par rapport au fil de l'eau 2023 soit un gain de 5.1 Tonnes/an, passant de 75 à 70 Tonnes/an.

Si l'interdiction ne s'applique pas aux axes structurants :

- la baisse des émissions de NO_2 est de 3.11% par rapport au fil de l'eau 2023, soit un gain de 9 Tonnes/an, passant de 290 à 281 Tonnes/an ;
- la baisse des émissions de PM_{10} est de 3.1% par rapport au fil de l'eau 2023, soit un gain de 3.8 Tonnes/an, passant de 125 à 121 Tonnes/an ;
- la baisse des émissions de $PM_{2.5}$ est de 3.8% par rapport au fil de l'eau 2023, soit un gain de 2.8 Tonnes/an, passant de 75 à 72 Tonnes/an.



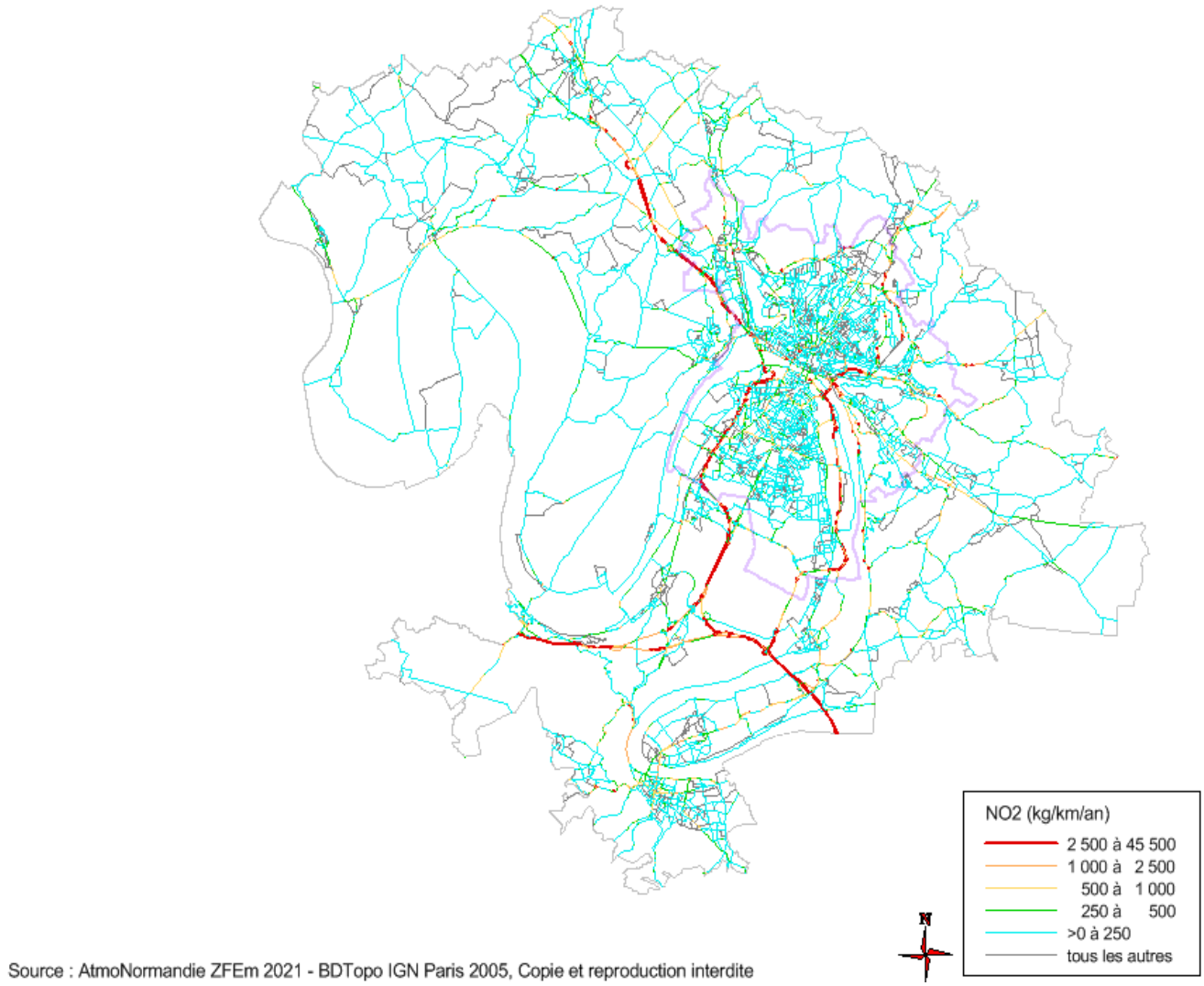
Graphique 3-7 : impact sur les émissions de PM10 de la mise en œuvre des scénarios « Tout véhicule – NC, 5, 4 » le périmètre de la ZFE-m, avec et sans prise en compte des axes structurants.



Graphique 3-8 : impact sur les émissions de PM2.5 de la mise en œuvre des scénarios « Tout véhicule – NC, 5, 4 » le périmètre de la ZFE-m, avec et sans prise en compte des axes structurants.

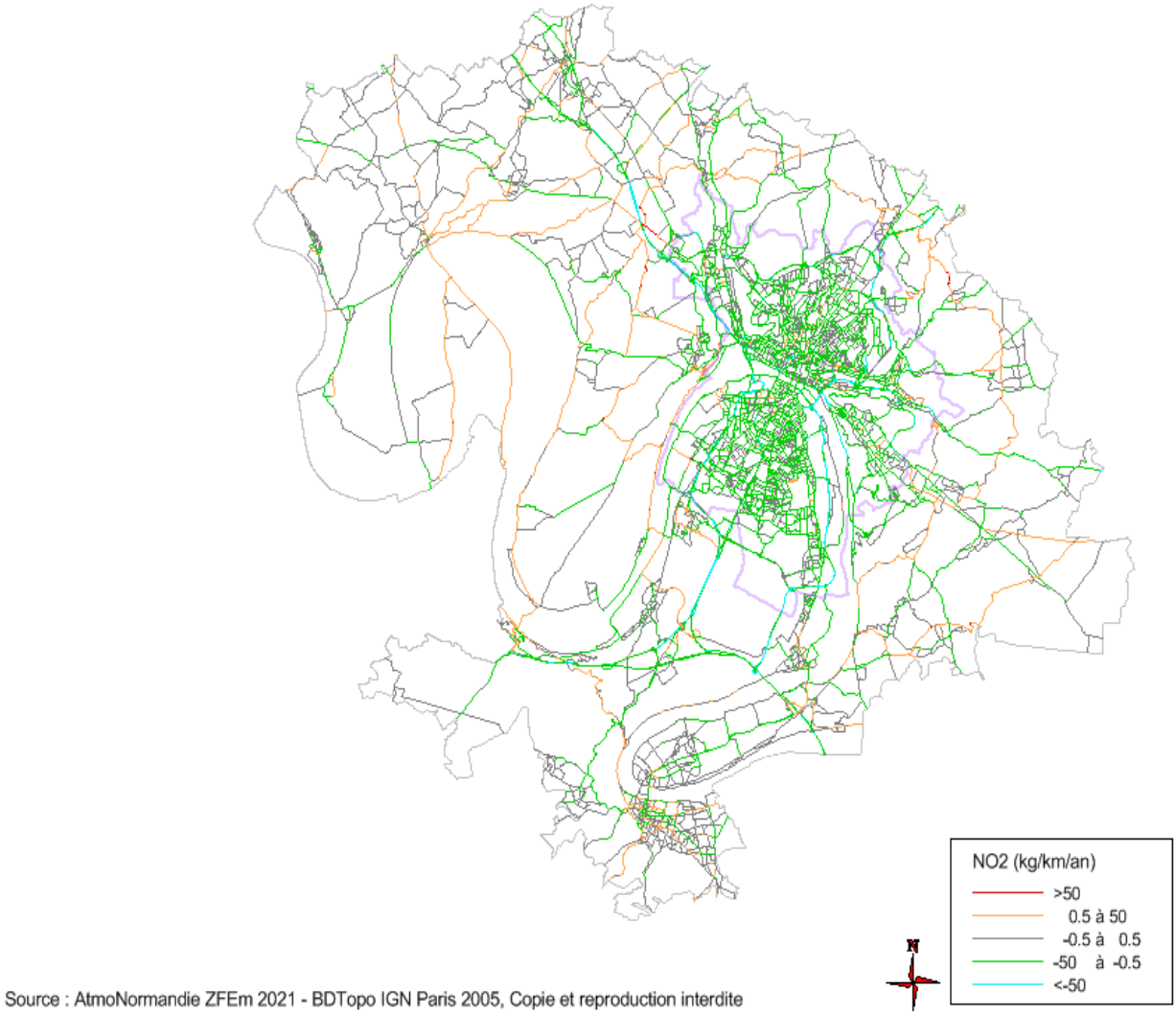
Ces résultats sur les émissions montrent l'effet de la prise en compte des axes structurants dans la ZFE-m, avec des gains sur les émissions de NO_2 de 57%, sur les PM_{10} de 73% et sur les $PM_{2.5}$ de 82% par rapport au scénario sans prise en compte des axes structurants.

Le graphique 3-9 présente la spatialisation des émissions annuelles de NO_2 sur la zone d'étude, pour le scénario fil de l'eau 2023. Selon l'importance des axes routiers représentés, les émissions varient de quelques kilogrammes par an à 45,5 tonnes par an.



Graphique 3-9 : spatialisation des émissions annuelles de NO_2 concernant le scénario « fil de l'eau 2023 »

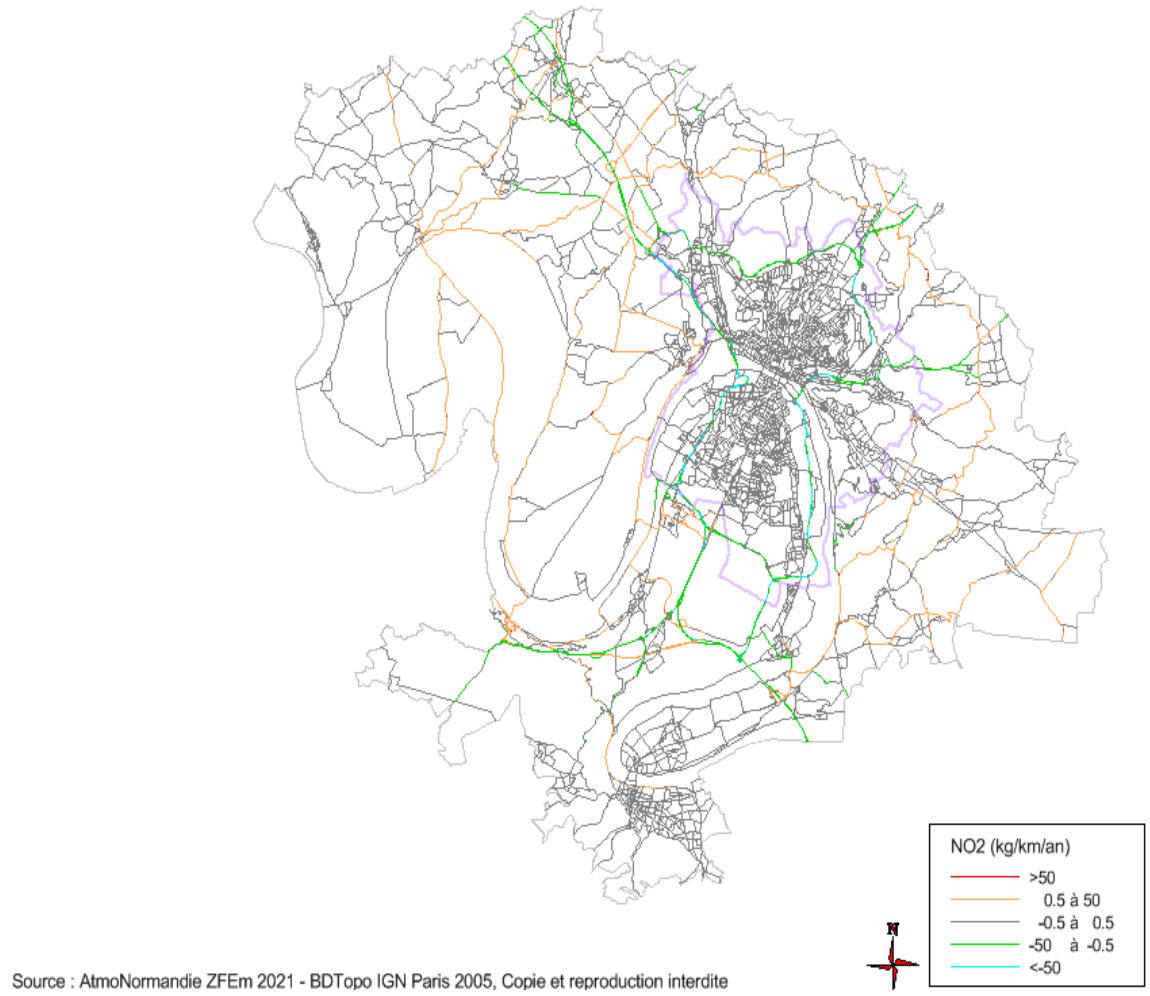
Le graphique 3-10 représente la cartographie de la différence des émissions entre le scénario « Tous véhicules Crit'air NC, 5, 4 avec AS » et le « fil de l'eau 2023 » pour les émissions annuelles de NO_2. Les axes en vert et bleu traduisent une baisse des émissions liées à l'application de l'interdiction des vignettes Crit'air dans la ZFE-m sur ces axes routiers alors que les axes en orange et rouge montrent une augmentation des émissions. Ces baisses ou augmentations des émissions ne dépassent pas 50 kg/km/an. Les augmentations constatées des émissions sont toutes localisées à l'extérieur du périmètre de la ZFE-m. Elles sont directement liées au report d'une partie



Graphique 3-10 : Cartographie de la différence des émissions entre le scénario « Tous véhicules Crit'air NC, 5, 4 interdits dans la ZFE-m et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »

du trafic des véhicules interdits dans la ZFE-m, conformément aux données des modèles de trafic. Il conviendra d'évaluer si ces augmentations d'émissions ont un impact quantifiable sur la qualité de l'air dans la zone complémentaire de l'étude hors ZFE-m.

Le graphique 3-11 montre les différences dans la spatialisation des émissions lorsque les axes structurants sont pris en compte ou non. La baisse des émissions sur les axes structurants peut atteindre 50 kg/km/an, alors que sur les autres axes de la ZFE-m, l'évolution des émissions n'est pas détectable. En revanche, l'effet report à l'extérieur de la ZFE-m est visible, montrant que c'est la prise en compte des axes structurants dans la ZFE-m qui accentue le report de trafic sur des axes extérieurs à la ZFE-m.



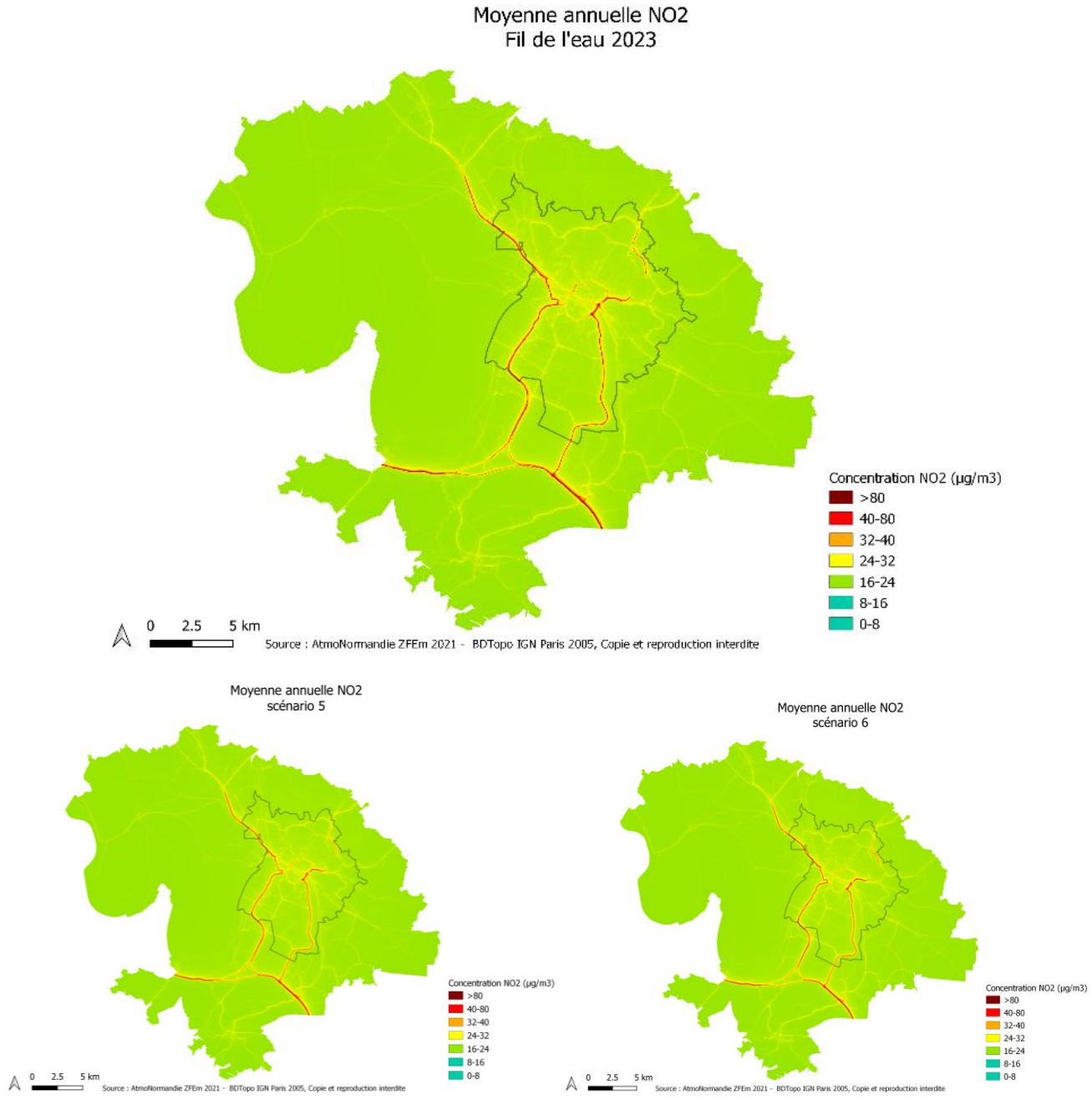
Source : AtmoNormandie ZFEm 2021 - BDTopo IGN Paris 2005, Copie et reproduction interdite

Graphique 3-11 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de NO_2 entre le scénario « Tous véhicules Crit'air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « Tous véhicules Crit'air NC, 5, 4 sans AS »

3.2.2. Impact de la ZFE-m (scénarios S5 et S6) sur les concentrations de NO_2, les PM_{10} et les $PM_{2.5}$ et les superficies exposées

Le graphique 3-12 montre le champ de concentration du NO_2 en moyenne annuelle sur l'ensemble de la zone d'étude pour le fil de l'eau 2023, le scénario 5 (Crit'air NC, 5, 4 sur tous les véhicules avec axes structurant) et le scénario 6, sans la prise en compte des axes structurants.

Il est difficile sur ces représentations cartographiques avec une échelle en classes de concentration de visualiser les impacts de la mise en œuvre des scénarios sur les champs de concentration. Cela est vrai quel que soit le



Graphique 3-12 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de NO_2

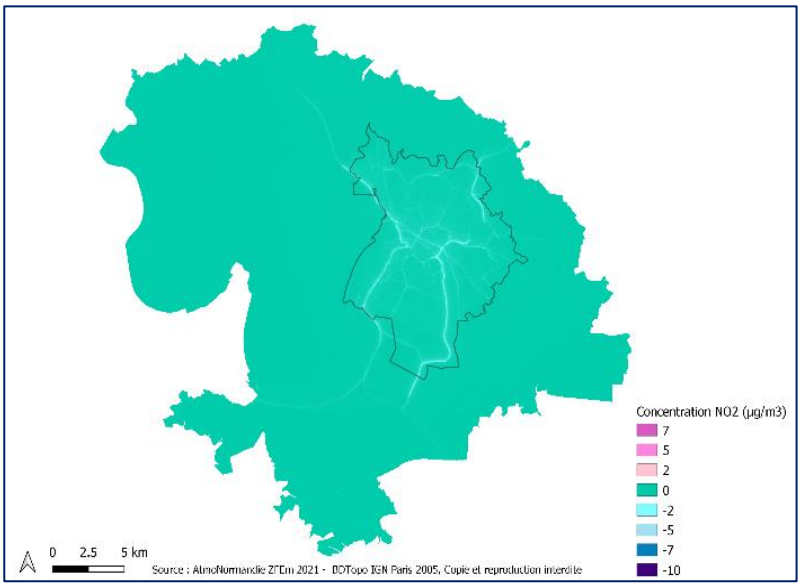
Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

Pour le scénario 5 (avec axes structurant), bas-gauche

Pour le scénario 6 (sans axes structurants), bas-droite

scénario et quel que soit le polluant. Afin de mettre en évidence l'impact sur les concentrations de la mise en œuvre du scénario 5, il convient de réaliser des cartes de différences.

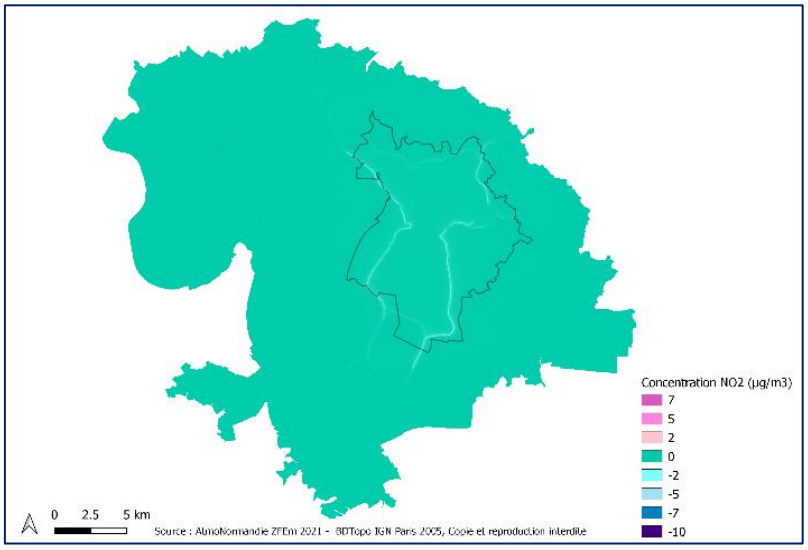
Le graphique 3-13, représentant la différence entre la simulation du scénario 5 (avec axes structurants) et le fil de l'eau 2023, met en évidence une légère baisse des concentrations de NO_2, de l'ordre de 2 µg/m^3 sur les axes les plus émetteurs. Les effets de report d'émissions hors du périmètre ZFE-m du fait de l'interdiction de circulation des véhicules Crit'air NC, 5 et 4 au sein de la ZFE-m ne sont pas visibles et restent donc très faibles.



Graphique 3-13 : Cartographie de la différence des concentrations de la moyenne annuelle de NO_2 entre le scénario « Tous véhicules Crit'air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « fil de l'eau 2023 ».

Le graphique 3-14 illustre l'impact de la prise en compte ou non des axes structurants dans la ZFE-m. Les effets en d'autres lieux que ces axes structurants ne sont pas décelables, que cela soit dans le périmètre de la ZFE-m ou dans le périmètre d'étude.

Ces deux cartes montrent que pour les scénarios 5 et 6, l'effet de report de la circulation hors du périmètre de la ZFE-m sur les concentrations a un faible impact sur les zones concernées par une augmentation des émissions illustrées sur les graphiques 3-10 et 3-11.



Graphique 3-14 : Cartographie de la différence des concentrations de la moyenne annuelle de NO_2 entre le scénario « Tous véhicules Crit'air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « Tous véhicules Crit'air NC, 5, 4 sans AS »

Le traitement cartographique des résultats a permis pour les trois polluants étudiés de quantifier et de localiser les zones exposées à des dépassements de seuils réglementaires ou de recommandation de l'OMS 2005. Les cartes, pour les différents polluants et les différents scénarii, sont proposées en annexe 5.

Le chapitre suivant présente la synthèse de cette analyse cartographique pour l'ensemble des scénarios.

4. Synthèse des résultats pour l'ensemble des scénarios

4.1. Résultats de l'impact sur les émissions de polluant pour l'ensemble des scénarios

Le tableau 4-1 résume pour l'ensemble des scénarios étudiés les émissions estimées pour le NO_2, les PM_{10} et le $PM_{2.5}$ sur le périmètre de la ZFE-m. Il donne aussi la comparaison absolue et relative de ces émissions avec le scénario fil de l'eau 2023.
Un premier constat général est l'efficacité croissante des restrictions Crit'air sur les émissions de polluant, avec pour exemple du NO_2, une réduction des émissions de 0,6% à 32% selon le scénario envisagé.

L'impact de la prise en compte des axes structurants dans la ZFE-m sur les émissions est sensible, avec une baisse plus importante de celles-ci quel que soit le polluant lorsque les axes structurants sont inclus dans le périmètre de la ZFE-m. A titre d'exemple, pour les scénarios 7 et 8, la prise en compte des axes structurants (S7) montre une diminution de 32% des émissions de NO_2 contre 19,5% pour le scenario excluant les axes structurants (S8).

Tableau 4-1 : Impacts sur les émissions de l'ensemble des scénarios étudié, sur le périmètre de la ZFE-m

Périmètre ZFE-m		Etat initial 2017	Fil de l'eau 2023	sans Crit'Air NC,5,4 : VUL & PL		sans Crit'Air NC,5,4 : tous véhicules		sans Crit'Air NC,5,4,3 : tous véhicules	
				avec AS	sans AS	avec AS	sans AS	avec AS	sans AS
Numero du scénario		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
NO_2	Emissions (T/an)	420.4	289.7	284.2	287.9	275.5	280.7	197.0	233.1
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2023			-5.5	-1.8	-14.2	-9.0	-92.7	-56.6
	Ecart / Fil de l'eau 2023			-1.9%	-0.6%	-4.9%	-3.1%	-32.0%	-19.5%
PM_{10}	Emissions (T/an)	138.7	124.8	123.2	124.4	118.3	121.0	97.8	106.8
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2023			-1.7	-0.4	-6.6	-3.8	-27.1	-18.0
	Ecart / Fil de l'eau 2023			-1.3%	-0.3%	-5.2%	-3.1%	-21.7%	-14.4%
$PM_{2.5}$	Emissions (T/an)	89.7	74.5	73.0	74.1	69.4	71.7	54.4	61.8
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2023			-1.5	-0.4	-5.1	-2.8	-20.1	-12.7
	Ecart / Fil de l'eau 2023			-2.0%	-0.6%	-6.8%	-3.8%	-27.0%	-17.0%

Le second constat est l'impact de l'exclusion de la classe Crit'air 3 (scénarios S7 et S8). Les pourcentages de diminution des émissions sont bien plus importants que pour les autres scénarios. Cela s'explique par le fait que l'évolution naturelle du parc automobile entre 2017 et 2023 va surtout voir la diminution des véhicules de classe Crit'air NC, 5 et 4 et influer plus faiblement sur les véhicule Crit'air 3, augmentant ainsi l'effet de la ZFE-m lorsque les véhicules Crit'air 3 en sont exclus.

Le tableau 4-2 présente les mêmes informations sur le périmètre complémentaire de l'étude, c'est-à-dire la part de l'agglomération rouennaise qui n'est pas incluse dans la ZFE-m. Les calculs d'émissions montrent qu'une diminution des émissions serait réelle mais moins importante que dans le périmètre de la ZFE-m. Pour le scénarios S7, le plus restrictif, la baisse des émissions est évaluée à -7,7% pour le NO_2, -4,5% pour les PM_{10} et -6% pour les $PM_{2.5}$.

Tableau 4-2 : Impacts sur les émissions de l'ensemble des scénarios étudié, sur le périmètre hors ZFE-m de la zone d'étude, ou périmètre complémentaire de l'étude.

Périmètre complémentaire de l'étude		Etat initial 2017	Fil de l'eau 2023	sans Crit'Air NC,5,4 : VUL & PL		sans Crit'Air NC,5,4 : tous véhicules		sans Crit'Air NC,5,4,3 : tous véhicules	
				avec AS	sans AS	avec AS	sans AS	avec AS	sans AS
Numero du scénario		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
NO_2	Emissions (T/an)	631.0	440.5	439.4	440.4	435.6	436.7	406.5	415.0
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2023			-1.1	0.0	-4.9	-3.8	-33.9	-25.5
	Ecart / Fil de l'eau 2023			-0.2%	0.0%	-1.1%	-0.9%	-7.7%	-5.8%
PM_{10}	Emissions (T/an)	213.1	196.1	195.9	196.1	194.5	194.9	187.2	188.0
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2023			-0.1	0.0	-1.5	-1.2	-8.9	-8.0
	Ecart / Fil de l'eau 2023			-0.1%	0.0%	-0.8%	-0.6%	-4.5%	-4.1%
$PM_{2.5}$	Emissions (T/an)	137.2	116.7	116.5	116.7	115.6	116.0	110.7	111.8
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2023			-0.2	0.0	-1.1	-0.7	-6.0	-4.9
	Ecart / Fil de l'eau 2023			-0.1%	0.0%	-1.0%	-0.6%	-5.1%	-4.2%

4.2. Résultats de l'impact sur les superficies exposées pour l'ensemble des scénarios

Les tableaux 4-3 et 4-4 montrent l'impact des différents scénarios de ZFE-m sur les superficies exposées au-delà des différents seuils réglementaires et des recommandations OMS. Le tableau 4-3 est défini sur l'ensemble du périmètre de la ZFE-m et le tableau 4-4 sur le périmètre complémentaire de l'étude, hors ZFE-m.

La réduction des superficies exposées en comparaison avec le fil de l'eau 2023 sont faibles pour les scénarios S3 et S4, avec selon le polluant et l'inclusion ou non des axes structurants dans la ZFE-m des réductions de surfaces exposées comprises entre 0% et 5,8%.

Les scénarios excluant les véhicules Crit'air 3 (S7 et S8) présentent des réductions de superficies exposées élevées, comprises entre 21,6% et 77,8% selon le polluant et la prise compte des axes structurants.

Tableau 4-3 : Impacts des différents scénarios sur les superficies en dépassement de seuils, sur le périmètre de la ZFE-m, en km^2

		Périmètre ZFE-m	Etat initial 2017	Fil de l'eau 2023	sans Crit'Air NC,5,4 : VUL & PL		sans Crit'Air NC,5,4 : tous véhicules		sans Crit'Air NC,5,4,3 : tous véhicules	
					avec AS	sans AS	avec AS	sans AS	avec AS	sans AS
		Numero du scénario	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m³ (VL UE et recommandation OMS)	NO_2	Superficie en dépassement (km2)	1.604	0.772	0.727	0.770	0.686	0.744	0.171	0.637
		Gain (km2) / Fil de l'eau 2023			-0.05	0.00	-0.09	-0.03	-0.60	-0.14
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-5.8%	-0.3%	-11.1%	-3.6%	-77.8%	-17.5%
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m³ (recommandation OMS)	PM_{10}	Superficie en dépassement (km2)	17.700	14.830	14.550	14.760	13.670	14.080	10.300	11.630
		Gain (km2) / Fil de l'eau 2023			-0.3	-0.1	-1.2	-0.8	-4.5	-3.2
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-1.9%	-0.5%	-7.8%	-5.1%	-30.5%	-21.6%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m³ (recommandation OMS)	$PM_{2.5}$	Superficie en dépassement (km2)	6.728	6.245	6.027	6.164	5.549	5.857	3.639	4.669
		Gain (km2) / Fil de l'eau 2023			-0.2	-0.1	-0.7	-0.4	-2.6	-1.6
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-3.5%	-1.3%	-11.1%	-6.2%	-41.7%	-25.2%

Le tableau 4-4, montre les mêmes tendances, mais avec des effets moins marqués de l'impact des restrictions ZFE-m sur le périmètre hors ZFE complémentaire de l'étude. Selon les polluants, pour les scénarios S7 et S8, la réduction des surfaces exposées au-delà des seuils est comprise entre 6,7% et 22,9% selon la prise en compte ou non des axes structurants.

Tableau 4-4 : Impacts des différents scénarios sur les superficies en dépassement de seuils, sur le périmètre hors ZFE-m de la zone d'étude, ou périmètre complémentaire de l'étude, en km²

		Périmètre complémentaire de l'étude	Etat initial 2017	Fil de l'eau 2023	sans Crit'Air NC,5,4 : VUL & PL		sans Crit'Air NC,5,4 : tous véhicules		sans Crit'Air NC,5,4,3 : tous véhicules	
					avec AS	sans AS	avec AS	sans AS	avec AS	sans AS
		Numero du scénario	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m³ (VL UE et recommandation OMS)	NO_2	Superficie en dépassement (km2)	2.001	1.032	1.009	1.032	0.969	1.013	0.796	0.963
		Gain (km2) / Fil de l'eau 2023			-0.02	0.00	-0.06	-0.02	-0.24	-0.07
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-2.2%	0.0%	-6.1%	-1.8%	-22.9%	-6.7%
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m³ (recommandation OMS)	PM_{10}	Superficie en dépassement (km2)	15.700	13.910	13.870	13.890	13.670	13.760	12.700	12.960
		Gain (km2) / Fil de l'eau 2023			-0.04	-0.02	-0.24	-0.15	-1.21	-0.95
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-0.3%	-0.1%	-1.7%	-1.1%	-8.7%	-6.8%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m³ (recommandation OMS)	$PM_{2.5}$	Superficie en dépassement (km2)	9.722	6.295	6.273	6.316	6.131	6.243	5.591	5.811
		Gain (km2) / Fil de l'eau 2023			-0.02	0.02	-0.16	-0.05	-0.70	-0.48
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-0.3%	0.3%	-2.6%	-0.8%	-11.2%	-7.7%

4.3. Impact de la ZFE-m sur l'exposition des populations

Les tableaux 4-5 et 4-6 montrent l'impact des différents scénarios sur les populations exposées à des concentrations de polluants dépassant les seuils, dans le périmètre ZFE-m et hors de celui-ci.

Les principales conclusions pouvant être tirées de ces résultats sont :

- Les scénarios S7 et S8 sont les plus efficaces pour réduire la population exposée au-delà des seuils ;
- La prise en compte des axes structurants améliore très sensiblement l'exposition des populations ;
- La mise en place de la ZFE-m a un impact positif sur l'exposition des populations à l'intérieur et hors de la ZFE-m (voir le tableau 4-6)

Tableau 4-5 : Impacts des différents scénarios sur la population exposée à des dépassements de seuils, sur le périmètre de la ZFE-m, en nombre d'habitants, au domicile.

		Périmètre ZFE-m	Etat initial 2017	Fil de l'eau 2023	sans Crit'Air NC,5,4 : VUL & PL		sans Crit'Air NC,5,4 : tous véhicules		sans Crit'Air NC,5,4,3 : tous véhicules	
					avec AS	sans AS	avec AS	sans AS	avec AS	sans AS
		Numero du scénario	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m³ (VL UE et recommandation OMS)	NO_2	Nombre d'habitants exposés	322	32	31	32	27	31	1	26
		Gain / Fil de l'eau 2023			-1	0	-5	-1	-31	-6
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-3.1%	0.0%	-15.6%	-3.1%	-96.9%	-18.8%
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m³ (recommandation OMS)	PM_{10}	Nombre d'habitants exposés	48917	34793	33923	34361	30744	31715	19315	23894
		Gain / Fil de l'eau 2023			-870	-432	-4049	-3078	-15478	-10899
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-3%	-1%	-12%	-9%	-44%	-31%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m³ (recommandation OMS)	$PM_{2.5}$	Nombre d'habitants exposés	11822	9821	8347	8498	7464	7742	4175	5792
		Gain / Fil de l'eau 2023			-1474	-1323	-2357	-2079	-5646	-4029
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-15%	-13%	-24%	-21%	-57%	-41%

Cependant il convient de constater que pour le NO_2, au regard du faible nombre de population concerné (entre 32 et 1), la signification statistique des résultats peut être interrogée. De plus, la diminution de la valeur guide de l'OMS pour le NO_2, de 40 à 10 µg/m^3 en moyenne annuelle, aura un impact massif sur le nombre d'habitant exposée au-delà de cette valeur guide. En effet, le bilan 2021 [9] de la qualité de l'air sur la Métropole montre que la nouvelles valeur guide pour le NO_2 est dépassée sur l'ensemble des stations de mesures de la métropole. Pour les PM (PM_{10} et $PM_{2.5}$), pour les recommandations OMS, la réduction des populations exposées au-delà de ces seuils est plus importante et présente une meilleure robustesse statistique, avec plusieurs milliers d'habitant concernés.

Tableau 4-6 : Impacts des différents scénarios sur la population exposée à des dépassements de seuils, sur le périmètre hors ZFE-m de la zone d'étude, ou périmètre complémentaire de l'étude, en nombre d'habitants, au domicile.

		Périmètre complémentaire	Etat initial 2017	Fil de l'eau 2023	sans Crit'Air NC,5,4 : VUL & PL		sans Crit'Air NC,5,4 : tous véhicules		sans Crit'Air NC,5,4,3 : tous véhicules	
					avec AS	sans AS	avec AS	sans AS	avec AS	sans AS
		Numero du scénario	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m^3 (VL UE et recommandation OMS)	NO_2	Nombre d'habitants exposés	47	2	1	2	2	1	1	1
		Gain / Fil de l'eau 2023			-1	0	0	-1	-1	-1
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-50%	0%	0%	-50%	-50%	-50%
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m^3 (recommandation OMS)	PM_{10}	Nombre d'habitants exposés	6007	4560	4564	4543	4532	4519	4271	4559
		Gain / Fil de l'eau 2023			4	-17	-28	-41	-289	-1
		Ecart / Fil de l'eau 2023			0%	0%	-1%	-1%	-6%	0%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m^3 (recommandation OMS)	$PM_{2.5}$	Nombre d'habitants exposés	5326	1201	1051	1036	1016	1023	974	1123
		Gain / Fil de l'eau 2023			-150	-165	-185	-178	-227	-78
		Ecart / Fil de l'eau 2023			-12%	-14%	-15%	-15%	-19%	-6%

4.4. Discussions sur les résultats

4.4.1. Importance du scénario « fil de l'eau 2023 » au regard des classes Crit'air exclues

Les résultats sur les émissions et sur les superficies et populations exposées sont calculés par comparaisons des scénarios d'exclusion de classe Crit'air avec le scénario fil de l'eau 2023. Il faut rappeler que le scénario « fil de l'eau 2023 » se base sur la prospective du CITEPA [3] concernant l'évolution de la composition du parc automobile au fil des années, et pour une étude d'impact de mise en œuvre d'une ZFE, sur l'évolution de la répartition en termes de classe Crit'air de la composition du parc. De ce fait, les résultats de l'étude sont très sensibles à la réalisation de la trajectoire proposée dans l'évolution du parc prospectif, qui reste une scénarisation qui devra être vérifiée à terme.

Dans le cas où la progression du parc automobile vers des véhicules « vertueux » est moins rapide que celle utilisée dans l'étude, alors la mise en œuvre de la ZFE-m, donc la mise en œuvre de règle d'exclusion de certaines classes Crit'air, aura un effet renforcé.

Dans le cas d'une progression plus rapide vers la disparition des véhicules les plus polluants que celle utilisée dans l'étude, la mise en œuvre de la ZFE-m aura un effet moindre.

L'exploitation des résultats sur les émissions, les superficies et les expositions ne pourront donc pas être interprétées sans rappeler l'importance d'une évaluation d'un bon suivi de la trajectoire du scenario prospectif du parc roulant entre 2017 et 2023.

4.4.2. Importance du scénario « fil de l'eau 2023 » au regard des classes Crit'air exclues

L'étude des différents scénarios montre que l'exclusion de la classe Crit'air 3 amplifie de façon importante les effets de la mise en œuvre de la ZFE-m sur les émissions, et sur les superficies et populations exposées.

4.4.3. La prise en compte des axes structurants

La prise en compte des axes structurants renforce de façon importante l'impact de la ZFE-m sur les émissions, les superficies et populations exposées. Associée à une restriction Crit'air 3 (scénario S7), c'est une condition qui permettrait de s'assurer d'une absence d'exposition de population au-delà de la valeur limite d'exposition au NO_2. De plus, la prise en compte des axes structurants a un impact important sur les expositions aux particules.

4.4.4. Un effet bénéfique hors ZFE-m

L'étude explore enfin l'impact de la mise en œuvre de la ZFE-m sur le territoire de la métropole non inclus dans la ZFE-m. Il en ressort un impact bénéfique aussi sur ce territoire non inclus, que ce soit en termes d'émissions, de superficies ou de population exposées, ce bénéfice étant moins important qu'à l'intérieur du périmètre ZFE-m. Cet impact positif hors du périmètre ZFE a été mis aussi en évidence dans l'étude de scénarisation pour la mise en œuvre de la ZFE de Bordeaux. [10]

Ce bénéfice est directement lié aux hypothèses prises en compte dans l'élaboration des modèles de trafic utilisés en entrée de l'étude de scénarisation des impacts sur les émissions, superficie et population de la création d'une ZFE-m [4]. Il convient d'en rappeler ici les principales :

- Pour le trafic lié aux déplacements des particuliers entièrement inclus dans la ZFE-m ou ayant le point de départ ou d'arriver dans la ZFE-m, l'hypothèse considère que les usagers vont chercher à changer de mode pour pouvoir réaliser leur déplacement. Le report modal considéré est alors réalisé par couple Origine – Destination selon les parts modales observés sur la situation « fil de l'eau » 2023. Le report modal se fait entre la voiture particulière passager, les transports en communs (avec distinction urbain et interurbain), le vélo et la marche à pied.
- Pour le transport logistique (VUL et PL) entièrement inclus dans la ZFE-m ou ayant le point de départ ou d'arrivée dans la ZFE-m, l'hypothèse considère que les transporteurs vont adapter leur matériel roulant puisqu'ils sont contraints de réaliser leur livraison à la destination prévue. De facto, ces véhicules interdits à la circulation dans la ZFE deviennent autorisés, cela revient à dire que ces véhicules changent de vignette Crit'air. Ce phénomène peut être assimilé à un renouvellement forcé du parc roulant.
- Tous les déplacements en transit par rapport à la ZFE subissent un changement d'itinéraire. On considère ici que ces usagers vont chercher à se dérouter plutôt que de changer de mode ou de véhicule.

5. Conclusion et perspectives

Les études de scénarisation des impacts sur la qualité de l'air de la mise en œuvre d'une ZFE sur la Métropole Rouen Normandie se sont basées sur la comparaison d'un scénario « fil de l'eau 2023 » ne prenant en compte que l'évolution naturelle du parc automobile et plusieurs scénarios proposant la mise en œuvre d'une ZFE-m avec des caractéristiques variables en termes de classe Crit'air exclues et de prise en compte ou non de certains axes structurants.

Les paramètres qualifiant la qualité de l'air étudiés sont :

- Les émissions de NO_2, PM_{10} et $PM_{2.5}$
- Les concentrations dans l'air de NO_2, PM_{10} et $PM_{2.5}$
- La superficie exposée à des concentrations de polluants supérieures aux seuils réglementaires ou aux recommandations OMS 2005 en moyennes annuelles
- La population exposée à des concentrations de polluants supérieures aux seuils réglementaires ou aux recommandations OMS 2005 en moyennes annuelles

Les évaluations ont porté sur deux périmètres de l'étude : le périmètre de la ZFE-m et le périmètre hors ZFE-m

Les principaux enseignements sont :

1- L'évolution naturelle du parc automobile entre 2017 et 2023 aurait un impact important sur l'amélioration de la qualité de l'air.
2- Au regard des hypothèses d'élaboration des modèles de trafic transmis par les services de la MRN, la mise en œuvre d'une ZFE-m a un effet bénéfique sur les émissions de polluants, sur les superficies et les populations exposées à l'intérieur du territoire de la ZFE-m.
3- Ces effets bénéfiques augmentent très sensiblement avec l'exclusion de la classe Crit'air 3.
4- Ces effets bénéfiques augmentent si les axes structurants sont inclus dans la ZFE-m
5- Des effets bénéfiques, de moindre importance, sont mis en évidence dans la zone hors ZFE-m de la zone d'étude, en conséquence directe des hypothèses de report de trafic ou de modalité de transport imposées par les restrictions de circulation dans la ZFE-m.

Le scénario S7, scénario définit par l'exclusion des classes Crit'air NC, 5, 4 et 3 et incluant les axes structurants est le scénario présentant les meilleurs résultats pour l'amélioration de la qualité de l'air en comparaison avec le fil de l'eau 2023, avec :

1- Dans le périmètre de la ZFE-m

a. Une diminution des émissions liées au trafic routier de 32% pour le NO_2, de 21.7% pour les PM_{10} et de 27% pour les $PM_{2.5}$.

b. Une diminution des superficies exposées au-delà des trois seuils étudiés[5] de 77.8% pour le NO_2, de 30.5% pour les PM_{10} et de 41.7% pour les $PM_{2.5}$.
c. Une diminution de la population exposée au-delà des trois seuils étudiés de 96.9% pour le NO_2, de 44% pour les PM_{10} et de 57% pour les $PM_{2.5}$.

2- Dans le périmètre hors ZFE-m

a. Une diminution des émissions du trafic routier de 7.7% pour le NO_2, de 4.5% pour les PM_{10} et de 5.1% pour les $PM_{2.5}$.
b. Une diminution des superficies exposées au-delà des trois seuils étudiés de 22.9% pour le NO_2, de 8.7% pour les PM_{10} et de 11.2% pour les $PM_{2.5}$.
c. Une diminution de la population exposée au-delà des trois seuils étudiés de 50% pour le NO_2, de 6% pour les PM_{10} et de 19% pour les $PM_{2.5}$.

De plus, la DREAL a souhaité compléter cette étude afin d'évaluer la faisabilité de la mise en place d'une zone à circulation différenciée (ZCD) lors des épisodes de pollution atmosphérique. Les résultats de cette évaluation sont disponibles dans le rapport complémentaire : « Evaluation de l'impact sur la qualité de l'air de dispositif de réduction de la circulation routière sur l'agglomération rouennaise. Volet 2 : Mise en œuvre d'une Zone de Circulation Différenciée (ZCD) en situation d'épisode de pollution » .

Enfin, il convient de rappeler qu'il s'agit d'une étude modélisation, qui se basent sur des hypothèses en projection et qu'il est important de mettre en place un processus d'évaluation de l'impact de la ZFE-m sur la qualité de l'air après sa mise en œuvre. Cette évaluation devra prendre en compte les nouvelles valeurs guides OMS publiées en octobre 2021.

[5] Il s'agit : de la valeur limite en moyenne annuelle du NO_2 (40 µg/m^3 à ne pas dépasser ; de la recommandation OMS 2005 en moyenne annuelle des PM_{10} (20 µg/m^3 à ne pas dépasser) ; de la recommandation OMS 2005 en moyenne annuelle des $PM_{2.5}$ (10 µg/m^3 à ne pas dépasser)

6. Annexes

6.1. Annexe 1 : Liste des communes du périmètre d'étude

AMFREVILLE-LA-MI-VOIE
ANNEVILLE-AMBOURVILLE
BARDOUVILLE
BARENTIN
BELBEUF
BERVILLE-SUR-SEINE
BIHOREL
BOIS-GUILLAUME
BONSECOURS
BOOS
CANTELEU
CAUDEBEC-LES-ELBEUF
CLEON
DARNETAL
DEVILLE-LES-ROUEN
DUCLAIR
ELBEUF
EPINAY-SUR-DUCLAIR
FONTAINE-SOUS-PREAUX
FRANQUEVILLE-SAINT-PIERRE
FRENEUSE
GOUY
GRAND-COURONNE
HAUTOT-SUR-SEINE
HENOUVILLE
HOUPPEVILLE
ISNEAUVILLE
JUMIEGES
LA BOUILLE
LA LONDE
LA NEUVILLE-CHANT-D'OISEL
LA VAUPALIERE
LE GRAND-QUEVILLY
LE HOULME
LE MESNIL-ESNARD
LE MESNIL-SOUS-JUMIEGES
LE PETIT-QUEVILLY
LE TRAIT
LES AUTHIEUX-SUR-LE-PORT-SAINT-OUEN
MALAUNAY
MAROMME
MONTIGNY
MONTMAIN
MONT-SAINT-AIGNAN
MOULINEAUX
NOTRE-DAME-DE-BONDEVILLE
OISSEL
ORIVAL
PETIT-COURONNE
PISSY-POVILLE
QUEVILLON
QUEVREVILLE-LA-POTERIE
RONCHEROLLES-SUR-LE-VIVIER
ROUEN
ROUMARE
SAHURS
SAINT-AUBIN-CELLOVILLE
SAINT-AUBIN-EPINAY
SAINT-AUBIN-LES-ELBEUF
SAINTE-MARGUERITE-SUR-DUCLAIR
SAINT-ETIENNE-DU-ROUVRAY
SAINT-JACQUES-SUR-DARNETAL
SAINT-JEAN-DU-CARDONNAY
SAINT-LEGER-DU-BOURG-DENIS
SAINT-MARTIN-DE-BOSCHERVILLE
SAINT-MARTIN-DU-VIVIER
SAINT-PAER
SAINT-PIERRE-DE-MANNEVILLE
SAINT-PIERRE-DE-VARENGEVILLE
SAINT-PIERRE-LES-ELBEUF
SOTTEVILLE-LES-ROUEN
SOTTEVILLE-SOUS-LE-VAL
TOURVILLE-LA-RIVIERE
VAL-DE-LA-HAYE
VILLERS-ECALLES
YAINVILLE
YMARE
YVILLE-SUR-SEINE

En rouge communes incluses dans la ZFE-m

6.2. Annexe 2 : Présentation du modèle SIRANE

Le modèle SIRANE version 2.0 rev129 a été utilisé pour étudier l'impact de l'évolution prospective des émissions au niveau de la Métropole Rouen Normandie.
C'est un modèle développé par le Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA) de l'Ecole Centrale de Lyon (ECL). Le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain à l'échelle d'un quartier (échelle de l'ordre de 1 km à 10 km). Il permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones constituées essentiellement de rues bordées de bâtiments. Le modèle SIRANE couvre une échelle spatiale située entre l'échelle de la rue, où l'on s'intéresse plutôt à la répartition des polluants à l'intérieur même de cette rue, et l'échelle de l'agglomération, où il n'est plus possible de modéliser explicitement l'effet de chaque bâtiment. Il permet donc de fournir une cartographie de la pollution à l'échelle d'un quartier. D'un point de vue temporel, SIRANE est adapté à des échelles caractéristiques de l'ordre de l'heure. Le modèle SIRANE traite différents types d'émissions à l'aide de sources linéiques (représentant par exemple une voie de circulation) et de sources ponctuelles (par exemple une cheminée d'usine).

Le modèle SIRANE permet de prendre en compte les principaux effets qui agissent sur la dispersion des polluants à l'échelle d'un quartier :

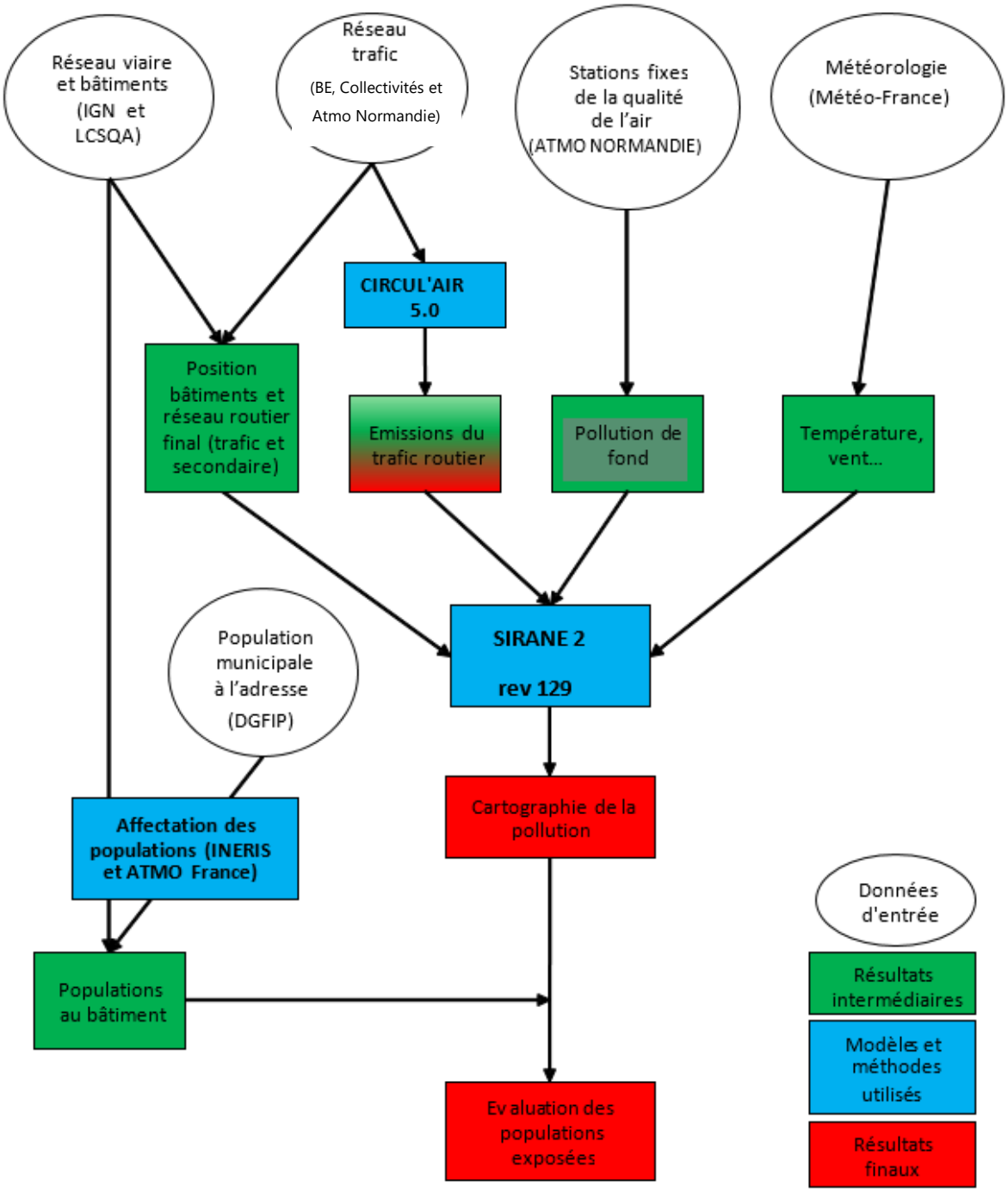
- Phénomènes de rue-canyon (confinement des polluants entre les bâtiments),
- Échange des polluants au niveau des carrefours,
- Transport des polluants au-dessus des toits,
- Prise en compte des caractéristiques du vent extérieur (vitesse, direction, turbulence, stabilité thermique),
- Modélisation de transformations chimiques simples (cycle de Chapman : NO-NO_2-O_3),
- Modélisation de la dispersion des particules.

Le modèle SIRANE est un outil qui utilise des modèles théoriques et des formulations simplifiées des différents phénomènes. Il est donc adapté au traitement d'un grand nombre de rues avec un temps de calcul limité.
Les données d'entrée nécessaires au modèle sont les suivantes :

- Un réseau de rues interconnectées, ainsi que les caractéristiques géométriques des rues (largeur et hauteur moyenne des bâtiments),
- L'évolution horaire des variables météorologiques comme le vent, la température, la nébulosité ou encore les précipitations,
- L'évolution horaire du niveau de pollution de fond,
- L'évolution horaire des données d'émissions provenant des voies de circulation. A noter que des sources ponctuelles, comme les cheminées d'usine ou les sources déduites de cadastres d'émissions peuvent être intégrées.

La version2 rev129 de SIRANE a été installée sur les serveurs de calcul du CRIANN (Centre Régional Informatique et d'Applications Numériques de Normandie). En effet, les travaux de modélisation sont assez lourds, et nécessitent, pour conserver une précision satisfaisante (de l'ordre de quelques mètres), une capacité de calcul importante.

Logigramme synthétique de mise en œuvre d'une modélisation de la qualité de l'air à l'échelle urbaine.

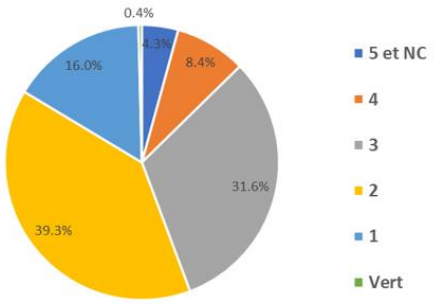


6.3. Annexe 3 : Paramètres du modèle de trafic

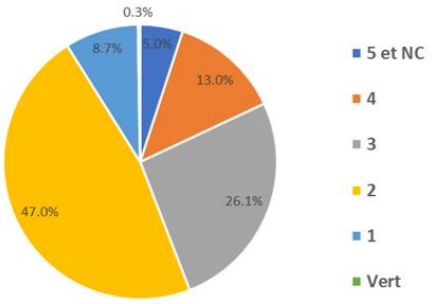
- Description du parc roulant 2017 et 2023

Parc roulant urbain réel 2017

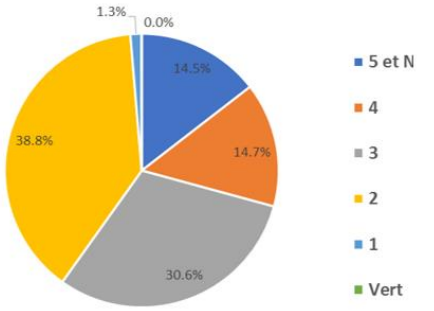
2017 - Parc roulant urbain - VP - Crit'Air



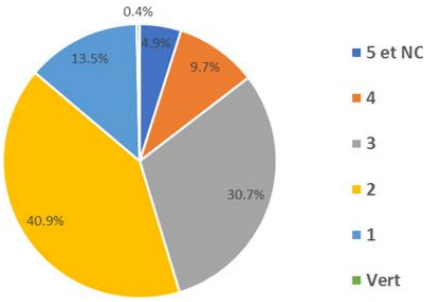
2017 - Parc roulant urbain - VUL - Crit'Air



2017 - Parc roulant urbain - PL/Bus/Cars - Crit'Air

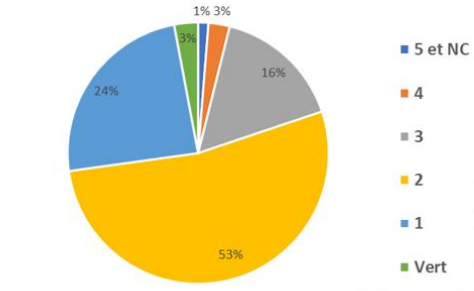


2017 - Parc roulant urbain - Tous véhicules - Crit'Air

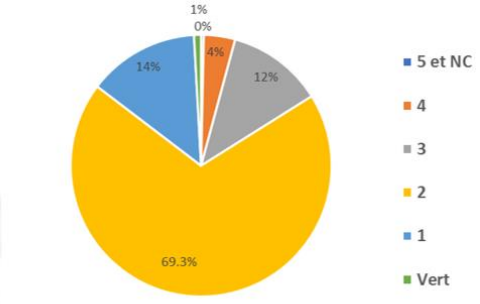


Parc roulant urbain prospectif 2023

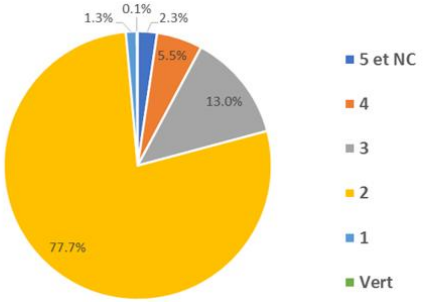
FDL 2023 - Parc roulant urbain - VP - Crit'Air



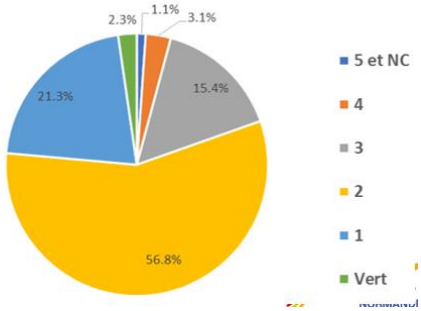
FDL 2023 - Parc roulant urbain - VUL - Crit'Air



FDL 2023 - Parc roulant urbain - PL/Bus/Cars - Crit'Air



L 2023 - Parc roulant urbain - Tous véhicules - Crit'Air



- Paramètres du modèle de trafic

Tableau récapitulatif des données qui ont été fournies par Explain, nécessaires pour le calcul des émissions.

Données fournies par Explain	Etat initial	Scénario « fil de l'eau »	Scénario « cible »
Brin et type de véhicule concerné par scénario ZFE-m (1 oui 0 non)	0	0	1 ou 0 selon scénario
Nombre de voie	Identique quel que soit état/scénario		
JOUR_VOL_VP autorisé par brin (qui est en fait un VPJO)	Réseau de trafic 2017 et 2023, variable selon état/scénario		
JOUR_VOL_VUL autorisé par brin (qui est en fait un VULJO)	Réseau de trafic 2017 et 2023, variable selon état/scénario		
JOUR_VOL_PL autorisé par brin (qui est en fait un PLJO)	Réseau de trafic 2017 et 2023, variable selon état/scénario		
Vitesse voie	Identique quel que soit état/scénario		
Capacité voie	Identique quel que soit état/scénario		

Pour chaque scénario, il a fallu :

- Estimer le VPJA à partir du VPJO
- Estimer le VULJA à partir du VULJO
- Estimer le PLJA à partir du PLJO
- Estimer un nombre de BUS, CAR, et 2Roues journalier annuel à partir des VPJA, VULJA, PLJA et du parc prospectif CITEPA (pour l'échéance 2023) et parc réel CITEPA (pour l'échéance 2017)
- En déduire le TMJA et %PL

- Pour le calcul des émissions, la composition technique du parc national (réel pour 2017 ou prospectif pour 2023) de véhicules issue du CITEPA et fournie par le Ministère en charge de l'environnement est utilisé. Chaque parc est sous-divisé en environ 600 catégories suivant le type de véhicules, le combustible, le poids, la cylindrée de la motorisation, la norme Euro, …

6.4. Annexe 4 : présentation de l'outil CIRCUL'AIR 5.0

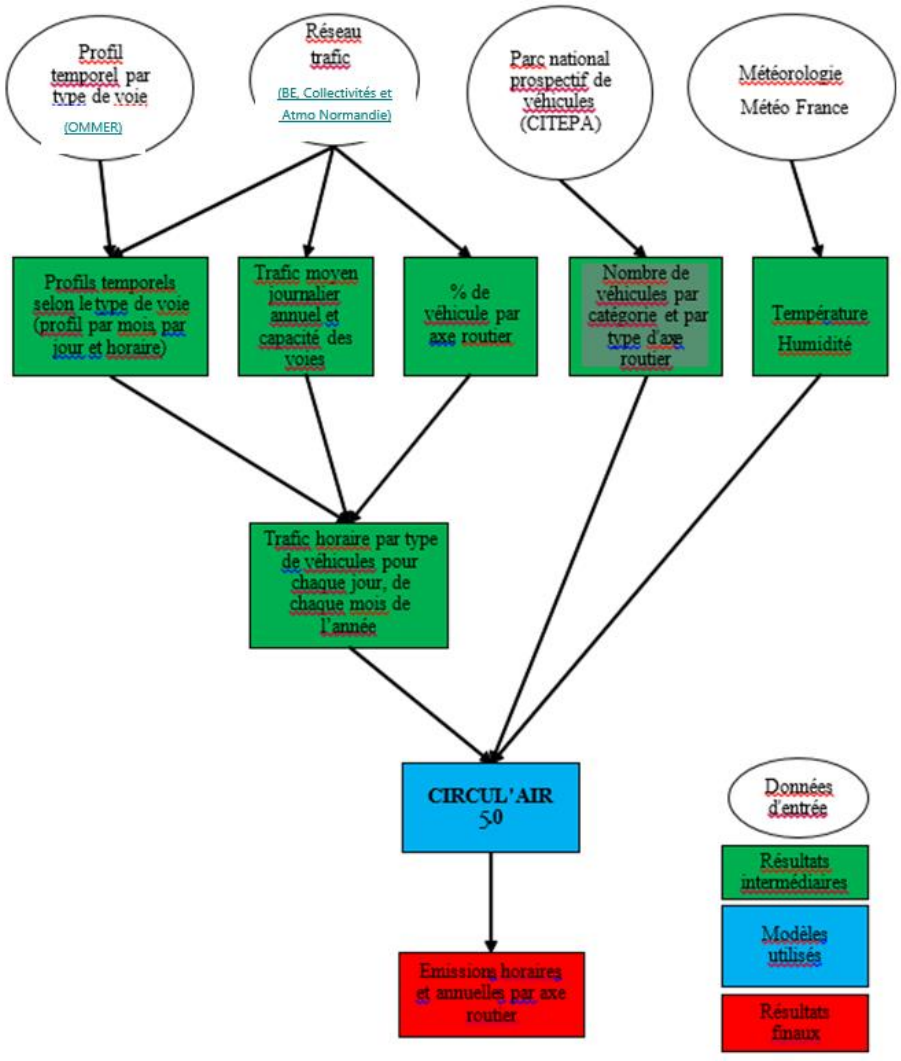
CIRCUL'AIR 5.0, développé par l'ATMO GE (AASQA de la Région Grand Est), permet le calcul des émissions des véhicules à chaud et à froid, mais également des émissions par évaporation et par usure des pneus, des freins et de la route, ainsi que la remise en suspension. Il intègre également des corrections d'émissions en fonction de l'âge du véhicule, de l'utilisation de la climatisation, de l'évolution des carburants et du CAR labelling[6] de l'ADEME. CIRCUL'AIR 5.0 permet de calculer les émissions d'une quarantaine de polluants ainsi que la consommation de carburant et l'énergie consommée et ceci pour environ 600 classes de véhicules.

Le principe de calcul se décompose en trois étapes :

- Estimation du trafic horaire,
- Estimation de la vitesse horaire du trafic,
- Calcul des émissions annuelles.

Outre les données de trafic issues du modèle d'Explain, les données de composition du parc national sont intégrées dans l'outil de calcul des émissions CIRCUL'AIR 5.0. Pour la situation initiale 2017, le parc roulant national du CITEPA (édition 07/01/2020 : 07_01_2020 AASQA parc roulant 90-18_circulair_v5.xls) fournit par le Ministère en charge de l'environnement via le LCSQA a été utilisé.
Pour les scénarios prospectifs 2023, le parc prospectif national du CITEPA [1](édition 07/01/2020 : 07_01_2020 LCSQA Parc Prospectif 19_38_circulair_v5.xls) fournit par le Ministère en charge de l'environnement via le LCSQA a été utilisé.

Le fichier transmis contient les projections du parc automobile français (métropole) pour tous les types de véhicules (VP, VUL, PL, Bus et Cars, 2 Roues) par norme et catégorie (format COPERT V) pour les années 2019 à 2038. Ce parc découle du scénario "*Avec Mesure*



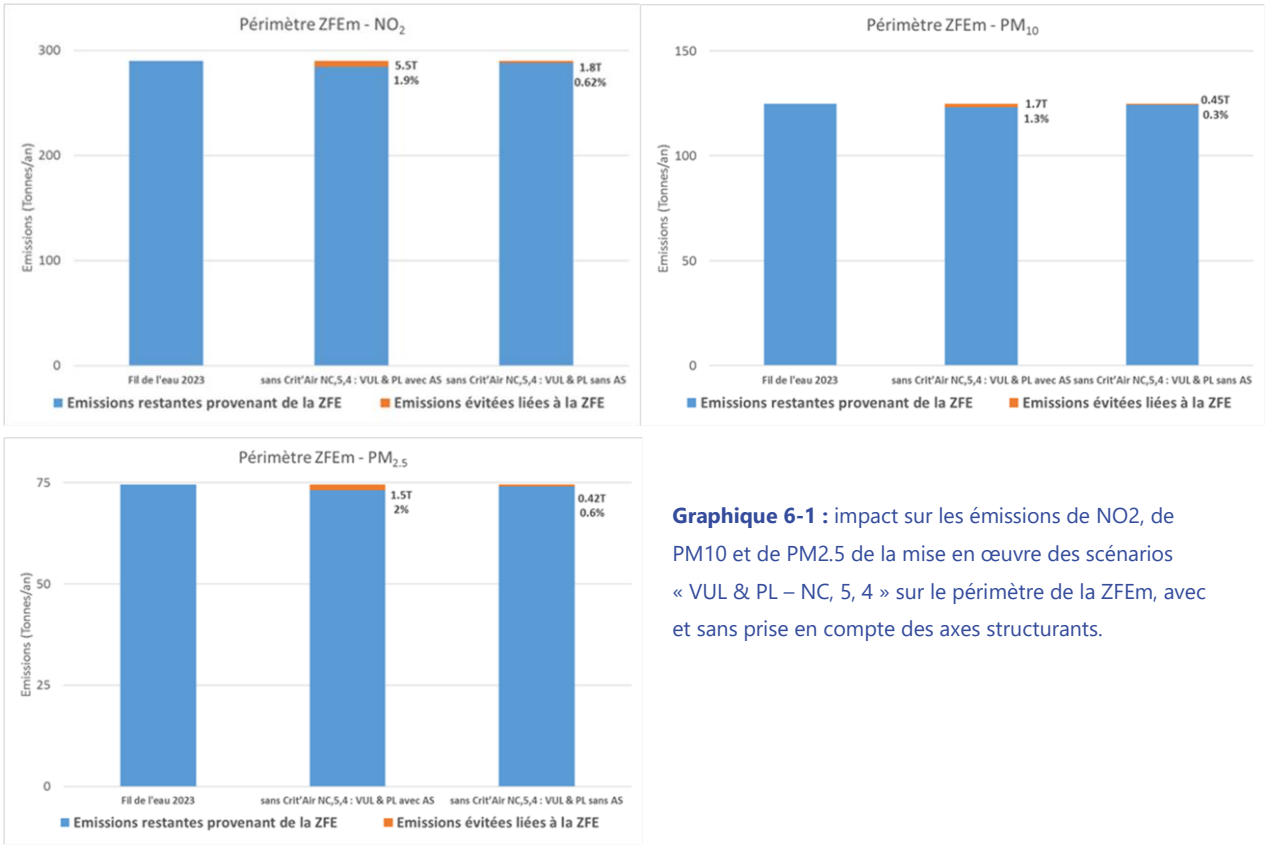
Logigramme méthodologique de calcul des émissions des transports routiers.

[6] « Car labelling » est utilisé dans le cadre des actions mises en œuvre en Europe pour le respect de la directive européenne n°1999/94/CE du 13 décembre 1999. Cette dernière, transposée en droit français par le Décret n° 2002-1508 du 23 décembre 2002 est à l'origine de la mission de l'ADEME consistant à éditer les informations relatives à l'étiquetage énergie/CO_2 des véhicules particuliers neufs mis sur le marché chaque année. http://carlabelling.ademe.fr

Existante (AME)". Ce scénario inclut toutes les mesures visant la réalisation des objectifs énergétiques français, et la réduction des émissions de GES et de polluants atmosphériques, effectivement adoptées ou exécutées avant le 1er janvier 2012.

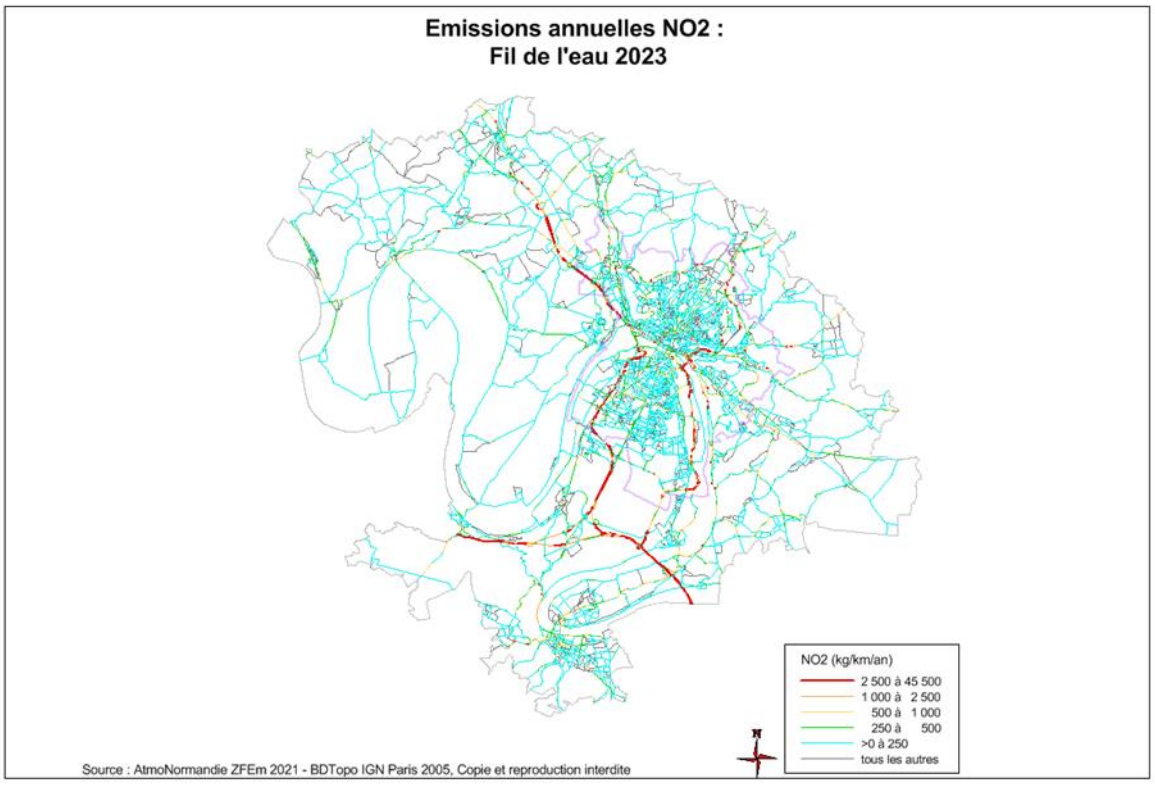
6.5. Annexe 5 : Atlas cartographique

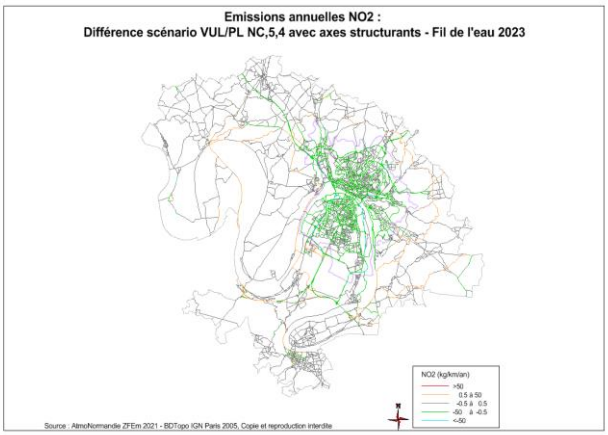
6.5.1. Résultats du scénario 3 et 4 : exclusion VUL/PL Crit'air NC/5/4 : ZFE-m sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2022)



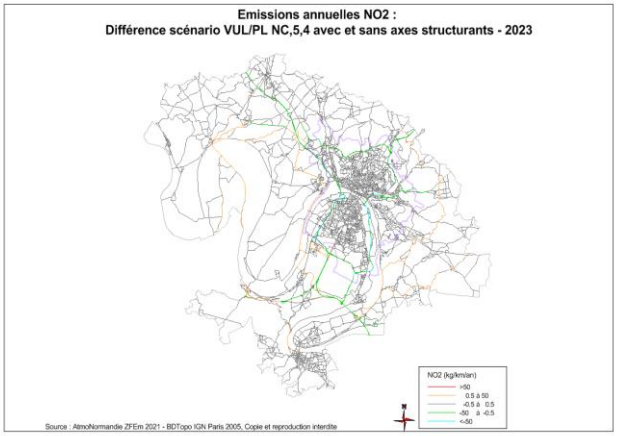
Graphique 6-1 : impact sur les émissions de NO2, de PM10 et de PM2.5 de la mise en œuvre des scénarios « VUL & PL – NC, 5, 4 » sur le périmètre de la ZFEm, avec et sans prise en compte des axes structurants.

NO_2

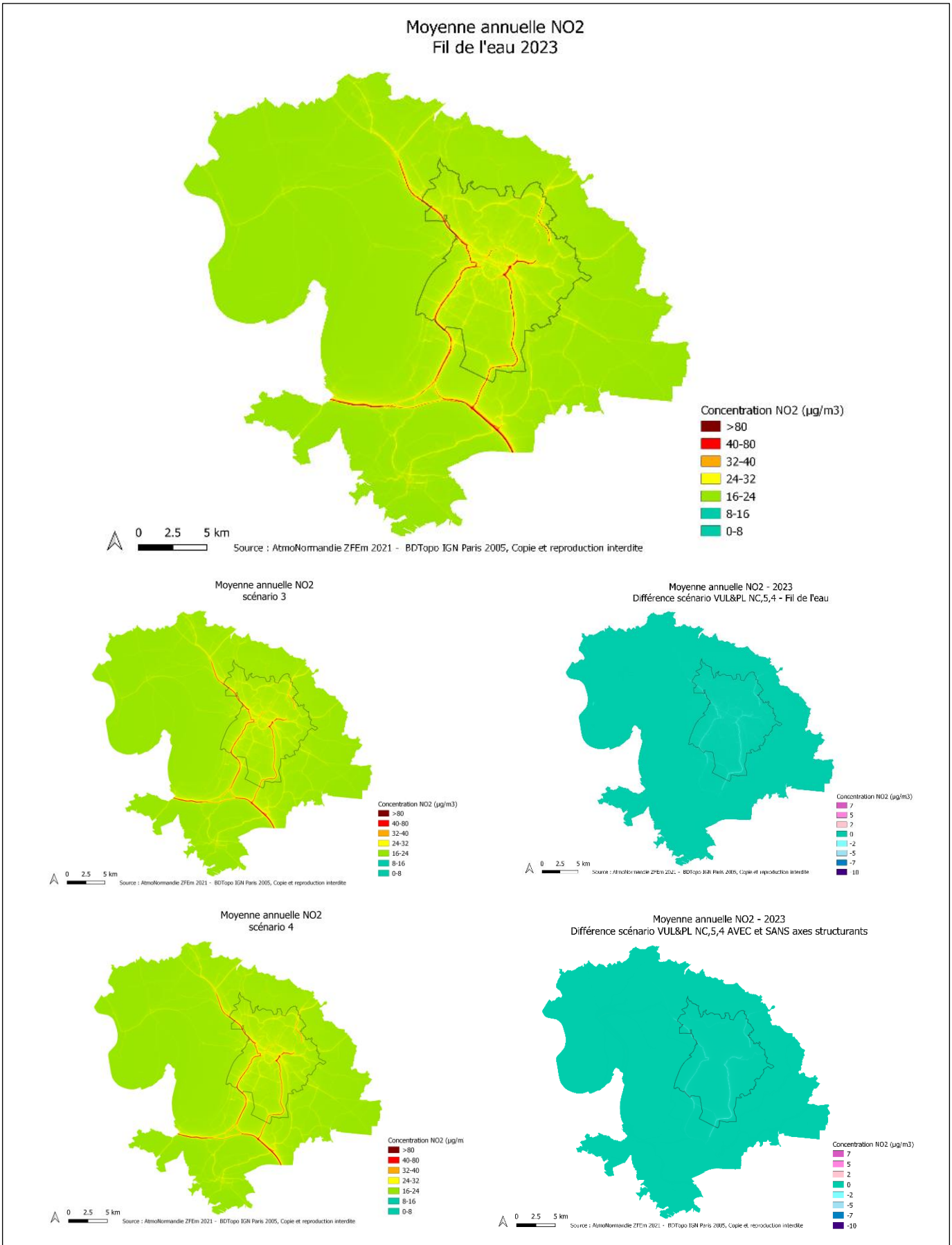




Graphique 6-2 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de NO_2 entre le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 interdits dans la ZFE-m et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-3 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de NO_2 entre le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 sans AS »



Graphique 6-4 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de NO_2

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

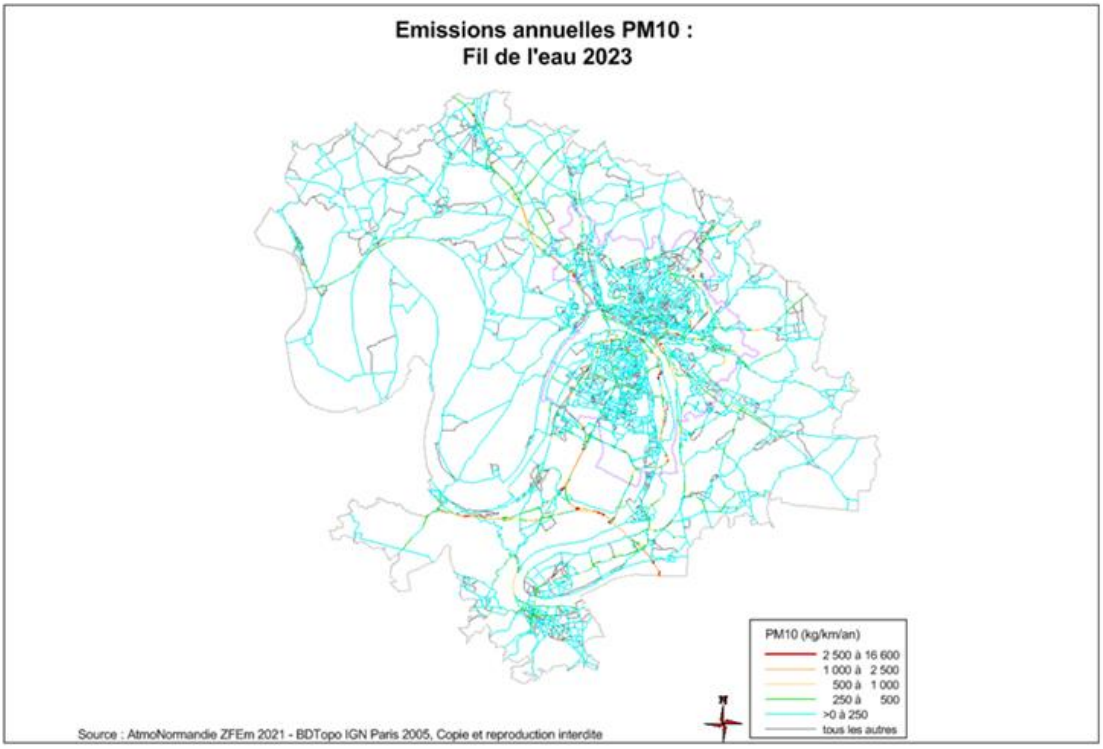
Pour le scénario 3 (avec axes structurant), milieu-gauche

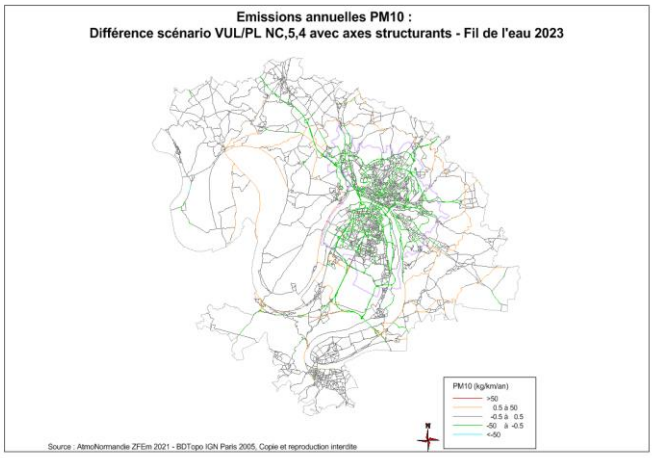
Ecarts scénario 3 – fil de l'eau 2023, milieu droit

Pour le scénario 4 (sans axes structurants), bas-gauche

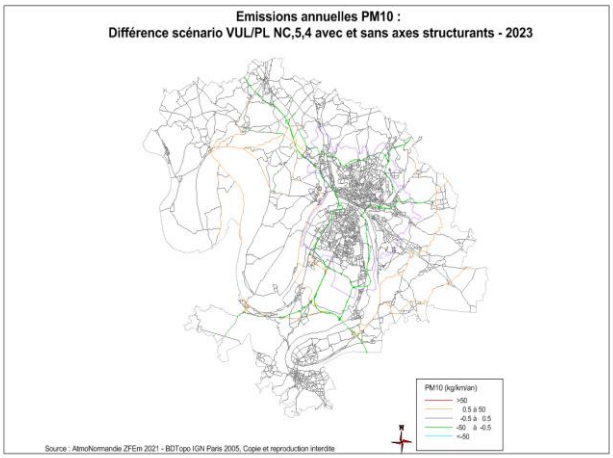
Ecarts scénario 3 – scénario 4, bas droit

PM_{10}

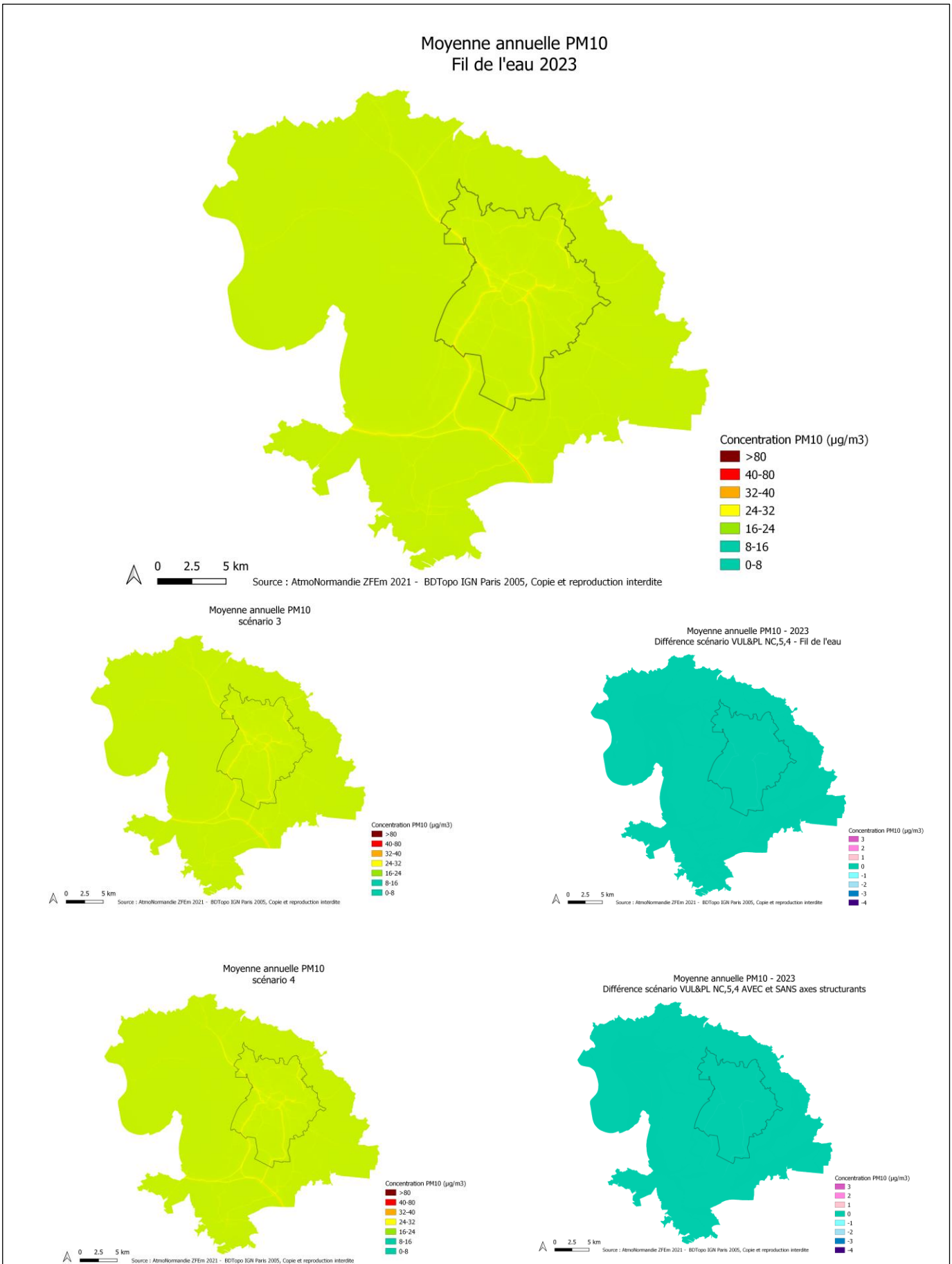




Graphique 6-5 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de PM_{10} entre le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 interdits dans la ZFEm et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-6 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de PM_{10} entre le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 sans AS »



Graphique 6-7 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de PM_{10}

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

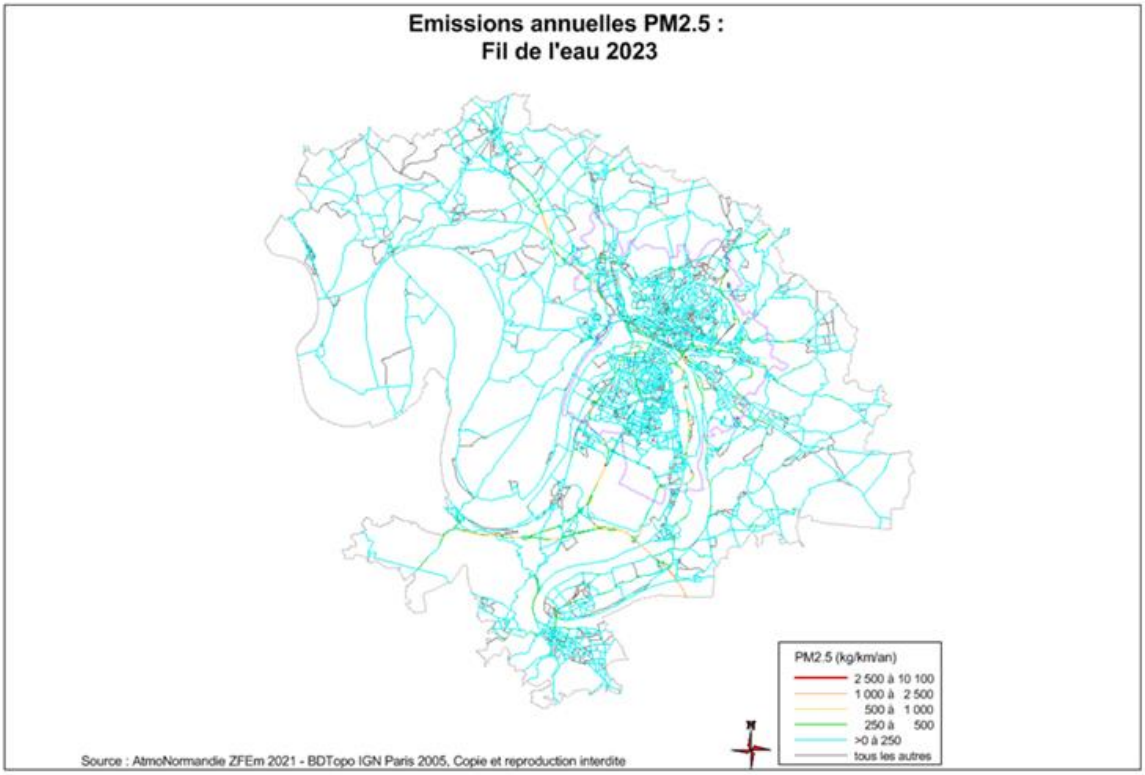
Pour le scénario 3 (avec axes structurant), milieu-gauche

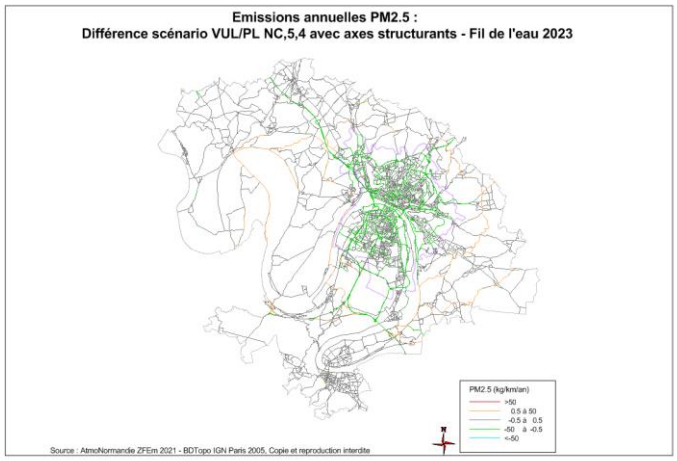
Ecarts scénario 3 – fil de l'eau 2023, milieu droit

Pour le scénario 4 (sans axes structurants), bas-gauche

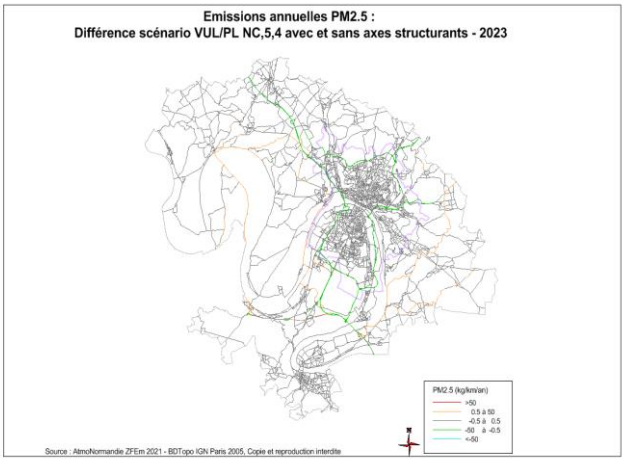
Ecarts scénario 3 – scénario 4, bas droit

$PM_{2.5}$

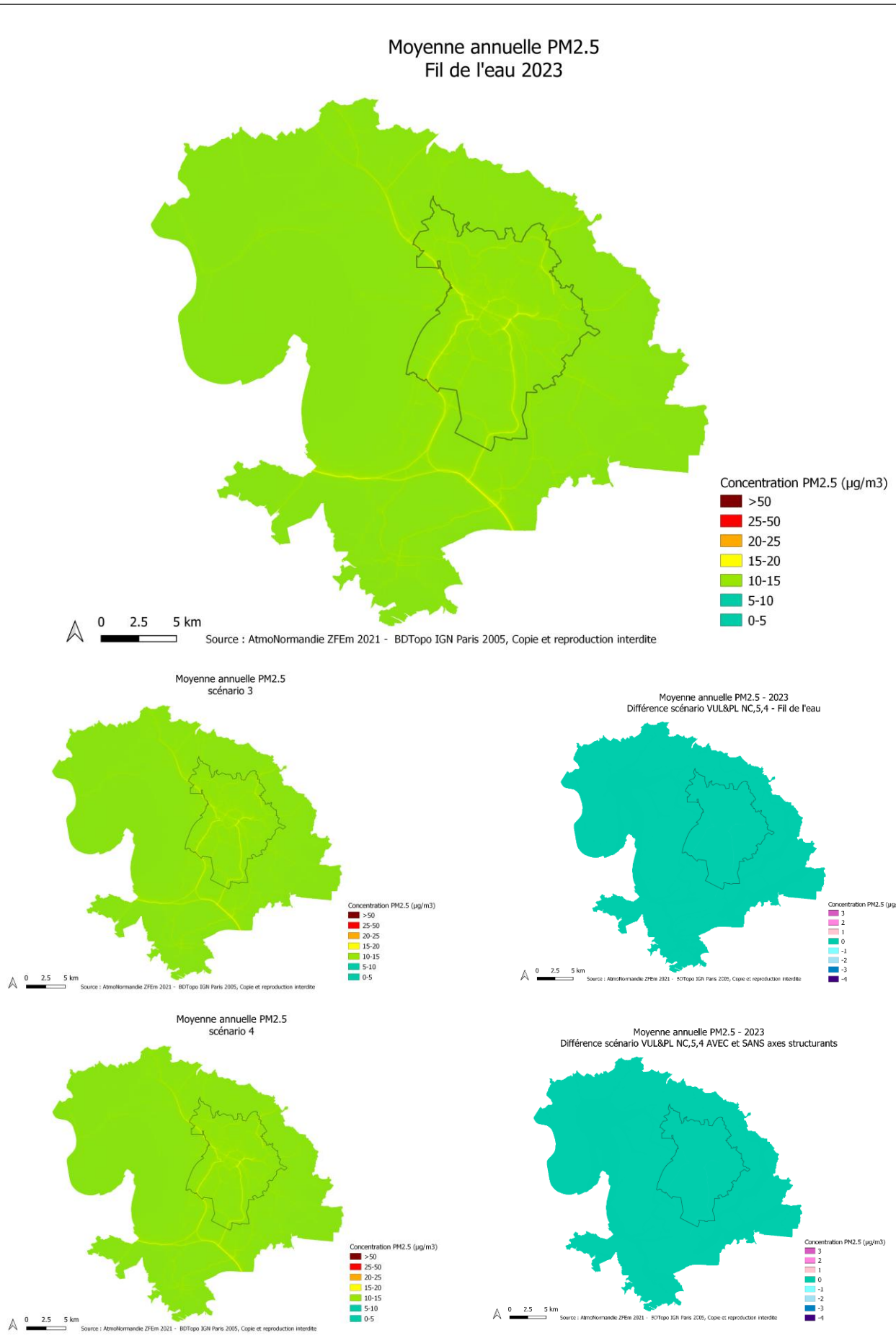




Graphique 6-8 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de $PM_{2.5}$ entre le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 interdits dans la ZFEm et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-9 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de $PM_{2.5}$ entre le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « VUL/PL Crit'Air NC, 5, 4 sans AS »



Graphique 6-10 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de $PM_{2.5}$

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

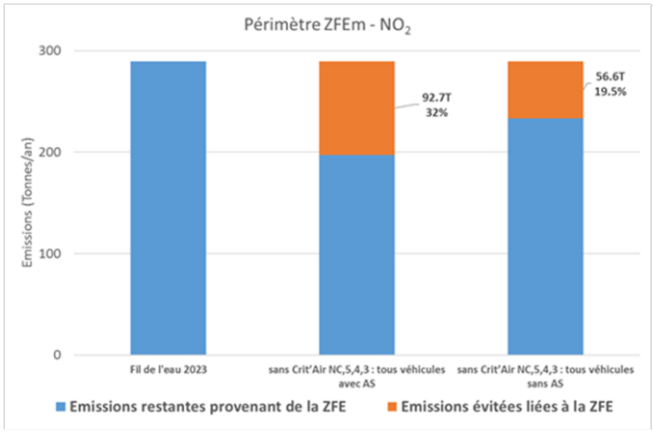
Pour le scénario 3 (avec axes structurant), milieu-gauche

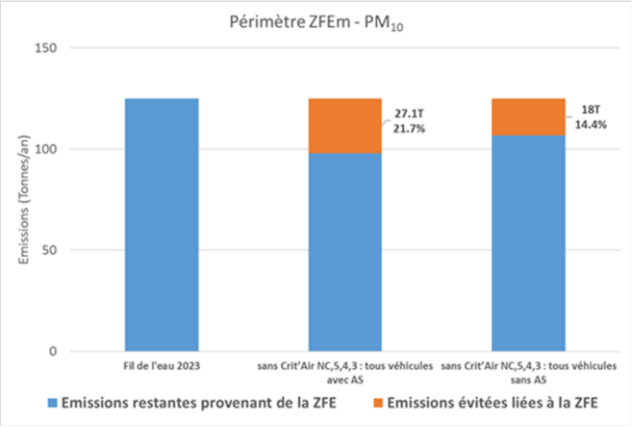
Ecarts scénario 3 – fil de l'eau 2023, milieu droit

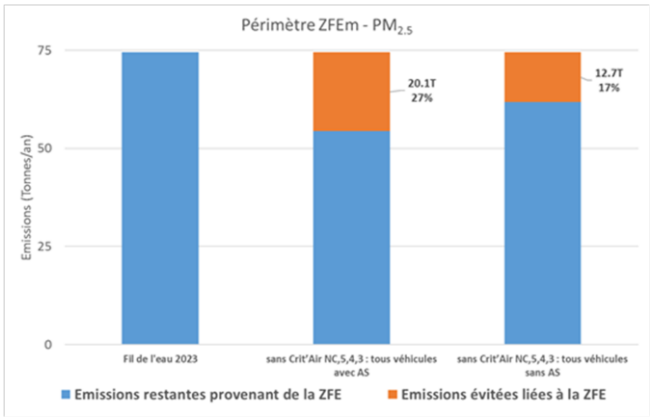
Pour le scénario 4 (sans axes structurants), bas-gauche

Ecarts scénario 3 – scénario 4, bas droit

6.5.2 Résultats du scénario 7 et 8 : exclusion tous véhicules Crit'air NC/5/4/3 : ZFEm sur 16 communes (mise en place éventuelle 1/1/2023)

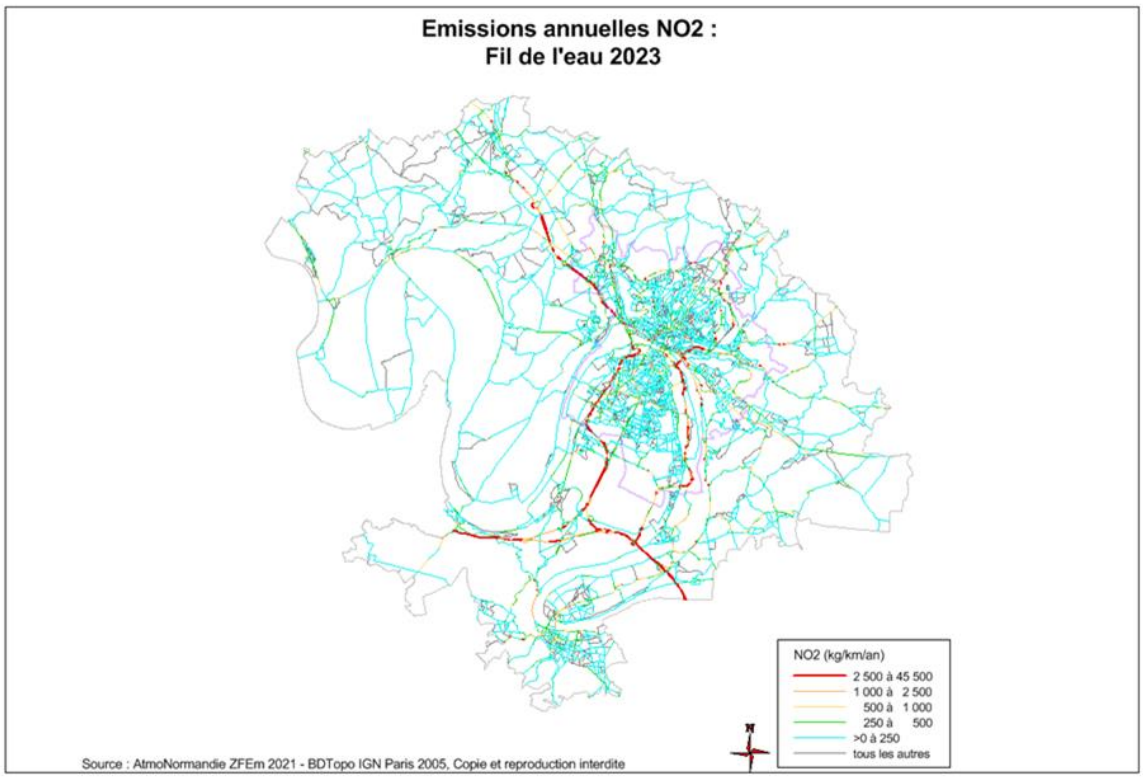


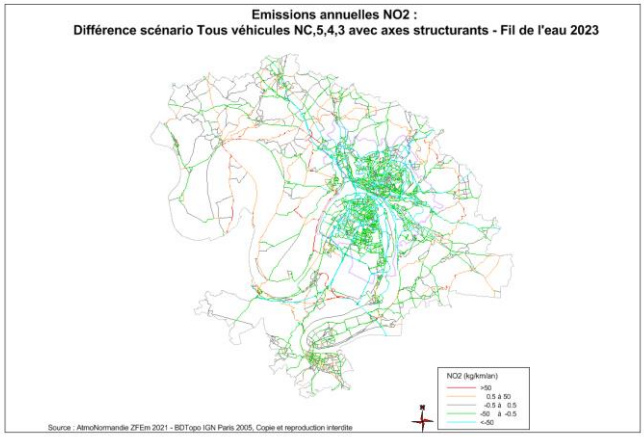




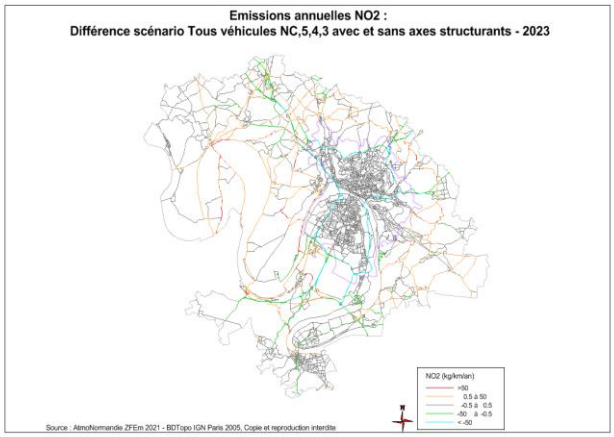
Graphique 6-11 : impact sur les émissions de NO2, de PM_{10} et de $PM_{2.5}$ de la mise en œuvre des scénarios « Tout véhicule – NC, 5, 4, 3 » sur le périmètre de la ZFEm, avec et sans prise en compte des axes structurants.

NO_2

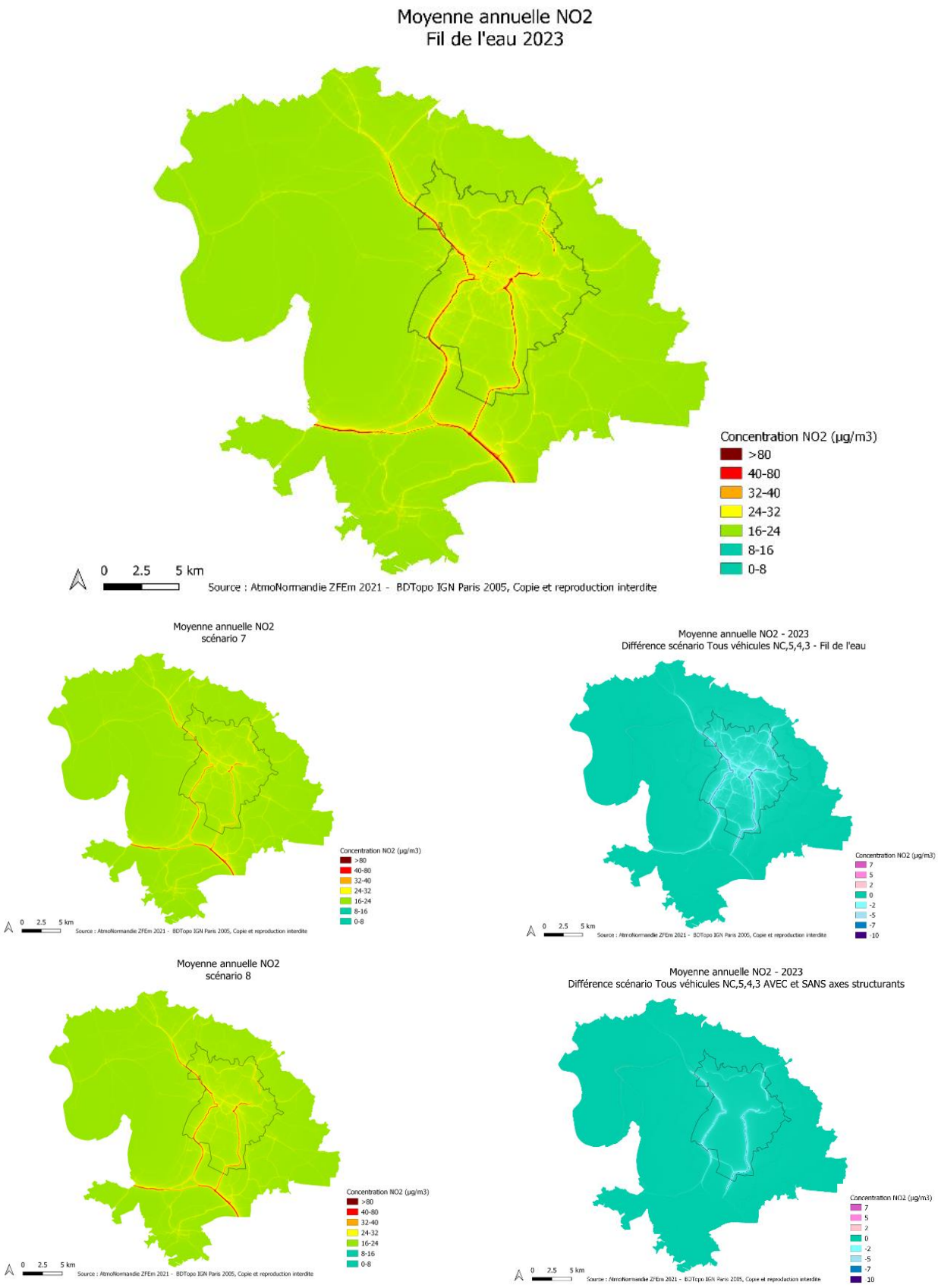




Graphique 6-12 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de NO_2 entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 interdits dans la ZFEm et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-13 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de NO_2 entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 avec AS » et le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 sans AS »



Graphique 6-14 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de NO_2

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

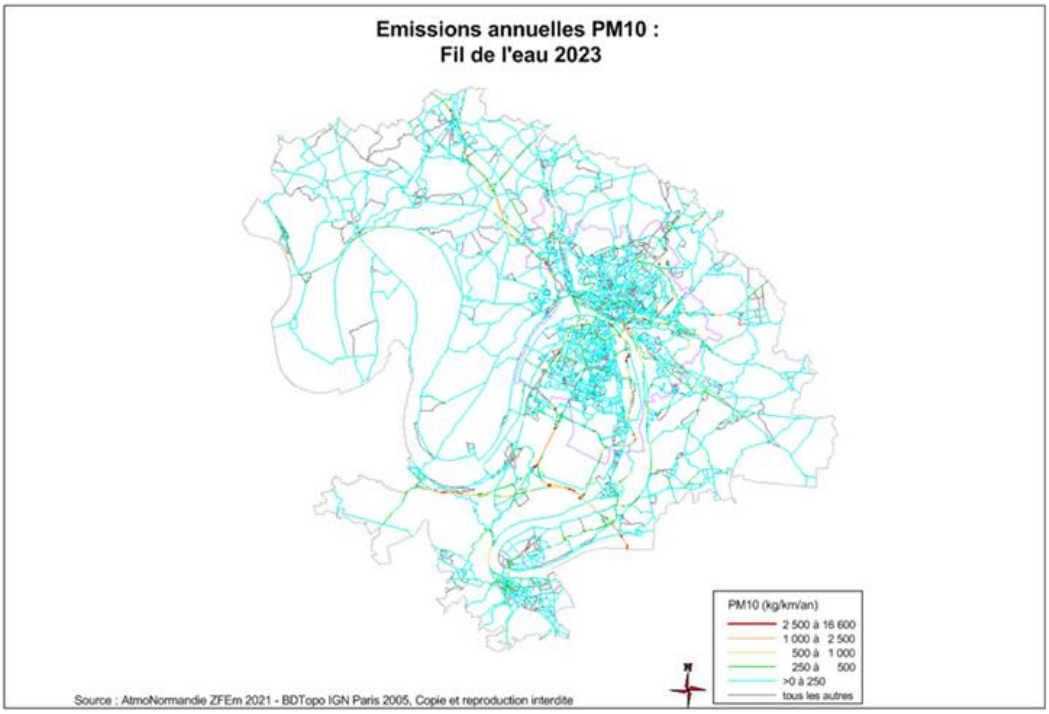
Pour le scénario 7 (avec axes structurant), milieu-gauche

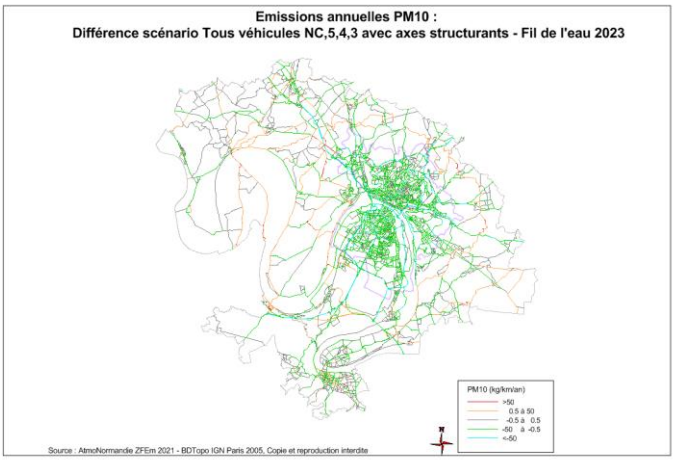
Ecarts scénario 7 – fil de l'eau 2023, milieu droit

Pour le scénario 8 (sans axes structurants), bas-gauche

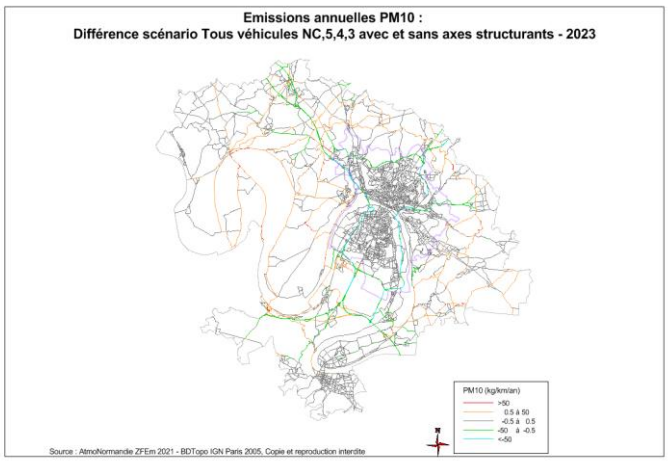
Ecarts scénario 7 – scénario 8, bas droit

PM_{10}

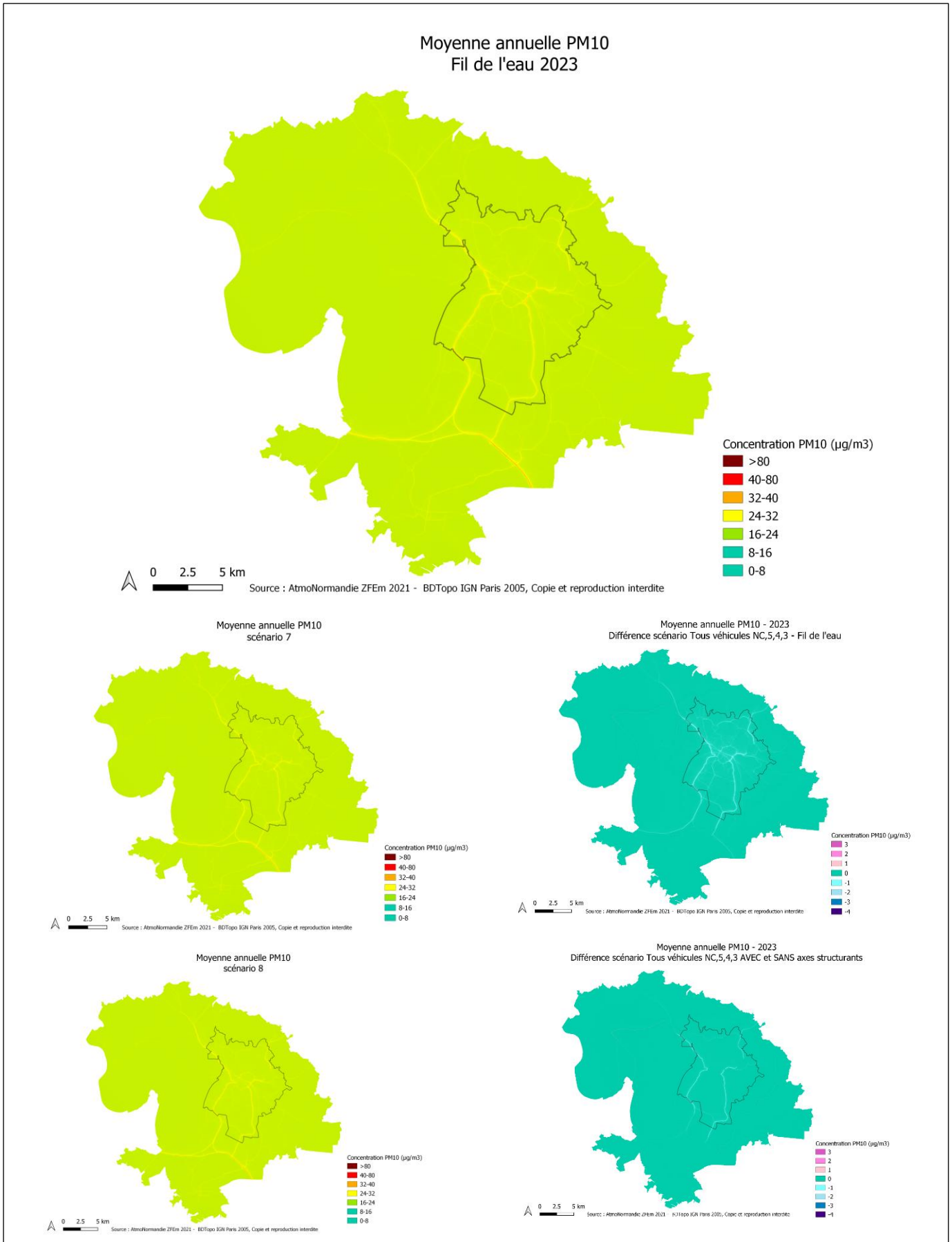




Graphique 6-15 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de PM_{10} entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 interdits dans la ZFEm et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-16 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de PM_{10} entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 avec AS » et le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 sans AS »



Graphique 6-17 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de PM_{10}

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

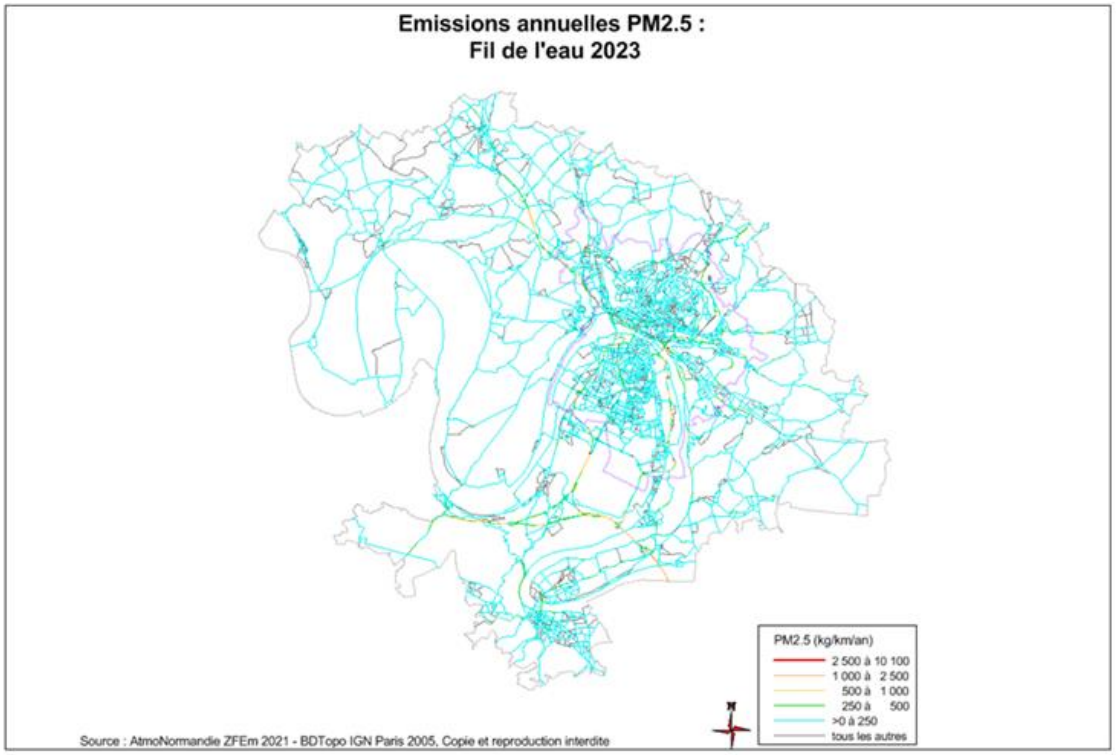
Pour le scénario 7 (avec axes structurant), milieu-gauche

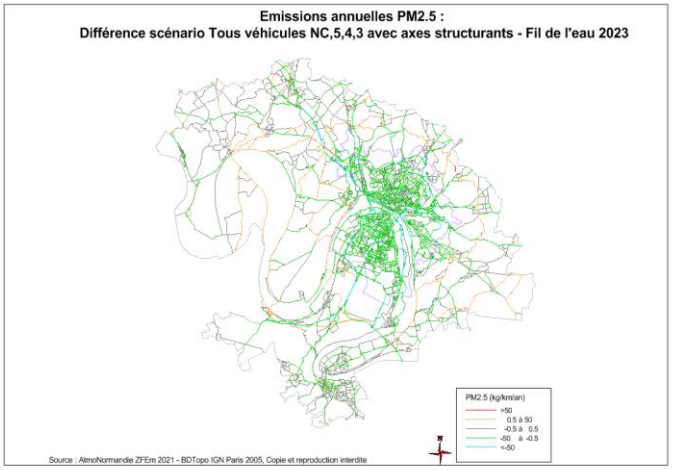
Ecarts scénario 7 – fil de l'eau 2023, milieu droit

Pour le scénario 8 (sans axes structurants), bas-gauche

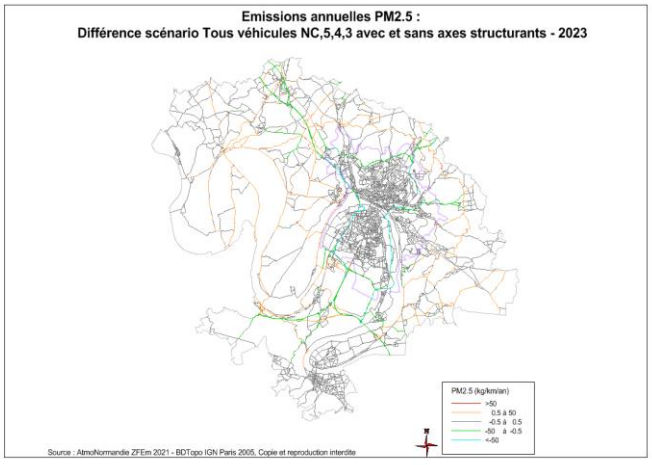
Ecarts scénario 7 – scénario 8, bas droit

$PM_{2.5}$

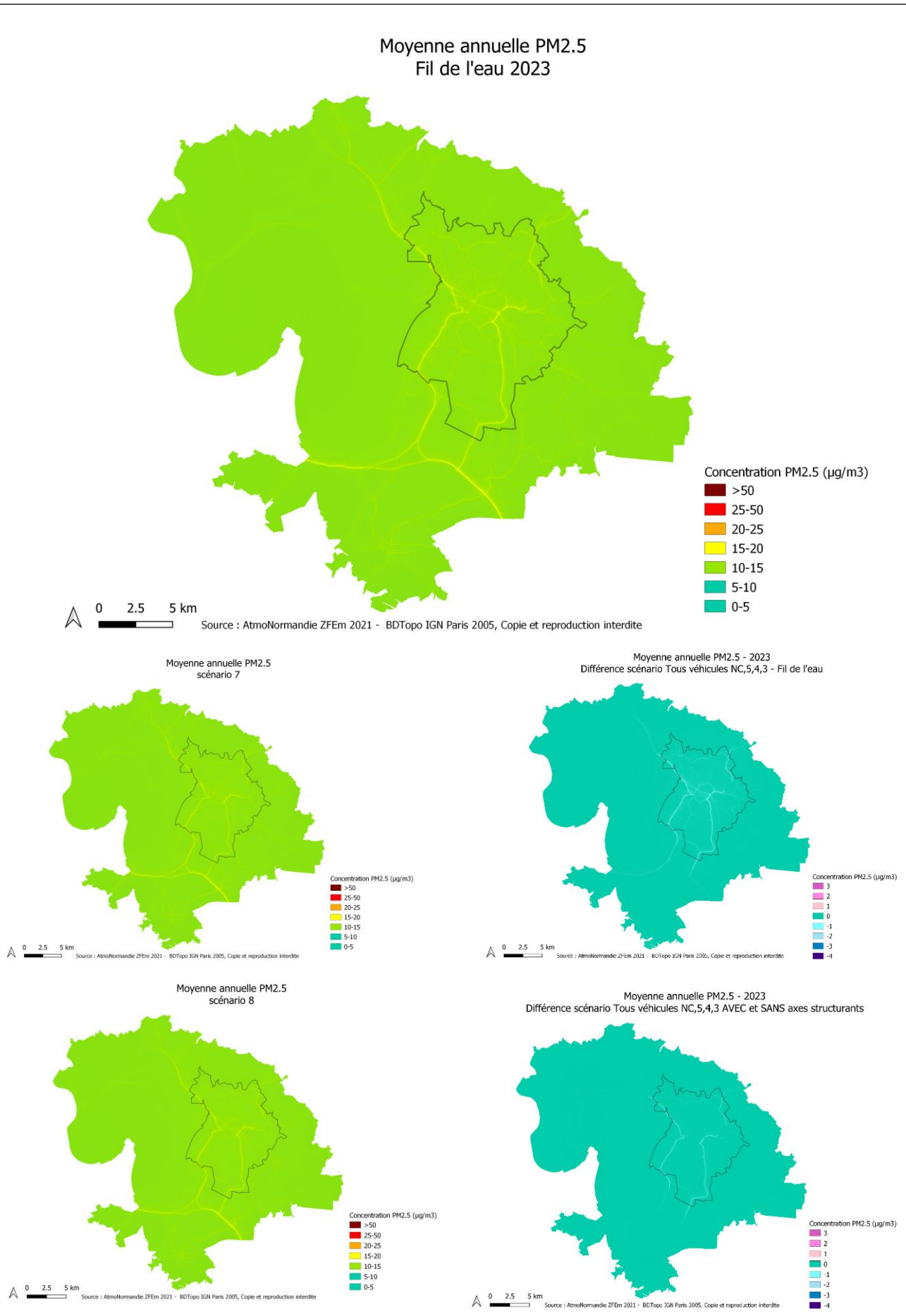




Graphique 6-18 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de $PM_{2.5}$ entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 interdits dans la ZFEm et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-19 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de $PM_{2.5}$ entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 avec AS » et le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4, 3 sans AS »



Graphique 6-20 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de $PM_{2.5}$

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

Pour le scénario 7 (avec axes structurant), milieu-gauche

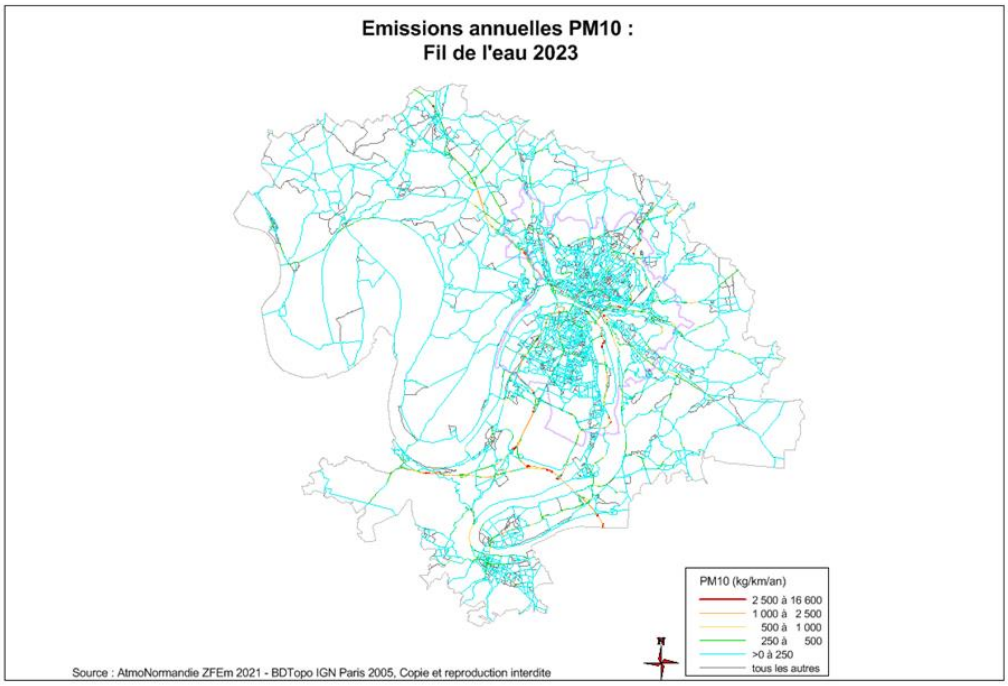
Ecarts scénario 7 – fil de l'eau 2023, milieu droit

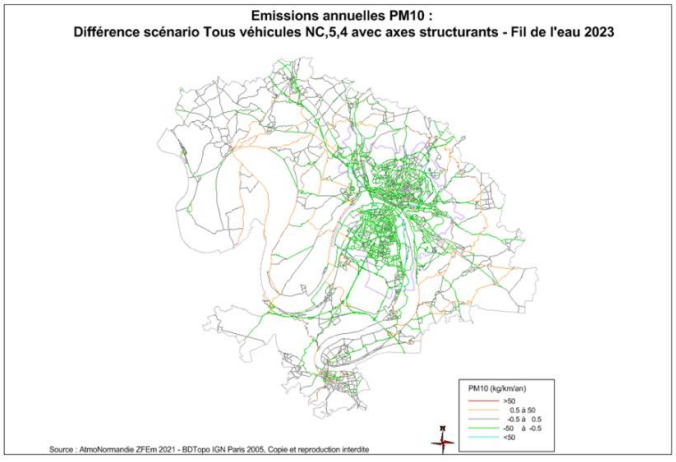
Pour le scénario 8 (sans axes structurants), bas-gauche

Ecarts scénario 7 – scénario 8, bas droit

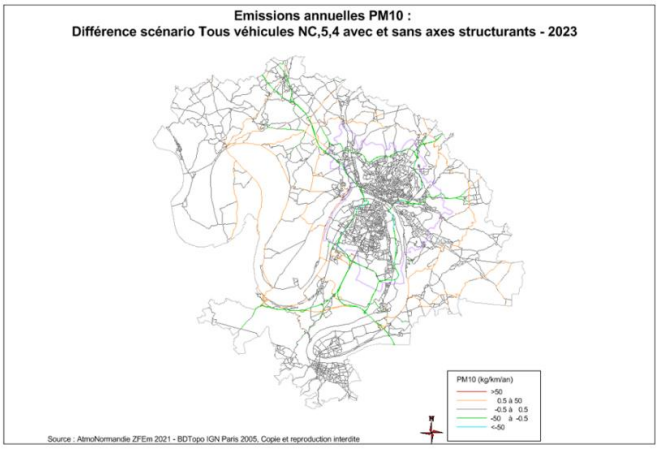
6.5.3. Résultats du scénario 5 et 6: « Tout véhicule – NC, 5, 4 » avec et sans axes structurants (mise en place éventuelle 1/7/2022) – Cartes PM_{10} et $PM_{2.5}$

PM_{10}

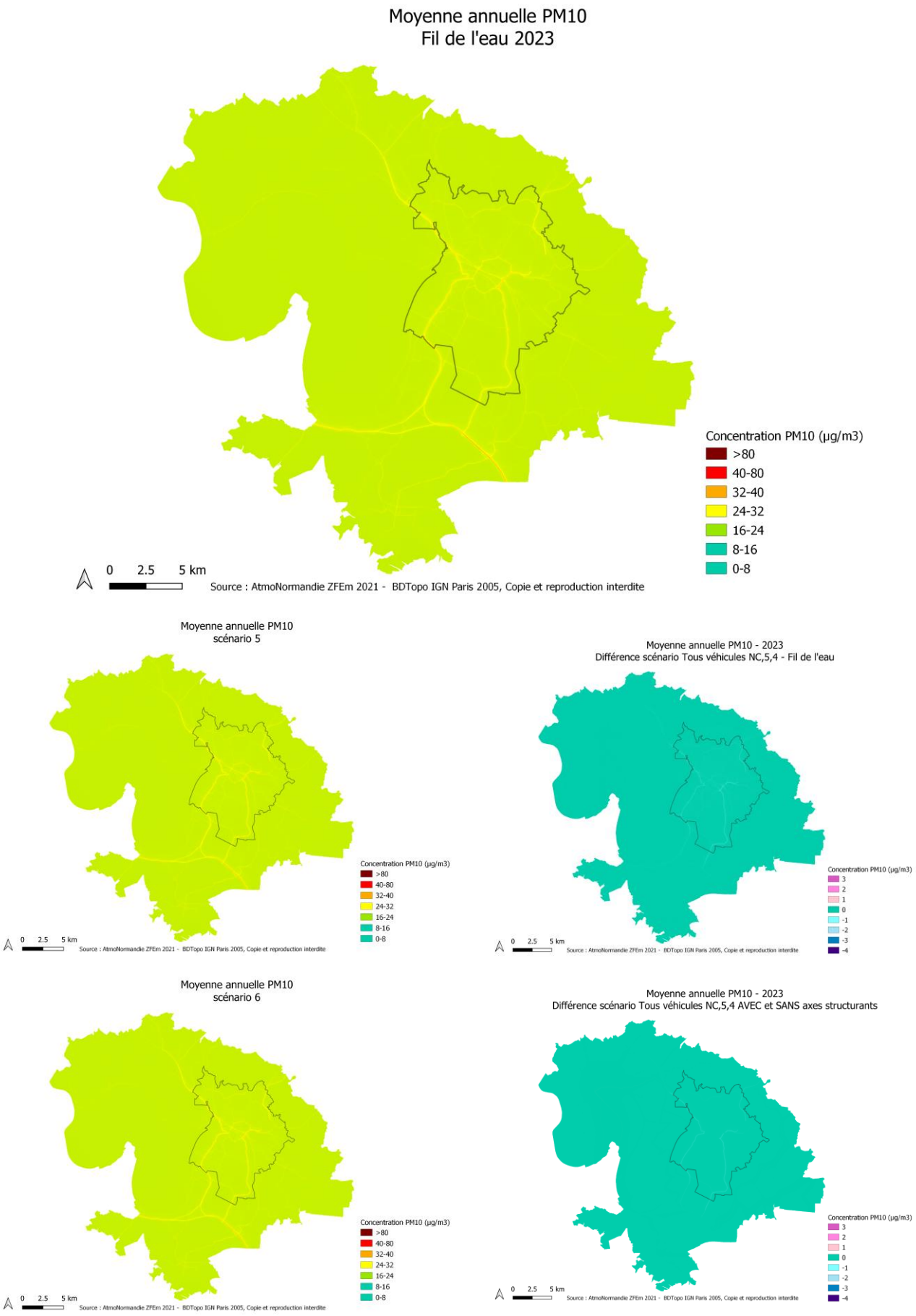




Graphique 6-21 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de PM_{10} entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4 interdits dans la ZFEm et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-22 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de PM_{10} entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4 sans AS »



Graphique 6-23 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de PM_{10}

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

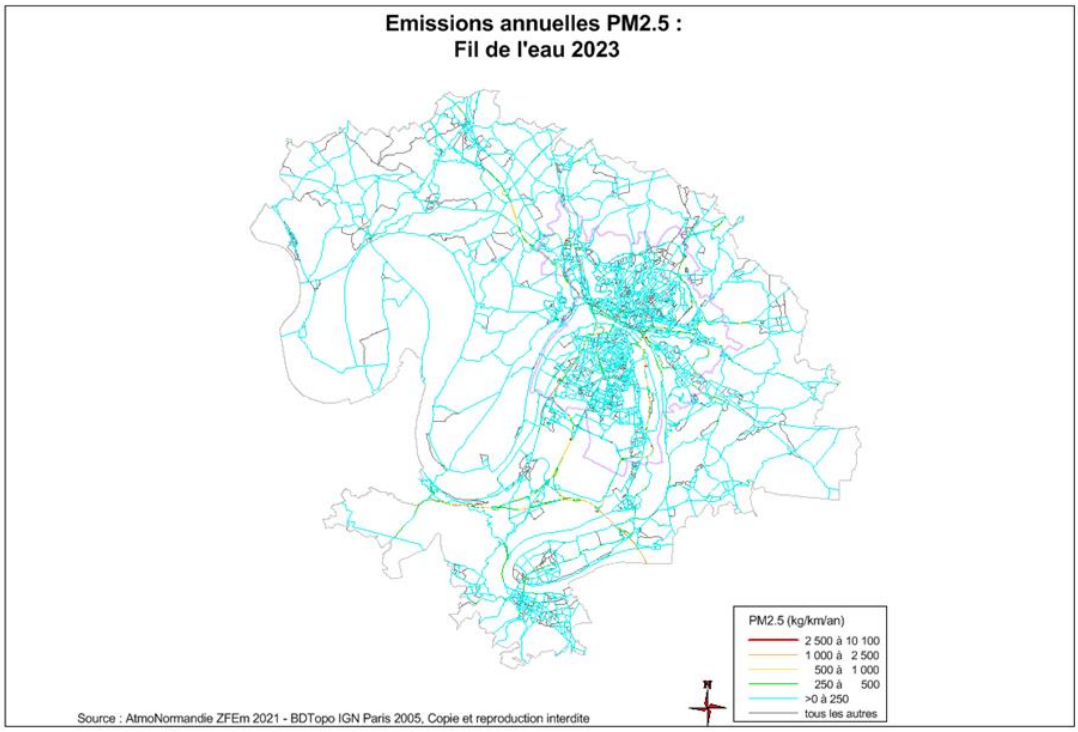
Pour le scénario 5 (avec axes structurant), milieu-gauche

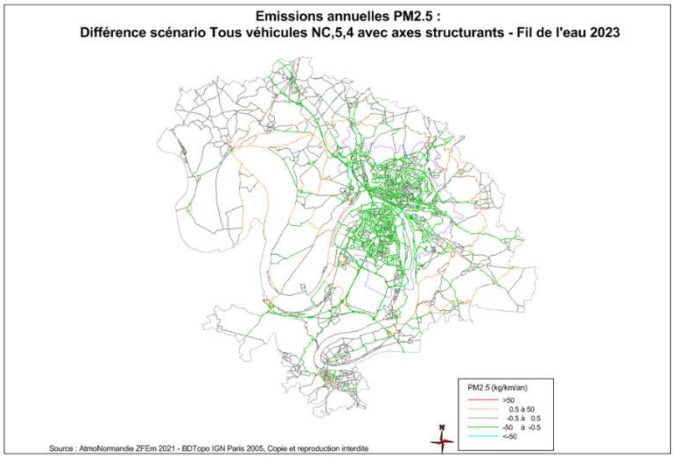
Pour le scénario 6 (sans axes structurants), bas-gauche

Ecarts scénario 5 – fil de l'eau 2023, milieu droit

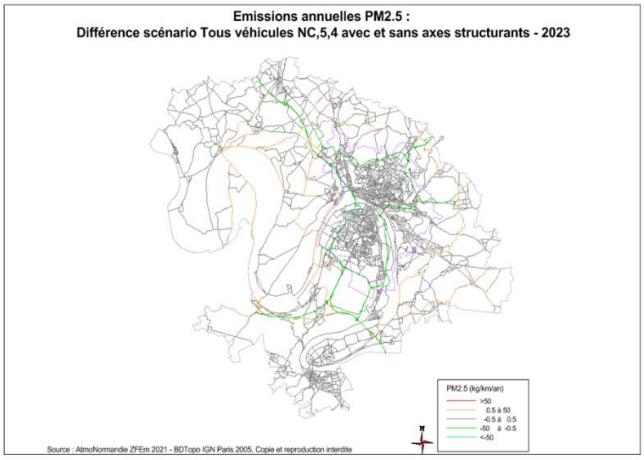
Ecarts scénario 5 – scénario 6, bas droit

$PM_{2.5}$

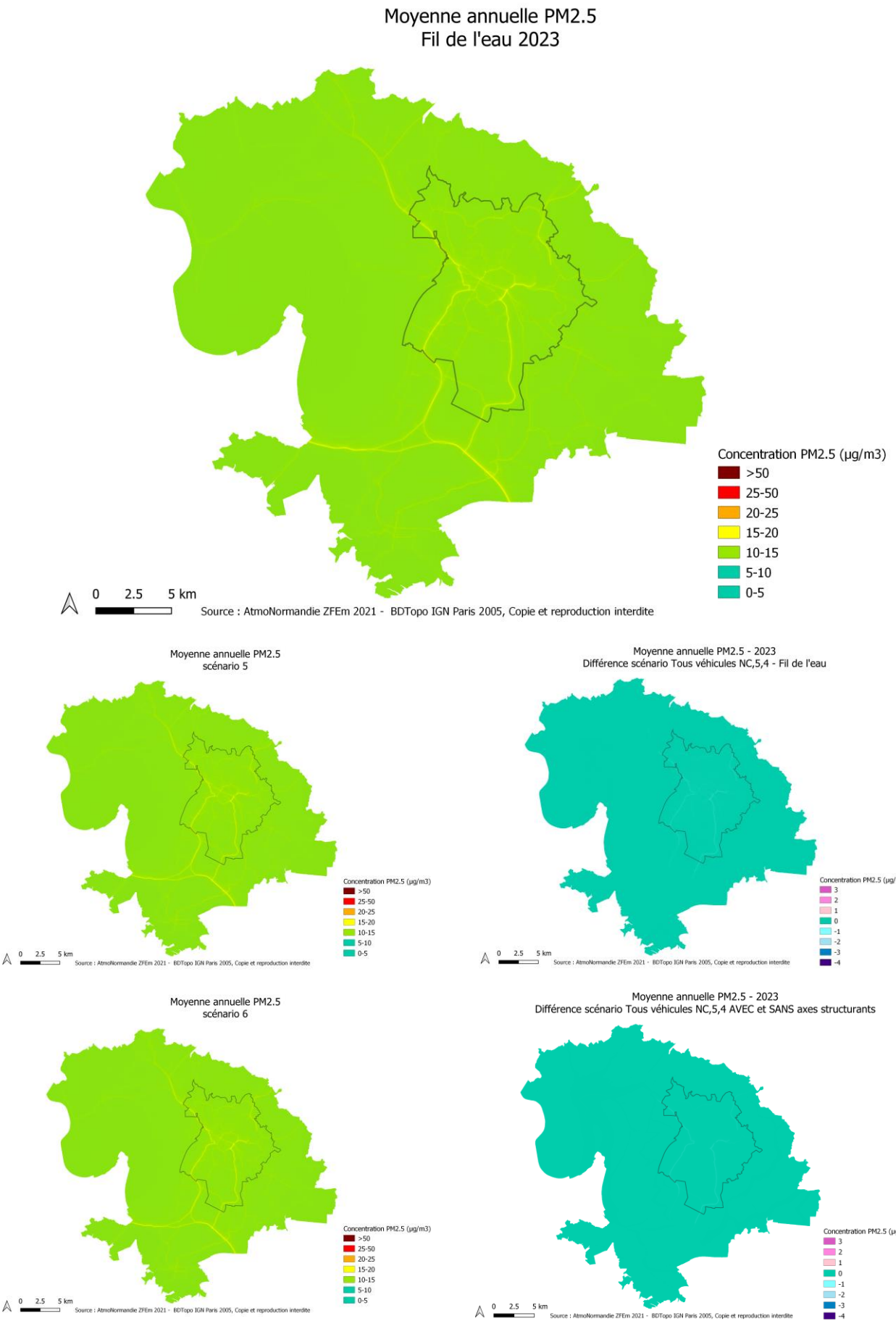




Graphique 6-24 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de $PM_{2.5}$ entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4 interdits dans la ZFEm et sur les axes structurants en 2023 » et « fil de l'eau 2023 »



Graphique 6-25 : Cartographie de la différence des émissions annuelles de $PM_{2.5}$ entre le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4 avec AS » et le scénario « Tous véhicules Crit'Air NC, 5, 4 sans AS »



Graphique 6-26 : Cartographie des concentrations de la moyenne annuelle de $PM_{2.5}$

Pour le scénario « fil de l'eau 2023 », en haut

Pour le scénario 5 (avec axes structurant), milieu-gauche

Ecarts scénario 5 – fil de l'eau 2023, milieu droit

Pour le scénario 6 (sans axes structurants), bas-gauche

Ecarts scénario 5 – scénario 6, bas droit

7. Bibliographie

[1] Inventaire des émissions 2018 version 3.2.7 – Format TousSecteurs Simplifié – Atmo Normandie 2020

[2] Parc CITEPA réel : 07_01_2020 AASQA parc roulant 90-18_circulair_v5.xls

[3] Parc CITEPA prospectif : 07_01_2020 LCSQA Parc Prospectif 19_38_circulair_v5.xls

[4] Modélisation de trafic ZFE-m - Métropole de Rouen Normandie – Explain (Baptiste Cordhomme – avril 2021)

[5] Documentation en ligne de SIRANE – Ecole Centrale de Lyon – Laboratoire de M écanique des Fluides et d'Acoustique - http://air.ec-lyon.fr/SIRANE/

[6] Notice d'emploi du logiciel Circul'Air 5.0 – Atmo Grand Est (2019)

[7] Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques (polluants de l'air et gaz à effet de serre) – Ministère de la Transition écologique et solidaire – Version n°2 juin 2018

[8] LCSQA : Note technique : FOURNITURE DES DONNEES DE POPULATION SPATIALISEES SELON LA METHODOLOGIE NATIONALE (METHODOLOGIE MAJIC) - (L. Létinois, LCSQA-INERIS, février 2015)

[9] Modélisation urbaine de la qualité de l'air sur la ZAG en 2021 – ref : EN_MOD_301_V02-MRN-2021 – Atmo Normandie Fev 2022

[10] Etude de préfiguration d'une Zone à Faibles Emissions sur Bordeaux Métropole - Scénarisation et impact sur la qualité de l'air - 02/05/19 – Atmo-Nouvelle-Aquitaine (Benoît Duval)

RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmonormandie.fr

Atmo Normandie
3 Place de la Pomme d'Or, 76000 ROUEN
Tél. : +33 2.35.07.94.30
Fax : +33 2.35.07.94.40
contact@atmonormandie.fr