

Evaluation de l'impact sur la qualité de l'air de dispositifs de restriction de la circulation routière sur le périmètre d'étude de la CU de Caen la Mer

Etude de la mise en œuvre d'une zone à faibles émissions
ZFE-m

Référence : 1900-008

Diffusion : Septembre 2024

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° 1900-008

Le 30/09/2024

Le rédacteur,
Mara Cesano

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 sur la qualité de l'air de la mise en place, au 1^{er} janvier 2025, de restrictions de circulation routière dans la Communauté Urbaine de Caen la mer. La mise en œuvre d'une ZFE-m fait partie des outils réglementaires visant à diminuer les zones géographiques exposées aux fortes concentrations de polluants.

L'étude est basée sur la comparaison de deux scénarios :

- le scénario « fil de l'eau 2025 », c'est-à-dire sans mise en place de la ZFE-m en 2025,
- un scénario avec interdiction des véhicules particuliers non classés sur le périmètre « projet ZFE-m 2025 ».

Les polluants étudiés sont : le dioxyde d'azote (NO₂), les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5}. Les résultats des scénarisations sont exprimés selon trois types d'indicateurs : (1) émissions des polluants (2) surfaces exposées à la pollution et (3) populations exposées à des dépassements de seuils décrits ci-dessous.

Les trois seuils de concentration des polluants dans l'air correspondent (1) aux valeurs limites européennes actuelles, (2) aux valeurs limites européennes futures (2030) et (3) aux recommandations de l'OMS. Enfin, les résultats sont présentés sur deux périmètres : (1) le périmètre d'étude, plus large que le Projet ZFE-m, correspondant à la zone qui peut être impactée par la ZFE-m, (2) le périmètre du Projet de ZFE-m qui sera mise en place en janvier 2025.

Le 1^{er} résultat est que la baisse des émissions des trois polluants étudiés se situe entre 0,1 et 0,5 % selon les périmètres considérés. Ces chiffres sont à mettre au regard du pourcentage de véhicules concernés par la restriction de circulation (0,9%). Le décalage s'explique principalement par deux facteurs. Premièrement les véhicules pourront tous continuer à circuler en dehors de la zone ZFE. Deuxièmement, les hypothèses de scénarisation fournies par le CITEPA considèrent que la moitié environ des véhicules retirés de la circulation sera remplacée par des véhicules plus récents (qui continueront à émettre de la pollution).

Concernant la qualité de l'air, les valeurs limites actuelles issues de la réglementation européenne sont d'ores et déjà respectées sur l'ensemble du territoire d'étude. L'analyse porte donc principalement sur les futures valeurs limites européennes (directive européenne en cours d'adoption), et les valeurs guides de l'OMS (valeurs qui ne sont pas réglementaires) :

- Pour le dioxyde d'azote (NO₂), dans le périmètre d'étude la population exposée à un dépassement de la future réglementation est estimée à 317 habitants. En considérant la valeur guide de l'OMS, la population exposée est estimée à 110 584 habitants. Avec le projet de ZFE-m, ces chiffres seraient réduits respectivement de 8 habitants et 308 habitants.
- Pour les particules PM₁₀, la population actuellement exposée à des dépassements de ces deux seuils est très faible, et les réductions attendues non réellement significatives.
- Pour les particules PM_{2.5} (plus fines que les PM₁₀), en 2025, la population du périmètre d'étude exposée au-dessus de la future valeur limite passerait de 6 258 à 6 176 habitants. Enfin, toute la population (235 649 habitants sur le périmètre d'étude) est actuellement exposée au-delà de la recommandation OMS (5 µg/m³ en moyenne annuelle). La ZFE-m ne permet pas de réduire la population exposée au-delà de ce seuil.

Sommaire

1. Introduction	6
2. Présentation de l'étude, méthodologie et limites	7
2.1. Contexte	7
2.2. Définitions utiles pour la compréhension de l'étude	9
2.3. Approche méthodologique choisie	10
2.4. Les principales hypothèses et limites de l'étude	13
3. Résultats pour les scénarios « Fil de l'eau 2025 » et « Projet ZFE-m 2025 »	15
3.1. Résultats de l'impact sur les émissions de polluant	15
3.2. Evaluation des émissions des trois polluants étudiés	17
3.3. Evaluation des concentrations des trois polluants étudiés	21
3.4. Résultats de l'impact sur les superficies exposées pour l'ensemble des scénarios	25
3.5. Impact de la ZFE-m sur l'exposition des populations	26
4. Conclusions de l'étude	29
5. Annexes	30
Annexe 1 : Présentation du modèle SIRANE	30
Annexe 2 : Paramètres du modèle de trafic	32
Annexe 3 : Présentation de l'outil PRISME Routier v1.11	33
6. Bibliographie	34

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
CU CLM: Communauté Urbaine Caen la mer
OLT : Objectif à Long Terme
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PCAET : Plan Climat Air Énergie Territorial
PCIT 2: Pôle National de Coordination des Inventaires Territoriaux (version 2)
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
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'Égalité 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 réglementaires, l'État souhaite accélérer la mise en place de zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m), avec pour ambition de ne plus constater de dépassements de seuils réglementaires pour les particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et le dioxyde d'azote (NO₂), sur le territoire national.

Dans le cadre de la loi Climat et résilience de 2021 (Article 119 modifiant L2213-4-1 du CGCT), en tant qu'agglomération de plus de 150 000 habitants, mais ne dépassant pas de manière régulière les seuils, la Communauté Urbaine de Caen la mer a l'obligation de mettre en place une ZFE-m avec des restrictions de véhicules Crit'air (à minima la restriction de circulation des voitures immatriculées jusqu'au 31 décembre 1996 (non classés), à partir du 1^{er} janvier 2025).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de la mise en place de la zone à faible émission mobilité dans le périmètre d'étude choisi par la CU de Caen la mer 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 Communauté Urbaine de Caen la mer 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.

2. Présentation de l'étude, méthodologie et limites

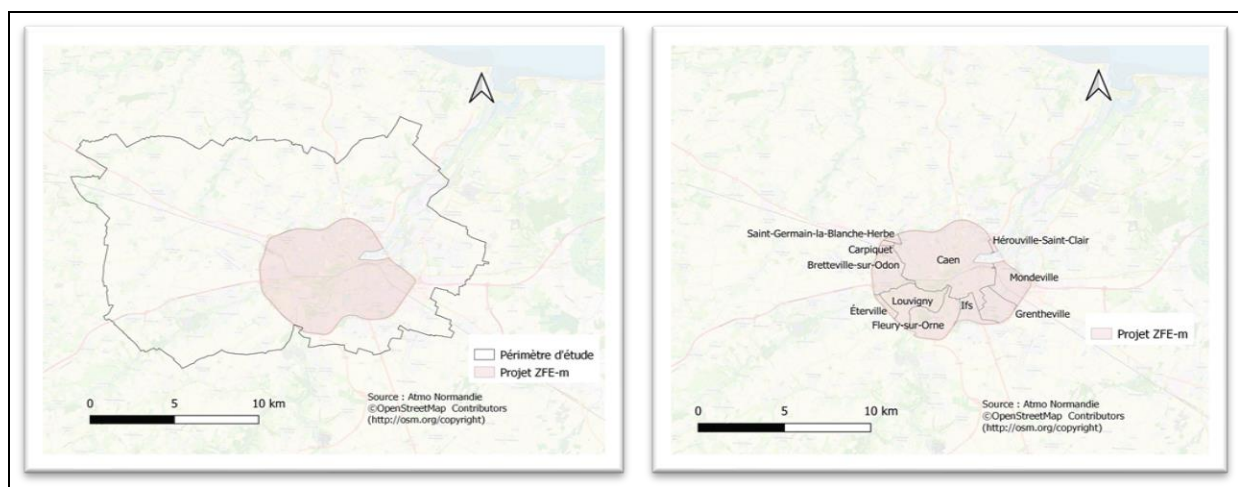
2.1. Contexte

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

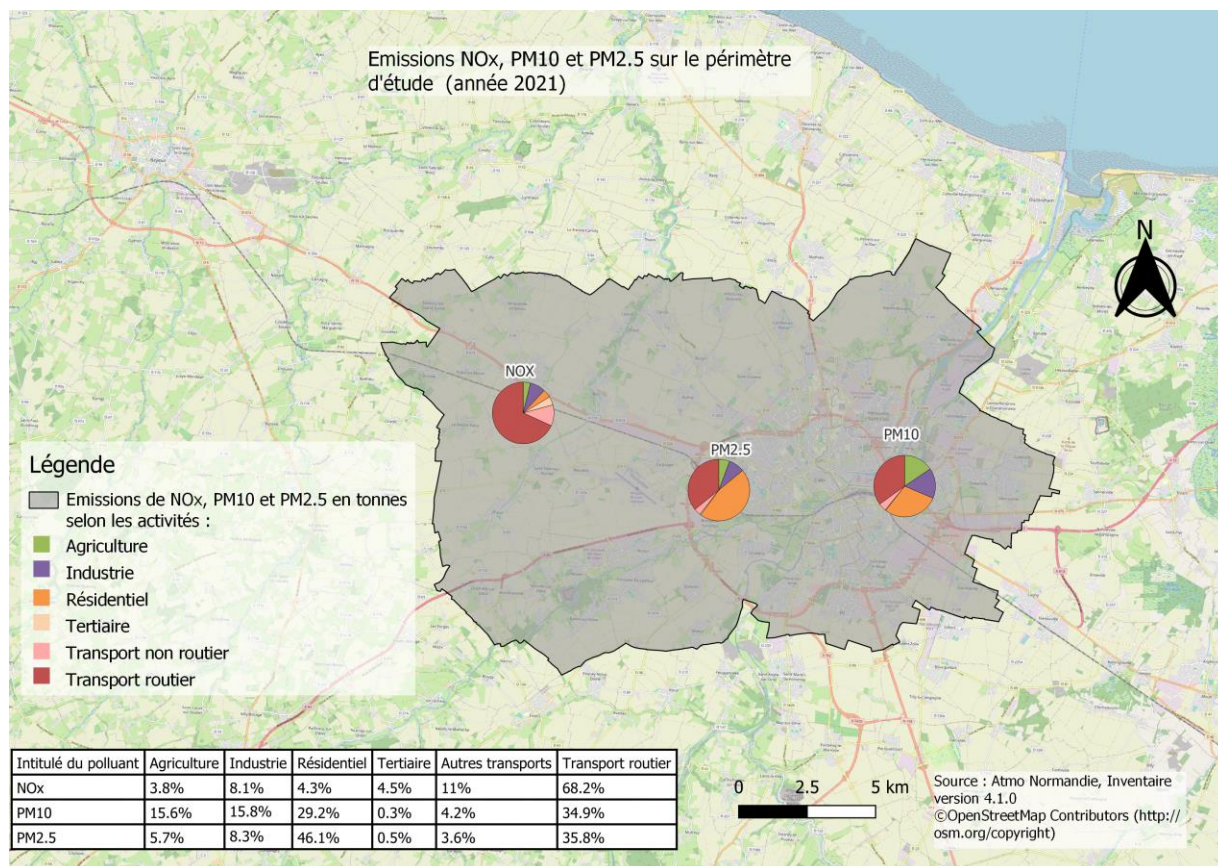
Le périmètre de l'étude, présenté sur la carte de gauche (graphique 2-1), est composé des 31 communes de la CU de Caen la mer complétées des communes de Granville-sur-Odon, Mondrainville, Baron-sur-Odon, Fontaine-Etoupefour et Maltot. La carte de droite représente le périmètre géographique du projet ZFE-m avec le nom des communes associées.

Le périmètre proposé par la Communauté Urbaine de Caen la mer pour le projet de ZFE-m est délimité par le boulevard périphérique de Caen, c'est-à-dire la route nationale RN 814. Pour permettre des déplacements intermodaux par l'accès aux parcs relais (P+R) existants ou en projet, certaines voies à l'intérieur du périmètre sont exclues de la réglementation. La Presqu'île, à l'Est de Caen entre le canal de Caen à la mer, le canal Victor Hugo et l'Orne, n'est pas intégrée au périmètre. De même, le boulevard périphérique de Caen (RN 814) est également exclu de la réglementation afin de maintenir un itinéraire de contournement pour les flux de transit.

Le transport (routier et non routier) à l'échelle du périmètre d'étude est responsable en 2021 de plus de 79% des émissions d'oxydes d'azote (et 68% dues au trafic routier), comme indiqué dans le graphique 2-2 [2]. L'objectif d'une ZFE-m est de réduire 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.



Graphique 2-1 : à droite, carte illustrant le contour de l'étude en noir et le périmètre du projet ZFE-m ; à gauche, carte illustrant le périmètre projet ZFE-m



Graphique 2-2 : Répartition sectorielle des émissions de NOx, de PM₁₀ et de PM_{2.5} sur la zone d'étude en 2021 - Inventaire des émissions 2021 version 4.1.0 [2]

Dans le cadre de la loi Climat et Résilience, la CU de Caen la mer a l'obligation de mettre en place une ZFE-m au 1^{er} janvier 2025 avec la restriction de circulation des voitures immatriculées jusqu'au 31 décembre 1996 (non classés). L'agglomération de Caen la mer a décidé d'interdire l'accès aux véhicules particuliers non classés, dans le périmètre « projet ZFE-m 2025 ». Cela représente 0.9 % du parc des véhicules particuliers.

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'enquêtes ou de comptages réels, d'estimer 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 à **ne pas dépasser** 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 sur la qualité de l'air de la mise en place des restrictions de circulation routière sur le territoire choisi par la CU de Caen la mer, entre « le fil de l'eau 2025 » et le scénario « projet ZFE-m 2025 ».

Pour l'évaluation des concentrations, un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain a été utilisé : le modèle SIRANE 2.0 (annexe 1).

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 d'amélioration de la qualité de l'air mis en œuvre sur ces territoires. L'évolution prospective de la qualité de l'air à l'horizon 2025 a été étudiée selon deux scénarios : « fil de l'eau 2025 » c'est-à-dire sans la mise en place de projets de ZFE-m et le scénario « projet ZFE-m 2025 » avec la mise en place d'une interdiction aux véhicules particuliers non classés.

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 du scénario « projet ZFE-m 2025 » et le « fil de l'eau 2025 », 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 à la pollution extérieure entrant sur le territoire de l'étude, les concentrations de polluants imputables aux activités humaines autres que la circulation routière (c'est-à-dire issues des secteurs industriels, résidentiels, agricoles, maritimes, ...), le tracé des axes routiers. Les paramètres qui évoluent entre les différentes simulations sont le nombre de véhicules et la nature des véhicules, en fonction des véhicules autorisés, sur les axes routiers du domaine d'étude. Ces données de trafic sont fournies par le bureau d'étude Explain, mandaté à cette fin par la collectivité, au travers du réseau routier du territoire de la CU de Caen la mer utilisé par Atmo Normandie pour le calcul de l'inventaire des émissions et pour la modélisation de la qualité de l'air. Elles sont complétées des données de description du parc routier élaborées et fournies par le CITEPA [1] pour différents horizons temporels.

Au fil du temps, le parc de véhicules évoluera par son renouvellement naturel. De plus, un taux de 15 % de dérogation et fraude a été pris en compte dans les modélisations de trafic sur les véhicules interdits dans la ZFE-m. Pour comprendre l'impact de l'interdiction de circulation des véhicules particuliers non classés sur le périmètre « projet ZFE-m 2025 », la comparaison de ce scénario avec le « fil de l'eau 2025 » sera évaluée.

Dans le périmètre « projet ZFE-m 2025 », seuls les véhicules particuliers non classés sont interdits, comme indiqué dans le tableau 2-1. Cela représente 0.9 % du parc (annexe 2).

		1	2	3	4	5	NC

Tableau 2-1 : Véhicules autorisés dans le périmètre projet ZFE-m. 2 900 véhicules particuliers non classés seront renouvelé dans ce périmètre

Méthodologie d'exploitation des résultats

Sur la base du scénario défini par la CU de Caen la mer, le bureau d'études Explain a fourni à Atmo Normandie les deux modélisations de trafic nécessaires au calcul des émissions de polluants liées au trafic routier et à la modélisation des champs de concentration du NO₂, des PM₁₀ et des PM_{2.5}.

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 2021¹.

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

	Valeur limite	Future Valeur Limite	recommandation sanitaire de l'OMS 2021
PM ₁₀	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	15 µg/m ³ en moyenne annuelle
PM _{2.5}	25 µg/m ³ en moyenne annuelle	10 µg/m ³ en moyenne annuelle	5 µg/m ³ en moyenne annuelle
NO ₂	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	20 µg/m ³ en moyenne annuelle	10 µg/m ³ en moyenne annuelle

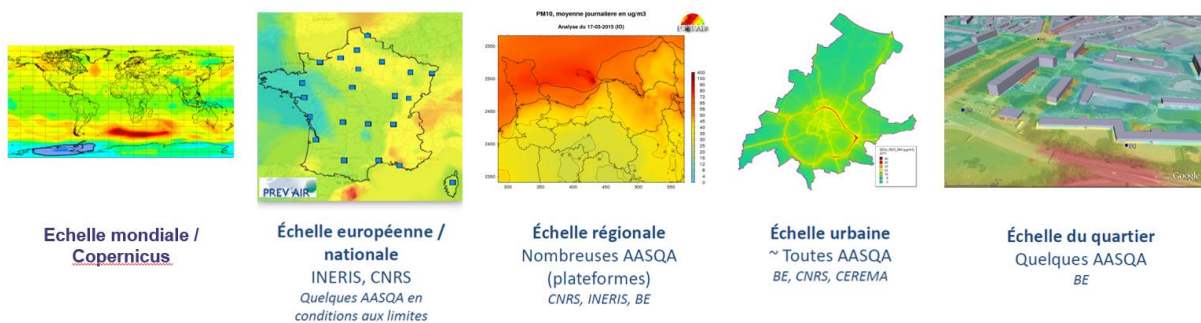
Tableau 2-2 : les différents seuils étudiés et en vigueur au 1^{er} juillet 2024

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 2-4).

¹ L'étude prend en compte les recommandations publiées en octobre 2021 par l'OMS.



**A chaque échelle/utilisation : des outils différents
 Pas de modèle universel !!**

Graphique 2-4 : 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 2-4). Pour cela, l'outil de modélisation SIRANE, développé par le Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA) de l'École 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 1 [3].

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

➤ La structure du réseau routier

Elle est issue du réseau routier d'Atmo Normandie. Ce réseau 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 connaître 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 2)

Pour chacun des scénarios étudiés, il est nécessaire d'estimer les charges de trafic sur chaque tronçon (VP, VUL, PL) afin de pouvoir calculer les émissions de polluants. Cette charge de trafic est calculée par le bureau d'étude Explain. Le modèle de trafic fournit pour chaque tronçon du réseau routier du périmètre d'étude une valeur de trafic moyen journalier sur l'année, et cela pour les différents scénarios : l'état initial 2022, le « fil de l'eau 2025 » et le scénario « projet ZFE-m 2025 ».

➤ Les émissions de polluants sont calculées sur chaque tronçon du réseau routier.

Les émissions de polluants (NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5}) sont estimées avec l'outil de calcul PRISME [4] développé par les AASQA et qui se base sur la méthodologie européenne de calcul des émissions du transport routier COPERT V et sur les recommandations du PCIT2 secteur routier [5].

Une description technique de l'outil PRISME ROUTIER est donnée en annexe 3.

➤ Les données météorologiques

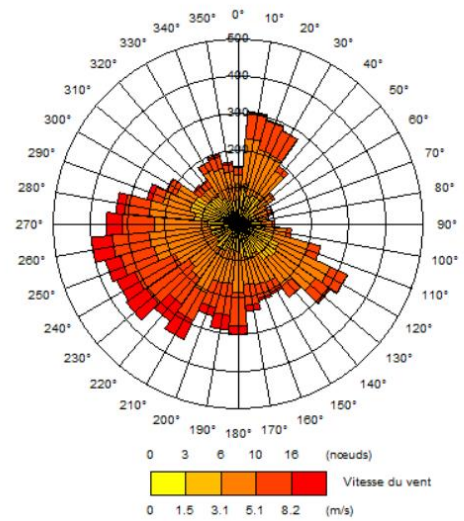
Afin de comparer les effets de chaque scénario par rapport à l'état initial et/ou fil de l'eau, un unique fichier Météo a été utilisé, composé des données sur l'année 2022. Les paramètres météo pris en compte sont : Direction du vent, Vitesse du vent, Température, Pluviométrie, Rayonnement global (source Météo France). Le graphique 2-5 illustre la rose des vents sur la période météorologique retenue pour l'étude.

➤ La pollution de fond

Pour les mêmes raisons, un unique fichier de pollution de fond a été utilisé, composé des concentrations horaires issues des plateformes de modélisation nationales ou inter-régionales, pour l'année 2022.

➤ 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 2019 (dernière année disponible au moment de l'étude) qui a été utilisée pour tous les scénarios. [6]



Graphique 2-5 : rose des vents utilisée pour l'étude (données 2022).

2.4. Les principales hypothèses et limites de l'étude

Limites et conséquences liées aux hypothèses sur la scénarisation du trafic routier.

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

- Interdiction des véhicules particuliers non classés dans le périmètre projet ZFE-m
- Il est considéré que 45 % de ces véhicules sont remplacés par des véhicules plus récents. Ce renouvellement se fait à iso-motorisation, autrement dit, les véhicules Diesel Non Classés sont remplacés par des Diesel nouveaux et les véhicules Essence Non Classés par des nouveaux, également de motorisation Essence. Le nombre total de véhicules particuliers est considéré comme constant.

La prise en compte d'un taux hypothétique (15%) de non-respect des interdictions qui vise à représenter la fraude, qui peut être volontaire ou bien émaner de la méconnaissance de la mesure et la dérogation des véhicules « interdits » dans la ZFE-m.

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 prospectif pour l'année 2025. La projection du parc de véhicules particuliers non classés à horizon 2025 a été faite en prolongeant la tendance observée entre 2020 et 2022 sur le territoire de l'agglomération de Caen la mer. En effet, rien ne garantit que le renouvellement du parc automobile par la population suive cette tendance.

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 les conditions météorologiques de l'année 2022. Or, le calcul des concentrations est sensible aux conditions météorologiques choisies pour les réaliser.

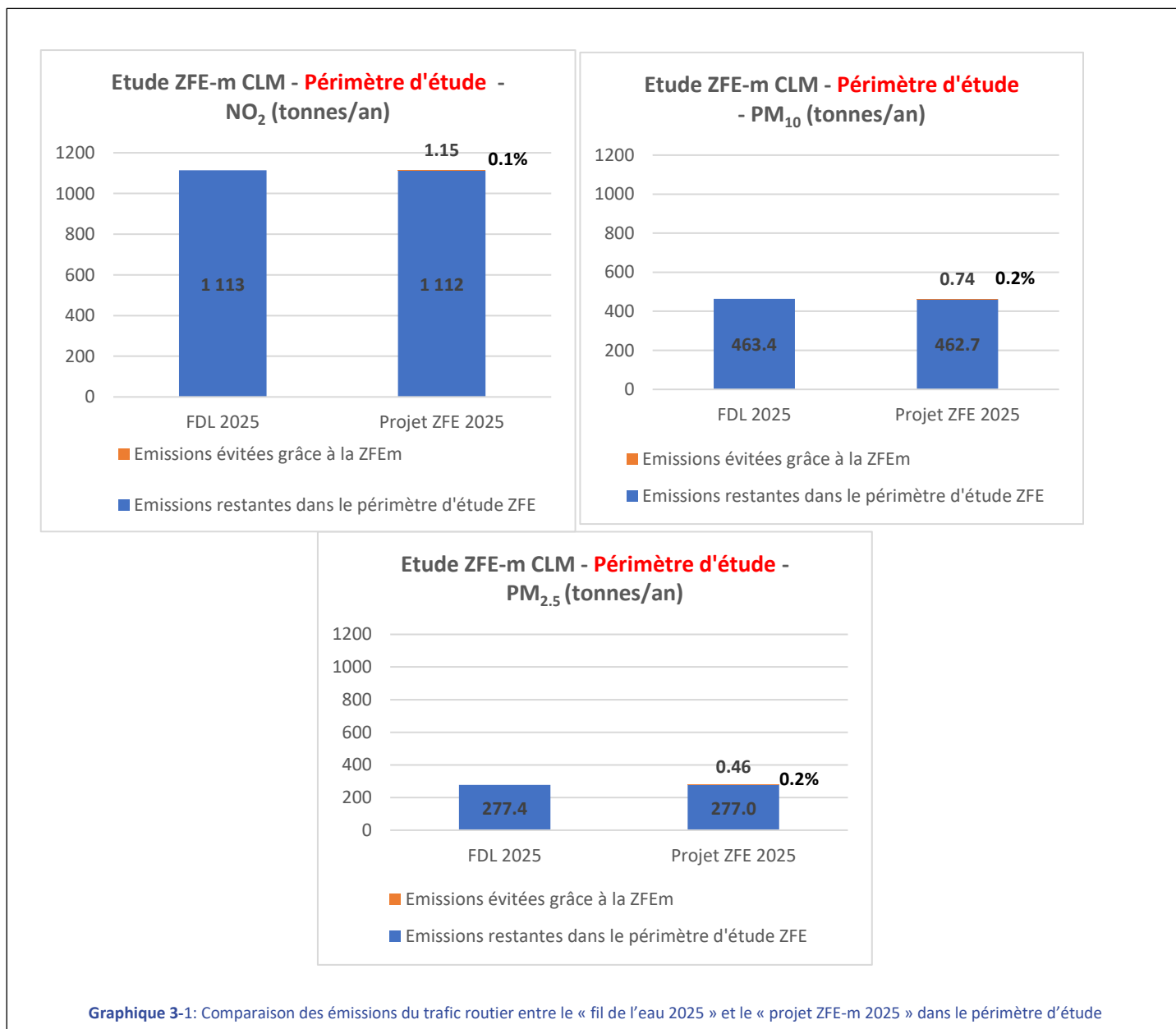
La méthodologie nationale de spatialisation de la population fournit le nombre d'habitants au lieu de leur domicile. Il existe donc un biais inhérent à la méthode de calcul de l'exposition avec le croisement des concentrations annuelles, la population pouvant être exposée aux polluants en d'autres lieux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

3. Résultats pour les scénarios « Fil de l'eau 2025 » et « Projet ZFE-m 2025 »

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 sur l'analyse de l'impact de la mise en œuvre de la ZFE-m par rapport au « Fil de l'eau 2025 ». Les résultats sur les émissions, sur les superficies exposées à des dépassements de seuil et sur la population concernée, seront également présentés dans ce chapitre.

3.1. Résultats de l'impact sur les émissions de polluant

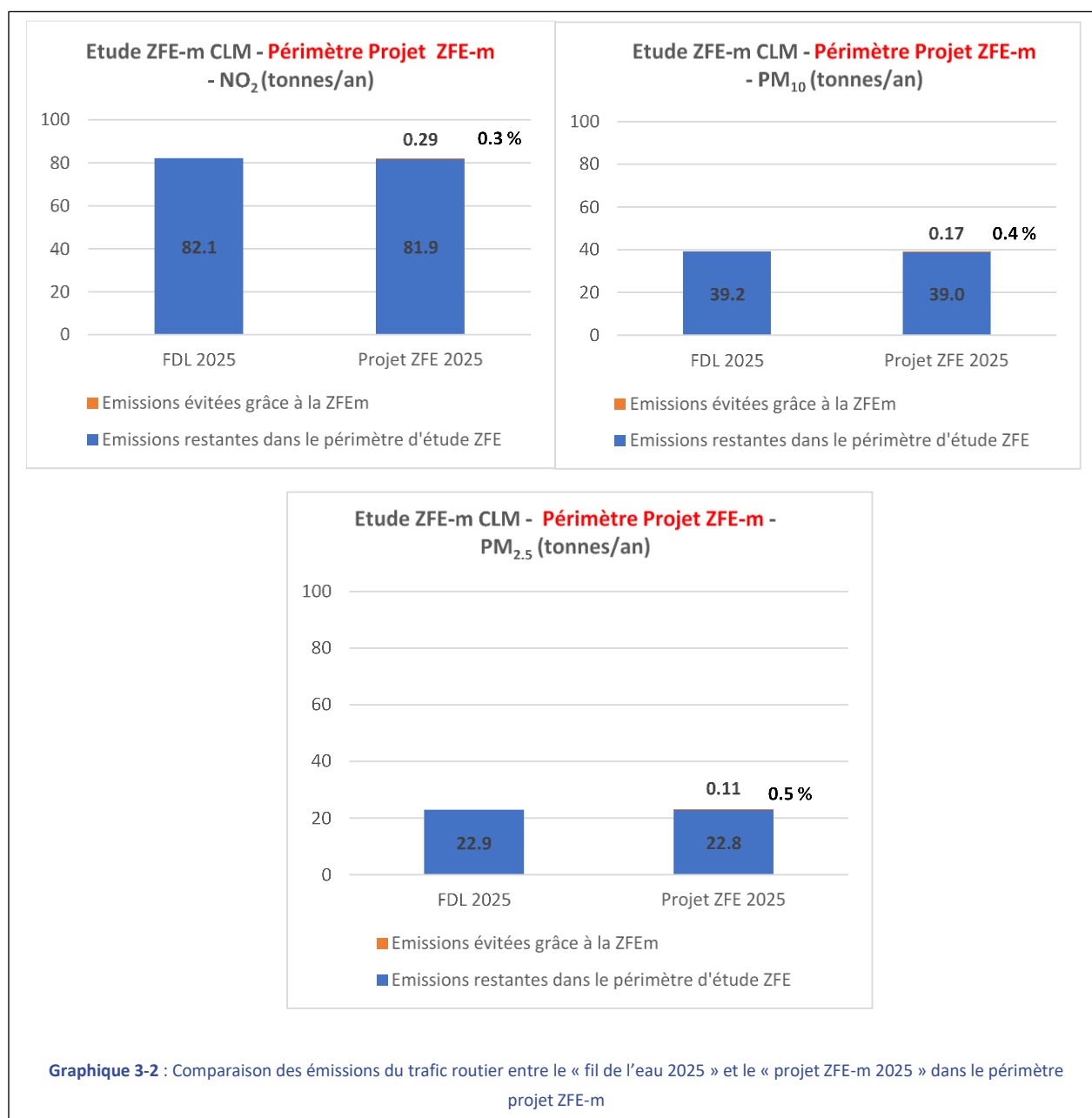
Le graphique 3-1 présente, pour les trois polluants étudiés, la réduction des émissions entre le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » dans le périmètre d'étude.



Graphique 3-1: Comparaison des émissions du trafic routier entre le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » dans le périmètre d'étude

Le scénario « projet ZFE-m 2025 » permet en 2025 une diminution des émissions de NO₂ de plus d'une tonne par an sur l'ensemble du périmètre d'étude, de moins d'une tonne pour les PM₁₀ et de presque une demi-tonne pour le PM_{2.5} par rapport à l'ensemble des émissions du secteur routier. Ces diminutions d'émissions se situent pour les trois polluants entre 0.1 et 0.2 % sur le périmètre d'étude et 0.3 et 0.5 % pour le périmètre ZFE-m (voir graphique 3-2). Ces chiffres sont à mettre au regard du pourcentage de véhicules concernés par la restriction de circulation (0,9%).

Il convient ici de rappeler que les 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 particules qui ont pour origine la combustion des carburants. En revanche, les émissions de particules ayant pour origine l'érosion mécanique sont surtout sensibles au nombre de kilomètres roulés.



Les résultats des émissions de trois polluants sont résumés dans le tableau 3-1.

Périmètre étude		Fil de l'eau 2025	scénario Projet ZFE (interdiction NC, VP) - 2025
NO ₂	Emissions (T/an)	1 113.4	1112.3
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2025		-1.1
	Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.1%
PM ₁₀	Emissions (T/an)	463.4	462.7
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2025		-0.7
	Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.2%
PM _{2.5}	Emissions (T/an)	277.4	277.0
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2025		-0.5
	Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.2%

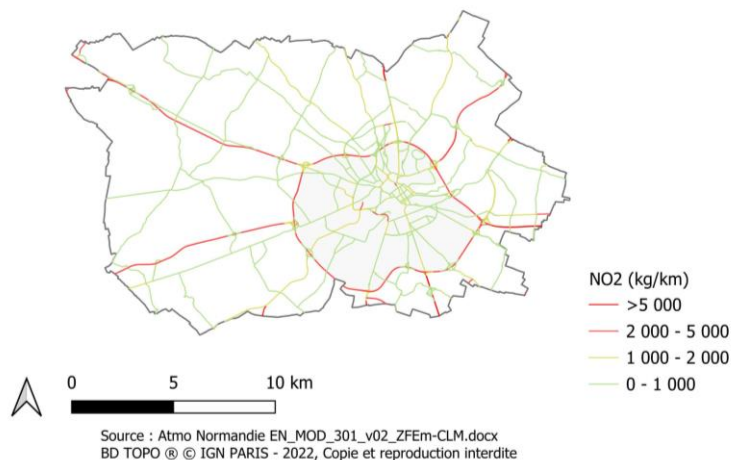
Périmètre Projet ZFE		Fil de l'eau 2025	scénario Projet ZFE (interdiction NC, VP) - 2025
NO ₂	Emissions (T/an)	82.1	81.9
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2025		-0.3
	Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.3%
PM ₁₀	Emissions (T/an)	39.2	39.0
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2025		-0.2
	Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.4%
PM _{2.5}	Emissions (T/an)	22.9	22.8
	Gain (T/an) / Fil de l'eau 2025		-0.1
	Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.5%

Tableau 3-1 : Comparaison des émissions du trafic routier entre le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » sur le périmètre d'étude (en haut) et sur le périmètre projet ZFE-m (en bas)

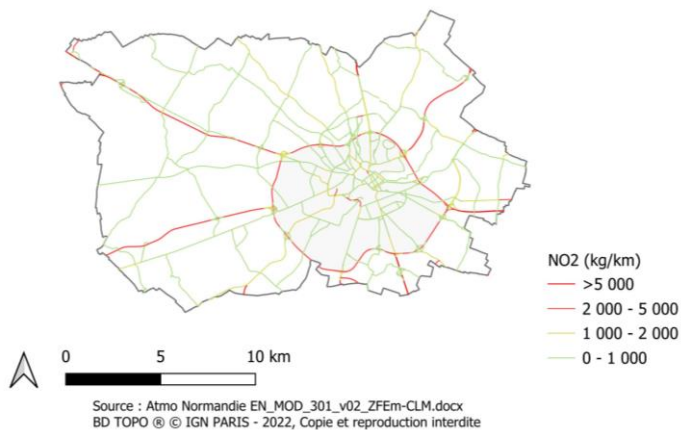
3.2. Evaluation des émissions des trois polluants étudiés

Les graphiques 3-3, 3-4 et 3-5 présentent la spatialisation des émissions annuelles de NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} sur la zone d'étude, pour les scénarios « fil de l'eau 2025 » et « projet ZFE-m 2025 » et la différence entre les deux scénarios. Les axes en violet et vert traduisent une baisse des émissions liées à l'application de l'interdiction des véhicules particuliers non classés dans le scénario « projet ZFE-m 2025 » sur ces axes routiers alors que les axes en jaune et rouge montrent une augmentation des émissions. Ces baisses ou augmentations des émissions ne dépassent pas 20 kg/km/an. Pour les PM₁₀ et PM_{2.5} la baisse est peu marquée.

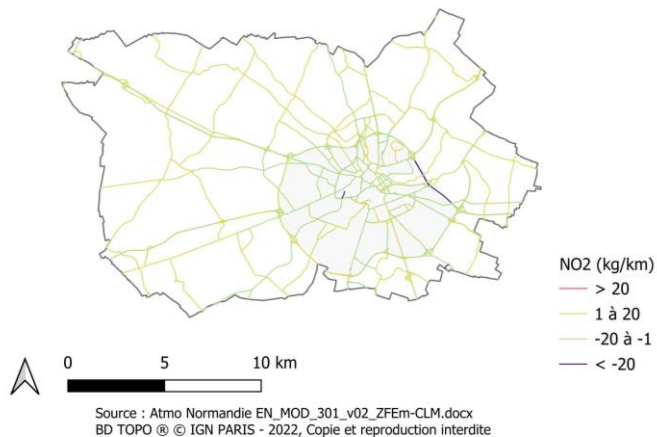
Emissions NO2 - Fil de l'eau 2025



Emissions NO2 - Projet ZFE 2025

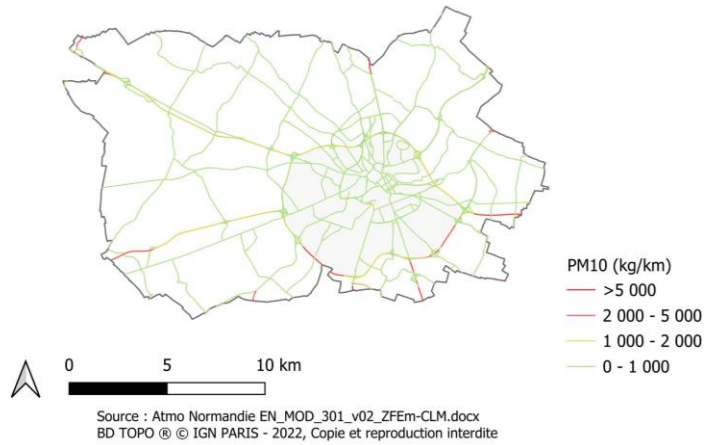


Emissions NO2 - Différence Projet ZFE 2025 - Fil de l'eau 2025

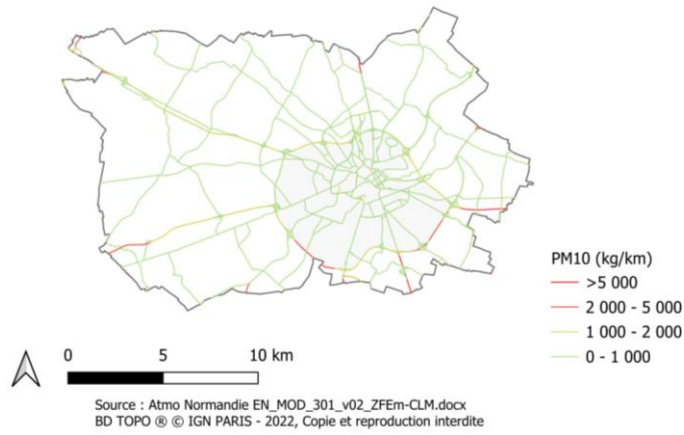


Graphique 3-3 : spatialisation des émissions routières annuelles de dioxyde d'azote pour le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » et différence entre ces deux scénarios.

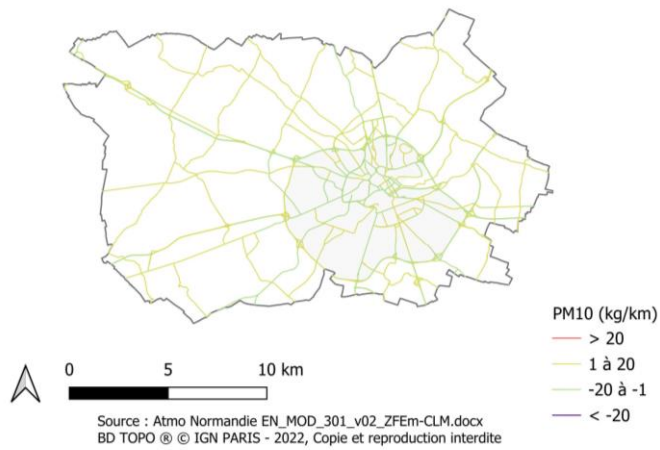
Emissions PM10 - Fil de l'eau 2025



Emissions PM10 - Projet ZFE 2025

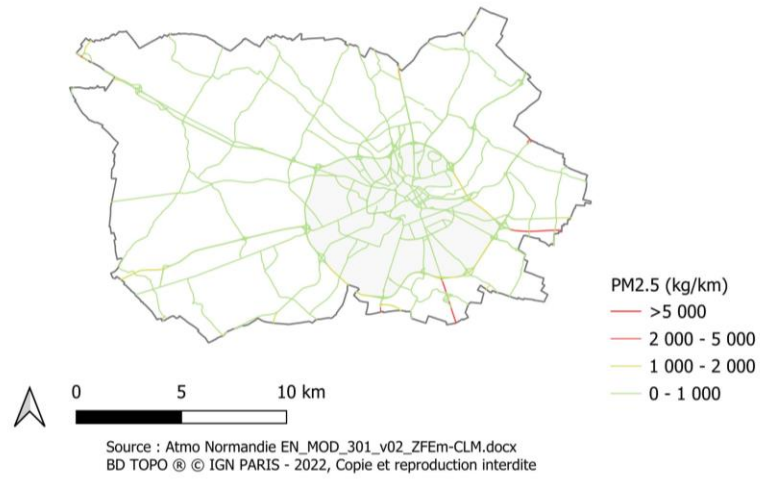


Emissions PM10 - Différence Projet ZFE 2025 - Fil de l'eau 2025

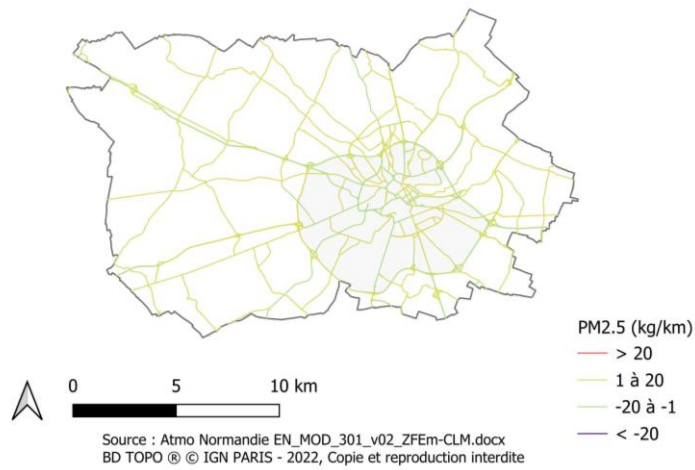


Graphique 3-4 : spatialisations des émissions routières annuelles en particules fines PM_{10} pour le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » et différence entre ces deux scénarios.

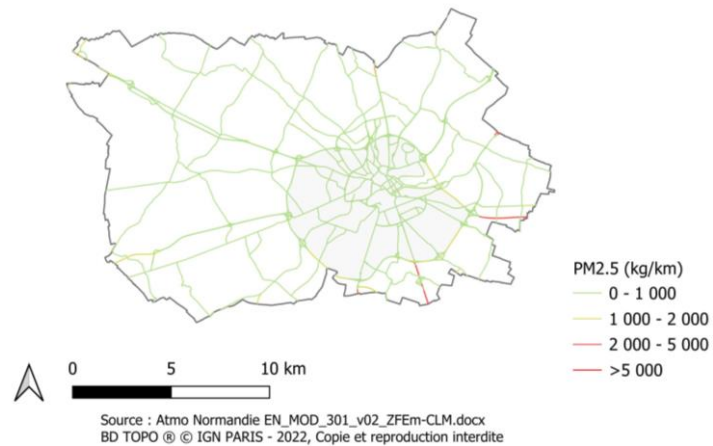
Emissions PM2.5 - Fil de l'eau 2025



Emissions PM25 - Différence Projet ZFE 2025 - Fil de l'eau 2025



Emissions PM2.5 - Projet ZFE 2025



Graphique 3-5 : spatialisation des émissions routières annuelles en particules fines PM₁₀ pour le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » et différence entre ces deux scénarios.

3.3. Evaluation des concentrations des trois polluants étudiés

Les graphiques 3-6, 3-7 et 3-8 montrent les cartes des concentrations spatialisées du NO₂, des PM₁₀ et des PM_{2.5} pour le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » ainsi qu'une carte de différence pour mettre en évidence la potentielle diminution des concentrations moyennes annuelles de polluant entre ces deux échéances. Dans les cartes de concentration, le contour en noir représente le périmètre du projet ZFE-m.

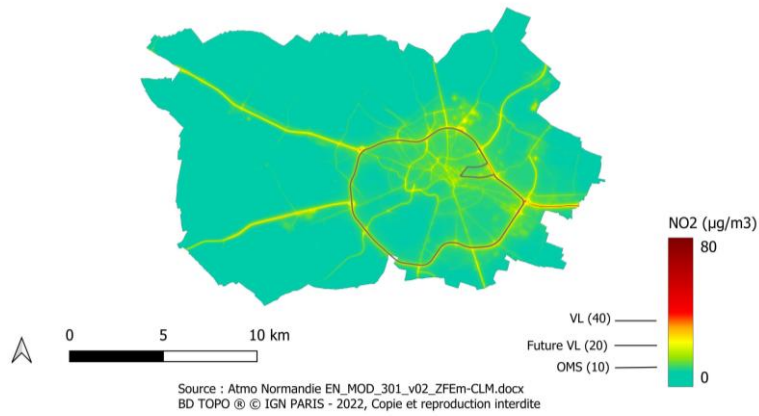
Pour le NO₂, les PM₁₀ et les PM_{2.5}, les variations de concentration sont inférieures à 0.2 µg.m⁻³ uniquement perceptibles à proximité des axes routiers.

Les cartes de concentration présentées dans les graphiques 3-6, 3-7 et 3-8 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 actuelles et futures (2030) en moyenne annuelle, et les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé², aussi en moyenne annuelle.

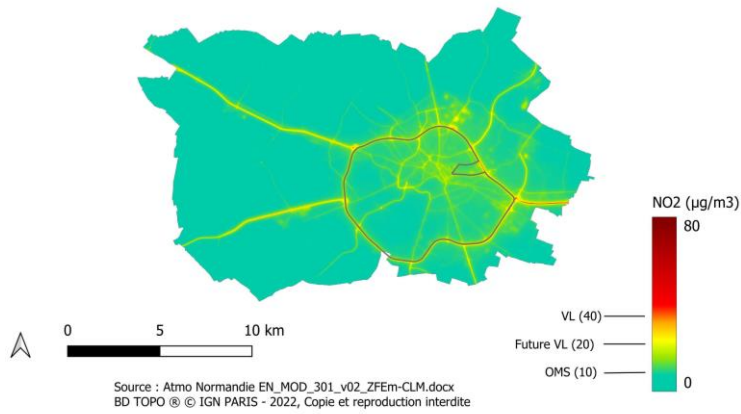
L'évaluation de la population exposée s'effectue en croisant les cartes de concentration des polluants avec la localisation des habitants sur leur lieu de résidence.

² L'étude prend en compte les recommandations de l'OMS publiées en 2021.

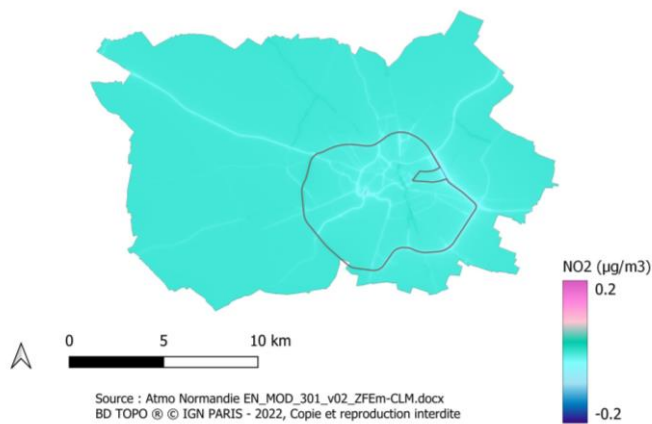
Moyenne annuelle NO2 - Fil de l'eau 2025



Moyenne annuelle NO2 - Projet ZFE 2025

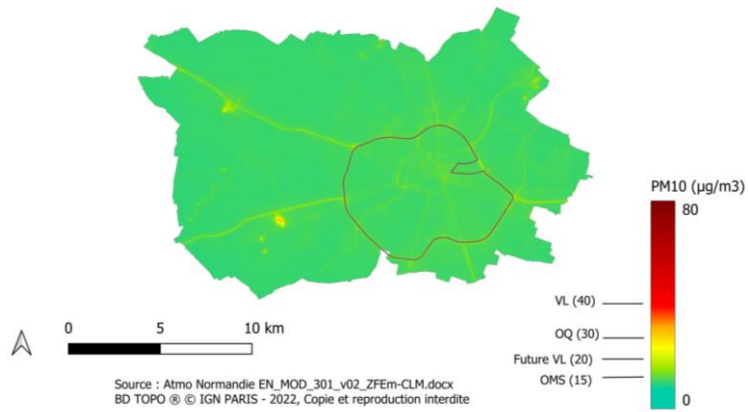


Moyenne annuelle NO2 - Différence Projet ZFE 2025 - Fil de l'eau 2025

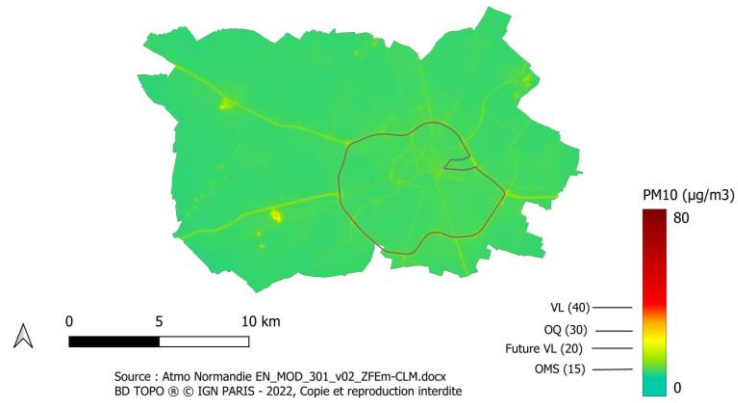


Graphique 3-6 : spatialisation des concentrations annuelles de dioxyde d'azote pour le fil de l'eau 2025 et le projet ZFE-m et différence entre ces deux scénarios.

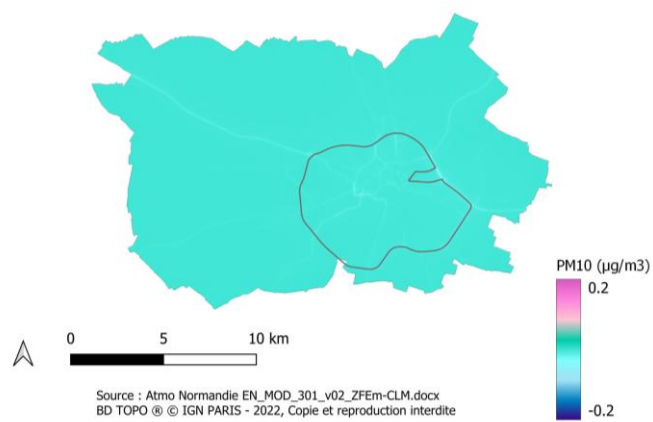
Moyenne annuelle PM10 - Fil de l'eau 2025



Moyenne annuelle PM10 - Projet ZFE 2025

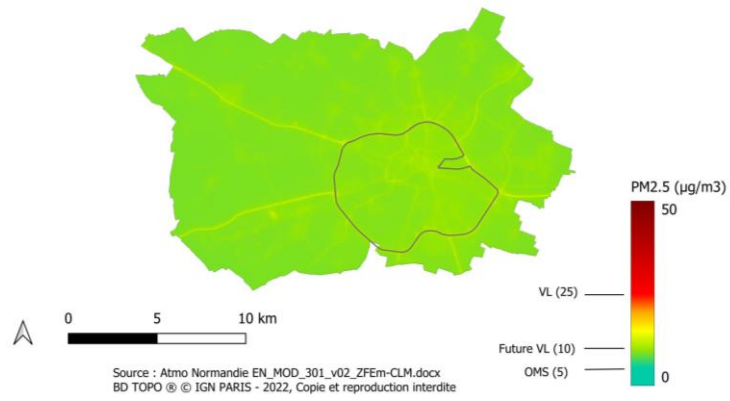


Moyenne annuelle PM10 - Différence Projet ZFE 2025 - Fil de l'eau 2025

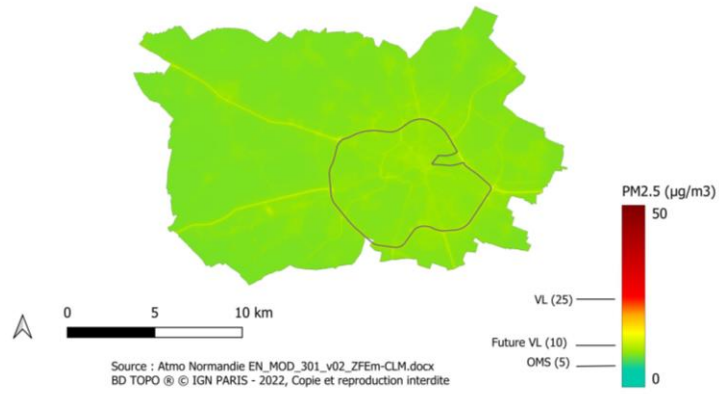


Graphique 3-7 : spatialisation des concentrations annuelles de PM₁₀ pour le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » et différence entre ces deux scénarios.

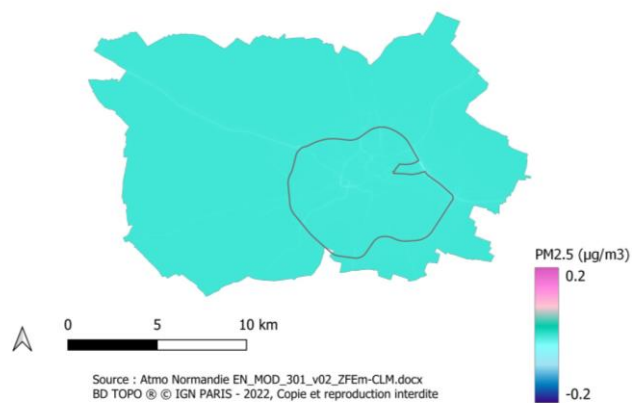
Moyenne annuelle PM2.5 - Fil de l'eau 2025



Moyenne annuelle PM2.5 - Projet ZFE 2025



Moyenne annuelle PM2.5 - Différence Projet ZFE 2025 - Fil de l'eau 2025



Graphique 3-8 : spatialisation des concentrations annuelles de $\text{PM}_{2.5}$ pour le « fil de l'eau 2025 » et le « projet ZFE-m 2025 » et différence entre ces deux scénarios.

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

Le tableau 3-2 montre les superficies exposées à des dépassements de ces différents seuils ainsi que leur évolution prévisible selon le scénario « fil de l'eau 2025 » et le scénario « projet ZFE-m 2025 ».

Le tableau 3-2 du haut est défini sur le périmètre de l'étude et celui du bas sur le périmètre « projet ZFE-m 2025 ».

270 km ²		Périmètre étude	Fil de l'eau 2025	scénario Projet ZFE (interdiction NC, VP) - 2025
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	NO ₂	Superficie en dépassement (km ²)	0.00	0.00
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	NO ₂	Superficie en dépassement (km ²)	4.30	4.28
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.01
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.3%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (recommandation OMS)	NO ₂	Superficie en dépassement (km ²)	52.63	52.53
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.11
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.2%
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	PM ₁₀	Superficie en dépassement (km ²)	0	0
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	PM ₁₀	Superficie en dépassement (km ²)	0.14	0.14
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 15 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM ₁₀	Superficie en dépassement (km ²)	2.25	2.23
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.013
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.6%
Concentration moyenne annuelle > 25 µg/m ³ (VL UE)	PM _{2.5}	Superficie en dépassement (km ²)	0	0
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		0.0%
		Ecart / Fil de l'eau 2025		0.0%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (Future VL UE)	PM _{2.5}	Superficie en dépassement (km ²)	8.23	8.19
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.04
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.4%
Concentration moyenne annuelle > 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM _{2.5}	Superficie en dépassement (km ²)	270	270
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA

45.26 km ²		Périmètre Projet ZFE-m	Fil de l'eau 2025	scénario Projet ZFE (interdiction NC, VP) - 2025
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	NO ₂	Superficie en dépassement (km ²)	0.00	0.00
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	NO ₂	Superficie en dépassement (km ²)	0.85	0.84
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.01
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.7%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (recommandation OMS)	NO ₂	Superficie en dépassement (km ²)	22.57	22.52
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.06
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.3%
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	PM ₁₀	Superficie en dépassement (km ²)	0	0
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	PM ₁₀	Superficie en dépassement (km ²)	0.00	0.00
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 15 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM ₁₀	Superficie en dépassement (km ²)	0.28	0.28
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.003
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-1.0%
Concentration moyenne annuelle > 25 µg/m ³ (VL UE)	PM _{2.5}	Superficie en dépassement (km ²)	0	0
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (Future VL UE)	PM _{2.5}	Superficie en dépassement (km ²)	2.71	2.68
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		-0.02
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.8%
Concentration moyenne annuelle > 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM _{2.5}	Superficie en dépassement (km ²)	45	45
		Gain (km ²) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA

Tableau 3-2 : Impacts des différents scénarios sur les superficies en dépassement de seuils, en km² sur le périmètre d'étude (en haut) et sur le périmètre projet ZFE-m (en bas). NA : Non applicable

Pour les seuils correspondant aux valeurs limites européennes actuelles :

Il n'y a actuellement pas de dépassement, ni sur le périmètre d'étude ni dans le périmètre projet ZFE-m, de la valeur limite européenne actuelle, quel que soit le polluant et le scénario.

Pour les seuils correspondant aux futures valeurs limites européennes (horizon 2030) :

Concernant le NO₂, 4.8 km² et 0.84 km², soit 2% du périmètre d'étude et du périmètre Projet ZFE-m respectivement, sont exposés au-delà des futures valeurs limites européennes. Le projet de ZFE ne permet de réduire que de -0.2% (périmètre d'étude) et de -0.3% (périmètre ZFE-m) les surfaces exposées.

Pour les PM₁₀, les superficies en dépassement sont très faibles (donc non significatives).

Concernant les PM_{2.5}, 3% du périmètre d'étude (8.19 km²) et 6% du périmètre Projet ZFE-m (2.68 km²) sont exposés au-delà des futures valeurs limites européennes. Le projet de ZFE réduit de -0.4% (périmètre d'étude) et de -0.8% (périmètre ZFE-m) les surfaces exposées.

Pour les recommandations OMS :

Concernant le NO₂, 19 % du périmètre d'étude (52,63 km²) et 50 % du territoire projet ZFE-m (22.57 km²) est exposé au-delà de la recommandation OMS. L'écart entre fil de l'eau et le scénario projet ZFE-m est de -0.2% pour le périmètre d'étude et -0.3% sur le périmètre Projet ZFE-m.

Pour les PM₁₀, les superficies en dépassement sont très faibles (donc non significatives).

Concernant les PM_{2.5}, tout le territoire (périmètre d'étude et projet ZFE-m) est exposé au-delà de la recommandation OMS (5 µg/m³ en moyenne annuelle), quel que soit le scénario étudié, cela est dû au fait que la concentration de fond régionale est supérieure à cette valeur OMS.

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

Le tableau 3-3 montre l'impact des deux scénarios sur les populations exposées à des concentrations de polluants dépassant les seuils, sur l'ensemble du périmètre de l'étude et dans le périmètre ZFE-m.

Pour les seuils correspondant aux valeurs limites européennes actuelles :

Il n'y a pas actuellement de population exposée, sur le périmètre d'étude et dans le projet ZFE-m, au-delà de la valeur limite européenne actuelle, quel que soit le polluant et le scénario.

Pour les seuils correspondant aux futures valeurs limites européennes (horizon 2030) :

Concernant le NO₂, les populations exposées sont faibles et passent de 317 à 309 habitants dans le périmètre d'étude et de 124 à 121 dans le périmètre « projet ZFE-m 2025 » avec la mise en œuvre de la ZFE-m.

Pour les PM₁₀, les populations en dépassement restent extrêmement faibles (5 habitants dans le périmètre), et donc non significatives. Par ailleurs, le scénario « projet ZFE-m 2025 » ne permet pas de baisser le nombre d'habitants exposés à des concentrations supérieures à ces seuils.

Concernant les PM_{2.5}, en 2025, la population du périmètre d'étude exposées au-dessus de la future valeur limite passerait de 6 258 à 6 176 habitants. Dans le périmètre de la ZFE-m, elle passerait de 5 782 et 5 703 habitants.

Pour les recommandations OMS :

Concernant le NO₂, 47% de la population dans le périmètre d'étude et 68 % de la population dans la ZFE-m est exposée au-delà de la recommandation OMS. La réduction de la population exposée à ce seuil par rapport au « fil de l'eau 2025 » est de -0.3% des personnes exposées quel que soit le périmètre (308 habitants en moins exposés sur le périmètre d'étude et 219 dans le périmètre « projet ZFE-m 2025 »).

Pour les PM₁₀, les populations en dépassement sont très faibles (donc non significatives).

Concernant les PM_{2.5}, toute la population est exposée au-delà de la recommandation OMS (5 µg/m³ en moyenne annuelle), pour les deux scénarios étudiés. En effet avec une concentration de fond de 9.5 µg/m³ sur l'ensemble du territoire, tous les habitants sont exposés au-delà de la valeur OMS (235 649 habitants sur le périmètre d'étude et 127 665 habitants sur le périmètre projet ZFE-m). Le même constat a déjà pu être fait dans l'étude menée par Atmo Normandie sur la mise en place d'une ZFE-m dans l'agglomération de Rouen [7].

235 649 hab		Périmètre étude	Fil de l'eau 2025	scénario Projet ZFE (interdiction NC, VP) - 2025
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	NO ₂	Nbre habitant en dépassement	0	0
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	NO ₂	Nbre habitant en dépassement	317	309
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		-8
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-2.5%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (recommandation OMS)	NO ₂	Nbre habitant en dépassement	110 892	110 584
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		-308
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.3%
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	PM ₁₀	Nbre habitant en dépassement	0	0
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	PM ₁₀	Nbre habitant en dépassement	5	5
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 15 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM ₁₀	Nbre habitant en dépassement	46	45
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		-1
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-2.2%
Concentration moyenne annuelle > 25 µg/m ³ (VL UE)	PM _{2.5}	Nbre habitant en dépassement	0	0
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (Future VL UE)	PM _{2.5}	Nbre habitant en dépassement	6 258	6 176
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		-82
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-1.3%
Concentration moyenne annuelle > 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM _{2.5}	Nbre habitant en dépassement	235 649	235 649
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA

127 665 hab		Périmètre Projet ZFE-m	Fil de l'eau 2025	scénario Projet ZFE (interdiction NC, VP) - 2025
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	NO ₂	Nbre habitant en dépassement	0	0
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	NO ₂	Nbre habitant en dépassement	124	121
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		-3
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-2.4%
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (recommandation OMS)	NO ₂	Nbre habitant en dépassement	86 691	86 472
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		-219
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-0.3%
Concentration moyenne annuelle > 40 µg/m ³ (VL UE)	PM ₁₀	Nbre habitant en dépassement	0	0
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 20 µg/m ³ (Future VL UE)	PM ₁₀	Nbre habitant en dépassement	0	0
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 15 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM ₁₀	Nbre habitant en dépassement	14	14
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 25 µg/m ³ (VL UE)	PM _{2.5}	Nbre habitant en dépassement	0	0
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA
Concentration moyenne annuelle > 10 µg/m ³ (Future VL UE)	PM _{2.5}	Nbre habitant en dépassement	5 782	5 703
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		-79
		Ecart / Fil de l'eau 2025		-1.4%
Concentration moyenne annuelle > 5 µg/m ³ (recommandation OMS)	PM _{2.5}	Nbre habitant en dépassement	127 665	127 665
		Gain (hab) / Fil de l'eau 2025		NA
		Ecart / Fil de l'eau 2025		NA

Tableau 3-3 : Impacts des différents scénarios sur la population exposée à des dépassements de seuils sur le périmètre d'étude (en haut) et sur le périmètre projet ZFE-m (en bas).

NS : valeur non significative

4. Conclusions de l'étude

Les études de scénarisation des impacts sur la qualité de l'air de la mise en œuvre d'une ZFE-m sur le territoire d'étude choisi par la CU de Caen la mer se sont basées sur la comparaison d'un scénario « fil de l'eau 2025 », c'est-à-dire sans mise en place de la ZFE-m en 2025, et d'un scénario proposant une interdiction des véhicules particuliers non classés sur le périmètre projet (scénario « projet ZFE-m 2025 »). Il s'agit d'une étude de modélisation, il faudra tenir en compte des limites indiquées dans le chapitre 2.4.

Pour les seuils correspondant aux valeurs limites européennes actuelles :

Il n'y a pas actuellement de dépassement démontré des valeurs limites européennes actuelles, quel que soit le polluant et le scénario. La mise en place de la ZFE-m n'a donc aucun impact sur ces seuils.

Pour les seuils correspondant aux futures valeurs limites européennes (horizon 2030) :

Concernant le NO₂, les populations exposées sont faibles (309 habitants dans le périmètre d'étude et 219 dans le périmètre « projet ZFE-m 2025 ». Le projet de ZFE-m permet de baisser la population exposée de 2.5% et 2.4% sur le périmètre d'étude et le périmètre ZFE-n respectivement.

Pour les PM₁₀, les populations en dépassement restent extrêmement faibles (5 habitants dans le périmètre d'étude), et donc non significatives. Par ailleurs, le scénario « projet ZFE-m 2025 » ne permet pas de baisser le nombre d'habitants exposés à des concentrations supérieures à ces seuils.

Concernant les PM_{2.5}, en 2025, 2% de la population (6 176 habitants) du périmètre d'étude serait concernée par le dépassement de la future valeur limite et 3% (5 703 habitants) dans le périmètre « projet ZFE-m 2025 ». Le projet de ZFE-m permet de baisser la population exposée de 1.3% et 1.4% sur le périmètre d'étude et le périmètre ZFE-n respectivement.

Pour les recommandations OMS :

Concernant le NO₂, 47% de la population dans le périmètre d'étude (110 584 habitants) et 68 % de la population dans la ZFE-m (86 472 habitants), est exposée à des concentrations supérieures aux recommandations de l'OMS. Le scénario étudié permet de réduire, par rapport au « fil de l'eau 2025 », de l'ordre de 0.3% l'exposition de la population par rapport à ces recommandations de l'OMS

Pour les PM₁₀, les populations exposées à des concentrations supérieures aux recommandations de l'OMS restent faibles (45 habitants dans le périmètre d'étude et 14 dans le périmètre « projet ZFE-m 2025 »).

Concernant les PM_{2.5}, toute la population est exposée au-delà de la recommandation OMS (5 µg/m³ en moyenne annuelle), quel que soit le scénario étudié avec 235 649 habitants sur le périmètre d'étude et 127 665 habitants sur le périmètre projet ZFE-m.

5. Annexes

Annexe 1 : Présentation du modèle SIRANE

Le modèle SIRANE version 2.0 rev2 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-NO₂-O₃),
- Modélisation de la dispersion des particules.

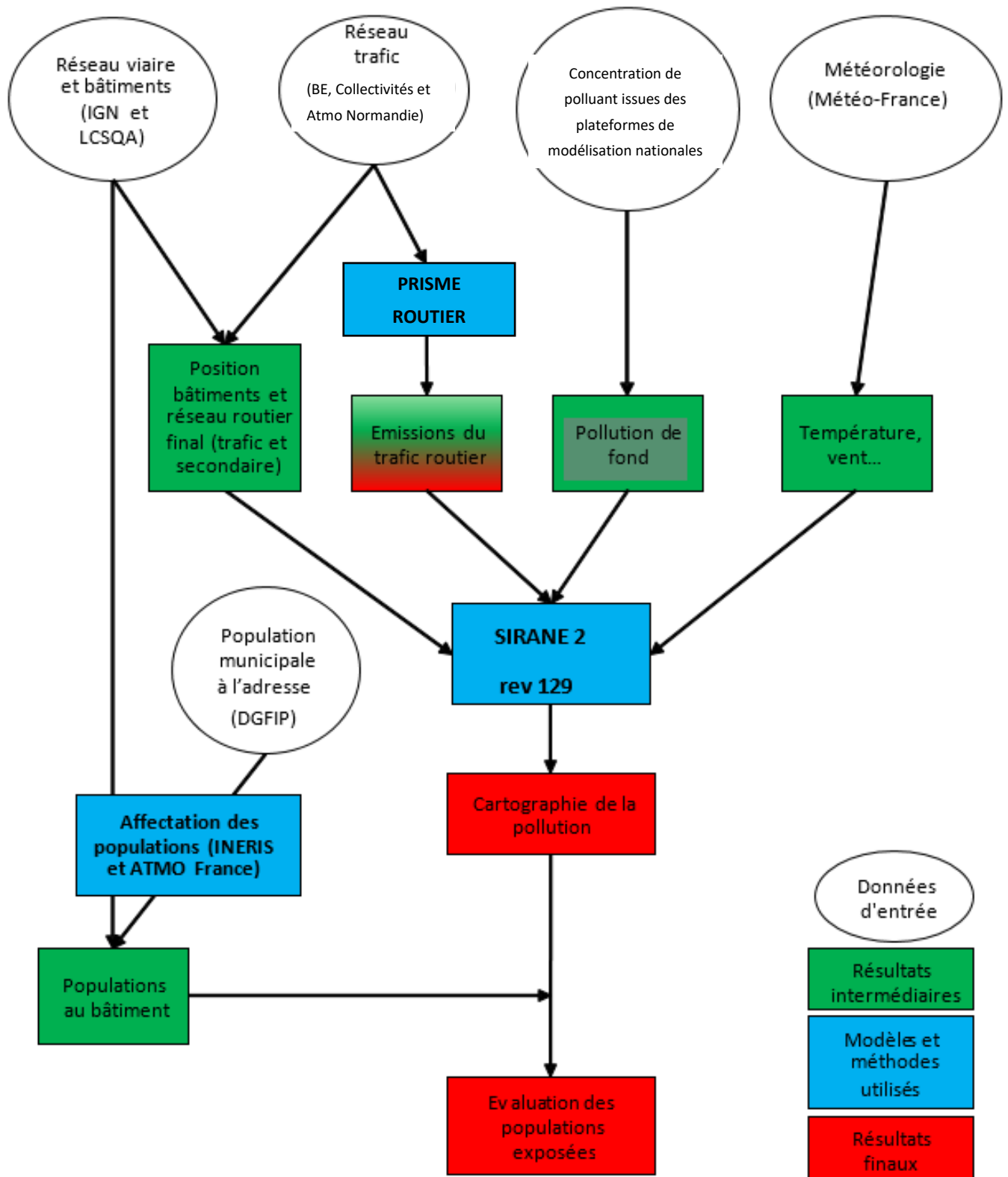
Le modèle SIRANE est un outil qui utilise des modèles théoriques et des formulations simplifiées des différents phénomènes. Il est donc adapté au traitement d'un grand nombre de rues avec un temps de calcul limité.

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.

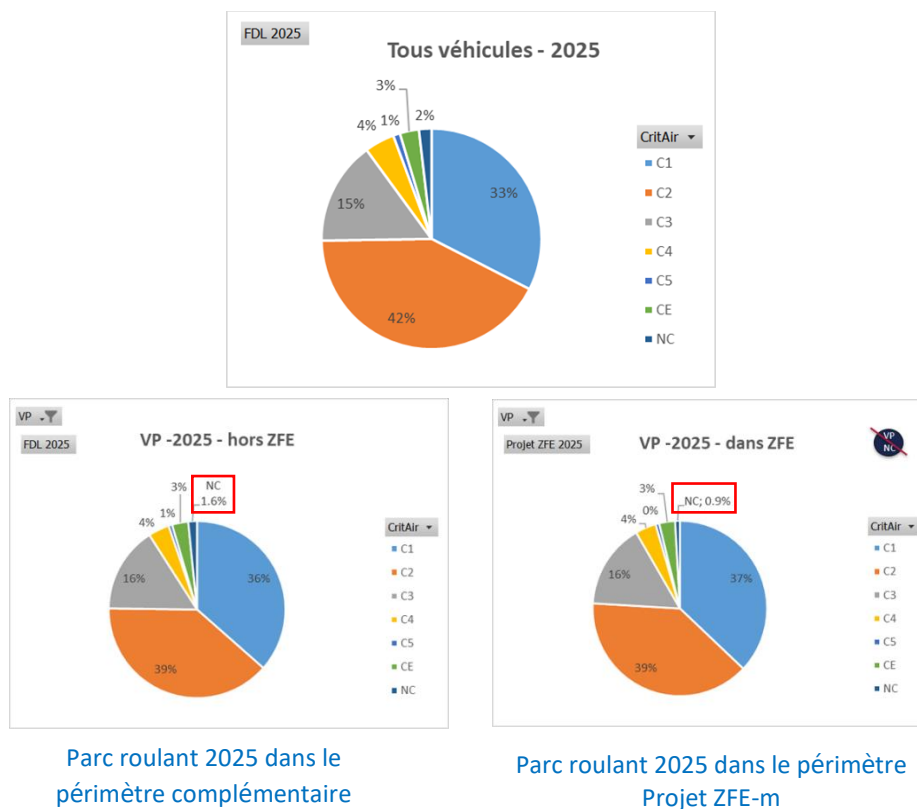
La version 2.0 rev2 de SIRANE a été installée sur les serveurs de calcul du CRIANN (Centre Régional Informatique et d'Applications Numériques de Normandie). En effet, les travaux de modélisation sont assez lourds, et nécessitent, pour conserver une précision satisfaisante (de l'ordre de quelques mètres), une capacité de calcul important

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



Annexe 2 : Paramètres du modèle de trafic

Description du parc routier pour le scénario « fil de l'eau 2025 », sans mise en place de la ZFE-m et le scénario « projet ZFE-m 2025 », avec la mise en œuvre de la ZFE-m. Source CITEPA [1].



Changement de véhicule dans le périmètre ZFE-m : 45% des propriétaires des VP NC changent de véhicule, soit 2 925 véhicules sont renouvelés. Dans ce cas, le changement se fait par des véhicules neufs à égale motorisation, par exemple les VP Diesel NC sont remplacés par des VP Diesel C2 et les VP à essence NC sont remplacés par des VP à essence C1. [1]

Annexe 3 : Présentation de l'outil PRISME Routier v1.11

PRISME est une plateforme collaborative et mutualisée entre AASQA pour le calcul des émissions de plusieurs secteurs d'activités (agriculture, routier, ...). Elle est constituée de groupes de travail dont les missions sont le développement et l'intégration de nouveaux calculs, la veille documentaire et normative notamment sur les méthodes de calculs conformément au guide PCIT, la mise à jour des facteurs d'émissions ainsi que des données d'entrées (COPERT, CITEPA, ...). Le développement et la maintenance de la plateforme sont assurés par les AASQA. Le module Routier 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, des cylindres, de l'utilisation de la climatisation, de l'évolution des carburants et du CAR labelling³ de l'ADEME. Le module Routier 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 réseau filaire d'Atmo Normandie et des données de trafic d'Explain, les données de composition du parc local sont intégrées dans l'outil de calcul des émissions. Pour la situation initiale 2022 et les scénarios prospectifs 2025, le parc routier du CITEPA [1] a été utilisé.

Le fichier transmis contient les projections du parc automobile de la CU Caen la mer pour tous les types de véhicules (VP, VUL, PL, Bus et Cars, 2 Roues) par norme et catégorie (format COPERT V) pour les années 2022, 2025 et projet 2025.

2 Méthodologie du secteur routier et préparation d'un calcul

Les facteurs d'émissions sont issus de la méthodologie COPERT et des facteurs d'émission OMINEA. La méthodologie développée se base sur les diverses plateformes utilisées en AAASQA avant PRISME, à savoir : HEAVEN, ESPACE et CIRCUL'AIR. L'outil PRISME permet ainsi des calculs annuel ou horaire, il permet en quelques heures de calculer un inventaire régional sur une année pour les 130 polluants du secteur routier.

PRISME se veut être une « agrégation » optimisée de ces plateformes. Le schéma simplifié ci-dessous présente les principales étapes du calcul et données d'entrées qui alimentent le calcul. Le module de calcul ne prépare pas les données d'entrées régionales, même si plusieurs outils ou données nationales ont été préparés en commun. Le module réalise le calcul en fonction des besoins et attentes de l'utilisateur, qui doit tenir compte des contraintes d'espace et de temps de calcul selon les modes choisis et le nombre d'axes routiers à calculer.

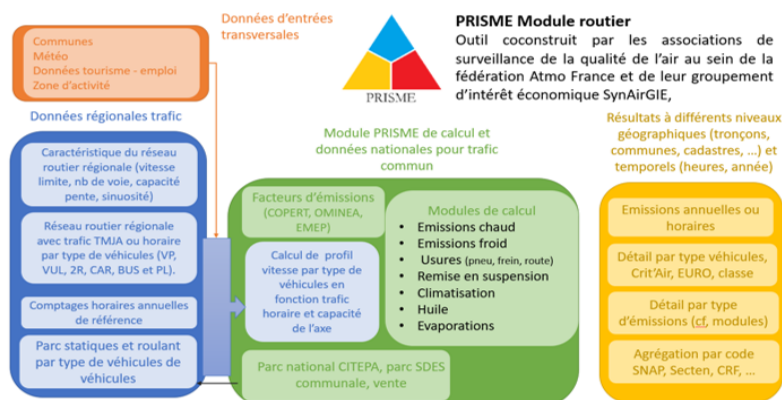


Figure 1 : schéma simplifié du module de calcul PRISME

Logigramme méthodologique de calcul des émissions des transports routiers.

³ « 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/CO₂ des véhicules particuliers neufs mis sur le marché chaque année. <http://carlabelling.ademe.fr>

6. Bibliographie

- [1] CITEPA – Etudes réglementaires préalables à la mise en place d’une ZFE-m sur CLM – Estimation des parcs statiques pour les années 2022 et 2025 – format « Atmo Normandie »
- [2] Inventaire des émissions 2021 version 4.1.0 – Format SECTEN – Atmo Normandie 2024
- [3] Documentation en ligne de SIRANE – Ecole Centrale de Lyon – Laboratoire de Mécanique des Fluides et d’Acoustique - <http://air.ec-lyon.fr/SIRANE/>
- [4] Manuel - Routier PRISME v1.10_20230228.doc
- [5] 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
- [6] LCSQA : Note technique : FOURNITURE DES DONNEES DE POPULATION SPATIALISEES SELON LA METHODOLOGIE NATIONALE (METHODOLOGIE MAJIC) - (L. Létinois, LCSQA-[INERIS](#), février 2015)
- [7] 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 – Atmo Normandie 2022



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

