

Analyse et Modélisation de l'application des politiques publiques pour une mise en conformité avec les seuils de qualité de l'air exigés dans la nouvelle directive européenne

Février 2025

Client : Association Respire

Contact : Tony RENUCCI

Réalisation : Damien BRIZZI, Marie HEGLY, Oriane MOAL, Justine BARBES

SOMMAIRE

Introduction	3
1. Méthodologie	6
1. Aperçu	6
2. Calcul d'émissions de NO ₂	7
a. Concept	7
b. Données sources	8
c. Paramètres de calcul d'émissions	10
d. Données simplifiées	11
3. Calcul des émissions	13
4. Définition de la concentration de fond	14
5. Définition des facteurs de conversion	16
6. Taux de renouvellement	17
7. Simulation de scenarii	17
8. Modélisation et calcul de projections	18
a. Projections annuelles	18
b. Projections journalières	19
2. Limites du modèle	20
3. Résultats	21
4. Résumé et conclusions	23
Annexes	24

Introduction

La pollution atmosphérique, responsable de plus de 40 000 décès prématurés annuels et de multiples maladies en France telles que l'asthme et le cancer du poumon, reste une menace majeure pour la santé publique. **Respire**, association nationale dédiée à l'amélioration de la qualité de l'air, a souhaité réaliser une étude prospective pour analyser les efforts à réaliser en termes d'application des politiques publiques en vue d'arriver aux seuils réglementaires européens d'ici 2030.

Dans la première partie de l'étude, nous avons collecté et analysé les données de concentrations en dioxyde d'azote mesurées par Airparif et l'ATMO d'Auvergne-Rhône Alpes, associations agréées de surveillance de la qualité de l'air. Principalement lié au trafic routier, le dioxyde d'azote (NO₂) est un gaz, nocif pour la santé respiratoire à court et à long terme. La qualité de l'air extérieur est fortement dégradée par les activités humaines mais s'améliore globalement en France depuis l'an 2000, avec une baisse notable des concentrations de nombreux polluants. Par exemple, en région parisienne, la concentration moyenne annuelle en NO₂ (hors zones rurales) a diminué d'environ 40 % depuis 2018 (de 45,3 à 26,3 µg/m³).

Ce progrès s'explique par une combinaison de politiques publiques coordonnées aux niveaux européen, national et local. L'Union européenne a d'abord fixé des normes de plus en plus contraignantes avec les normes EURO d'émissions des véhicules et la révision en cours de la directive sur la qualité de l'air extérieur (AAQD), qui prévoit une convergence progressive avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), bien plus strictes. Les seuils annuels pour le NO₂ seront abaissés à 20 µg/m³ d'ici 2030, contre 40 µg/m³ actuellement.

En France, les Zones à Faibles Émissions (ZFE) ont été instaurées dans 25 agglomérations, contraignant les véhicules les plus polluants à rester hors du périmètre urbain. Parallèlement, les investissements dans les mobilités actives et alternatives à la voiture (piétonnisation, pistes cyclables, tramways, bus propres) se sont intensifiés. À l'échelle locale, certaines villes ont engagé des plans ambitieux, à l'image de Grenoble ou Strasbourg, qui visent une qualité de l'air conforme aux seuils OMS dès 2028.

Polluant	Directives de l'UE de 2004 et 2008	Normes réglementaires retenues en 2024	Seuils de l'OMS de 2021
Dioxyde d'azote NO ₂	40 µg/m ³ moyenne annuelle	20 µg/m ³ moyenne annuelle	10 µg/m ³ moyenne annuelle
PM ₁₀	40 µg/m ³ moyenne annuelle	20 µg/m ³ moyenne annuelle	15 µg/m ³ moyenne annuelle
PM _{2,5}	25 µg/m ³ moyenne annuelle	10 µg/m ³ moyenne annuelle	5 µg/m ³ moyenne annuelle

Normes réglementaires et seuils recommandés par l'OMS pour 3 polluants atmosphériques (Source : DREAL)

Cette dynamique, soutenue par le Pacte Vert européen et les financements du plan France Relance, commence à porter ses fruits, bien qu'un écart subsiste entre les normes en vigueur et les seuils sanitaires préconisés par l'OMS. L'enjeu pour les années à venir sera donc d'accélérer cette convergence, notamment pour les populations les plus exposées, souvent situées dans les quartiers populaires ou près des axes routiers majeurs.

Toutefois, la France est encore loin du compte et la bataille pour la qualité de l'air est loin d'être gagnée. Toutes les villes étudiées (Paris, Lyon, Annecy, Chambéry, Clermont-Ferrand, Grenoble et Saint-Etienne) ont des niveaux de pollution au NO₂ encore très au-dessus des valeurs limites européennes attendues en 2030. Ces résultats sont aussi à mettre en perspective avec les seuils préconisés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), dont les recommandations sont plus strictes (10 µg/m³ pour le NO₂, contre 20 µg/m³ pour le seuil à 2030 de l'UE). Ainsi, le constat de la première partie de cette étude est clair : **si les efforts engagés permettent**

une réduction relative des concentrations de NO₂, ils restent insuffisants pour atteindre les standards sanitaires les plus protecteurs.

Objectif de la mission avec Respire

Cette étude a été réalisée par Forvis Mazars à partir de données publiques Airparif.

AAQD :

La directive sur la qualité de l'air exige que le respect des valeurs limites soit atteint dans tous les endroits pertinents de chaque État membre, et la Cour de justice de l'Union européenne a précisé que le respect doit être évalué dans les États où l'exposition des personnes est la plus élevée et non sur la base d'une moyenne dans une zone.

Dans chaque État membre, l'endroit où la concentration maximale est signalée définit donc quand et si une valeur limite est atteinte. Les zones locales « points chauds » dictent inévitablement la date limite de conformité. Les mesures visant à améliorer la qualité de l'air dans ces endroits les plus défavorables combinent généralement des actions internationales, nationales et locales. Les actions locales telles que les ZFE et les mesures visant à encourager le report modal peuvent être particulièrement efficaces. Malgré cela, il est entendu que l'analyse d'impact de la Commission européenne qui accompagnera les propositions de directive révisée ne prend pas en compte les impacts potentiels de nouvelles zones à émissions faibles ou nulles. L'analyse de la Commission passe donc à côté d'un élément clé qui pourrait aider les États membres à atteindre les valeurs limites futures.

Généralités sur l'approche employée pour la mission

Nous adoptons une approche généralement prudente en ce qui concerne les améliorations de la qualité de l'air à l'avenir, en particulier en ce qui concerne celles qui pourraient être apportées par des secteurs autres que les transports.

Bien qu'une gamme de méthodes d'évaluation puisse être utilisée, l'approche la plus courante pour rendre compte de la conformité aux valeurs limites de l'AAQD consiste à utiliser des mesures effectuées sur des sites de surveillance fixes. Le site de surveillance qui mesure la concentration la plus élevée détermine en fin de compte quand et si la valeur limite est dépassée à l'intérieur d'une zone ou d'une agglomération. Cette étude s'est donc concentrée sur la station mesurant les concentrations les plus élevées en Ile-de-France. Cependant, étant donné que des actions très locales (par exemple, des fermetures de routes individuelles) pourraient simplement « déplacer » la mesure du pire cas dans une ville, et parce qu'il est peu probable que les sites de surveillance fixes existants représentent des conditions de qualité de l'air uniques dans chaque ville, les mesures du pire cas sont prises plus largement pour représenter la qualité de l'air du pire cas dans l'ensemble de la ville. Les effets futurs potentiels de politiques publiques ont été quantifiés, en termes de réduction du trafic et le report modal, comme déjà observés dans les zones à faibles émissions les plus strictes (par exemple, l'ULEZ de Londres).

DEUXIÈME PARTIE DE L'ÉTUDE : MODÉLISATION DE L'APPLICATION DES POLITIQUES PUBLIQUES POUR UNE MISE EN CONFORMITÉ AVEC LES SEUILS DE QUALITÉ DE L'AIR EXIGÉS DANS LA NOUVELLE DIRECTIVE EUROPÉENNE



1. Méthodologie

1. Aperçu

La concentration atmosphérique en NO_2 dépend de nombreux paramètres : émissions naturelles (volcanisme), émissions anthropiques (transport routier, bâtiment...), conditions météorologiques, topographie...

Cette origine diverse rend la modélisation de la qualité de l'air complexe, car elle nécessite l'intégration de multiples paramètres à modéliser finement. Pour structurer notre modèle, nous nous sommes appuyés sur le rapport d'évaluation de l'impact des ZFE et ZEZ (Zones à Emissions Nulle) sur 6 villes européennes, publié par CleanCities¹. Ce rapport vise à quantifier les avantages que les futures ZFE et ZEZ² pourraient avoir sur la qualité de l'air dans les grandes villes européennes.

Le découpage de la concentration entre concentration de fond et concentration liée au trafic ainsi que certaines hypothèses simplificatrices expliquées ci-dessous ont été repris dans ce modèle.

L'incertitude autour de chaque paramètre modélisé n'est pas toujours la même et il n'est pas toujours évident de savoir si l'ajout d'un paramètre apporte de la précision utile aux résultats. Le parti pris ici a été de limiter la complexité généralement associée à la modélisation prospective de qualité de l'air, en évitant les algorithmes de dispersion ou les inventaires d'émissions de diverses sources. La modélisation prend en compte des mesures récentes de concentration de NO_2 dans l'air, combinées à des évolutions d'émissions liées aux transports afin d'estimer des concentrations atmosphériques futures.

L'approche peut être résumée de la sorte :

- Définition de la concentration de fond, supposée non affectée par le trafic et représentative des autres paramètres ;
- Prédiction des émissions annuelles de NO_2 liées au trafic en fonction des scénarios modélisés ;
- Prédiction de la concentration annuelle de NO_2 ajoutée à partir des émissions liées au trafic, en supposant qu'elle se traduira directement par un incrément dans la concentration atmosphérique locale.

Si une approche simplifiée présente des limites évidentes, présentées dans la partie 2, les résultats demeurent adaptés pour démontrer les effets que des interventions sur le trafic et le parc routiers pourraient avoir sur les « points chauds » de pollution de l'air en Ile-de-France. Si des modélisations plus complexes auraient pu apporter plus de détails, cela n'aurait pas nécessairement fourni plus de précision ni modifié les conclusions générales de cette étude (voir les travaux d'Airparif ou des ATMO régionales).

Il a été nécessaire de faire des hypothèses générales concernant les changements au fil du temps de la concentration provenant d'autres sources (c'est-à-dire la concentration de fond), mais ce n'est pas l'objet de l'étude et ces hypothèses sont donc approximatives et se veulent conservatrices. L'approche adoptée ici n'exige pas, ni ne définit, une étendue géographique spécifique de la ZFE. Elle suppose simplement que la ZFE agira sur l'ensemble de l'augmentation du trafic local jusqu'aux concentrations. Dans la pratique, celle-ci est généralement dominée par les routes situées à moins de 200 m d'un point d'évaluation, mais si les points d'évaluation sont basés sur les sites de surveillance fixes, ils ne sont pas destinés à représenter uniquement ces emplacements. Les principales limites de cette approche sont qu'elle suppose des relations linéaires directes entre les émissions totales du trafic à l'intérieur de l'Ile-de-France et celles qui déterminent les concentrations à chaque station, et entre les concentrations de NO_x et de NO_2 . Les implications de ces limitations, ainsi que d'autres, sont examinées plus en

¹

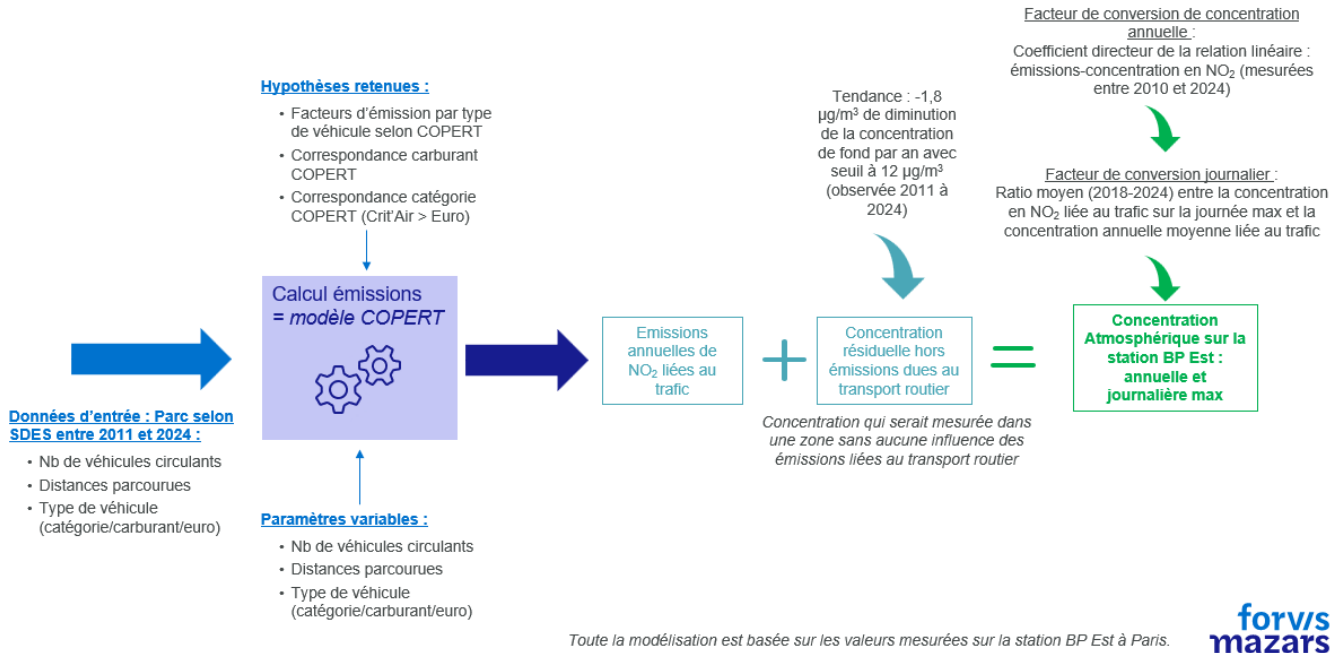
https://cleancitiescampaign.org/wp-content/uploads/2023/05/Quantifying-the-impact-of-low-and-zero-emission-zones-in-six-European-cities_final.pdf

² [The-development-trends-of-low-emission-and-zero-emission-zones-in-Europe-1.pdf](#)

détail à la section 2, mais malgré ces limites, l'approche est suffisante pour indiquer les avantages potentiels réalisables dans une ville à partir des ZFE et autres restrictions de trafic.

De plus amples détails sur l'approche sont fournis dans les sous-sections suivantes.

Fonctionnement de la modélisation



2. Calcul d'émissions de NO₂

a. Concept

Les émissions de NO_x se calculent à l'échelle de l'année. Le calcul est le suivant :³

$$E_{i,k} = \sum_{k=0}^n \text{Nombre de véhicules}_k * VKT_k * EF_{i,k}$$

Où ,

E : Émissions du polluant i, pour chaque type de véhicule k (en g/an)

i : polluant, ici le NO₂

k : type de véhicule (combinaison catégorie-segment-carburant-norme EURO)

VKT : activité du véhicule (en km/an) (*vehicle kilometers travelled*)

EF_{i,k} : facteur d'émission de polluant i, pour le type de véhicule k (en g/km)

Il faut donc calculer les émissions annuelles pour chaque type de véhicule et en faire la somme pour avoir les émissions globales. Pour chaque type de véhicule, il faut donc :

- Le nombre de véhicules de ce type ;
- La distance moyenne annuelle parcourue par ce type de véhicule ;
- Le facteur d'émission standard correspondant à ce type de véhicule, dans les conditions de circulation choisies (ici 30 km/h en conditions « chaudes », hot emission parameters).

Les types de véhicules seront définis par la combinaison catégorie-section-carburant-norme EURO (*category-segment-fuel-Euro standard*).

b. Données sources

Les données du parc francilien (nombre de véhicules) et d'activité (distances parcourues) issues du SDES se présentent sous un format non compatible avec le calcul des émissions selon la méthode COPERT, il faut donc les reformater pour pouvoir utiliser les facteurs d'émissions prévus.

Il s'agit d'associer à chaque type de véhicule :

- L'année de mise en circulation, à partir de l'âge du véhicule ;
- Une norme EURO, dépendant de leur catégorie et année de fabrication, basé sur la norme européenne ;

Année mise en circulation	VP	VUL	PL	TCP
Défaut	Euro 1	Euro 1	Euro I	Euro I
1985	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1986	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1987	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1988	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1989	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1990	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1991	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1992	ECE 15/04	ECE 15/04	Conventional	Conventional
1993	Euro 1	Euro 1	Euro I	Euro I
1994	Euro 1	Euro 1	Euro I	Euro I
1995	Euro 1	Euro 1	Euro I	Euro I
1996	Euro 1	Euro 1	Euro II	Euro II
1997	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II
1998	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II
1999	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II
2000	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II
2001	Euro 3	Euro 3	Euro III	Euro III
----	-	-	- ...	- ...

- Un carburant en anglais par traduction et correspondance avec les fuels COPERT, onglet qui permet aussi d'obtenir les données pour passer au carburant simplifié pour avoir moins de paramètres sur la modélisation ;

Carburant	Fuel
Diesel hybride non rechargeable	Diesel Hybrid
Diesel hybride rechargeable	Diesel PHEV
Diesel thermique	Diesel
Electrique et hydrogène	Battery electric
Essence hybride non rechargeable	Petrol Hybrid
Essence hybride rechargeable	Petrol PHEV
Essence thermique	Petrol
Gaz	CNG
Non déterminé	Non déterminé

- Une catégorie et un segment, en croisant avec les catégories et segments disponibles dans la base COPERT ;

Source_type	Type	Catégorie véhicule	Carburant	Category	Segment
TCP-Autocar	TCP	Autocar	Non nécessaire	Buses	Coaches Standard <=18 t
TCP-Autobus-Diesel hybride non rechargé	TCP	Autobus	Diesel hybride non rechargé	Buses	Urban Buses Diesel Hybrid
TCP-Autobus-Diesel hybride rechargé	TCP	Autobus	Diesel hybride rechargé	Buses	Urban Buses Diesel Hybrid
TCP-Autobus-Diesel thermique	TCP	Autobus	Diesel thermique	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t
TCP-Autobus-Electrique et hydrogène	TCP	Autobus	Electrique et hydrogène	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t
TCP-Autobus-Essence thermique	TCP	Autobus	Essence thermique	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t
TCP-Autobus-Gaz	TCP	Autobus	Gaz	Buses	Urban CNG Buses
TCP-Autobus-Non déterminé	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t
VUL-Camionnette	VUL	Camionnette	Non nécessaire	Light Commercial Vehicles	N1-II
VUL-Autre VASP	VUL	Autre VASP	Non nécessaire	Light Commercial Vehicles	N1-II
VUL-Dérivé VP	VUL	Dérivé VP	Non nécessaire	Light Commercial Vehicles	N1-II
VUL-Camping-car	VUL	Camping-car	Non nécessaire	Light Commercial Vehicles	N1-II
VP-Non concerné	VP	Non concerné	Non nécessaire	Passenger Cars	Medium
PL-VASP lourd	PL	VASP lourd	Non nécessaire	Heavy Duty Trucks	>3,5 t
PL-Camion	PL	Camion	Non nécessaire	Heavy Duty Trucks	>3,5 t
PL-Tracteur routier	PL	Tracteur routier	Non nécessaire	Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t

- La distance moyenne parcourue par ce type de véhicules (catégorie/carburant).

Parc par région au 1er janvier, selon le carburant, l'âge, le statut, la vignette crit'air et la catégorie de véhicule
Source : SDES, Rserve, données provi. Données sur le parc automobile : calculs et conversions FM

id	Région de résidence	Code région de résiden	Type	Catégorie véhicule	Carburant	Category	Segment	Fuel	Age	Age
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Essence thermique	Buses	Coaches Standard <=18 t	Petrol	22 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Essence thermique	Buses	Coaches Standard <=18 t	Petrol	1 an
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Essence thermique	Buses	Coaches Standard <=18 t	Petrol	3 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Gaz	Buses	Coaches Standard <=18 t	CNG	11 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Gaz	Buses	Urban CNG Buses	CNG	10 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Electrique et hydrogène	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Battery electric	7 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Electrique et hydrogène	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Battery electric	8 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Electrique et hydrogène	Buses	Coaches Standard <=18 t	Battery electric	6 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Gaz	Buses	Urban CNG Buses	CNG	14 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Gaz	Buses	Coaches Standard <=18 t	CNG	15 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Gaz	Buses	Coaches Standard <=18 t	CNG	2 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Essence thermique	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Petrol	25 ans et plus
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Gaz	Buses	Urban CNG Buses	CNG	4 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Gaz	Buses	Urban CNG Buses	CNG	6 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	3 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	8 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	6 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	6 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	25 ans et plus
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	3 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	2 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	4 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	16 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	15 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	13 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	12 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	12 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	11 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	7 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	10 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Non déterminé	Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Non déterminé	7 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	0 an
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Non déterminé	Buses	Coaches Standard <=18 t	Non déterminé	8 ans
Buses-Ur	le-de-France		11	TCP	Autobus	Gaz	Buses	Urban CNG Buses	CNG	9 ans
Buses-Cd	le-de-France		11	TCP	Autocar	Gaz	Buses	Coaches Standard <=18 t	CNG	9 ans

Distances parcourues par région, statut de l'utilisateur et source d'énergie

Source : SDES, Rserve [Données sur le parc automobile français au 1er janvier 2024 | Données et études statistiques](#)

Les données de distances sont estimées et révisables pendant plusieurs années suite à la réception de nouveaux contrôles techniques, avec un caractère

Note : attention à faire en sorte que le carburant soit bien au même format que dans le tableau du par

Source_type	Type	Année	2011	2012	2013
VP-Total_VP	VP	Total_VP	12 359	12 291	12
VP-Electrique et hydrogène	VP	Electrique et hydrogène	6 434	10 371	9
VP-Essence thermique	VP	Essence thermique	8 193	8 016	7
VP-Essence hybride non rechargé	VP	Essence hybride non rechargé	16 021	16 162	17
VP-Essence hybride rechargé	VP	Essence hybride rechargé	17 502	17 232	16
VP-Diesel thermique	VP	Diesel thermique	15 838	15 629	15
VP-Diesel hybride non rechargé	VP	Diesel hybride non rechargé	17 457	20 184	20
VP-Diesel hybride rechargé	VP	Diesel hybride rechargeable	36 233	22 794	18
VP-Gaz	VP	Gaz	11 880	11 787	11
VP-Non déterminé	VP	Non déterminé	9 614	4 316	3
VUL-Total_VUL	VUL	Total_VUL	17 619	17 408	17
VUL-Electrique et hydrogène	VUL	Electrique et hydrogène	2 782	3 950	5
VUL-Essence thermique	VUL	Essence thermique			

c. Paramètres de calcul d'émissions

Facteurs d'émissions

$$EF_{i,k,m} = \frac{\alpha * V^2 + \beta * V + \gamma + \frac{\delta}{V}}{\varepsilon * V^2 + \zeta * V + \eta} * (1 - \theta)$$

Où,

i : polluant, ici le NO₂

k : type de véhicule

m : type de carburant

EF : facteur d'émission associé au polluant i, type de véhicule k et carburant m (en g/km)

V : vitesse moyenne de circulation

α, β, γ, δ, ε, ζ, η, θ : constantes du modèle pour chaque type de véhicule et polluant

Le facteur d'émission standard correspondant à ce type de véhicule, dans les conditions de circulation choisies (ici 30 km/h en conditions « chaudes », hot emission parameters).

La liste des combinaisons catégorie-section-carburant-norme EURO possibles permet de calculer ou approximer pour chaque véhicule un facteur d'émission spécifique, ou de définir arbitrairement sur 0 dans le cas de véhicules non représentés dans le parc.

Extrait du tableau de correspondance entre un type de véhicule -défini par sa catégorie, son carburant et sa norme EURO- et son facteur d'émissions :

Category	Segment	Fuel	Euro Standard	EF [g/km]	Justification	Source
Passenger Cars	Medium	Diesel	ECE 15/04	0,68784	même véhicule, euro 1	EEA hot emissions emission
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 1	0,68784	donnée originale FE	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 2	0,75696	donnée originale FE	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 3	0,77876	donnée originale FE	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 4	0,63676	donnée originale FE	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 5	0,47160	donnée originale FE	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 6 a/b/c	0,55493	donnée originale FE - m	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 6 d/e	0,05390	donnée originale FE - m	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 6 d-temp	0,06737	donnée originale FE - m	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 7	0,05390	donnée originale FE - m	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	ECE 15/04	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 1	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 2	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 3	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 4	0,60000	même véhicule, euro 5 : "	https://repository.tno.nl/Singl
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 5	0,60000	The tested plug-in hybrid	https://repository.tno.nl/Singl
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 6 a/b/c	0,55493	FE passenger cars, "Dies	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 6 d/e	0,06737	EF passenger cars, "Dies	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 6 d-temp	0,05390	EF passenger cars, "Dies	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 7	0,05390	EF passenger cars, "Dies	EEA hot emissions emissi
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	ECE 15/04	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Euro 1	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Euro 2	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Euro 3	0,00000	pas ou très peu (<30) de	Data_parc
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Euro 4	0,02000	même véhicule, euro 5 : "	https://repository.tno.nl/Singl

Activité

L'activité est extraite des données du SDES présentées précédemment (distance moyenne parcourue par an par combinaison catégorie-carburant) et remise au format nécessaire au calcul.

Le Crit'Air est recalculé à partir de la norme EURO et du type de véhicule.

Category	Segment	Fuel	Fuel simplifié	Euro Standard	Crit'Air	2011	2012	2013	2014	2015
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	ECE 15/04	Non classé	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 1	Non classé	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 2	Crit'Air 5	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 3	Crit'Air 4	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 4	Crit'Air 3	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 5	Crit'Air 2	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 6 a/b/c	Crit'Air 2	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 6 d-temp	Crit'Air 2	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 6 d/e	Crit'Air 2	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 7	Crit'Air 2	15 837,7	15 628,8	15 386,1	15 305,5	1
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	ECE 15/04	Non classé	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 1	Non classé	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 2	Crit'Air 5	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 3	Crit'Air 4	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 4	Crit'Air 3	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 5	Crit'Air 2	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 6 a/b/c	Crit'Air 2	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 6 d-temp	Crit'Air 2	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 6 d/e	Crit'Air 2	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 7	Crit'Air 2	17 457,0	20 184,4	20 980,2	21 678,8	2
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rechargeables	ECE 15/04	Crit'Air 1	36 233,0	22 793,9	18 053,0	17 877,6	1
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rechargeables	Euro 1	Crit'Air 1	36 233,0	22 793,9	18 053,0	17 877,6	1
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rechargeables	Euro 2	Crit'Air 1	36 233,0	22 793,9	18 053,0	17 877,6	1
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rechargeables	Euro 3	Crit'Air 1	36 233,0	22 793,9	18 053,0	17 877,6	1
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rechargeables	Euro 4	Crit'Air 1	36 233,0	22 793,9	18 053,0	17 877,6	1
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rechargeables	Euro 5	Crit'Air 1	36 233,0	22 793,9	18 053,0	17 877,6	1
Passenger Cars	Medium	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rechargeables	Euro 6 a/b/c	Crit'Air 1	36 233,0	22 793,9	18 053,0	17 877,6	1

Nombre de véhicules

Le nombre de véhicules pour chaque type de véhicule est calculé à partir des données du parc et remis au format nécessaire au calcul.

De même, le Crit'Air est recalculé à partir de la norme EURO et du type de véhicule.

						Somme totale	5 640 203,0	5 672 642,0	5 710 111,0	
Category	Segment	Fuel	Fuel simplifié	Euro Standard	Crit'Air	2011	2012	2013	2014	2015
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 4	Crit'Air 3	1 167 585,0	1 087 289,0	1 011 010,0		
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 3	Crit'Air 4	706 675,0	679 600,0	653 010,0		
Passenger Cars	Medium	Petrol	Essence	Euro 3	Crit'Air 3	653 889,0	624 620,0	593 810,0		
Passenger Cars	Medium	Petrol	Essence	Euro 4	Crit'Air 2	543 887,0	528 300,0	512 810,0		
Passenger Cars	Medium	Petrol	Essence	Euro 2	Crit'Air 3	506 661,0	458 337,0	412 210,0		
Passenger Cars	Medium	Petrol	Essence	Euro 1	Non classé	305 207,0	270 874,0	241 610,0		
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 5	Crit'Air 2	265 587,0	541 433,0	785 910,0		
Light Commercial Vehicles	N1-II	Diesel	Diesel	Euro 4	Crit'Air 3	263 240,0	232 207,0	200 610,0		
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 2	Crit'Air 5	262 107,0	239 753,0	217 010,0		
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	Euro 1	Non classé	170 928,0	144 510,0	121 510,0		
Passenger Cars	Medium	Petrol	Essence	ECE 15/04	Non classé	160 007,0	120 705,0	87 210,0		
Light Commercial Vehicles	N1-II	Diesel	Diesel	Euro 3	Crit'Air 4	126 801,0	117 747,0	108 710,0		
Passenger Cars	Medium	Petrol	Essence	Euro 5	Crit'Air 1	104 774,0	216 764,0	311 310,0		
Light Commercial Vehicles	N1-II	Diesel	Diesel	Euro 5	Crit'Air 2	63 714,0	130 769,0	189 110,0		
Passenger Cars	Medium	Diesel	Diesel	ECE 15/04	Non classé	58 882,0	44 476,0	32 610,0		
Light Commercial Vehicles	N1-II	Diesel	Diesel	Euro 2	Crit'Air 5	51 426,0	46 946,0	42 610,0		
Light Commercial Vehicles	N1-II	Diesel	Diesel	Euro 1	Non classé	27 521,0	25 550,0	23 810,0		
Light Commercial Vehicles	N1-II	Diesel	Diesel	ECE 15/04	Non classé	19 459,0	15 762,0	12 110,0		
Heavy Duty Trucks	>3,5 t	Diesel	Diesel	Euro III	Crit'Air 5	13 966,0	12 965,0	11 610,0		
Passenger Cars	Medium	Non déterminé	Non déterminé	Euro 2	Non classé	13 251,0	45,0			
Passenger Cars	Medium	Non déterminé	Non déterminé	Euro 1	Non classé	11 420,0	356,0			
Heavy Duty Trucks	>3,5 t	Diesel	Diesel	Euro IV	Crit'Air 4	10 949,0	10 604,0	10 110,0		
Passenger Cars	Medium	CNG	Gaz, Hybrides rechargeables	Euro 5	Crit'Air 1	10 295,0	11 804,0	11 910,0		

La somme totale est calculée pour vérifier la cohérence.

d. Données simplifiées

Pour réaliser des modélisations basées sur la norme Crit'Air, il est nécessaire d'avoir des données réparties non pas par type (combinaison catégorie-segment-carburant-norme EURO), mais par type simplifié (combinaison catégorie-carburant simplifié-Crit'Air) pour ne pas devoir jongler entre trop de paramètres tout en gardant une capacité de modélisation fine et adaptée au cadre français.

Pour le carburant simplifié, pour correspondre aux classifications du SDES :

Fuel simplifié

		Gaz, Hybrides rechargea bles	Electrique et hydrogène	Non déterminé
Diesel	Essence			
Diesel	Petrol	CNG	Battery elect	Non déterminé
Diesel Hybrid	Petrol Hybrid	Diesel PHEV		
		Petrol PHEV		

Pour cela, on détaille chaque type simplifié disponible et pour chacun, on recalcule une norme EURO estimée à partir de la catégorie, du carburant simplifié et du Crit'Air (exemple du tableau ci-dessous) :

			Crit'Air 0	Crit'Air 1	Crit'Air 2	Crit'Air 3	Crit'Air 4	Crit'Air 5	Non classé
Passenger cars	Diesel	Diesel	Non concerné	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Euro 2	Euro 1
Passenger cars	Diesel	Diesel Hybrid	Non concerné	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Euro 2	Euro 1
Passenger cars	Essence	Petrol	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Non concerné	Non concerné	Euro 1
Passenger cars	Essence	Petrol Hybrid	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Non concerné	Non concerné	Euro 1
Passenger cars	Gaz, Hybrides rechargeables	CNG	Non concerné	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
Passenger cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Diesel PHEV	Non concerné	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
Passenger cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Petrol PHEV	Non concerné	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
Passenger cars	Electrique et hydrogène	Battery electric	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
Passenger cars	Non déterminé	Non déterminé	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
commercial ve	Diesel	Diesel	Non concerné	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Euro 2	Euro 1
commercial ve	Diesel	Diesel Hybrid	Non concerné	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Euro 2	Euro 1
commercial ve	Essence	Petrol	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Non concerné	Non concerné	Euro 1
commercial ve	Essence	Petrol Hybrid	Non concerné	Euro 5	Euro 4	Euro 3	Non concerné	Non concerné	Euro 1
commercial ve	Gaz, Hybrides rechargeables	CNG	Non concerné	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
commercial ve	Gaz, Hybrides rechargeables	Diesel PHEV	Non concerné	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
commercial ve	Gaz, Hybrides rechargeables	Petrol PHEV	Non concerné	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné
commercial ve	Electrique et hydrogène	Battery electric	Euro 4	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné	Non concerné

Cela permet d'obtenir un facteur d'émission pour chaque type simplifié :

Category	Segment	Crit'Air	Fuel	Fuel simplifié	EURO estimé	EF [g/km]
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 0	Diesel	Diesel	Non concerné	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 1	Diesel	Diesel	Non concerné	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 2	Diesel	Diesel	Euro 5	0,47
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 3	Diesel	Diesel	Euro 4	0,64
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 4	Diesel	Diesel	Euro 3	0,78
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 5	Diesel	Diesel	Euro 2	0,76
Passenger Cars	Medium	Non classé	Diesel	Diesel	Euro 1	0,69
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 0	Diesel Hybrid	Diesel	Non concerné	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 1	Diesel Hybrid	Diesel	Non concerné	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 2	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 5	0,60
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 3	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 4	0,60
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 4	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 3	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 5	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 2	0,00
Passenger Cars	Medium	Non classé	Diesel Hybrid	Diesel	Euro 1	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 0	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rech	Non concerné	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 1	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rech	Euro 4	0,02
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 2	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rech	Non concerné	0,00
Passenger Cars	Medium	Crit'Air 3	Diesel PHEV	Gaz, Hybrides rech	Non concerné	0,00

On utilise les Data_formatées comme source pour obtenir les données d'activité et de nombre de véhicules pour chaque type simplifié :

- Activité : moyenne de la distance moyenne annuelle parcourue par l'ensemble des véhicules du type simplifié ;

Category	Fuel simplifié	Crit'Air	2 011	2 012	2 013	2 014	2 015	2 016
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 1	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 2	16 647	17 907	18 183	18 492	18 755	18 861
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 3	16 647	17 907	18 183	18 492	18 755	18 861
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 4	16 647	17 907	18 183	18 492	18 755	18 861
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 5	16 647	17 907	18 183	18 492	18 755	18 861
Passenger Cars	Diesel	Non classé	16 647	17 907	18 183	18 492	18 755	18 861
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 1	12 107	12 089	12 813	13 361	13 693	13 749
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 2	12 107	12 089	12 813	13 361	13 693	13 749
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 3	12 107	12 089	12 813	13 361	13 693	13 749
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 4	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 5	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Non classé	12 107	12 089	12 813	13 361	13 693	13 749
Passenger Cars	rechargeables	Crit'Air 0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	rechargeables	Crit'Air 1	21 872	17 271	15 473	15 080	15 225	15 853
Passenger Cars	rechargeables	Crit'Air 2	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	rechargeables	Crit'Air 3	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	rechargeables	Crit'Air 4	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	rechargeables	Crit'Air 5	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	rechargeables	Non classé	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Electrique et hydrogène	Crit'Air 0	6 434	10 371	9 762	9 643	9 775	9 469
Passenger Cars	Electrique et hydrogène	Crit'Air 1	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Electrique et hydrogène	Crit'Air 2	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Electrique et hydrogène	Crit'Air 3	0	0	0	0	0	0

- Nombre de véhicules : somme des véhicules du type simplifié.

				TOTAL	5 640 203	5 672 642	5 710 160	5 760 750	5 835 834	5 912 922	5 981 368	6 045 188	€
				vérif	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Category	Fuel simplifié	Crit'Air	Réduction du trafic par véhicule en 2030	2 011	2 012	2 013	2 014	2 015	2 016	2 017	2 018	2 019	2 020
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 0	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 1	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 2	0%	265 588	541 704	788 364	977 111	1 121 250	1 245 941	1 350 303	1 431 788	1 490 871	1 540 871
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 3	0%	1 167 586	1 087 290	1 011 011	960 718	941 203	920 835	896 126	863 874	831 874	800 874
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 4	0%	708 675	679 600	653 022	628 270	604 751	574 649	536 452	490 712	445 712	400 712
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 5	0%	262 107	239 753	217 009	194 971	174 855	153 032	130 635	108 871	86 871	64 871
Passenger Cars	Diesel	Non classé	0%	229 810	188 986	154 262	126 890	105 247	86 392	69 802	55 905	42 905	30 905
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 0	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 1	100%	105 077	217 247	315 938	421 768	527 132	659 865	815 880	989 867	1 189 867	1 409 867
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 2	100%	546 713	530 969	515 323	499 954	491 930	482 001	468 938	455 247	441 938	428 247
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 3	100%	1 160 620	1 083 029	1 006 159	936 384	875 025	811 169	742 022	673 962	605 962	537 962
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 4	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 5	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Non classé	0%	465 214	391 579	328 915	280 148	244 549	213 896	183 643	158 680	133 680	108 680
Passenger Cars	rechargeables	Crit'Air 0	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 1	100%	34 394	36 727	35 307	33 888	32 556	32 783	33 976	36 741	39 506	42 271
Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 2	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La somme des véhicules est calculée pour vérifier que l'on retrouve bien la totalité des véhicules du parc.

3. Calcul des émissions

Pour chaque type de véhicule, on part des données formatées comme expliqué ci-dessus et on réalise le produit :

Nb véhicules * Activité * Facteur d'émission

Les émissions globales sont la somme des émissions de chaque type de véhicule. Les résultats sont présentés en tonnes/an :

Emissions de NO2 annuelles pour chaque type de véhicule calculées en g/an						TOTAL (t/an)	66 005,7	64 782,0	62 821,6	60 590,7
Nombre de véhicules x Activité (km/an) x Facteur d'émission spécifique au véhicule (g NO2 émis/km)										
id_Calcul	Category	Segment	Fuel	Euro Standard	Crit'Air	EF [g/km]	2011	2012	2013	2014
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	ECE 15/04	Non classé	0.687845	641 452 997,3	478 125 966,4	345 923 858,7	243 076 381,1
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 1	Non classé	0.687845	1 862 067 829,2	1 553 511 633,3	1 286 668 269,0	1 092 796 198,7
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 2	Crit'Air 5	0.756962	3 142 276 116,6	2 836 377 932,7	2 527 434 590,9	2 258 869 265,4
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 3	Crit'Air 4	0.778757	8 715 932 594,7	8 271 453 420,8	7 824 532 568,1	7 488 516 831,8
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 4	Crit'Air 3	0.636760	11 774 871 720,6	10 820 491 662,5	9 905 116 394,6	9 363 075 072,1
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 5	Crit'Air 2	0.471599	1 983 679 640,2	3 990 651 176,5	5 703 093 110,0	7 012 865 541,6
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 6 a/b/c	Crit'Air 2	0.554933	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 6 d/e	Crit'Air 2	0.053897	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 6 d-temp	Crit'Air 2	0.067371	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel	Euro 7	Crit'Air 2	0.053897	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	ECE 15/04	Non classé	0.000000	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 1	Non classé	0.000000	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 2	Crit'Air 5	0.000000	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 3	Crit'Air 4	0.000000	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 4	Crit'Air 3	0.600000	10 474,2	12 110,6	12 588,1	13 007,3
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 5	Crit'Air 2	0.600000	10 474,2	3 281 985,6	30 060 502,1	72 034 448,2
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 6 a/b/c	Crit'Air 2	0.554933	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 6 d/e	Crit'Air 2	0.067371	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 6 d-temp	Crit'Air 2	0.053897	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel Hybrid	Euro 7	Crit'Air 2	0.053897	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger C	Passenger Cars	Medium	Diesel PHFV	FCF 15/04	Crit'Air 1	0.000000	0,0	0,0	0,0	0,0

Les émissions projetées (à partir de 2025 ici), sont calculées de la même manière à partir des données par type simplifié :

Emissions de NO2 annuelles pour chaque type de véhicule calculées en g/a						TOTAL (t/an)	50 550	40 648	42 380	42 949	40 080	38 284	38 284	33 180
Nombre de véhicules x Activité (km/an) x Facteur d'émission spécifique au véhicule (g l ⁻¹ vérif)							100%	101%	106%	112%	115%	116%	Simulation	
id_FE simplifiée	Category	Fuel simplifié	Crit'Air	EF [g/km]			2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Passenger Cars-Diesel-Crit'Air 0	Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 0	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Diesel-Crit'Air 1	Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 1	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Diesel-Crit'Air 2	Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 2	0,54			14 435 155 569,0	12 084 110 782,2	13 084 064 265,7	14 162 408 875,0	13 371 202 572,7	12 775 430 456,7	12 775 430 456,7	10 220 344 365,4
Passenger Cars-Diesel-Crit'Air 3	Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 3	0,62			9 242 911 904,5	7 077 281 954,2	7 209 294 362,4	7 418 845 499,9	6 786 793 989,4	6 335 093 498,2	6 335 093 498,2	5 068 074 798,5
Passenger Cars-Diesel-Crit'Air 4	Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 4	0,39			3 028 985 337,7	2 064 888 980,6	1 902 696 902,1	1 797 283 800,8	1 521 650 796,8	1 346 167 710,4	1 346 167 710,4	1 076 934 168,3
Passenger Cars-Diesel-Crit'Air 5	Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 5	0,38			589 288 666,1	353 372 265,6	293 631 276,6	224 713 734,1	146 664 169,1	78 521 286,6	78 521 286,6	62 817 029,3
Passenger Cars-Diesel-Non classé	Passenger Cars	Diesel	Non classé	0,34			268 852 727,4	160 334 484,9	131 935 251,4	154 139 512,6	159 437 953,3	183 574 787,8	183 574 787,8	146 859 830,2
Passenger Cars-Essence-Crit'Air 0	Passenger Cars	Essence	Crit'Air 0	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Essence-Crit'Air 1	Passenger Cars	Essence	Crit'Air 1	0,02			309 931 940,7	282 995 577,1	361 986 729,7	456 258 908,1	485 096 039,7	530 489 654,7	530 489 654,7	530 489 654,7
Passenger Cars-Essence-Crit'Air 2	Passenger Cars	Essence	Crit'Air 2	0,04			208 503 719,8	153 739 926,0	169 678 504,6	185 086 382,6	175 588 038,3	168 894 115,8	168 894 115,8	168 894 115,8
Passenger Cars-Essence-Crit'Air 3	Passenger Cars	Essence	Crit'Air 3	0,04			344 431 052,8	229 779 893,7	229 772 319,6	220 423 515,3	184 067 979,0	153 953 465,6	153 953 465,6	153 953 465,6
Passenger Cars-Essence-Crit'Air 4	Passenger Cars	Essence	Crit'Air 4	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Essence-Crit'Air 5	Passenger Cars	Essence	Crit'Air 5	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Essence-Non classé	Passenger Cars	Essence	Non classé	0,15			277 683 646,2	174 895 687,1	165 948 832,0	201 065 712,6	211 941 062,9	243 736 128,5	243 736 128,5	194 988 902,8
Passenger Cars-Gaz, Hybrides rechargeables	Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 0	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Gaz, Hybrides rechargeables	Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 1	0,03			19 123 621,3	17 740 003,0	30 028 617,7	58 723 933,6	82 279 790,2	111 274 484,7	111 274 484,7	111 274 484,7
Passenger Cars-Gaz, Hybrides rechargeables	Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 2	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Gaz, Hybrides rechargeables	Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 3	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Gaz, Hybrides rechargeables	Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 4	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars-Gaz, Hybrides rechargeables	Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 5	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

4. Définition de la concentration de fond

Comme expliqué à la section 1.1, cette étude réduit la complexité du modèle en s'appuyant sur des mesures ambiantes. Cependant, cette approche est limitée par la disponibilité de mesures et par les effets temporaires récents de la pandémie de COVID-19 en 2020.

Une station de fond urbaine de référence est étudiée pour voir l'impact du transport routier localisé à la station "trafic" étudiée. On étudie la station « BP_Est – Boulevard périphérique Est » car il s'agit de l'une des stations avec les plus forts dépassements et que l'on dispose de moyennes historiques jusqu'en 2010 pour cette station. La station « PA12 – Paris 12^{ème} » est utilisée comme référence car il s'agit de la station de Paris intramuros la plus proche géographiquement de la station « BP Est ». Dans ce rapport, nous désignerons par concentration de fond la concentration résiduelle hors émissions dues au transport routier.

Il existe une grande incertitude dans la prévision des concentrations de fond à l'avenir. Elles seront influencées par les tendances et les politiques locales, régionales et nationales reflétant les émissions non liées aux transports ainsi que les émissions non liées aux transports locaux. Elles seront également touchées par des événements naturels. Il n'entre pas dans le cadre de cette étude de prédire ces effets en détail. Une approche simple et pragmatique a donc été adoptée pour prévoir les tendances futures des concentrations de fond sur la base des trajectoires historiques récentes.

La concentration de fond représente la contribution des autres facteurs de pollution au NO₂ (hors transport routier), dont on considère qu'elle n'est pas influencée par les variations de trafic et de parc routier. La concentration annuelle mesurée en 25 stations de référence sur les dernières années (2018-2024) permet de calculer le taux de variation de la concentration dans chaque station, qui est utilisé pour définir une tendance globale (moyenne des pentes) de la concentration de fond. Cependant, reconnaissant que les émissions provenant de nombreuses sources seront presque impossibles à éliminer entièrement, les concentrations de fond ont été limitées à ne pas descendre au moins à la concentration la plus basse mesurée n'importe où dans une ville au cours d'une année récente.

En pratique, il est considéré comme probable que les contributions prévues d'autres sources à l'avenir pourraient être beaucoup plus faibles que celles prévues ici. En outre, étant donné que l'on s'attendrait à ce que la réduction des émissions dues au trafic routier réduise également la composante trafic routier des concentrations de fond, les effets prévus des futures interventions dans le secteur des transports risquent également de faire preuve de prudence.

Tendance suivie par la concentration de fond : **-1,8 µg/m³ de diminution par an**

valeurs estimées			Différentiel de concentration lié au
Code2	Concentration de PA12:NO2	Station étudiée BP_EST:NO2	
Lieu	PARIS 12ème	Boulevard Périphérique Est	
Code1	PA12	BP_EST	
Zonage	UR	PT+	
Moyenne			
Année	Calcul - Concentration en		
2010	48		
2011	46		
2012	45		
2013	43		
2014	41		
2015	39		
2016	37		
2017	36		
2018	33,8	67,4	33,7
2019	31,8	60,6	28,8
2020	25,1	49,5	24,4
2021	26,8	52,8	25,9
2022	24,8	51,7	26,9
2023	24,3	45,6	21,3
2024	21,0	42,2	21,2
2025	19,2		
2026	17,4		
2027	15,6		
2028	13,8		
2029	12,0		
2030	12,0		
2031	12,0		
2032	12,0		

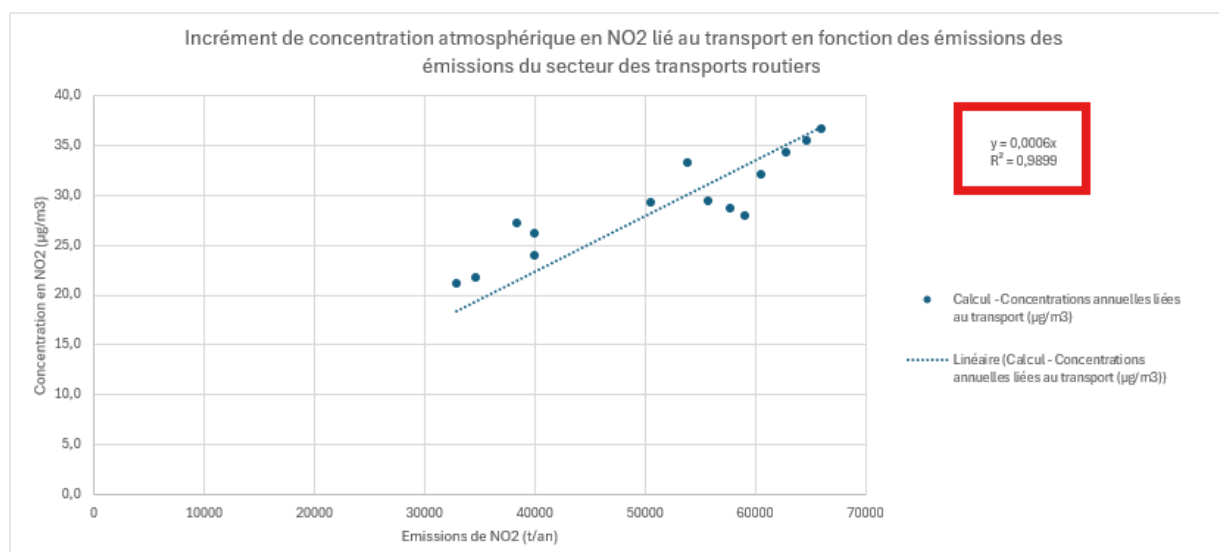
Valeur minimale atteinte par la concentration de fond : **12,0 µg/m³ en 2024 dans la station « MELUN »**

Stations "de fond" de référence pour l'évolution de la situation de fond
Stations urbaines du Grand Paris

Code2	MELUN:NO2	VERS:NO2	MANT:NO2	MONTG:NO2	LOGNES:NO2	EVRY:NO2	GON:NO2	ARG:NO2	CHAMP:NO2	TREMB:NO2
Lieu	MELUN	VERSAILLE	MANTES-L	MONTGERM	LOGNES	EVRY	GONNESSE	ARGENTEL	CHAMPIGN	TREMBLAY V
Code1	MELUN	VERS	MANT	MONTG	LOGNES	EVRY	GON	ARG	CHAMP	TREMB
id	21	40	20	22	19	14	16	2	10	39
Zonage	PR+	PR+	PR+	PR+	PR+	PR+	PR+	PR+	PR	P
Année										
2010										
2011										
2012										
2013										
2014										
2015										
2016										
2017										
2018	19,1	21,3	19,5	23,6	24,3	24,6	24,2	26,4	28,0	27,2
2019	18,5	20,1	19,1	21,8	23,0	23,8	23,0	24,9	26,3	27,1
2020	15,4	14,6	16,3	16,8	18,3	19,0	18,9	20,7	20,7	20,4
2021	15,1	17,2	18,3	18,3	20,2	19,7	20,5	25,1	23,3	21,4
2022	14,4	17,2	17,9	16,0	18,4	19,0	21,0	22,4	22,3	21,4
2023	12,7	13,6	13,5	14,4	17,7	17,4	18,2	17,2	20,3	19,5
2024	12,0	12,4	13,1	14,2	16,1	16,4	14,7	18,0	17,4	18,5
Pente totale	-1,2	-1,5	-1,1	-1,6	-1,4	-1,4	-1,6	-1,4	-1,8	-1,5
Valeur minimale atteinte	12,0	12,4	13,1	14,2	16,1	16,4	14,7	17,2	17,4	18,5

5. Définition des facteurs de conversion

La concentration liée au transport routier est définie comme la différence entre la concentration à la station trafic et la concentration de fond. En étudiant la relation, supposée linéaire, entre l'incrément de concentration liée au transport routier et les émissions liées au transport routier, on définit un coefficient de conversion.



Pour étudier la conformité aux limites journalières, on s'intéresse à certaines journées de l'année qui présentent des dépassements particulièrement élevés.

Pour modéliser ces journées, le ratio entre la concentration liée au trafic de la journée (concentration mesurée journée – concentration de fond) et la concentration liée au trafic annuelle (concentration mesurée annuelle – concentration de fond) a été calculé, permettant d'obtenir un ratio moyen entre 2018 et 2024. En supposant que ce ratio reste constant au fil des années, cela permet d'évaluer la concentration journalière de ces journées de dépassement à partir de la concentration annuelle projetée.

Deux approches ont été employées pour modéliser les journées de dépassement de la station trafic étudiée (BP Est) :

- Extraction de la valeur journalière maximale pour chaque année ([plus robuste](#) et donc conservée pour la suite) ;
- Isolement de 3 journées présentant des dépassements forts et récurrents chaque année, réparties sur l'année : 20/03 ; 25/06 ; 15/09.

Valeurs maximales atteintes

Facteurs de conversion

a= 0,0006

BP_EST:NO2
Boulevard Périphérique Est
BP_EST

Date	Année	Mois	Jour	Mesure - Concentration journalière	Mesure - Concentration annuelle	Calcul - Concentration en NO2 de fond	Calcul - Concentration liée au trafic journalière	Calcul - Concentration liée au trafic annuelle	Ratio
	2010					48			
	2011					46			
	2012					45			
	2013					43			
	2014					41			
	2015					39			
	2016					37			
	2017					36			
26/07/2018	2018	7	26	144,8	67,00	34	111,00	33,25	3,34
25/07/2019	2019	7	25	150,0	61,00	32	118,15	29,17	4,05
15/09/2020	2020	9	15	127,3	49,00	25	102,24	23,93	4,27
31/03/2021	2021	3	31	103,4	53,00	27	76,58	26,16	2,93
18/07/2022	2022	7	18	113,0	52,00	25	88,15	27,19	3,24
08/09/2023	2023	9	8	103,1	46,00	24	78,80	21,68	3,63
27/01/2024	2024	1	27	97,3	42,2	21	76,27	21,17	3,60
Ratio moyen	3,58		3,47						

Le ratio légèrement élevé obtenu en 2020 s'explique par une concentration maximale de journée élevée, mesurée en dehors de la période de confinement rapportée à une concentration annuelle moyenne anormalement basse en raison du confinement. Ce ratio n'étant pas aberrant et le ratio moyen étant calculé sur 7 ans, nous avons fait le choix de le conserver.

Pour les émissions de gaz d'échappement, on utilise les facteurs d'émissions chauds COPERT V5.6 (hot emissions parameters) avec une vitesse moyenne de 30 km/h⁴.

6. Taux de renouvellement

Lorsqu'un scénario inclut des types de véhicules pour lesquels il n'y a ni suppression ni diminution de l'activité, nous avons appliqué un taux de renouvellement.

Ce taux de renouvellement modélise le turnover naturel des véhicules en l'absence de politiques particulières.

Nous avons créé des taux de renouvellement en rassemblant les véhicules par Catégorie (Passenger Cars, Light Commercial Vehicles, Heavy Duty Trucks et Buses) puis par Crit'Air (0, 1, 2, 3, 4, 5, Non classé).

Le taux de renouvellement est calculé à partir de la moyenne d'évolution de la taille du parc en Ile-de-France entre 2022 et 2023 puis 2023 et 2024. Nous ferons l'hypothèse que ce taux de renouvellement reste constant jusqu'en 2030.

7. Simulation de scénarii

Pour simuler des variations dans le trafic des véhicules, il revient au même d'appliquer un facteur de réduction à l'activité ou au nombre de véhicules car le calcul des émissions pour un type de véhicule est un produit (Rappel : Nb véhicules * Activité * Facteur d'émission pour chaque type de véhicule, qui seront ensuite sommés pour obtenir des émissions globales).

On définit au niveau du nombre de véhicules :

⁴ [1.A.3.b.i-iv Road Transport Appendix 4 Emission Factors 2024 — European Environment Agency](#)

- La réduction prévue du trafic pour le type de véhicule à l'année finale, ici 2030 ;
- La manière dont cette réduction s'effectuera, ici réduction progressive pour arriver à 0 en 2030.

				TOTAL	6 085 763	6 187 010	6 473 111	6 333 503	6 280 131	6 340 554	6 555 300	6 986 060	0
				réf	0	0	Simulation						
					Réduction progressive	100%	80%	60%	40%	20%	0%		
Category	Fuel simplifié	Crit'Air	Taux de renouvellement	Réduction du trafic par véhicule en 2030	2 023	2 024	2 025	2 026	2 027	2 028	2 029	2 030	2 031
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 0	1.45	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 1	1.10	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 2	0.96	0%	1428 528	1364 878	1364 878	1091 902	818 927	545 951	272 976	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 3	0.90	0%	628 246	586 433	586 433	469 146	351 860	234 573	117 287	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 4	0.87	0%	223 728	197 901	197 901	158 321	118 740	79 160	39 580	0	0
Passenger Cars	Diesel	Crit'Air 5	0.60	0%	22 182	11 876	11 876	9 501	7 125	4 750	2 375	0	0
Passenger Cars	Diesel	Non classé	1.11	0%	26 537	30 554	30 554	24 443	18 333	12 222	6 111	0	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 0	1.45	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 1	1.10	100%	1908 495	2 087 086	2 301 120	2 537 104	2 797 289	3 084 156	3 400 442	3 749 163	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 2	0.96	100%	379 161	364 706	349 367	334 673	320 598	307 114	294 137	281 823	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 3	0.90	100%	326 641	273 201	245 726	221 013	198 787	178 795	160 814	144 641	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 4	0.87	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Crit'Air 5	0.60	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	Essence	Non classé	1.11	0%	105 367	121 864	121 864	97 431	73 118	48 746	24 373	0	0
Passenger Cars	Gaz, Hybrides rechargeables	Crit'Air 0	1.45	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	az, Hybrides rechargeable	Crit'Air 1	1.10	100%	147 010	198 815	219 204	241 684	266 469	293 795	323 925	357 144	0
Passenger Cars	az, Hybrides rechargeable	Crit'Air 2	0.96	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	az, Hybrides rechargeable	Crit'Air 3	0.90	100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passenger Cars	az, Hybrides rechargeable	Crit'Air 4	0.87	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0

La simulation se fait avec pour base 2024, dernière année avec des données réelles disponibles. Pour chaque véhicule, en fonction des paramètres définis, le nombre de véhicules est calculé.

Les réductions ne sont pas reportées sur un autre type de véhicule, on suppose qu'il s'agit soit d'une conversion en véhicule non émissif, soit d'un report vers des mobilités douces ou du covoiturage (la charge des véhicules n'étant pas prise en compte dans ce modèle).

Attention ! La simulation est sur un principe binaire pour appliquer la réduction : si la réduction pour 2030 est de 100% > (Somme des véhicules*Taux de renouvellement), sinon 0% > (%Réduction * Somme des véhicules).

8. Modélisation et calcul de projections

a. Projections annuelles

Pour chaque scénario modélisé, le processus est le suivant :

- **Calcul des émissions** en NO2 liées au transport jusqu'en 2030 ;
- Calcul de l'incrément de concentration en NO2 lié au transport (à partir du [coefficient de conversion](#)) ;
- Calcul de la concentration atmosphérique totale en sommant la [concentration de fond](#) et l'incrément de concentration lié au transport.

L'approche est validée en confrontant les concentrations modélisées entre 2011 et 2024 avec les valeurs réelles mesurées :

	Calcul - Emissions liées au transport	Calcul - Concentration en NO2 liée au	Calcul - Concentration en NO2 de fond	Calcul - Concentration en NO2 totale	Mesures - Concentration en NO2	Ecart aux mesures
2010		0	48	48	82,00	
2011	66006	40	46	86	83,00	4%
2012	64782	39	45	83	80,00	4%
2013	62822	38	43	80	77,00	5%
2014	60591	36	41	77	73,00	6%
2015	59177	36	39	75	67,00	11%
2016	57822	35	37	72	66,00	9%
2017	55774	33	36	69	65,00	6%
2018	53849	32	34	66	67,00	-1%
2019	50552	30	32	62	61,00	2%
2020	40069	24	25	49	49,00	0%
2021	39985	24	27	51	53,00	-4%
2022	38448	23	25	48	52,00	-8%
2023	34749	21	24	45	46,00	-2%
2024	32893	19,7	21	41	42,2	-3%

Pour savoir comment ajuster les paramètres de chaque scénario, les émissions à cibler sont calculées en fonction du scénario (à partir du seuil annuel UE réglementaire de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les scénarii 2 et 3 et de la valeur OMS limite de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les scénarii 4 et 5) et atteintes de manière dichotomique lors du calcul des émissions en ajustant le nombre ou le type de véhicules.

Emissions à viser en 2030 (g NO2/an)	13344
Concentration liée aux transports à viser en 2030 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8
Seuil annuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20

Emissions à viser en 2030 (g NO2/an)	-3323
Concentration liée aux transports à viser en 2030 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	-2
Seuil annuel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10

Le seuil OMS est de facto inatteignable dans un modèle n'incluant pas de politiques annexes de réduction des émissions en dehors du secteur routier, car la concentration de fond minimale est fixée à 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

b. Projections journalières

De la même manière que pour les projections annuelles, on calcule les projections journalières en y intégrant le facteur de conversion journalier pour passer de l'annuel à la journée de dépassement.

La fiabilité du modèle est évaluée en confrontant les données modélisées aux mesures.

Valeurs maximales atteintes							
Facteur de conversion an>jour	3,58						
	Calcul - Emissions liées au transport	Calcul - Concentration en NO2 annuelle liée au transport	Calcul - Concentration en NO2 de fond	Calcul - Concentration en NO2 journalière liée au transport	Calcul - Concentration en NO2 journalière totale	Mesures - Concentration en NO2 totale	Ecart aux mesures
2018	53849	32	34	116	149	144,8	3%
2019	50552	30	32	109	140	150,0	-6%
2020	40069	24	25	86	111	127,3	-13%
2021	39985	24	27	86	113	103,4	9%
2022	38448	23	25	83	107	113,0	-5%
2023	34749	21	24	75	99	103,1	-4%
2024	32893	19,7	21	71	92	97,3	-6%

DATE : 15/09								
Facteur de conversion								
1,68 an>jour								
	Calcul - Emissions liées au transport	Calcul - Concentration en NO2 annuelle liée au transport	Calcul - Concentration en NO2 de fond	Calcul - Concentration en NO2 journalière liée au transport	Calcul - Concentration en NO2 journalière totale	Mesures - Concentration en NO2 totale	Ecart aux mesures	
2018	53849	32	34	54	88	71,33	23%	
2019	50552	30	32	51	83	78,33	6%	
2020	40069	24	25	40	65	127,31	-49%	
2021	39985	24	27	40	67	51,98	29%	
2022	38448	23	25	39	64	26,70	138%	
2023	34749	21	24	35	59	74,15	-20%	
2024	32893	19,7	21	33	54	51,3	6%	

Le modèle basé sur l'extraction des journées maximales de dépassement est plus robuste que les modèles isolant une journée spécifique de dépassement.

2. Limites du modèle

Cette évaluation comporte un certain nombre de limites qui peuvent influencer sur les résultats globaux.

- **Rythme d'évolution locale de la concentration** : il est peu probable que l'hypothèse selon laquelle l'augmentation de la concentration sur le site de surveillance fixe est identique au profil d'émissions moyen de la ville soit correcte. La concentration sur chaque site de surveillance sera principalement déterminée par les émissions des routes les plus proches, et la composition précise du parc automobile sur ces routes différera souvent de la moyenne de la ville. Cependant, chaque moniteur fixe dans le pire des cas n'est pas le seul endroit d'une ville où la qualité de l'air doit s'améliorer. Les concentrations mesurées en bordure de route sont donc utilisées pour représenter une position plus générale des niveaux élevés.
- **Deux-roues** : l'impact des deux-roues a été négligé car nous ne disposons pas de données récentes de parc et leurs émissions sont négligeables par rapport à celles des 4 roues.
- **Linéarité de la relation entre le NO₂ et les NO_x** : la relation étant curviligne, un pourcentage donné de réduction de l'augmentation de la concentration de NO_x entraînera une variation relative plus faible de l'augmentation de la concentration de NO₂. La relation précise dépend des concentrations locales d'oxydants (y compris l'ozone) et des proportions primaires de NO₂, qui changeront toutes deux à l'avenir. Il n'a pas été possible d'inclure ce niveau de détail dans l'étude. Compte tenu de l'intention de démontrer de manière générale les effets potentiels des futures politiques publiques, l'hypothèse d'une relation linéaire NO_x/ NO₂ est jugée appropriée.
- **Taux de renouvellement** : les taux appliqués entraînent une légère augmentation de la taille du parc entre 2025 et 2030. La plupart des renouvellements se faisant au profit de véhicules non émissifs, l'impact sur les émissions est faible. On suppose donc de manière générale que les volumes de trafic continueront d'augmenter d'une année sur l'autre dans un avenir prévisible, mais les flux dans les grands centres urbains n'ont pas tous augmenté conformément aux prévisions historiques. On ne sait pas si les flux totaux de trafic en Ile-de-France augmenteront, voire diminueront, entre 2019 et 2030, mais de nombreuses villes se sont fixé des objectifs pour réduire le trafic motorisé. La Région de Bruxelles-Capitale, par exemple, vise à réduire le trafic automobile de 24 % d'ici 2030.
- **Autres sources d'émissions** : lorsque des réductions ont été supposées, les concentrations ont été fixées pour ne pas être inférieures aux observations récentes (y compris pendant la pandémie de COVID-19). Dans la pratique, on s'attend à ce que des mesures coordonnées visant à réduire les émissions des secteurs autres que la circulation se traduisent par des réductions substantielles des concentrations de NO₂ et de PM_{2,5}. Ces actions futures ne sont pas incluses dans l'étude actuelle et, par conséquent, les projections futures de concentration de fond sont susceptibles d'être surestimées.

3. Résultats

5 scénarii différents ont été modélisés sur l'Île-de-France. Le scénario 1, « scénario de référence », représente la situation dans laquelle seul le renouvellement « naturel » du parc est observé entre 2024 et 2030. Ainsi, dans cette situation, les émissions liées au trafic et donc la concentration en NO₂ liée au transport diminue légèrement entre 2024 et 2030 du fait du renouvellement naturel du parc en véhicules de moins en moins émissifs. La concentration de fond évolue comme décrite dans la section 1.4. Ainsi, en 5 ans, on observerait une **diminution des émissions de 22 %**. Par rapport aux seuils fixés par l'UE pour l'année 2030, cette modélisation nous amène à une **concentration annuelle moyenne 1,4 fois supérieure au seuil UE 2030 et une concentration journalière 1,3 fois supérieure**. Quant aux critères OMS, **les concentrations annuelles moyennes et journalières seront toutes les deux 2,7 fois supérieures** aux seuils fixés.

Dans les scénarios 2 et 3, nous avons réalisé des modélisations atteignant les **seuils fixés par la directive UE 2024/2881** en jouant, pour l'un, sur la quantité de véhicules et, pour l'autre, sur la suppression de certains véhicules.

Dans le scénario 2, nous avons appliqué une **diminution progressive de l'ensemble du trafic routier**. Pour atteindre le seuil fixé par l'UE pour l'année 2030 (20 µg/m³), nous arrivons à une **diminution du trafic routier d'environ 60 % sur 5 ans**, portant les émissions totales à 13 344 (en tonnes de NO₂ en 2030). En ce qui concerne la concentration journalière maximale, elle passe en dessous du seuil limite dès 2029 pour arriver en 2030 à **81 % du seuil**.

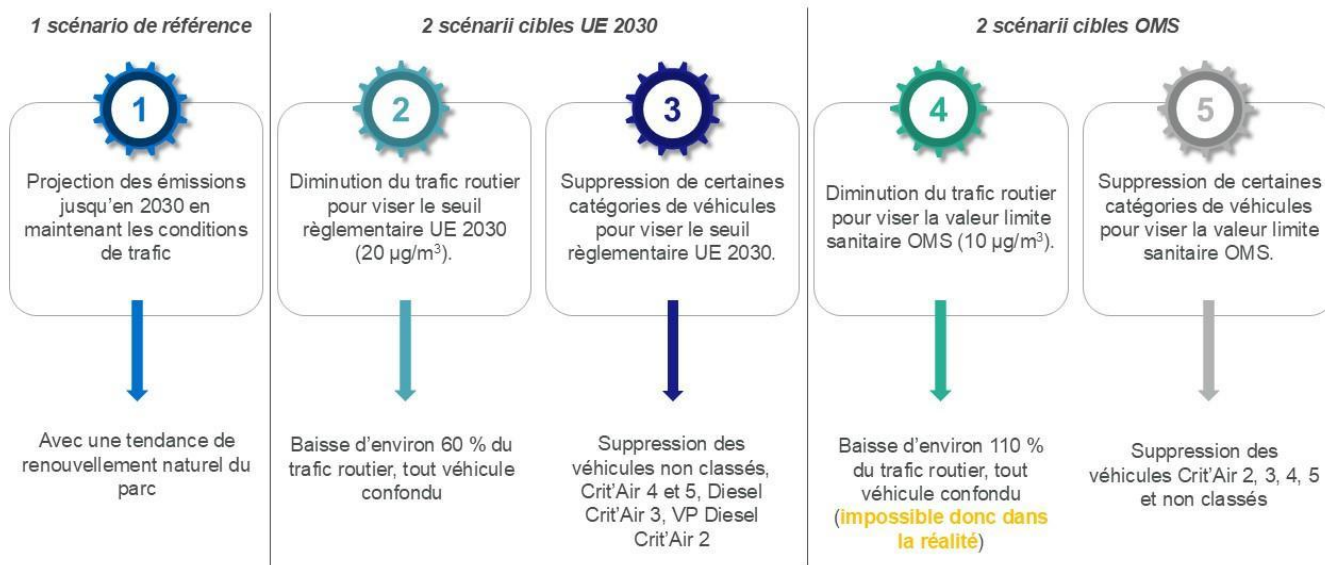
Dans le scénario 3, nous avons atteint la cible UE 2030 en supprimant totalement, par une diminution progressive sur 5 ans, certaines catégories de véhicules. **Atteindre le seuil de 20 µg/m³ impliquerait de supprimer l'ensemble des véhicules non classés, Crit'Air 5, Crit'Air 4, des Diesel Crit'Air 3 ainsi que les véhicules particuliers Diesel Crit'Air 2**. Ces mesures porteraient également la concentration journalière maximale à 40,1 µg/m³. Pour tout le reste de la flotte automobile, nous avons fait le choix du renouvellement naturel des véhicules, identique à celui du scénario 1 entre 2025 et 2030. Pour rappel, nous avons supposé que les réductions ne sont pas reportées sur un autre type de véhicule, on suppose qu'il s'agit soit d'une conversion en véhicule non émissif, soit d'un report vers des mobilités douces ou du covoiturage (la charge des véhicules n'étant pas prise en compte dans ce modèle).

Dans les scénarios 4 et 5, nous avons étudié des modèles permettant d'atteindre les **seuils OMS**. Le scénario 4 modélise une diminution globale de l'ensemble du trafic. La concentration de fond seuil étant fixée à 12 µg/m³, la théorie impliquerait une **diminution du trafic de 110 %** pour atteindre le seuil de 10 µg/m³, ce qui, dans la pratique, est impossible. Ce scénario montre que **l'atteinte du seuil OMS 2030 ne sera pas possible avec la seule diminution des émissions liées au trafic** mais que des mesures de réduction sur les autres secteurs d'émission (logement, industrie) sont nécessaires pour atteindre les valeurs fixées par l'OMS.

Malgré l'impossibilité d'atteindre le seuil OMS, nous avons, dans le scénario 5, modélisé l'effet **d'une suppression de l'ensemble des véhicules Crit'Air 2, 3, 4 et 5**. Dans ce cas, les émissions liées au transport représentent les émissions de NO₂ des véhicules Crit'Air 1. Nous avons appliqué pour ces véhicules un taux de renouvellement similaire à celui du scénario de base (scénario 1) et les émissions s'élèvent à 1408 tonnes en 2030, portant la **concentration annuelle moyenne totale à 12,8 µg/m³**. Il est important de noter que, dans ce modèle, la concentration journalière maximale n'atteindrait que 15 µg/m³, soit une concentration 40 % plus faible que la valeur limite journalière fixée par l'OMS.

Résumé des modèles utilisés :

Etude de 5 scénarii et modèles associés



4. Résumé et conclusions

5 scénarii alternatifs mais ciblés ont été envisagés, en se concentrant sur le moniteur fixe mesurant les concentrations les plus élevées au cours des dernières années (2018-2024), généralement considérées comme représentant la pire qualité de l'air dans l'ensemble de la ville, en termes de respect des valeurs limites. Nous n'avons pas imaginé de scénario hybride avec suppression des types de véhicules les plus émetteurs et réductions des autres types. Ces scénarii, qui auraient été plus réalistes, n'auraient pas permis d'identifier les tendances liées à chaque scénario. Les modèles proposés ne sont en aucun cas établis afin de se rapprocher des situations réelles mais évaluent l'impact maximal.

Le scénario 3 permet en 2030 d'atteindre les seuils fixés par l'UE dans la directive 2024/2881. Ce scénario est cohérent avec les orientations politiques actuelles. En effet, les efforts, plus importants pour les véhicules particuliers, offrent plus de souplesse sur les véhicules professionnels Diesel. Des mesures visant à réduire les émissions d'autres secteurs (non routiers) seront nécessaires pour entraîner de nouvelles réductions significatives des concentrations de NO₂ mais, l'augmentation provenant de sources autres que les routes locales aura probablement été surestimée en 2030 et des concentrations plus faibles sont considérées comme tout à fait réalisables à l'avenir.

En conclusion, **une réduction significative du trafic routier en activité globale voire une suppression de certains types de véhicules est indispensable pour faire baisser fortement les émissions de NO₂.** Des efforts drastiques permettraient d'atteindre le seuil UE 2030 mais le seul levier trafic ne permettrait pas de passer sous le seuil OMS fixé par l'OMS pour 2030. Ainsi, ces efforts doivent s'inscrire dans une stratégie plus globale avec des actions supplémentaires ciblées sur les autres secteurs émetteurs (logement, industrie) afin d'agir également sur la concentration identifiée comme concentration de fond dans cette étude.

Les avantages locaux supplémentaires qui pourraient être apportés des politiques publiques sont appréciables et, lorsqu'ils sont combinés à des mesures visant à réduire les émissions provenant d'autres sources, ils pourraient entraîner des réductions significatives de la pollution de l'air dans les lieux les plus défavorables.

Annexes

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tableau n°1 : Concentrations du scénario 1

	Concentration annuelle en NO ₂ liée au transport	Concentration annuelle en NO ₂ de fond	Concentration totale annuelle en NO ₂	Concentration journalière max en NO ₂ liée au transport	Concentration totale journalière max en NO ₂
2011	39,6	46,4	83,0	141,8	
2012	38,9	44,6	80,0	139,2	
2013	37,7	42,8	77,0	135,0	
2014	36,4	41,0	73,0	130,2	
2015	35,5	39,2	67,0	127,1	
2016	34,7	37,4	66,0	124,2	
2017	33,5	35,6	65,0	119,8	
2018	32,3	33,8	67,0	115,7	144,8
2019	30,3	31,8	61,0	108,6	150,0
2020	24,0	25,1	49,0	86,1	127,3
2021	24,0	26,8	53,0	85,9	103,4
2022	23,1	24,8	52,0	82,6	113,0
2023	20,8	24,3	46,0	74,7	103,1
2024	19,7	21,0	42,2	70,7	97,3
2025	18,6	19,2	37,9	66,8	86,0
2026	17,7	17,4	35,1	63,4	80,9
2027	16,9	15,6	32,5	60,6	76,2
2028	16,3	13,8	30,1	58,2	72,0
2029	15,7	12,0	27,7	56,3	68,3
2030	15,3	12,0	27	54,7	66,7

Tableau n°2 : Concentrations du scénario 2

	Concentration annuelle en NO ₂ liée au transport	Concentration annuelle en NO ₂ de fond	Concentration totale annuelle en NO ₂	Concentration journalière max en NO ₂ liée au transport	Concentration totale journalière max en NO ₂
2011	39,6	46,4	83,0	141,8	
2012	38,9	44,6	80,0	139,2	
2013	37,7	42,8	77,0	135,0	
2014	36,4	41,0	73,0	130,2	
2015	35,5	39,2	67,0	127,1	
2016	34,7	37,4	66,0	124,2	
2017	33,5	35,6	65,0	119,8	
2018	32,3	33,8	67,0	115,7	144,8
2019	30,3	31,8	61,0	108,6	150,0
2020	24,0	25,1	49,0	86,1	127,3
2021	24,0	26,8	53,0	85,9	103,4
2022	23,1	24,8	52,0	82,6	113,0
2023	20,8	24,3	46,0	74,7	103,1
2024	19,7	21,0	42,2	70,7	97,3
2025	17,8	19,2	37,0	63,7	82,9
2026	15,8	17,4	33,2	56,7	74,1
2027	13,9	15,6	29,5	49,7	65,3
2028	11,9	13,8	25,7	42,7	56,5
2029	10,0	12,0	22,0	35,7	47,7
2030	8,0	12,0	20,0	28,7	40,7

Tableau n°3 : Concentrations du scénario 3

	Concentration annuelle en NO ₂ liée au transport	Concentration annuelle en NO ₂ de fond	Concentration totale annuelle en NO ₂	Concentration journalière max en NO ₂ liée au transport	Concentration totale journalière max en NO ₂
2011	39,6	46,4	83,0	92,0	
2012	38,9	44,6	80,0	110,7	
2013	37,7	42,8	77,0	114,0	
2014	36,4	41,0	73,0	115,8	
2015	35,5	39,2	67,0	118,8	
2016	34,7	37,4	66,0	121,0	
2017	33,5	35,6	65,0	119,6	
2018	32,3	33,8	67,0	115,9	144,8
2019	30,3	31,8	61,0	108,6	150,0
2020	24,0	25,1	49,0	87,3	127,3
2021	24,0	26,8	53,0	91,1	103,4
2022	23,1	24,8	52,0	92,3	113,0
2023	20,8	24,3	46,0	86,1	103,1
2024	19,7	21,0	42,2	82,3	97,3
2025	23,0	19,2	42,2	82,3	101,5
2026	19,9	17,4	37,3	71,4	88,8
2027	16,9	15,6	32,5	60,5	76,1
2028	13,9	13,8	27,7	49,7	63,5
2029	10,9	12,0	22,9	38,9	50,9
2030	7,9	12,0	19,8	28,1	40,1

Tableau n°4 : Concentrations du scénario 4

	Concentration annuelle en NO ₂ liée au transport	Concentration annuelle en NO ₂ de fond	Concentration totale annuelle en NO ₂	Concentration journalière max en NO ₂ liée au transport	Concentration totale journalière max en NO ₂
2011	39,6	46,4	83,0	141,8	
2012	38,9	44,6	80,0	139,2	
2013	37,7	42,8	77,0	135,0	
2014	36,4	41,0	73,0	130,2	
2015	35,5	39,2	67,0	127,1	
2016	34,7	37,4	66,0	124,2	
2017	33,5	35,6	65,0	119,8	
2018	32,3	33,8	67,0	115,7	144,8
2019	30,3	31,8	61,0	108,6	150,0
2020	24,0	25,1	49,0	86,1	127,3
2021	24,0	26,8	53,0	85,9	103,4
2022	23,1	24,8	52,0	82,6	113,0
2023	20,8	24,3	46,0	74,7	103,1
2024	19,7	21,0	42,2	70,7	97,3
2025	16,1	19,2	35,3	57,7	76,9
2026	12,5	17,4	29,9	44,7	62,1
2027	8,9	15,6	24,5	31,8	47,4
2028	5,2	13,8	19,1	18,8	32,6
2029	1,6	12,0	13,6	5,8	17,8
2030	-2,0	12,0	10,0	-7,1	4,9

Tableau n°5 : Concentrations du scénario 5

	Concentration annuelle en NO ₂ liée au transport	Concentration annuelle en NO ₂ de fond	Concentration totale annuelle en NO ₂	Concentration journalière max en NO ₂ liée au transport	Concentration totale journalière max en NO ₂
2011	39,6	46,4	83,0	141,8	
2012	38,9	44,6	80,0	139,2	
2013	37,7	42,8	77,0	135,0	
2014	36,4	41,0	73,0	130,2	
2015	35,5	39,2	67,0	127,1	
2016	34,7	37,4	66,0	124,2	
2017	33,5	35,6	65,0	119,8	
2018	32,3	33,8	67,0	115,7	144,8
2019	30,3	31,8	61,0	108,6	150,0
2020	24,0	25,1	49,0	86,1	127,3
2021	24,0	26,8	53,0	85,9	103,4
2022	23,1	24,8	52,0	82,6	113,0
2023	20,8	24,3	46,0	74,7	103,1
2024	19,7	21,0	42,2	70,7	97,3
2025	23,0	19,2	42,2	82,4	101,6
2026	18,6	17,4	36,0	66,5	83,9
2027	14,1	15,6	29,7	50,6	66,2
2028	9,7	13,8	23,5	34,7	48,5
2029	5,3	12,0	17,3	18,8	30,8
2030	0,8	12,0	12,8	3,0	15,0

Tableau n°6 : Nombre de véhicules concernés en 2024 par les suppressions associées au scénario 3 de la modélisation

Non Classés toutes catégories confondues	171 608
Crit'Air 5 toutes catégories confondues	18 456
Crit'Air 4 toutes catégories confondues	235 903
Crit'Air 3 Diesel – Voitures particulières	586 433
Crit'Air 3 Diesel – Véhicules commerciaux légers	73 062
Crit'Air 3 Diesel – Camions	9 471
Crit'Air 3 Diesel – Bus	3 846
Crit'Air 2 Véhicules Particuliers Diesel	1 364 878
TOTAL	2 463 657