

# Émissions routières des polluants atmosphériques

## Courbes et facteurs d'influence





# Bordereau documentaire

## Identification du document

Type de document : Rapport d'étude	Référence SIGMA : C19IS0032-01
Date : avril 2021	Numéro de version : 1.0 Nature : <input type="checkbox"/> Intermédiaire / <input type="checkbox"/> Final
Titre : Émissions routières de polluants atmosphériques	
Sous-titre : courbes et facteurs d'influence	
Rapport réalisé à la demande de : MTE - DGITM / DIT / GRN / ARN	
Auteur :	Renaud MARTIN / TEER / ABV / responsable d'études air – responsable modélisation
Contributeur :	Virginie DUNEZ / TEER / ABV / chargée d'études air
Relecteurs (Cerema) :	Vincent DEMEULES, Dter NC ; Fouad BAOUCHÉ, DTecITM

Diffusion :  Confidentiel (diffusion réservée au Cerema)  
 Diffusion restreinte  
 Diffusion libre

## Historique des versions

Version	Date	Commentaire
0.1	11/2020	Version initiale
0.2	12/2020	Version revue en interne Cerema
0,3	01/2021	Version communiquée à DGITM
1.0	04/2021	Version validée et diffusable

## Propriété intellectuelle

Conformément au code de la propriété intellectuelle, les livrables produits par le Cerema sont la propriété de leur auteur : droits moraux aux personnes physiques nommément désignées sur le rapport, droits patrimoniaux au Cerema.

En conséquence, un exemplaire du rapport sera conservé à la documentation du Cerema pour une exploitation à des fins méthodologiques.

Ces dispositions légales vous engagent à respecter l'obligation minimale de citation de l'auteur dans toutes vos communications impliquant notre production. De son côté, le Cerema s'engage à toujours citer le demandeur en tant qu'organisme ayant financé l'étude.

Indépendamment de ces obligations minimales, des spécifications particulières visant à l'application du droit d'auteur (procédé et conditions de divulgation) peuvent être indiquées lors de la transmission du document final.



## Certification Qualité



Les prestations du Cerema Nord Picardie sont menées dans le respect de sa politique Qualité.

Le Cerema Nord Picardie est certifié ISO 9001 (version 2015) pour ses trois implantations (Lille, Sequedin et Saint-Quentin) depuis le 16 mars 2017.

## Validations techniques et visas

	Rédaction	Contrôle interne	Approbation
Nom / Qualité	Renaud MARTIN, responsable d'études air, groupe Air, Bruit, Vibrations	Christine BUGAJNY, cheffe du groupe Air, Bruit, Vibrations responsable de la thématique Air	
Date / Visa 12/04/2021			

Visa de la directrice du département Territoires Énergie Environnement Risques

Date :

Corinne LAMPIN

---

## Résumé

La pollution de l'air, à laquelle le transport routier contribue largement au regard de certains polluants atmosphériques (oxydes d'azote, particules fines...), est un enjeu majeur de santé publique.

Réglementairement, la note technique du 22 février 2019 et son guide méthodologique fournissent des éléments sur le volet « air et santé » des études d'impact des infrastructures routières nationales. Par ailleurs, dans le cadre de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC), le niveau de soutien financier des projets publics intègre le critère de contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O).

Pour ces raisons et dans le cadre de l'évaluation des projets d'infrastructures routières, de projets de transport en lien avec la SNBC ou de mesures portant sur le trafic (zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m) par exemple), il est intéressant de connaître les facteurs qui ont un impact direct sur les taux d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre dus au transport routier.

Ce document met à jour la note d'information du Setra (2009) qui avait pour objectif de montrer l'influence de certains facteurs, en particulier celui prédominant de la vitesse du véhicule, à la fois sur les émissions de polluants atmosphériques mais aussi sur les gaz à effet de serre ; il s'avère alors un outil de réflexion pour les politiques publiques à engager en matière d'amélioration de la qualité de l'air et de réduction des GES.

La mise à jour concerne la méthodologie employée, COPERT version 5 pour les facteurs d'émissions routières actualisés, et le parc automobile, IFSTTAR version 2019 pour la composition du parc actuel et futur (projections jusqu'en 2050) pour l'évaluation de projets à plus ou moins long terme. Dans cette nouvelle version, sont également prises en compte les projections du parc SNBC qui intègrent des hypothèses d'évolution du parc automobile en cohérence avec la stratégie nationale.

Cette étude précise la méthodologie COPERT 5 employée, ainsi que le logiciel de calcul COPCEREMA utilisé, et les hypothèses de modélisation retenues.

Elle présente ensuite quelques courbes significatives de consommation de carburant et d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre des différentes catégories de véhicules (légers, utilitaires, poids-lourds) en fonction de paramètres influents, tels que la vitesse moyenne, ainsi que leur comparaison à différents horizons et selon le parc automobile utilisé, IFSTTAR ou SNBC.

La totalité des résultats bruts de calcul sont disponibles en annexe.

---

## Mots clés

pollution atmosphérique, qualité de l'air, transport routier  
polluant, dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, particule PM<sub>10</sub>, gaz à effet de serre GES  
modélisation, vitesse, émission, consommation  
Copert, CopCerema, parc Ifsttar, parc SNBC

# Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>7</b>
Objectifs.....	7
Objectifs de cette étude.....	7
Mise à jour de la note d'information Setra 2009.....	8
Révision de la note Setra 2009.....	8
<b>Présentation de la démarche.....</b>	<b>9</b>
Méthodologie.....	9
Polluants et gaz à effet de serre étudiés.....	9
Principes de calcul des émissions.....	10
Incertitudes liées à la modélisation.....	11
Hypothèses de modélisation.....	12
Préambule.....	12
Outils de modélisation des émissions.....	13
Parcs automobiles.....	14
<b>Résultats.....</b>	<b>18</b>
Représentations graphiques.....	18
Facteurs influents.....	18
Interprétation.....	18
Courbes d'émission des oxydes d'azote (NOx).....	19
Courbes d'émission des particules fines (PM <sub>10</sub> ).....	23
Courbes d'émission des gaz à effet de serre (GES) et courbes de consommation.....	26
<b>Principaux enseignements.....</b>	<b>30</b>
Rôle de la vitesse et d'autres facteurs sur les émissions.....	30
Considérations générales.....	30
Influence de la vitesse.....	32
Influence de la pente pour un poids-lourd.....	35
Influence de la charge pour un poids-lourd.....	37
Surémissions du démarrage à froid pour un véhicule léger.....	39
Émissions d'un véhicule particulier selon son classement Crit'Air.....	40
Émissions d'un véhicule particulier en correspondance avec le parc SNBC.....	41
Émissions d'un poids-lourd en correspondance avec le parc SNBC.....	43
<b>Conclusion.....</b>	<b>44</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>46</b>



<b>Glossaire.....</b>	<b>46</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>47</b>
<b>Annexe 1 – Ensemble des cas modélisés.....</b>	<b>47</b>

## Index des illustrations

Illustration 1 : Chaîne de modélisation simplifiée des émissions de polluants.....	11
Illustration 2 : Évolution du parc roulant des véhicules particuliers selon l'énergie.....	15
Illustration 3 : Évolution du parc SNBC des véhicules particuliers selon l'énergie.....	16
Illustration 4 : Émissions de NOx d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse.....	19
Illustration 5 : Émissions de NOx d'un véhicule utilitaire en fonction de la vitesse.....	20
Illustration 6 : Émissions de NOx d'un véhicule léger en fonction de la vitesse.....	21
Illustration 7 : Émissions de NOx d'un poids-lourd en fonction de la vitesse.....	22
Illustration 8 : Comparaison des émissions de NOx en 2020 et en 2040 d'un VP, d'un VUL et d'un PL en fonction de la vitesse.....	22
Illustration 9 : Émissions de PM <sub>10</sub> d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse.....	23
Illustration 10 : Émissions de PM <sub>10</sub> d'un véhicule utilitaire en fonction de la vitesse.....	24
Illustration 11 : Émissions de PM <sub>10</sub> d'un véhicule léger en fonction de la vitesse.....	24
Illustration 12 : Émissions de PM <sub>10</sub> d'un poids-lourd en fonction de la vitesse.....	25
Illustration 13 : Émissions de CO <sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse.....	27
Illustration 14 : Émissions de CO <sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un véhicule utilitaire en fonction de la vitesse.....	28
Illustration 15 : Émissions de CO <sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un véhicule léger en fonction de la vitesse.....	28
Illustration 16 : Émissions de CO <sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un poids-lourd en fonction de la vitesse.....	29
Illustration 17 : Taux de polluants relatifs à ceux émis à 90 km/h pour un véhicule particulier – parc roulant 2030.....	32
Illustration 18 : Taux de polluants relatifs à ceux émis à 90 km/h pour un véhicule utilitaire – parc roulant 2030.....	33
Illustration 19 : Taux de polluants relatifs à ceux émis à 80 km/h pour un poids-lourd – parc roulant 2030.....	34
Illustration 20 : Effet de la pente sur les émissions de NOx et de PM d'un poids-lourd.....	35
Illustration 21 : Effet de la pente sur les émissions de CO <sub>2</sub> et la consommation d'un poids-lourd.....	36
Illustration 22 : Effet du pourcentage de chargement sur les émissions de NOx et de PM <sub>10</sub> d'un poids-lourd.....	37
Illustration 23 : Effet du pourcentage de chargement sur les émissions de CO <sub>2</sub> et la consommation d'un poids-lourd.....	38
Illustration 24 : Surconsommation et surémissions à froid d'un véhicule léger en 2020.....	39
Illustration 25 : Émissions de NOx d'un véhicule particulier selon les vignettes Crit'Air autorisées.....	40
Illustration 26 : Émissions de NOx et de PM d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse – parc SNBC.....	41
Illustration 27 : Émissions de CO <sub>2e</sub> et consommation d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse – parc SNBC.....	42
Illustration 28 : Émissions de NOx et de PM d'un poids-lourd en fonction de la vitesse – parc SNBC.....	43
Illustration 29 : Émissions de CO <sub>2e</sub> et consommation d'un poids-lourd en fonction de la vitesse – parc SNBC.....	43

## Index des tableaux

Tableau 1 : Répartition des VP selon l'énergie dans les parcs SNBC et Ifsttar.....	17
--	----

## Liste des sigles et abréviations

Sigle / abréviation	Signification
CopCerema <sup>1</sup> (anciennement dénommé CopCete)	Développé par le Cerema, ce logiciel calcule par tronçon (linéaire kilométrique) les émissions de polluants atmosphériques du transport routier, sur la base de la méthodologie européenne EMEP/EEA <sup>2</sup> .
Copert	<i>Computer Program to calculate Emissions from Road Transport</i> Logiciel de calcul des émissions routières de polluants atmosphériques, développé sous l'égide du Centre commun de recherche de la Commission européenne, porteur de la méthodologie de l'Agence européenne de l'environnement (EMEP/EEA).
Gaz à effet de serre (GES)	Cette appellation regroupe les gaz qui contribuent à l'effet de serre anthropique et participent ainsi au changement climatique de par leur pouvoir de réchauffement global (PRG), en particulier dans cette étude le dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ), le méthane (CH <sub>4</sub> ) et le protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O).
GNC / GNL	Le gaz naturel comprimé (GNC) ou son équivalent gaz naturel liquéfié (GNL, disponible que pour les poids-lourds) est du gaz naturel (constitué à plus de 90% de méthane) utilisé comme carburant. Satisfaisant à la norme Euro 6, le GNC contribue à réduire les émissions de NOx.
GPL	Le gaz de pétrole liquéfié (GPL), plus facile à stocker et à transporter, est un carburant à base de gaz propane ou butane liquéfié.
NO <sub>2</sub>	Les oxydes d'azote comprennent le NO <sub>2</sub> (dioxyde d'azote) et le NO (monoxyde d'azote). Ils proviennent essentiellement de sources anthropiques, majoritairement des transports, par le procédé de combustion de combustibles fossiles et biomasse. La concentration dans l'air du NO <sub>2</sub> est réglementée.
PM <sub>10</sub>	Les particules fines ( <i>Particulate Matter</i> pour PM) ont pour origine des sources anthropiques, majoritairement le résidentiel (combustion de bois) mais aussi les transports et les procédés industriels, et naturelles (volcans, etc.). Les PM <sub>10</sub> sont celles dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm. Leurs concentrations dans l'air sont réglementées au niveau européen depuis 1999.
SNBC	Introduite par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), la stratégie nationale bas-carbone <sup>3</sup> est la feuille de route de la France pour lutter contre le changement climatique. Elle donne des orientations pour mettre en œuvre, dans tous les secteurs d'activité, la transition vers une économie bas-carbone, circulaire et durable. Elle définit une trajectoire de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 2050 avec pour ambitions d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 et de réduire l'empreinte carbone de la consommation des Français.
VP, VUL, PL VL	Véhicule Particulier, Véhicule Utilitaire Léger, Poids-Lourd La dénomination « véhicules légers », abrégée par VL, comprend les VP et les VUL.

<sup>1</sup> <https://www.cerema.fr/fr/actualites/copcete-copcerema-outil-calcul-emissions-du-traffic-routier>

<sup>2</sup> <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>

<sup>3</sup> [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25\\_MTES\\_SNBC2.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf)



# Introduction

## Objectifs

---

### Objectifs de cette étude

L'évaluation des projets d'infrastructures routières doit systématiquement intégrer les enjeux environnementaux, parmi lesquels celui prégnant de la pollution atmosphérique et celui de l'impact des gaz à effet de serre émis par le trafic routier, avec leurs conséquences sur la santé des populations exposées et sur le changement climatique.

Réglementairement, la note technique du 22 février 2019 et son guide méthodologique fournissent des éléments sur le volet « air et santé » des études d'impact des infrastructures routières nationales<sup>4</sup>. Par ailleurs, dans le cadre de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC), le niveau de soutien financier des projets publics intègre le critère de contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O). Les objectifs à atteindre en termes de décarbonation (neutralité carbone en 2050) sont une réduction de 75 % des émissions GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990, avec des orientations sectorielles comme pour les transports<sup>5</sup>.

Les émissions des polluants représentatifs du trafic routier comme les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont généralement modélisées grâce à différentes méthodologies et outils, comme ceux utilisés dans ce document (EMEP/EEA - Copert, CopCerema), permettant de calculer ces émissions en tenant compte de la vitesse principalement.

L'approche retenue reste essentiellement celle d'une représentation par des **courbes d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre en fonction de la vitesse moyenne du véhicule** (léger, utilitaire, poids-lourd), la vitesse étant le premier facteur d'influence sur les niveaux d'émissions, de façon plus ou moins significative au fur et à mesure du renouvellement du parc automobile.

Toujours en fonction de la vitesse moyenne et selon plusieurs horizons des parcs roulants automobiles (projections Ifsttar et SNBC), seront également présentées quelques courbes significatives de **consommation de carburant** et d'autres paramètres influents sur les émissions tels que la pente ou la charge transportée pour un poids-lourd, ou encore le taux de démarrage à froid pour un véhicule particulier.

Les courbes présentées peuvent ainsi servir d'outil de réflexion pour les politiques publiques à engager en matière d'amélioration de la qualité de l'air, par exemple dans le cadre de mesures portant sur le trafic routier comme pour les zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m)<sup>6</sup>, de projets de transport en lien avec la stratégie nationale bas-carbone ou encore de prospectives socio-économiques (calculs de consommation de carburant).

<sup>4</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/44436>

<sup>5</sup> [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25\\_MTES\\_SNBC2.pdf#page=79&zoom=100,76,142](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf#page=79&zoom=100,76,142)

<sup>6</sup> <https://www.cerema.fr/fr/actualites/dossier-zones-faible-emission>

# Mise à jour de la note d'information Setra 2009

## Révision de la note Setra 2009

La note d'information sur les « Émissions routières de polluants atmosphériques – Courbes et facteurs d'influence »<sup>7</sup> est parue en novembre 2009 sous l'égide du Sétra (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements), ancien service technique central de l'actuel ministère de la Transition écologique et à présent intégré au Cerema.

Le document de 2009 fournit des courbes d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre en gramme par kilomètre parcouru en fonction de la vitesse moyenne d'un véhicule (léger, utilitaire ou poids-lourd) représentatif du parc automobile roulant français à divers horizons (2007 à 2025). Elles indiquent que **le facteur vitesse influence notablement les émissions de polluants et de GES, celles-ci étant minimales pour des vitesses aux alentours de 70 km/h pour un véhicule léger**, avec des émissions maximales et du même ordre de grandeur aux vitesses faibles et élevées (courbe en U), **tandis que pour les poids-lourds les émissions diminuent très sensiblement avec l'augmentation de la vitesse jusqu'à 90 km/h**, avec un maximum d'émissions se produisant aux vitesses très faibles, jusqu'à 25 km/h environ (courbe en L).

Les modélisations de 2009, établies à partir du logiciel CopCete, basé sur la méthodologie européenne reprise dans le logiciel Copert 4, s'attachent aussi à montrer l'effet bénéfique de normes à l'émission de plus en plus contraignantes (évolution des normes Euro) sur les émissions du parc de véhicules particuliers (avec effet d'aplatissement de la courbe en U), l'influence d'une pente positive ou négative de la route ou de la charge transportée sur les émissions d'un poids-lourd ou encore le phénomène de surémissions des polluants, en particulier du monoxyde de carbone (CO) et de composés organiques volatils (COV), lors de la phase de démarrage « à froid »<sup>8</sup>.

Le document présent fournit de nouvelles **courbes d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre** en gramme par kilomètre parcouru **en fonction de la vitesse moyenne** d'un véhicule (léger, utilitaire ou poids-lourd) représentatif du **parc automobile roulant français à divers horizons (jusqu'en 2050)**.

Les calculs d'émissions sont issus du logiciel CopCerema (actualisation de CopCete), basé sur la méthodologie européenne EMEP/EEA reprise dans le logiciel **COPERT version 5** utilisant les facteurs d'émissions routières actualisés, et le **parc automobile IFSTTAR version 2019** pour la composition des parcs roulants actuel et futur. Dans cette nouvelle version, sont également prises en compte les projections du **parc SNBC** qui intègrent des hypothèses d'évolution en cohérence avec la stratégie nationale.

<sup>7</sup> <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/emissions-routieres-polluants-atmospheriques-courbes>

<sup>8</sup> durée pendant laquelle le moteur du véhicule n'a pas atteint une température optimale de fonctionnement, ce qui va entraîner des « surémissions » de polluants par rapport aux émissions « à chaud » ; cette phase « à froid » peut durer jusqu'à 10 minutes environ avant stabilisation en température du moteur, dans des conditions « normales » de roulage et de température extérieure, ce qui impacte la qualité de l'air sur de courts trajets urbains par exemple.

# Présentation de la démarche

## Méthodologie

### Polluants et gaz à effet de serre étudiés

Les transports routiers sont à l'origine de l'émission d'une multitude de polluants atmosphériques, issus des phénomènes de combustion des carburants (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM...), d'évaporation de composés hydrocarbonés et d'émissions de particules provenant de l'usure mécanique des véhicules et de la chaussée (particules fines dites « hors échappement »).

Les **polluants atmosphériques** retenus dans cette étude sont parmi ceux réglementés en France : le **dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)** et les **particules fines PM<sub>10</sub>** (qui comprennent les particules de diamètre aérodynamique jusqu'à 10 µm maximum, incluant les PM<sub>2,5</sub>, avec un impact potentiel sur la santé en termes d'exposition de la population).

Le transport routier est une source contributive significative de ces polluants, celui-ci rejetant 56 % des émissions totales de NO<sub>x</sub> en France en 2018 et 13 % de celles de PM<sub>10</sub> (Citepa, rapport Secten – édition 2020).

**Les gaz à effet de serre (GES)** considérés sont le :

- **dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**, dont 37 % des émissions en France en 2018 étaient dues au transport routier et qui est directement lié à la consommation de carburant ;
- **méthane (CH<sub>4</sub>)**, essentiellement issu du secteur de l'agriculture (68 %) mais qui provient aussi de l'utilisation de combustibles fossiles ;
- **protoxyde d'azote** ou oxyde nitreux (**N<sub>2</sub>O**), également émis principalement par l'agriculture, mais pour lequel le trafic routier (véhicules utilisant des pots catalytiques) représentait 4 % des émissions totales en France en 2018.

Ces 3 principaux GES (en volume émis) ont quant à eux un rôle reconnu dans le changement climatique, en contribuant directement à l'accroissement de l'effet de serre par leur potentiel de réchauffement global (PRG ou *Global Warming Potential, GWP*). Ce potentiel est fonction de la concentration du gaz dans l'atmosphère, on parle de forçage radiatif (positif en l'occurrence pour ces 3 GES, ce qui conduit à un réchauffement) et de sa durée de vie dans l'atmosphère.

Chacun des GES se trouve en plus ou moins grandes quantités dans l'atmosphère, le CO<sub>2</sub> étant le plus présent, mais chacun a un pouvoir absorbant (du rayonnement infrarouge renvoyé par la surface terrestre) et une durée de vie différents. Ainsi le méthane (fossile), 2<sup>e</sup> GES en termes d'émissions, a une durée de vie plus courte que le CO<sub>2</sub> mais son pouvoir absorbant est 30 fois plus élevé sur une période de 100 ans et 84 fois plus sur 20 ans<sup>9</sup> (effet initial important mais plus de volatilité). Quant au N<sub>2</sub>O, encore moins abondant, il a environ 265 fois plus de pouvoir de réchauffement que le CO<sub>2</sub> sur une période de 100 ans.

L'unité **CO<sub>2e</sub> (équivalent CO<sub>2</sub>)** est souvent utilisée car elle permet de regrouper les GES sous une même unité en fonction de leur poids relatif, fonction de leur pouvoir d'absorption et de leur durée de vie dans l'atmosphère, sur le réchauffement global à horizon de cent ans. En France en 2017, le CO<sub>2</sub> contribue à hauteur de 74 % des émissions de CO<sub>2e</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O représentant 12 % et 9 % respectivement. La contribution du transport routier aux émissions nationales de CO<sub>2e</sub> est de 29 % (Citepa, rapport Secten – édition 2020).

<sup>9</sup> GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse

Les véritables émissions de polluants atmosphériques d'un véhicule en conditions réelles de circulation ne peuvent pas être connues de manière simple et représentative (seules les concentrations réelles de polluants sont mesurées par les capteurs mesurant la qualité de l'air<sup>10</sup>). Aussi, **la modélisation a pour but de donner une estimation de ces émissions correspondant à chaque source émettrice, en l'occurrence le trafic routier ou le type de véhicule étudié.**

Pour le trafic routier, les quantités de polluants rejetées dans l'atmosphère résultent du processus de combustion du carburant (émissions à l'échappement) ou encore d'usure mécanique des freins, pneus, etc. pour les particules fines (émissions hors échappement). Il existe aussi une part de « resuspension » des particules fines, déposées sur la route et remises en envol au passage d'autres véhicules, qui sont peu prises en compte car difficiles à évaluer.

Les émissions dépendent donc de la composition et des caractéristiques du parc de véhicules ; pour chaque catégorie de véhicule de ce parc automobile, un facteur d'émission va être appliqué. Ce **facteur d'émission (FE) unitaire, exprimé en grammes de polluant par kilomètre (g/km)**, désigne la quantité de polluant émise par un véhicule sur un parcours d'un kilomètre.

Le FE dépend du type de véhicule (particulier, utilitaire, poids-lourd), de sa motorisation (carburant : essence, diesel, GNL, hybride... et cylindrée : petite, moyenne, grosse ou PTAC<sup>11</sup> pour les PL), de sa date de mise en circulation (qui détermine son âge et donc son usure, et la norme Euro appliquée). Il est également dépendant de la vitesse moyenne du véhicule et d'autres paramètres comme la pente de la voie et la charge transportée pour un poids-lourd. Pour la prise en compte du facteur vitesse, le facteur d'émission est issu de mesures réelles des émissions à partir de cycles de conduite représentatifs de conditions réelles de circulation (avec différentes phases de vitesse, freinage et accélération).

**Les émissions d'un flux de véhicules sont donc calculées à partir de données du trafic** (nombre de véhicules et cinématique, à travers la vitesse moyenne, par catégorie de véhicule : VP, VUL, PL), **réparties dans un parc roulant dont on connaît les caractéristiques et la structure** (motorisations, norme Euro, etc.), **auquel vont être appliqués les facteurs d'émission unitaires correspondants, différents selon chaque polluant notamment.**

Les quantités de polluants émis sont exprimées en masse (gramme ou kg de polluant) et peuvent par exemple être associées à une unité de distance pour obtenir des émissions unitaires (par exemple : g/km pour des émissions en grammes de polluant par kilomètre parcouru).

<sup>10</sup> Toutefois, pour un véhicule en particulier, certains appareils comme les PEMS (*portable emissions measurement system*) – système de mesure des émissions embarqué sur le véhicule, mesurent les émissions pour évaluer une technologie ou servir à développer les facteurs d'émission, mais dans des conditions opérationnelles difficilement contrôlables (diversité des capteurs de mesure, volumétrie des données, méthodologie de traitement).

<sup>11</sup> Poids total autorisé en charge, fixé par la DRIRE (Direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement)

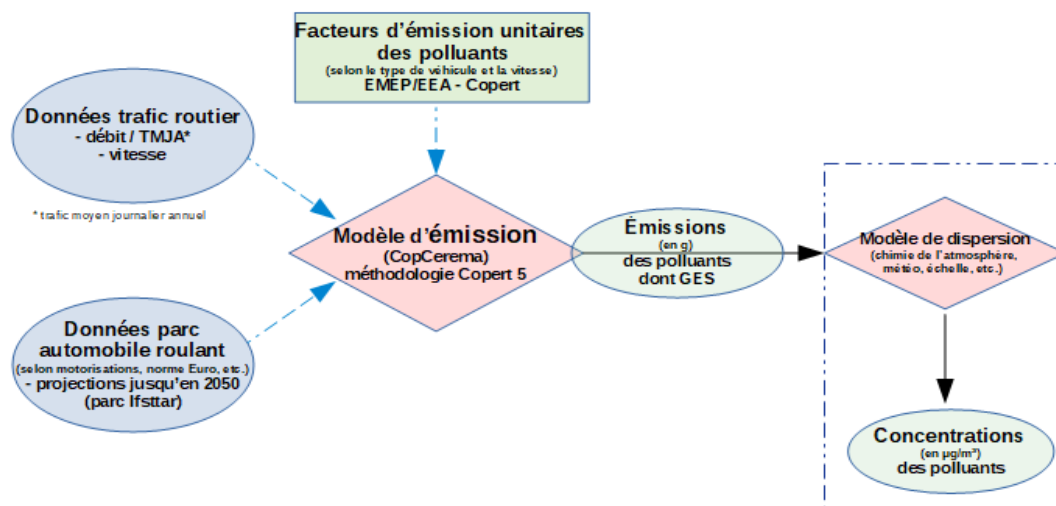


Illustration 1 : Chaîne de modélisation simplifiée des émissions de polluants

## Incertitudes liées à la modélisation

Les incertitudes liées à la modélisation des émissions d'un véhicule sont difficilement quantifiables. Elles proviennent de la méthodologie européenne EMEP/EEA utilisée<sup>12</sup>, en particulier sur l'estimation des facteurs d'émission de chaque polluant, basés sur des niveaux d'émission moyens mesurés en laboratoire par classes de vitesse pour différents types de véhicules (échantillon plus ou moins représentatif). Ainsi, l'incertitude varie notablement suivant le processus d'émission concerné (émissions à chaud, surémissions à froid, évaporation), le type de véhicule et le polluant considéré.

Le parc automobile utilisé est également source d'incertitudes liées au réel vieillissement du parc roulant (vétusté, maintenance du véhicule et des équipements de post-traitement comme les pots catalytiques), à la composition du fioul utilisé (impact sur les métaux lourds émis notamment) ou encore aux conditions environnementales (influence de la température extérieure sur la montée en température de fonctionnement optimale du moteur pour une meilleure combustion et donc moins de rejet de polluants), sans tenir compte du facteur humain de conduite (éco-durable ou non) en conditions réelles de conduite.

Il est également essentiel de retenir que les émissions estimées par la méthodologie Copert sont valables pour une vitesse moyenne du véhicule et ne sont pas représentatives d'une vitesse « instantanée ».

<sup>12</sup> Le chapitre 4 (*Data quality*) présente les incertitudes inhérentes à la méthodologie.

# Hypothèses de modélisation

---

## Préambule

Il a été choisi d'effectuer les simulations avec des logiciels reconnus et largement utilisés, à savoir COPCEREMA (anciennement COPCETE) pour le calcul des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, fondé sur la méthodologie européenne EMEP / EEA et son implémentation logicielle COPERT qui inclut la base de données des facteurs d'émission unitaires par polluant et tient compte des conditions de circulation en vitesse moyenne.

Les émissions de différentes catégories de véhicules (particuliers, utilitaires, poids-lourds) sont calculées pour les parcs roulants<sup>13</sup> à divers horizons de temps (2020 à 2050) pour tenir compte de l'évolution du parc routier, avec la disparition progressive des véhicules les plus polluants en faveur de véhicules plus « propres », de norme Euro 6 en particulier et véhicules hybrides et électriques. Pour autant, l'annonce gouvernementale au second semestre 2017 de l'arrêt des ventes de véhicules à moteurs thermiques en 2040 ne signifie pas que le parc roulant n'inclura plus ces types de véhicules dès 2040, mais que ceux-ci disparaîtront progressivement du parc en fonction de leur vétusté et de la dynamique de remplacement par des véhicules plus récents.

Grâce au calcul de la consommation de carburant du véhicule, selon la vitesse moyenne appliquée, et des émissions de GES induites, les deux différents parcs (Ifsttar et SNBC) pourront servir à évaluer respectivement les coûts pour les usagers et les coûts environnementaux.

<sup>13</sup> nombre de kilomètres parcourus sur une année par l'ensemble des véhicules d'une catégorie donnée de véhicules. Différent du parc statique qui représente l'ensemble des véhicules immatriculés.



Le logiciel **CopCerema v5.1**, développé et maintenu par le Cerema, est un outil utilisé pour les études d'impact des infrastructures routières. Il permet le calcul des **émissions** du trafic routier, en se basant sur la **méthodologie européenne Copert 5** (version 2 de 2019). Celle-ci considère les émissions à chaud (dues aux conditions de fonctionnement du moteur et du système de post-traitement) et à froid (correspondant aux sur-émissions au démarrage et avant atteinte de la température stabilisée de fonctionnement du moteur et du système de post-traitement), ainsi que les émissions par évaporation (composés organiques volatiles des motorisations essence) et les émissions hors échappement (notamment dues à l'usure mécanique des freins, des pneumatiques, etc.) des particules fines PM<sub>10</sub>.

Il est à noter que le modèle européen dit Copert (*Computer Program to calculate Emissions from Road Transport*) se base initialement sur un cycle de conduite théorique sur banc d'essai, représentatif des conditions réelles de circulation. Pour les besoins de la norme Euro 6c (véhicules mis en service depuis septembre 2018) et au-delà, le cycle de conduite automobile NEDC (*New European Driving Cycle*) a définitivement été remplacé par le cycle WLTP (*Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure*)<sup>14</sup>, complété par un protocole de contrôle RDE (*Real Driving Emissions*) pour les NOx et particules en nombre (PN), qui fournit ainsi une meilleure représentation des conditions réelles de conduite (freinages, accélérations, etc.) pour les différents types de véhicules actuels. La vitesse utilisée pour les calculs est donc assez représentative de la circulation en conditions réelles de circulation.

Plusieurs données d'entrée complémentaires, autres que le parc roulant (présenté *infra*) sont nécessaires pour le calcul des émissions atmosphériques polluantes via CopCerema :

- des données globales : relatives au calcul des évaporations, des surémissions à froid, taux de charge moyen des PL, etc. ;
- des données propres à chaque tronçon routier (tronçon de 1 km dans cette étude pour calculer les facteurs d'émission en g/km) : TMJA (trafic moyen journalier annuel) avec répartition et vitesse moyenne de chacune des catégories de véhicules (VP, VUL et PL), pente du tronçon (impact sur les émissions des PL).

Ainsi, parmi les paramétrages effectués dans le logiciel CopCerema, on peut noter :

- le taux de charge moyen des poids-lourds pris à 0 % (pas de charge transportée), à 50 % par défaut (camion circulant en demi-charge) et à 100 % (charge maximale autorisée) ;
- une pente nulle (terrain plat) par défaut, négative ou positive (dénivelé dans le cas d'une voie routière montagnaise par exemple), ce facteur influant particulièrement sur les émissions des poids-lourds ; pour les VP et VUL, la pente n'est pas considérée<sup>15</sup> ;
- un pourcentage de moteurs à froid différent en fonction du contexte routier, à savoir 40 % en milieu urbain, 20 % en milieu rural et nul sur une infrastructure de type autoroute. En effet, le calcul des surémissions liées au démarrage à froid (uniquement pour les véhicules légers) dépend notamment de la vitesse du véhicule.

<sup>14</sup> <https://www.wltpfacts.eu/>

<sup>15</sup> La méthodologie Copert fait l'hypothèse que les sur-émissions en côte sont compensées par une très faible émission en descente.

Le logiciel intègre le nouveau **parc Ifsttar** (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux<sup>16</sup>), disponible depuis février 2020. Celui-ci intègre les parcs roulants des véhicules essence (VP et VUL), diesel (VP, VUL et PL), GPL (VP), hybride (VP) et électrique (VUL uniquement), mais n'intègre pas les autocars et les deux-roues dont les parcs au niveau national ne sont pas estimés. Le parc global a servi aux simulations (les parcs urbain, rural et autoroutier n'ont pas été utilisés). Les prospectives d'évolution permettent des projections des parcs roulants en France jusqu'en 2050.

Les caractéristiques essentielles du parc global Ifsttar 2019 (mise à jour février 2020) sont :

– pour les **véhicules particuliers** (cf. illustration 2) :

- une domination actuelle des motorisations **diesel** (environ 67 % en 2020), baissant à environ 50 % en 2030 (dont presque 3/4 en Euro 6) puis 29 % en 2040 et 15 % en 2050 ; les véhicules **essence** sont majoritairement Euro 6 dès 2020 et ne représenteraient que 11 % du parc particulier en 2050 ;
- *a contrario*, une progression constante des véhicules **hybrides**, soit environ 17 % des véhicules particuliers en 2030, 37 % en 2040 pour atteindre environ 51 % en 2050, tandis que les véhicules **électriques** représenteraient 20 % du parc particulier ;

– pour les **véhicules utilitaires** :

- une très forte prépondérance de la motorisation **diesel**, même en 2030 avec 87 % (majoritairement Euro 6) puis 68 % en 2040 et qui ne serait plus que de 48 % en 2050 ; tandis que les **essence** en seraient à moins de 14 % ;
- une montée progressive des **hybrides** et **électriques** avec une part d'environ 4 % chacun en 2030 puis 11 % en 2040, pour atteindre respectivement 20 % et 18 % en 2050 ;

– des **poids-lourds** représentés pour plus de la moitié par des **diesels 40-50 tonnes** (5 essieux<sup>17</sup>), majoritairement **Euro 6**, de 2020 jusqu'en 2050, avec une lente pénétration dans le parc de poids-lourds **GNC, hybrides et électriques**, représentant respectivement environ 4 %, 2 % et 3 % en 2030, 6 %, 4 % et 6 % en 2040 puis 7 %, 6 % et 8 %, ce qui compterait pour environ 25 % des poids-lourds en 2050 pour ces nouvelles catégories ;

<sup>16</sup> devenu l'actuelle Université Gustave Eiffel

<sup>17</sup> En France, le décret en vigueur depuis le 1er janvier 2013 autorise les 44 tonnes à 5 essieux.

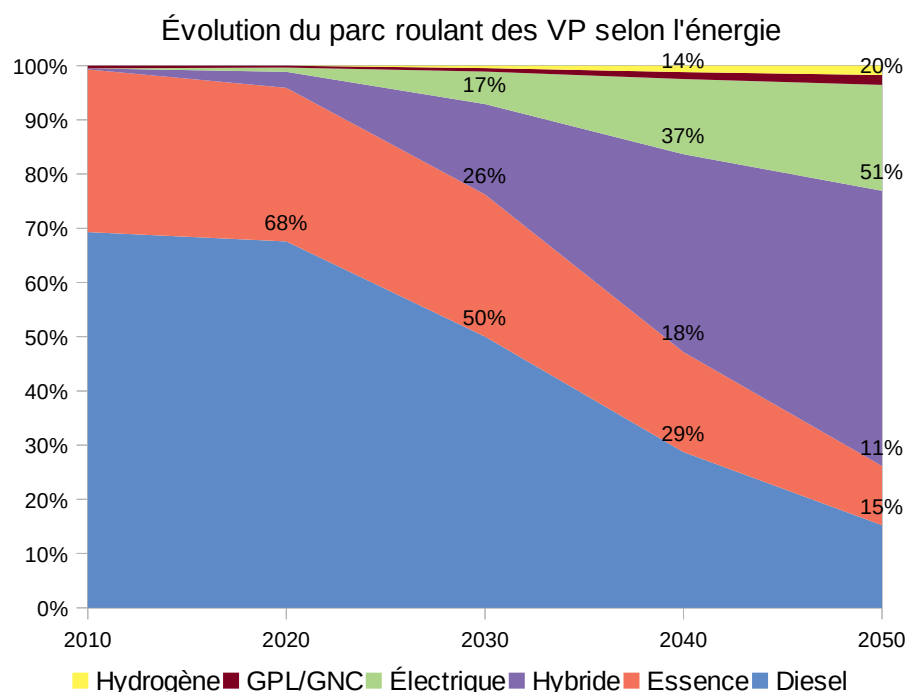


Illustration 2 : Évolution du parc roulant des véhicules particuliers selon l'énergie

## PARC SNBC

Le **parc automobile SNBC** (stratégie nationale bas-carbone) est un parc prédictif jusqu'en 2070, basé sur des « objectifs ambitieux » à atteindre pour les transports routiers en termes de :

### – performance énergétique :

- pour les véhicules particuliers, viser un niveau de consommation réelle de :
  - 4 L/100 km environ pour les véhicules thermiques neufs vendus à partir de 2030,
  - 12,5 kWh/100 km pour les véhicules électriques neufs à l'horizon 2050 ;
- pour les poids lourds, viser à l'horizon 2040 une consommation réelle de :
  - 21 L/100 km pour les véhicules neufs roulant au diesel,
  - 15 kg/100 km pour les véhicules neufs roulant au gaz naturel véhicule (GNV)
  - 129 kWh/100 km pour les véhicules roulant à l'électricité.

– **décarbonation** (neutralité carbone en 2050) des véhicules (objectifs en gCO<sub>2</sub>/km) en tenant compte notamment des évolutions technologiques et en retirant de la circulation les véhicules ayant le plus d'impact sur la pollution atmosphérique par des dispositifs appropriés, y compris les zones à faibles émissions.

Le parc prospectif SNBC correspondant à ces objectifs, ciblant 94 % de véhicules particuliers électriques en 2050 et 100 % en 2070, est représenté ci-dessous pour les VP (illustration 3).

Concernant les poids-lourds, l'objectif est de diminuer fortement le nombre de PL en motorisation diesel (en très large majorité actuellement) pour atteindre 86 % du total en 2030 puis 24 % en 2050 et finalement 10 % en 2070. L'orientation prise est d'augmenter la part des PL alimentés en GNC principalement (51 % en 2050, 60 % en 2070) et celle des PL électriques (25 % en 2050, 30 % en 2070).

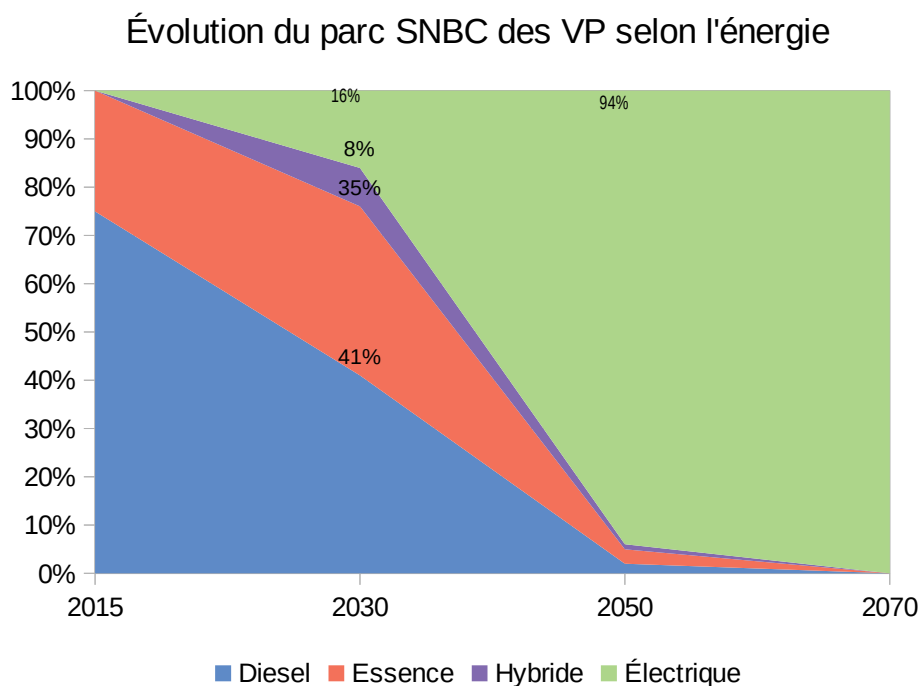


Illustration 3 : Évolution du parc SNBC des véhicules particuliers selon l'énergie

## Comparatif entre PARCS

Le tableau suivant indique l'évolution de la répartition des véhicules particuliers selon l'énergie utilisée (thermique, électrique, hybride) des **parcs automobiles SNBC et Ifsttar**, sur la base des seules catégories de véhicules existant dans le parc SNBC (non prise en compte de la part hydrogène et GPL).

On notera que la forte orientation vers le véhicule électrique voulue dans le parc SNBC ne se retrouve pas encore dans les projections du parc Ifsttar, au profit d'une majorité de véhicules hybrides en 2050.

Énergie utilisée par le VP	Parc	en 2015	en 2030	en 2050	en 2070
essence	Ifsttar	25,28 %	26,31 %	10,50 %	
	SNBC	25 %	35 %	3 %	0 %
diesel	Ifsttar	73,65 %	50,67 %	15,96 %	
	SNBC	75 %	41 %	2 %	0 %
hybride essence	Ifsttar	0,66 %	14,26 %	42,69 %	
	SNBC	0 %	4 %	0,5 %	0 %
hybride diesel	Ifsttar	0,26 %	2,66 %	10,40 %	
	SNBC	0 %	4 %	0,5 %	0 %
électrique	Ifsttar	0,15 %	6,10 %	20,45 %	
	SNBC	0 %	16 %	94 %	100 %

Tableau 1 : Répartition des VP selon l'énergie dans les parcs SNBC et Ifsttar

Nota : toutes les illustrations graphiques présentes dans ce document sont issues de calculs utilisant le parc Ifsttar, celles correspondant au parc SNBC se trouvant au chapitre 'Émissions d'un véhicule particulier en correspondance avec le parc SNBC' p.41.

# Résultats

## Représentations graphiques

### Facteurs influents

Dans cette étude, le choix s'est porté sur la variation de plusieurs facteurs qui ont une influence sur les rejets de polluants. Il s'agit :

- de la **vitesse** des véhicules, dont l'influence sur les émissions est différenciée selon qu'elle correspond à un régime moteur optimal ou non ; la vitesse est représentée par pas de 10 km/h, de 10 à 130 km/h (hormis pour les PL dont les limites sont 12 et 86 km/h selon la méthodologie Copert) ;
- du **parc automobile roulant** qui, à la faveur d'une norme Euro de plus en plus contraignante en termes d'émission de polluants atmosphériques et avec l'arrivée progressive de motorisations alternatives (électriques, hybrides, GPL, hydrogène...), est composé de véhicules de moins en moins polluants ; sur la base des tendances d'évolution prospectives, les projections du parc roulant vont jusqu'en 2050.

### Interprétation

Les résultats de calcul des émissions de polluants atmosphériques sont présentés sous forme de graphiques pour chaque catégorie de véhicules : particulier, utilitaire, poids-lourd, à travers un **véhicule « moyen »** en ce sens qu'il est représentatif dans sa catégorie du parc automobile roulant utilisé pour une année donnée.

Les courbes illustrent les **émissions de polluants (NOx, PM) et de GES**, exprimées en gramme par kilomètre parcouru, **en fonction de la vitesse** de circulation du véhicule, sur divers horizons (2020 à 2050) figurant l'évolution du parc automobile roulant.

Les graphiques montrent également la **consommation de carburant** du véhicule ainsi que plusieurs facteurs influant sur les émissions, à savoir la pente de la voie (dénivelé) et la charge transportée pour un poids-lourd, ainsi que le phénomène des surémissions à froid pour les véhicules légers.

Les résultats chiffrés pour la totalité des situations modélisées se trouvent en [annexe 1](#).

Comme indiqué précédemment :

- les émissions à l'échappement (*exhaust emissions*) du transport routier proviennent de la combustion du carburant<sup>18</sup>, processus qui produit principalement du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) (et de l'eau) mais aussi, par réaction de combustion incomplète, des résidus tels que du monoxyde de carbone (CO), des particules fines (PM) ou encore des oxydes d'azote (NOx) par oxydation de l'azote dans la chambre de combustion du moteur ;
- la vitesse du véhicule s'entend au sens d'une vitesse « moyenne » (et non instantanée) représentative de la circulation réelle, selon les cycles de conduite automobile appliqués pour déduire les facteurs d'émission dans la méthodologie européenne Copert.

Nota : le parc automobile roulant utilisé pour la production des courbes est le parc Ifsttar, sauf dans le chapitre '[Émissions d'un véhicule particulier en correspondance avec le parc SNBC](#)' p.41.

<sup>18</sup> et des huiles de lubrification du moteur, avec des proportions différentes en g de CO<sub>2</sub> émis par kg de fioul (selon si diesel B7, essence E5 ou E10, GNL...) ou par quantité d'huile moteur consommée.



## Courbes d'émission des oxydes d'azote (NOx)

Pour un **véhicule particulier** moyen (illustration 4) représentatif du parc automobile roulant **en 2020**, la courbe caractéristique « en U » des émissions de NOx en fonction de la vitesse montre que les émissions sont :

- **minimales pour une vitesse moyenne de l'ordre de 70 km/h,**
- maximales à 130 km/h, soit plus du double de la valeur minimale (et d'environ +45 % à 110 km/h),
- élevées pour des vitesses faibles, soit +35 % de la valeur minimale à 30 km/h et le double à 10 km/h.

Cependant, les tendances d'évolution du parc automobile roulant (*cf.* la composition du parc Ifsttar dans « [Outils de modélisation](#) »), avec des véhicules globalement moins émissifs en NOx, peuvent s'observer à travers l'aplatissement progressif de la courbe en U au cours des années, jusqu'à obtenir pour la projection du parc **en 2050 une valeur minimale aux alentours de 0,1 g/km entre 20 et 70 km/h** (soit 4 fois inférieure au minimum de 2020) qui croît ensuite lentement et ne double qu'aux environs de 120 km/h.

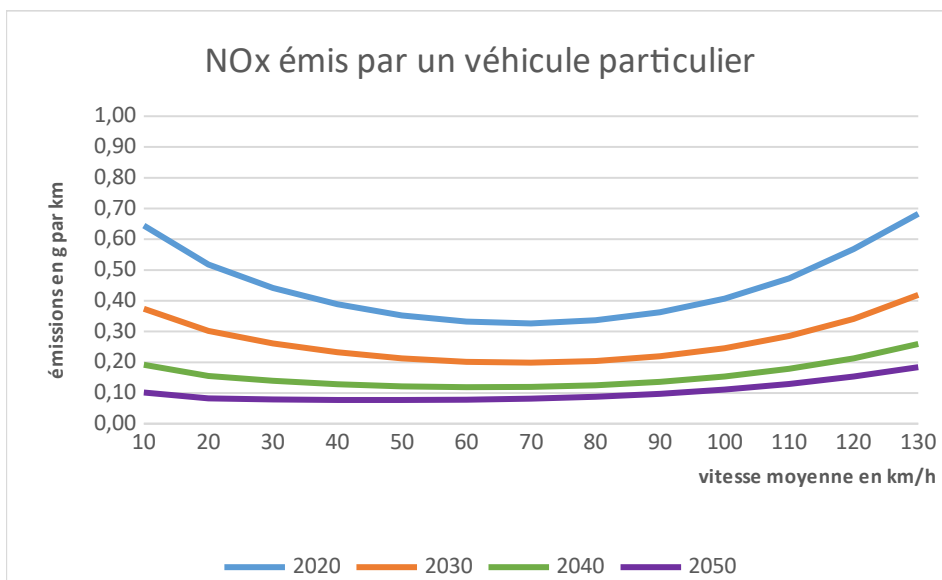


Illustration 4 : Émissions de NOx d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse

---

Pour un **véhicule utilitaire** moyen (illustration 5) représentatif du parc automobile roulant en 2020, le **minimum d'émissions se situe plutôt à 60 km/h**, croissant quasi symétriquement jusqu'à 1 g/km pour 15 et 100 km/h, alors que le maximum est de 1,5 g/km pour 130 km/h.

Par contre, la tendance d'aplatissement de la courbe est également observable au fil des années, aboutissant en 2050 à **une valeur minimale entre 30 et 70 km/h, aux alentours de 0,2 g/km**, le double à 110 km/h et un maximum de 0,6 g/km. Aussi, ce maximum d'émissions à 130 km/h est du même ordre de grandeur que la valeur minimale en 2020 à 60 km/h !

À noter que les valeurs d'émission unitaires minimales sont 2 fois plus fortes que pour un véhicule particulier en 2020, 3 fois plus fortes en 2050 (le parc roulant des utilitaires restant encore majoritairement diesel).

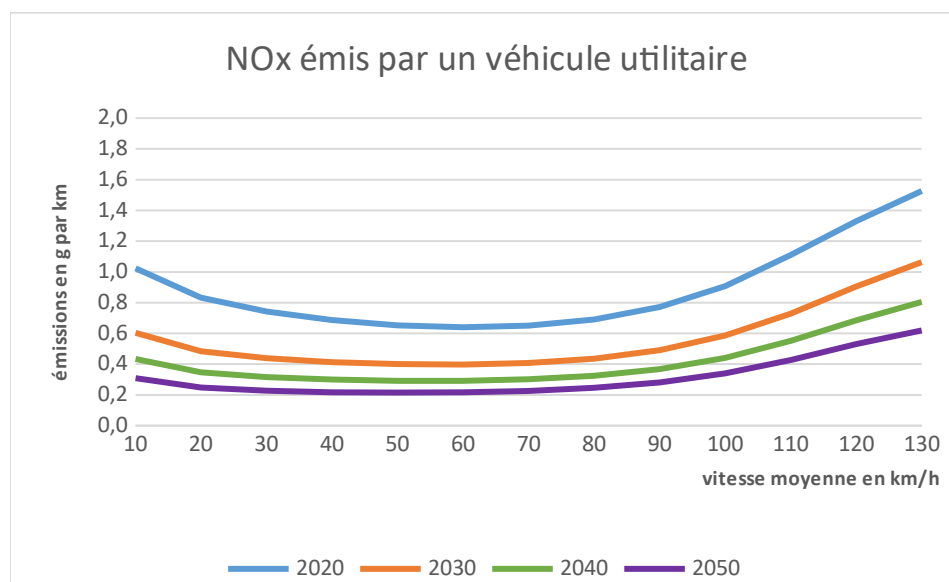


Illustration 5 : Émissions de NOx d'un véhicule utilitaire en fonction de la vitesse

---

L'illustration 6 représente les émissions d'un **véhicule léger** « moyen », composé à 17 % par des véhicules utilitaires, le reste étant des véhicules particuliers, ce qui influence l'allure des courbes, avec des tendances similaires à celles décrites pour les véhicules particuliers *supra.*, mais avec un **minimum d'émissions de 0,4 g/km à 70 km/h en 2020 et aux alentours de 0,1 g/km en 2050**, alors que le maximum atteint moins de 0,3 g/km en 2050.

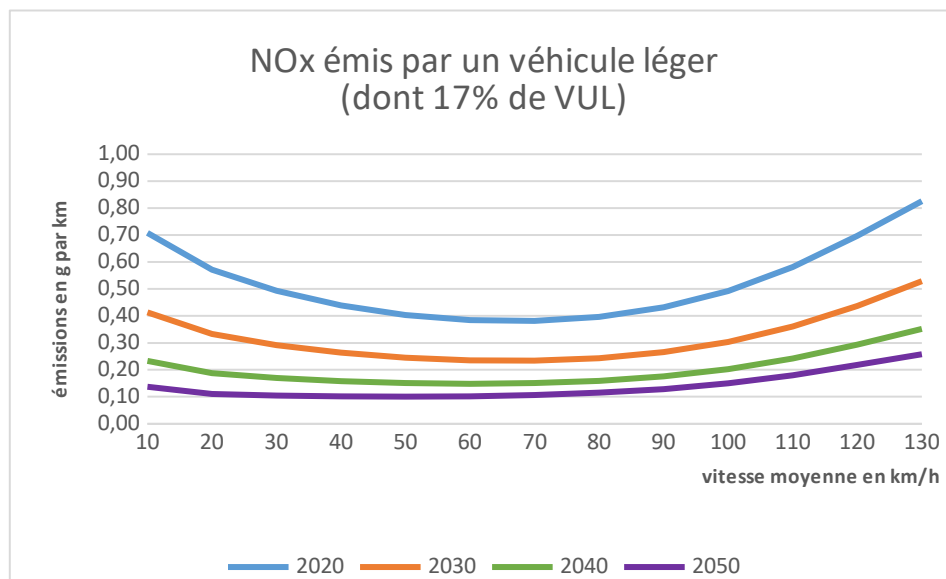


Illustration 6 : Émissions de NOx d'un véhicule léger en fonction de la vitesse

L'illustration 7 représente les émissions d'un  **poids-lourd**, dont l'allure de la courbe d'émissions présente un maximum à 12 km/h<sup>19</sup>, du fait de la relative inertie du véhicule (la majorité d'entre eux sont des 40-50T articulés de 5 essieux) qui nécessite une plus grande énergie pour se déplacer à très faible vitesse. Les émissions diminuent ensuite progressivement au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse pour atteindre une **valeur minimale pour une vitesse de 86 km/h**, lorsque le moteur est à son fonctionnement optimal a priori.

En 2020, ces émissions unitaires minimales sont de 0,8 g/km et de 0,1 g/km en 2050, comparable à celles d'un véhicule léger.

Dès 2030, la très grande majorité des poids-lourds circulant étant de norme Euro 6 et équipés de système de catalyse (SCR), l'effet bénéfique de l'évolution du parc sur la baisse des émissions de NOx disparaît (quasi superposition des courbes).

Par contre, on constate sur l'illustration 8 que les **émissions maximales d'un poids-lourd à très faible vitesse** (par exemple en cas de congestion du trafic routier) **sont en 2020 plus de 6 fois supérieures à celles maximales d'un véhicule particulier** roulant à la même vitesse moyenne (20 km/h), **cette proportion se réduisant à environ 4 en 2040.**

Si l'on raisonne plutôt en termes de charge transportée, la comparaison du maximum avec un véhicule utilitaire (PTAC inférieur à 3,5 T) donne une proportion de 4 fois plus d'émission pour un poids-lourd en 2020 et 1,8 fois en 2040.

Cependant en 2040, un poids-lourd en « vitesse de croisière » à 80 km/h devient plus « propre » qu'un utilitaire (*a fortiori* si on le rapporte à la charge transportée) et émet autant qu'un véhicule particulier représentatif du parc roulant automobile.

<sup>19</sup> minimum pour un poids-lourd imposé par la méthodologie Copert, comme pour le maximum à 86 km/h

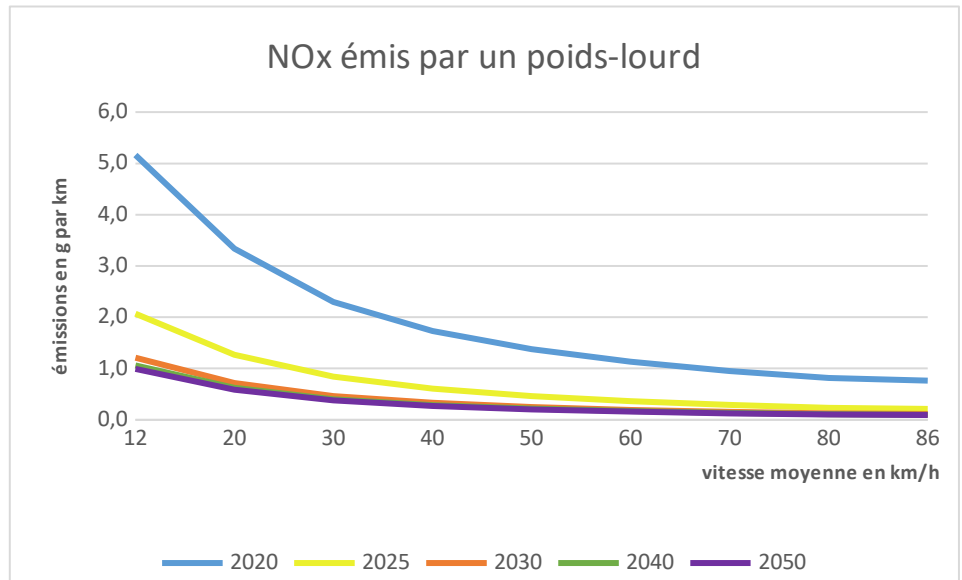


Illustration 7 : Émissions de NOx d'un poids-lourd en fonction de la vitesse

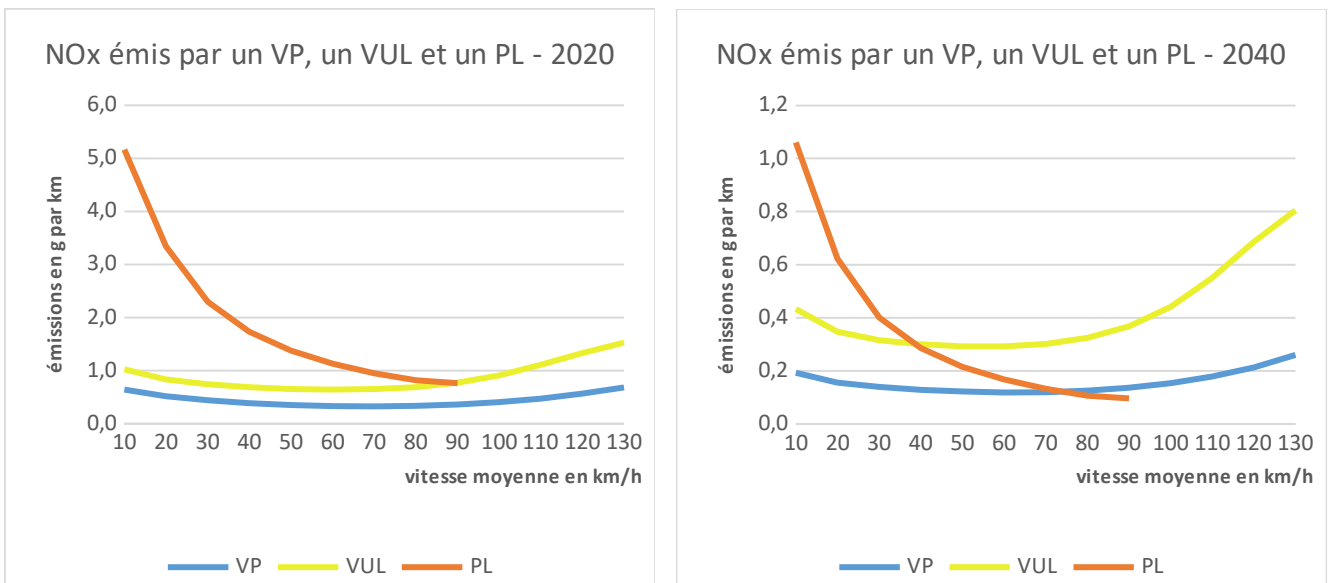


Illustration 8 : Comparaison des émissions de NOx en 2020 et en 2040 d'un VP, d'un VUL et d'un PL en fonction de la vitesse

Nota : pour faciliter la lecture, les valeurs pour un PL à 12 et 86 km/h (limitation calcul Copert) ont été placées respectivement à 10 et 90 km/h.

## Courbes d'émission des particules fines (PM<sub>10</sub>)

Les courbes d'émissions de particules fines en fonction de la vitesse ont les mêmes allures « en U » que celles de NOx. avec toutefois une tendance moins nette (la différence entre minimum et maximum est beaucoup plus faible).

Comme pour les NOx, on observe un aplatissement des courbes dès 2030, qui confirme certainement l'effet d'évolution du parc automobile roulant, participant à des quantités moindres de particules fines à l'échappement. Pour autant, la baisse des émissions n'est pas réellement significative en raison de la grande part des PM<sub>10</sub>, environ 70 %, qui proviennent des émissions « hors échappement » (usure des pneus et mécanique) dont les facteurs d'émission n'ont pas été réévalués depuis les années 1990 dans la méthodologie Copert (même s'ils sont supposés ne pas avoir beaucoup évolué, sans réglementation existante).

Ainsi, pour un **véhicule particulier** (illustration 9), les émissions sont **minimales pour une vitesse moyenne de l'ordre de 70 km/h** et maximales à grande vitesse et à faible vitesse d'à peine 11 % de plus environ. Entre 2020 et 2050, la valeur minimale d'émissions n'a diminué que de 15 % pour atteindre 45 mg/km pour un véhicule.

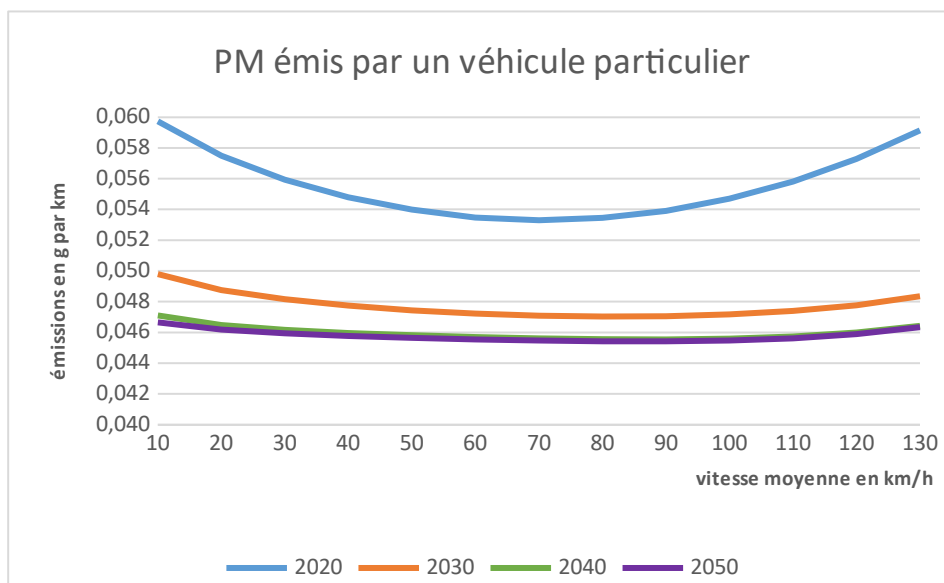


Illustration 9 : Émissions de PM<sub>10</sub> d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse

Pour un **véhicule utilitaire** (illustration 10), **le minimum d'émissions se situe plutôt à 60 km/h** et les émissions sont maximales à grande vitesse, soit environ 25 % supplémentaires, et à faible vitesse, soit environ +19 %. Entre 2020 et 2050, la valeur minimale d'émissions n'a diminué que de 15 % pour atteindre 51 mg/km pour un véhicule.

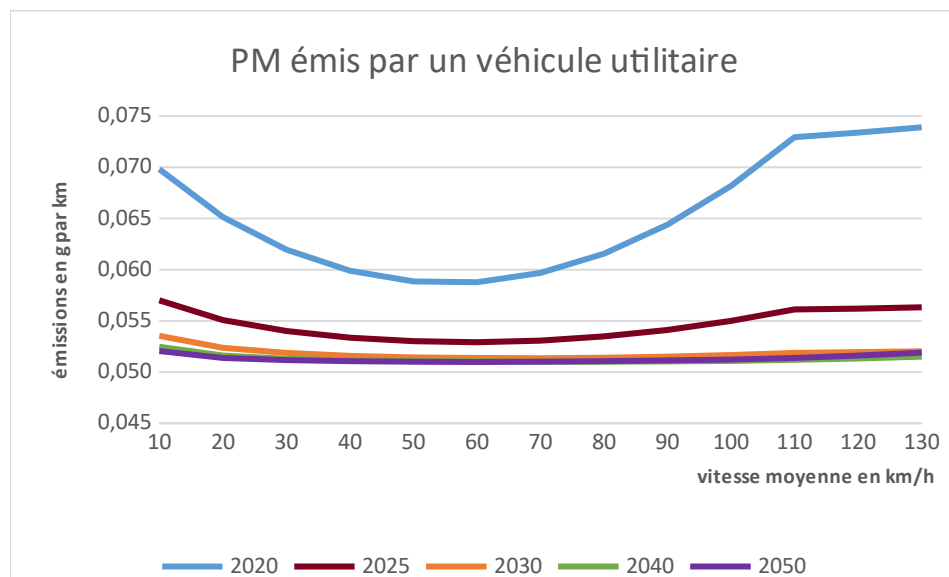


Illustration 10 : Émissions de  $PM_{10}$  d'un véhicule utilitaire en fonction de la vitesse

Nota : les calculs (Copert) font apparaître un « plateau » brutal dès 110 km/h en 2020, largement atténué en 2025.

L'illustration 11 représente les émissions d'un **véhicule léger** « moyen », composé à 17 % par des véhicules utilitaires, le reste étant des véhicules particuliers, ce qui influence l'allure des courbes, avec des tendances similaires à celles décrites pour les véhicules particuliers *supra.*, mais avec un **minimum d'émissions de 54 mg/km à 60 km/h en 2020 et une valeur d'émissions oscillant autour de 46 mg/km en 2050 quelle que soit la vitesse.**

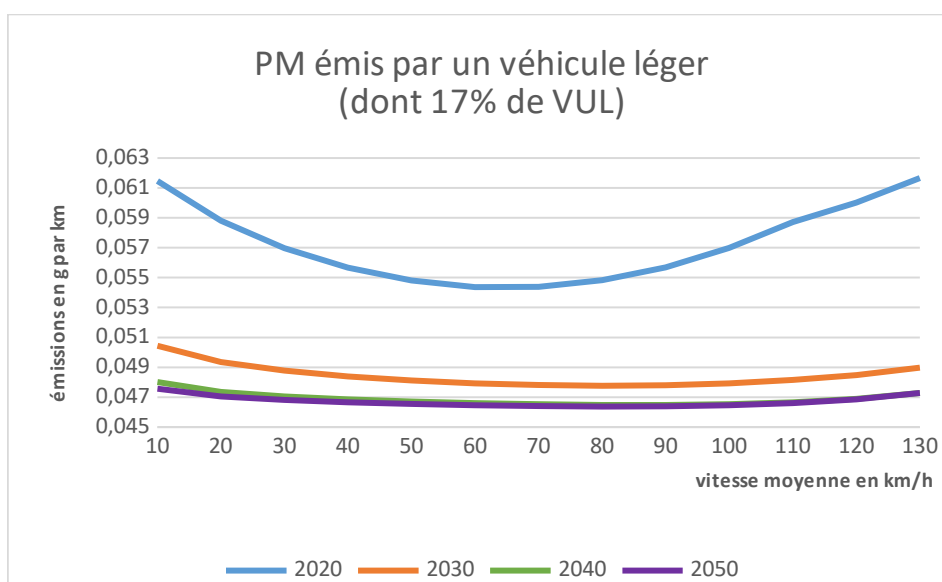


Illustration 11 : Émissions de  $PM_{10}$  d'un véhicule léger en fonction de la vitesse



L'illustration 12 représente les émissions de particules fines d'un  **poids-lourd**, dont l'allure de la courbe d'émissions présente un maximum à 12 km/h<sup>20</sup>, du fait de la relative inertie du véhicule (la majorité d'entre eux sont des 40-50T articulés de 5 essieux) qui nécessite une plus grande énergie pour se déplacer à très faible vitesse. Les émissions diminuent ensuite progressivement au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse pour atteindre une  **valeur minimale pour une vitesse de 86 km/h**, lorsque le moteur est à son fonctionnement optimal a priori.

En 2020, ces émissions unitaires minimales se situent autour de 0,6 g/km, comme en 2050, soit environ 12 fois celles d'un véhicule léger en 2050.

Dès 2030, les courbes d'émission se superposent avec des émissions quasiment identiques quelle que soit la vitesse.

Par contre, les  **émissions maximales à très faible vitesse** (par exemple en cas de congestion du trafic routier)  **sont en 2020 10 fois supérieures à celles maximales d'un véhicule léger** roulant à la même vitesse moyenne (dans un bouchon, ou encore roulant à 130 km/h),  **cette proportion augmentant à plus de 12 en 2050**. La valeur maximale est d'environ 0,62 g/km en 2020 et de 0,58 g/km en 2050.

Si l'on raisonne plutôt en termes de charge transportée, la comparaison du maximum avec un véhicule utilitaire (PTAC inférieur à 3,5 T) donne une proportion de 8,5 fois plus d'émission pour un poids-lourd en 2020 et de 11 fois en 2050.

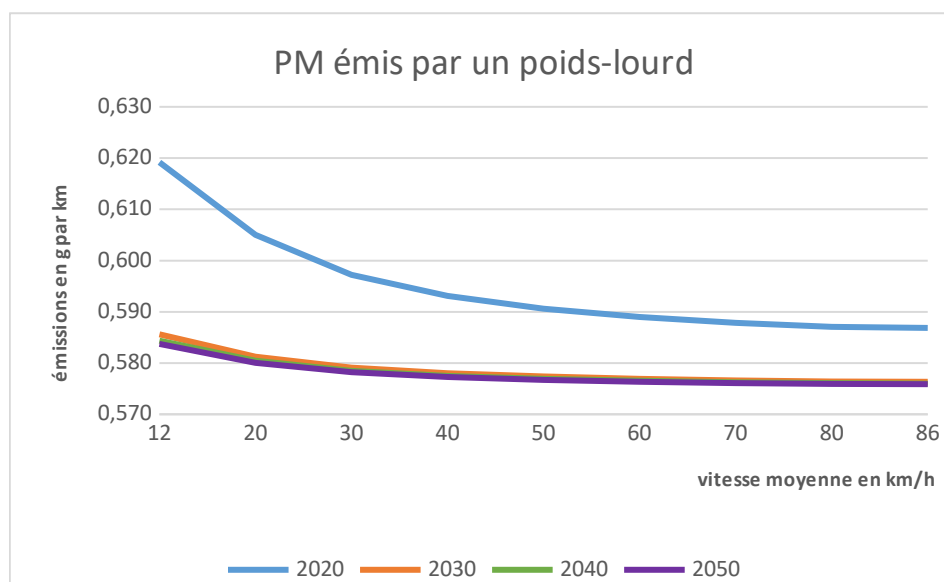


Illustration 12 : Émissions de PM<sub>10</sub> d'un poids-lourd en fonction de la vitesse

<sup>20</sup> minimum pour un poids-lourd imposé par la méthodologie Copert, comme pour le maximum à 86 km/h

## Courbes d'émission des gaz à effet de serre (GES) et courbes de consommation

Le dioxyde de carbone émis dépend directement de la consommation de carburant (par le processus de combustion).

Pour le calcul des gaz à effet de serre (GES), ont été pris en compte ceux émis par les véhicules routiers, à savoir **le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).**

L'unité utilisée pour les représenter est l'équivalent CO<sub>2</sub> (noté CO<sub>2e</sub>) qui traduit le pouvoir de réchauffement global (PRG) à 100 ans de chacun des gaz<sup>21</sup>. Ainsi :

$$\text{Émissions}(\text{CO}_{2e}) = \text{Émissions}(\text{CO}_2) + 30 * \text{Émissions}(\text{CH}_4) + 265 * \text{Émissions}(\text{N}_2\text{O})$$

À noter que dans cette étude, la part de gaz à effet de serre émise par un véhicule correspond au poste « combustion » uniquement, sachant que le calcul des émissions de GES du transport routier tient également compte du poste « amont » pour la production du carburant ou de l'électricité et du poste « amortissement » des émissions liées à la fabrication du véhicule amorties sur sa durée de vie (cycle de vie du véhicule, auquel s'ajoute celui des batteries pour l'électrique).

Ainsi, le véhicule électrique n'a pas une empreinte carbone nulle, même si l'on obtient un « zéro émission » pour un [véhicule particulier du parc prospectif SNBC](#) totalement électrifié en 2070 (cf. p.41). Toutefois, une analyse (environnementale) du cycle de vie du véhicule électrique en France montre que celui-ci a une empreinte carbone 2 à 4 fois moindre que celle d'un véhicule thermique, en raison notamment de la structure du mix électrique français très largement décarboné<sup>22</sup>.

Les graphiques ci-après (*illustrations 13 à 16*) associent les courbes de consommation de carburant en fonction de la vitesse à celles des émissions de CO<sub>2e</sub> en fonction de la vitesse, car elles sont fortement liées, le CO<sub>2</sub> étant l'élément prépondérant du CO<sub>2e</sub>.

Pour un **véhicule particulier** (illustration 13), on retrouve des courbes « en U » :

- avec un **minima à 70 km/h, qui passe à 60 km/h dès 2040**, pour atteindre en 2050 la valeur de 88 g/km pour les émissions de CO<sub>2e</sub> et une consommation de carburant proche de 29 g/km, soit dans les deux cas une réduction du minima d'environ 40 % par rapport à celui de 2020 ;
- plutôt asymétrique jusqu'en 2040, avec des valeurs maximales à très faibles vitesses, soit par rapport à 70 km/h le double des rejets de CO<sub>2e</sub> ou de consommation de carburant à 10 km/h ou encore environ 1,3 fois à 30 km/h ;
- une quasi symétrie des courbes au-delà, avec des valeurs d'émissions proches à très faibles et très grandes vitesses, de l'ordre de +50 % par rapport au minimum en 2050.

<sup>21</sup> [https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD\\_DOC\\_FR/index.htm?prg.htm](https://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?prg.htm)

<sup>22</sup> <https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-05/RTE%20-%20Mobilite%20electrique%20-%20principaux%20resultats.pdf>

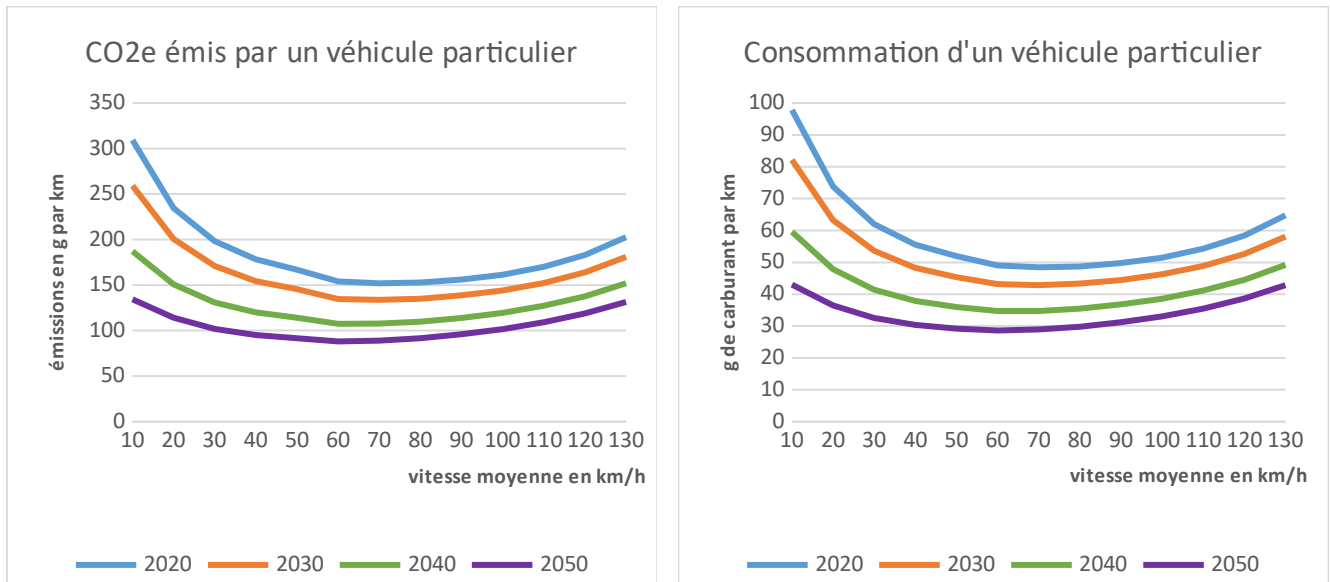


Illustration 13 : Émissions de CO<sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse

Pour un **véhicule utilitaire** (illustration 14) représentatif du parc automobile roulant, la courbe également « en U » et asymétrique montre :

- un **minimum d'émissions de CO<sub>2e</sub> et de consommation de carburant à 60 km/h** (avec des valeurs quasi égales à 70 km/h), passant de 2020 à 2050 de 209 à 148 g/km d'émissions de CO<sub>2e</sub> et de 66 à 47 g/km de consommation de carburant, soit une réduction de 29 % ;
- un maximum à 10 km/h de 417 g/km pour les émissions et de 132 g/km pour la consommation en 2020, qui décroît respectivement à 294 g/km et 94 g/km en 2050 ;
- à 20 km/h, les émissions et la consommation sont pratiquement égales qu'à 130 km/h et valent environ 1,45 fois leurs minimums ; tandis qu'à 30 km/h, elles sont sensiblement les mêmes qu'à 110 km/h et valent environ 1,2 fois leurs minimums.

À noter que les émissions unitaires minimales de CO<sub>2e</sub> sont environ 1,4 fois plus fortes que pour un véhicule particulier en 2020, 1,7 fois plus fortes en 2050 (le parc roulant des utilitaires restant encore majoritairement diesel).

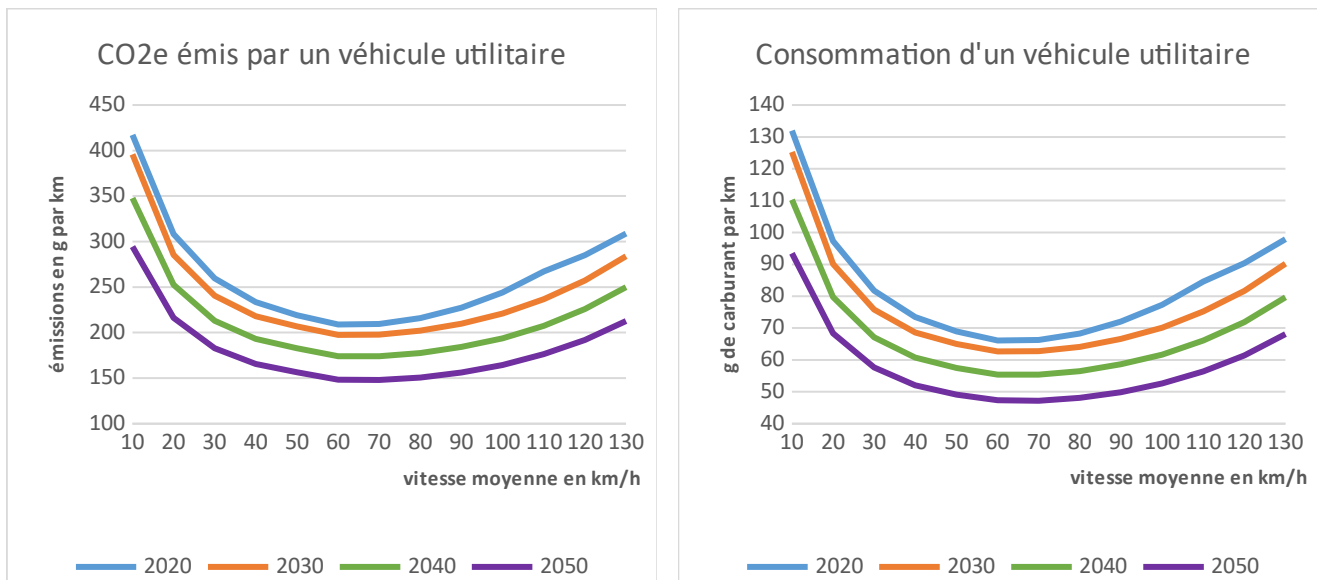


Illustration 14 : Émissions de CO<sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un véhicule utilitaire en fonction de la vitesse

L'illustration 15 représente les émissions de CO<sub>2e</sub> et la consommation de carburant en fonction de la vitesse d'un **véhicule léger** « moyen », composé à 17 % par des véhicules utilitaires, le reste étant des véhicules particuliers, ce qui influence l'allure des courbes, avec des tendances similaires à celles décrites pour les véhicules particuliers *supra.*, mais avec un **minimum d'émissions de 162 g/km à 70 km/h en 2020 et de 98 g/km en 2050 (environ 40 % de réduction)**, alors que le maximum à 10 km/h est égal au minimum de 2020. Similairement, le **minimum de consommation est d'environ 51 g/km à 70 km/h en 2020 et proche de 32 g/km en 2050 (environ 38 % de réduction)**, alors que le maximum à 10 km/h est égal au minimum de 2020.

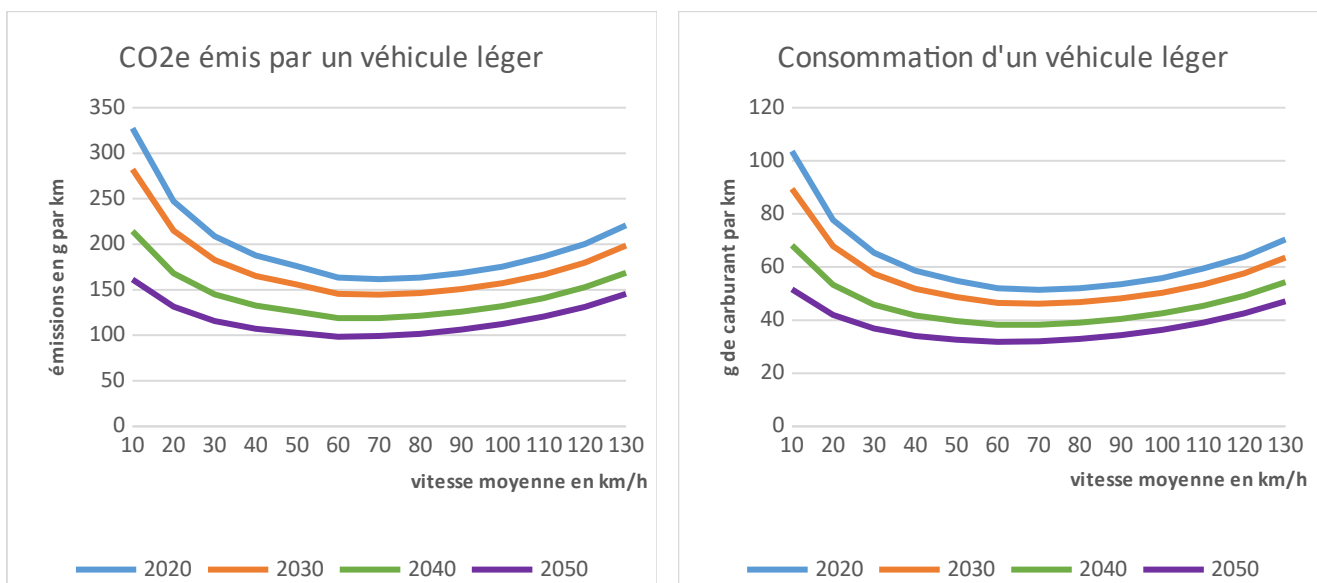


Illustration 15 : Émissions de CO<sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un véhicule léger en fonction de la vitesse

L'illustration 16 représente les émissions de CO<sub>2e</sub> et de consommation de carburant d'un **poids-lourd**, dont l'allure des courbes présente un maximum à 12 km/h<sup>23</sup>, du fait de la relative inertie du véhicule (la majorité d'entre eux sont des 40-50T articulés de 5 essieux) qui nécessite une plus grande énergie pour se déplacer à très faible vitesse. Les émissions et la consommation diminuent ensuite progressivement au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse pour atteindre une **valeur minimale pour une vitesse de 86 km/h**, lorsque le moteur est à son fonctionnement optimal a priori.

En 2020, ces émissions unitaires minimales sont de 681 g/km et baissent à 587 g/km en 2050, soit environ 3 fois celles minimales d'un véhicule léger ; la consommation passe de 212 à 184 g/km, soit environ 4 fois celle d'un véhicule léger en 2050.

Par contre, les **émissions maximales à très faible vitesse** (par exemple en cas de congestion du trafic routier) **sont en 2020 plus de 6 fois supérieures à celles maximales d'un véhicule léger** roulant à la même vitesse moyenne (dans un bouchon ou encore à 130 km/h), **cette proportion augmentant à 9 en 2050**. La valeur maximale est d'environ 1 758 g/km en 2020 (1 290 g/km à 20 km/h) et de 1 486 g/km en 2050 (1094 à 20 km/h).

Si l'on raisonne plutôt en termes de charge transportée, la comparaison du maximum avec un véhicule utilitaire (PTAC inférieur à 3,5 T) donne une proportion de 4,5 fois plus d'émission de CO<sub>2e</sub> pour un poids-lourd en 2020 et 5,5 fois en 2050.

On constate une baisse limitée mais régulière des émissions de CO<sub>2e</sub> (courbes resserrées et également réparties), mais pas aussi franche que celle des NO<sub>x</sub> entre 2020 et 2030, surtout à des vitesses inférieures à 50 km/h, liée à l'amélioration du parc roulant de poids-lourd (majorité de norme Euro 6 et catalyse), le poste de consommation de carburant d'un poids-lourd restant élevé.

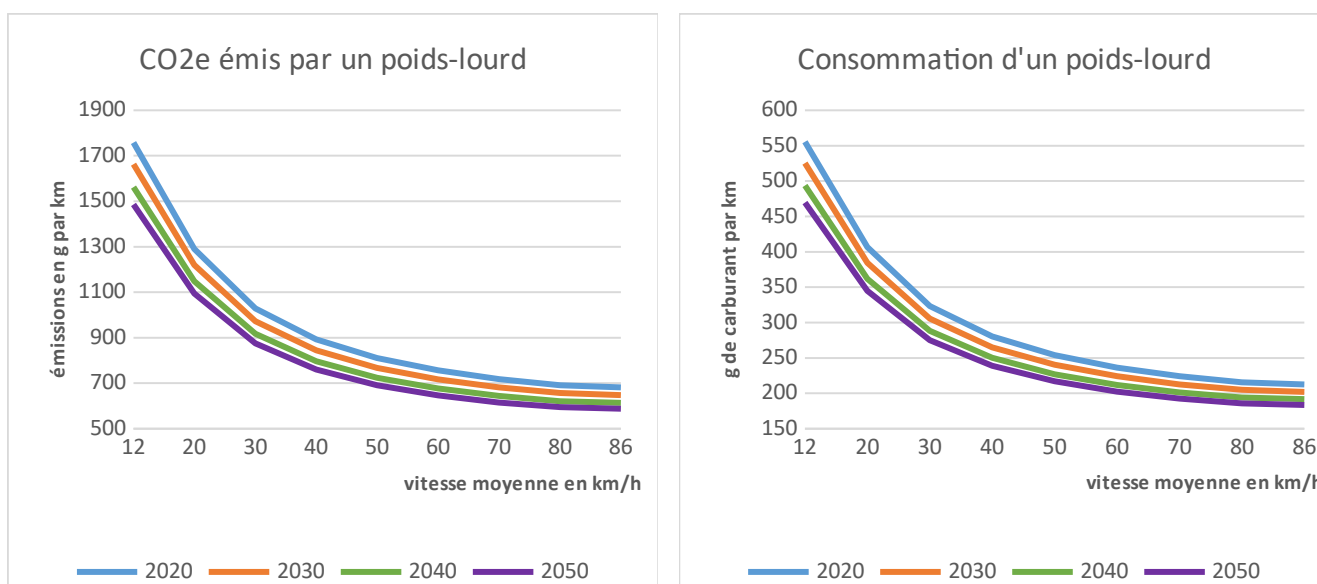


Illustration 16 : Émissions de CO<sub>2e</sub> et consommation de carburant d'un poids-lourd en fonction de la vitesse

<sup>23</sup> minimum pour un poids-lourd imposé par la méthodologie Copert, comme pour le maximum à 86 km/h

# Principaux enseignements

## Rôle de la vitesse et d'autres facteurs sur les émissions

### Considérations générales

Les modélisations effectuées avec un **parc roulant** moins polluant au fil des années, intégrant plus de motorisations alternatives (électriques, hybrides, GPL...) au détriment des moteurs diesels notamment (*cf.* le paragraphe « [Outils de modélisation](#) » *supra*), conduisent logiquement à une diminution des émissions polluantes des oxydes d'azote et particules, contribuant à une amélioration en termes de qualité de l'air.

Les émissions calculées sont ainsi nettement plus faibles pour les oxydes d'azote (NOx) avec une réduction d'environ 70 % entre 2020 et 2050 sur la plage allant de 90 à 130 km/h pour les véhicules légers, bénéficiant de l'adoption croissante de moteurs plus 'propres'.

Quant à la **vitesse moyenne**, elle a une influence différenciée :

- **aux alentours de 70 km/h pour un véhicule léger et 86 km/h pour un poids-lourd**, elle correspond à un régime moteur optimal, pour lequel **les émissions de polluants et la consommation de carburant sont minimales** ;
- **pour des vitesses très faibles (inférieures à 30 km/h), les émissions et la consommation sont très élevées pour un véhicule léger** (bénéficiant d'une réduction notable avec l'effet d'amélioration du parc roulant dès 2040) **et maximales pour un poids-lourd** ;
- **pour des vitesses élevées (dès 100 km/h), les émissions de NOx sont toujours supérieures à celles à très faible vitesse pour un véhicule léger.**

Les courbes du chapitre suivant sur l'influence de la vitesse illustrent ces tendances (illustrations 17 à 19).

---

Pour un poids-lourd, l'influence de la **pente**<sup>24</sup> (dénivelé positif ou négatif) de la route et de la **charge transportée** (camion à vide ou roulant à 50 % ou 100 % de son PTAC) peuvent être significatifs sur les taux d'émission et la consommation.

De manière assez évidente, les émissions d'un PL en montée sont plus importantes qu'à pente nulle, jusqu'à 2 fois pour les NOx et 3,7 fois pour le CO<sub>2</sub> (et la consommation de carburant) dans le cas d'une pente à 6 % parcourue à 40 km/h.

De même, un PL en charge maximale (100 % du PTAC) a un impact plus important qu'à demi-charge, jusqu'à 1,23 fois à 12 km/h pour le CO<sub>2</sub>e et 1,27 fois pour la consommation de carburant sur la plage de vitesses inférieures à 50 km/h.

Par contre, un poids-lourd émet moins de NOx à pleine charge (100 % du PTAC) qu'à demi-charge (50 % du PTAC) mais plus à vide, le fonctionnement optimal du moteur étant certainement dimensionné pour une charge roulante adaptée.

Par ailleurs, pour ces 2 facteurs d'influence, les émissions de particules fines ne sont pas particulièrement impactées.

Les illustrations 20 à 23 détaillent ces phénomènes de pente et de charge sur les émissions d'un poids-lourd.

Le phénomène de **surémissions à froid** correspond à des émissions supplémentaires de polluants dues au fonctionnement du moteur « à froid » (température de fonctionnement non stabilisée), particulièrement au démarrage et pendant quelques minutes. Pour un véhicule léger dont le trajet à 30 km/h de moyenne serait effectué en totalité avec un moteur « à froid », ces surémissions sont de l'ordre de +25 % pour le CO<sub>2</sub> (et une surconsommation de carburant équivalente), +18 % pour les NOx et +14 % pour les PM.

Les politiques publiques peuvent, par des incitations financières par exemple pour encourager l'achat de véhicules plus « propres » (hybrides et électriques notamment), influencer l'évolution du parc roulant. Par ailleurs, le certificat qualité de l'air Crit'Air, identifié par une vignette selon la classe Euro du véhicule particulier, est obligatoire pour rouler lors d'épisodes de pollution, amenant à une circulation différenciée décidée par le Préfet, et pour rouler dans les zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m) dans certaines métropoles, avec des restrictions selon la vignette du véhicule.

Les chapitres *infra* sur les **émissions de NOx selon la vignette Crit'Air** d'un véhicule particulier et les **émissions d'un véhicule du parc prospectif SNBC** (cf. composition pp. 15 à 17) **correspondant aux objectifs de la stratégie nationale bas-carbone**, en montrent les résultats.

L'effet de réduction des émissions est significatif puisqu'en limitant la circulation urbaine aux véhicules les plus « propres » (Crit'Air 1) ou encore en convergeant vers un parc roulant essentiellement électrique en 2050 (parc SNBC), quasiment aucun polluant atmosphérique n'est émis ; seules les particules « hors échappement » persistent, comme pour les véhicules thermiques.

Les illustrations 24 à 29 détaillent ces phénomènes de surémissions à froid, de variation des émissions de NOx en fonction de la vignette Crit'Air et de prise en compte du parc roulant SNBC sur les émissions et la consommation de carburant.

<sup>24</sup> La méthodologie Copert ne prend pas en compte la pente pour les véhicules légers.

## Influence de la vitesse

Les graphiques ci-après (illustrations 17 à 19) représentent le rapport en 2030 des émissions de polluants avec celles émises à une vitesse de référence prise à 90 km/h pour les véhicules légers et 80 km/h pour les poids-lourds.

Pour un **véhicule particulier** en 2030, la courbe montre :

- l'amplitude considérable des émissions de NO<sub>x</sub>, que ce soit à 130 km/h (quasiment le double des émissions à 90 km/h) ou à 10 km/h (quasiment le double de la valeur minimale à 70 km/h) ;
- la grande amplitude des émissions de CO<sub>2e</sub>, surtout à 10 km/h (quasiment le double de la valeur minimale à 70 km/h) ;
- l'impact négligeable de la vitesse sur les particules fines (la majeure partie étant des particules « hors échappement »<sup>25</sup>).

Pour des projections jusqu'en 2050, la tendance se conserve pour les particules fines et pour les NO<sub>x</sub> à très grande vitesse, et se réduit à 10 km/h pour les NO<sub>x</sub> (rapport qui baisse à 1,2 fois le minimum) et pour le CO<sub>2e</sub> (rapport de 1,4 fois le minimum).

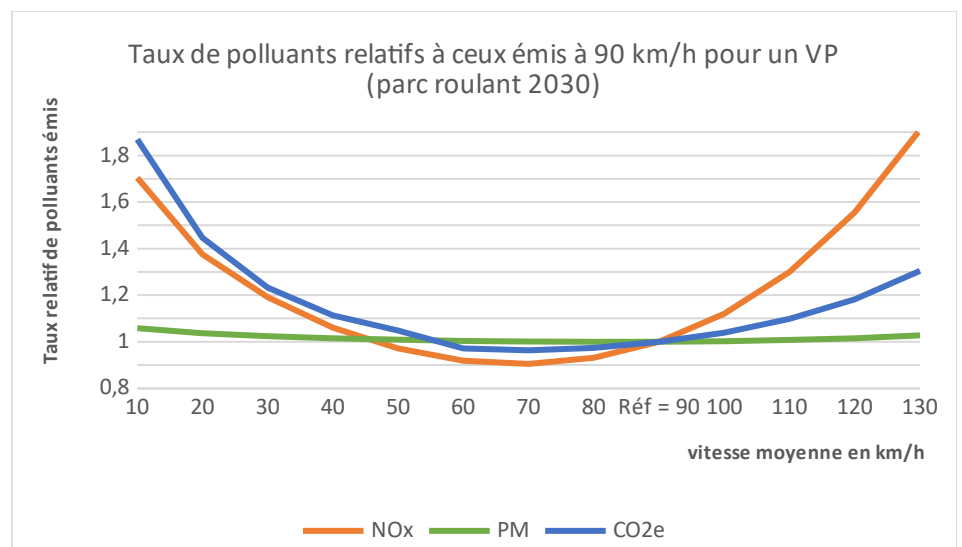


Illustration 17 : Taux de polluants relatifs à ceux émis à 90 km/h pour un véhicule particulier – parc roulant 2030

<sup>25</sup> La méthodologie appliquée dans CopCerema pour les PM hors échappement est celle du Citepa, qui ne tient pas compte de la vitesse, contrairement à celle implémentée dans Copert.



Pour un **véhicule utilitaire** en 2030, la courbe montre :

- l'amplitude considérable des émissions de NO<sub>x</sub>, que ce soit à 130 km/h (plus du double des émissions à 90 km/h) ou à 10 km/h (environ 1,5 fois la valeur minimale à 60 km/h) ;
- la grande amplitude des émissions de CO<sub>2e</sub>, surtout à 10 km/h (le double de la valeur minimale à 60 km/h) ;
- l'impact négligeable de la vitesse sur les particules fines (la majeure partie étant des particules « hors échappement »).

Pour des projections jusqu'en 2050, la tendance se conserve pour les particules fines, pour les CO<sub>2e</sub> et pour les NO<sub>x</sub> à très grande vitesse et se réduit à 10 km/h pour les NO<sub>x</sub> (rapport qui baisse à 1,4 fois le minimum).

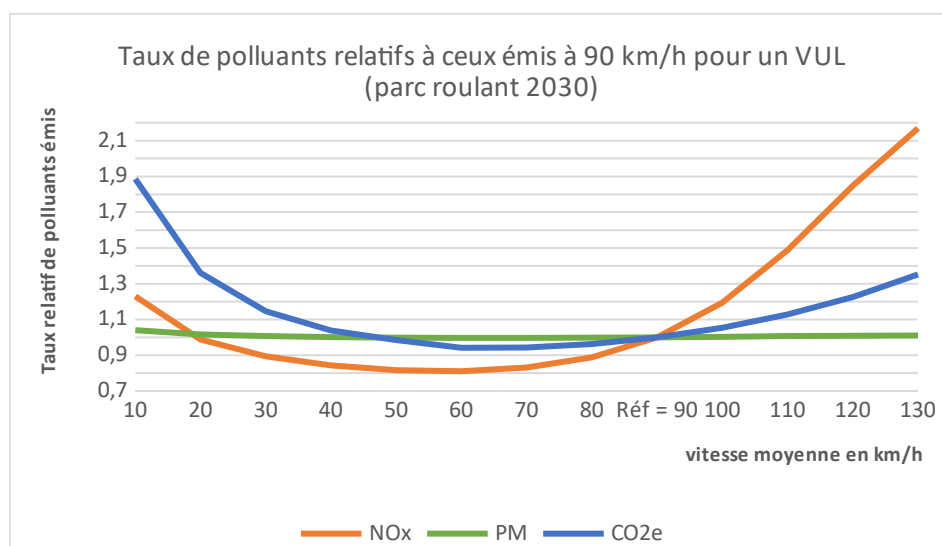


Illustration 18 : Taux de polluants relatifs à ceux émis à 90 km/h pour un véhicule utilitaire – parc roulant 2030

Pour un **poids-lourd** en 2030, la courbe montre :

- l'amplitude considérable des émissions de NOx à des vitesses inférieures à 30 km/h : de 3,8 à presque 10 fois les émissions générées à 80 km/h ;
- les émissions plus importantes de CO<sub>2e</sub>, surtout à 10 km/h (2,5 fois la valeur minimale à 60 km/h) ;
- l'impact négligeable de la vitesse sur les particules fines (la majeure partie étant des particules « hors échappement »).

Pour des projections jusqu'en 2050, la tendance se conserve dans les mêmes proportions pour les NOx à très faible vitesse, pour les CO<sub>2e</sub> et pour les particules fines.

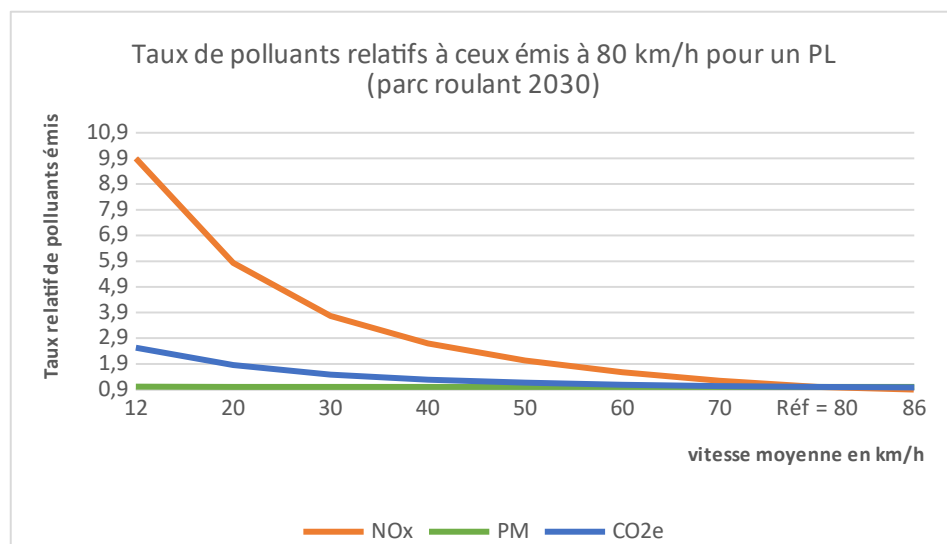


Illustration 19 : Taux de polluants relatifs à ceux émis à 80 km/h pour un poids-lourd – parc roulant 2030

## Influence de la pente pour un poids-lourd

Des corrections doivent être apportées aux émissions des poids-lourds pour des tronçons routiers en descente (pente négative) ou en montée (pente positive).

Les graphiques ci-après (illustrations 20 et 21) caractérisent l'effet de la pente sur les émissions d'un poids-lourd représentatif du parc roulant en 2020.

A noter que la courbe à 0 en jaune (pente nulle) est le cas utilisé dans le reste du document et que la charge transportée est fixée à 50 % par défaut pour un poids-lourd (cf. le paragraphe suivant sur la charge).

Les courbes des montées (pentes de 2 à 6 %) sont limitées aux vitesses maximales qu'un poids-lourd peut en pratique atteindre pour la pente considérée.

On constate que, comparativement aux émissions à pente nulle, les émissions de :

- **NOx** sont plus élevées en montée, de 1,65 fois (2 %, 70 km/h) à 2 fois (6 %, 40 km/h), soit 1,7 g/km supplémentaire maximum, et plus faibles en descente, jusqu'à 7,2 fois (-6 %, 70 km/h), soit jusqu'à 0,8 g/km de moins ;
- **PM** sont peu modifiées par des conditions en montée (jusqu'à 22 mg/km supplémentaire à 6 %) ou en descente (jusqu'à 13 mg/km de moins à -6 %) ;

En prenant une vitesse moyenne de 70 km/h sur un parcours théorique alternant faibles montées (2 %) et fortes descentes (-6 %) sur des kilométrages égaux (donc plus de descente au total), le bilan serait tout de même favorable en termes d'émissions de NOx, puisque égal à environ -0,2 g/km. Pour une route de montagne théorique (pentes à +/- 6 %) parcourue à 40 km/h, le bilan devient défavorable, à +0,7 g/km.

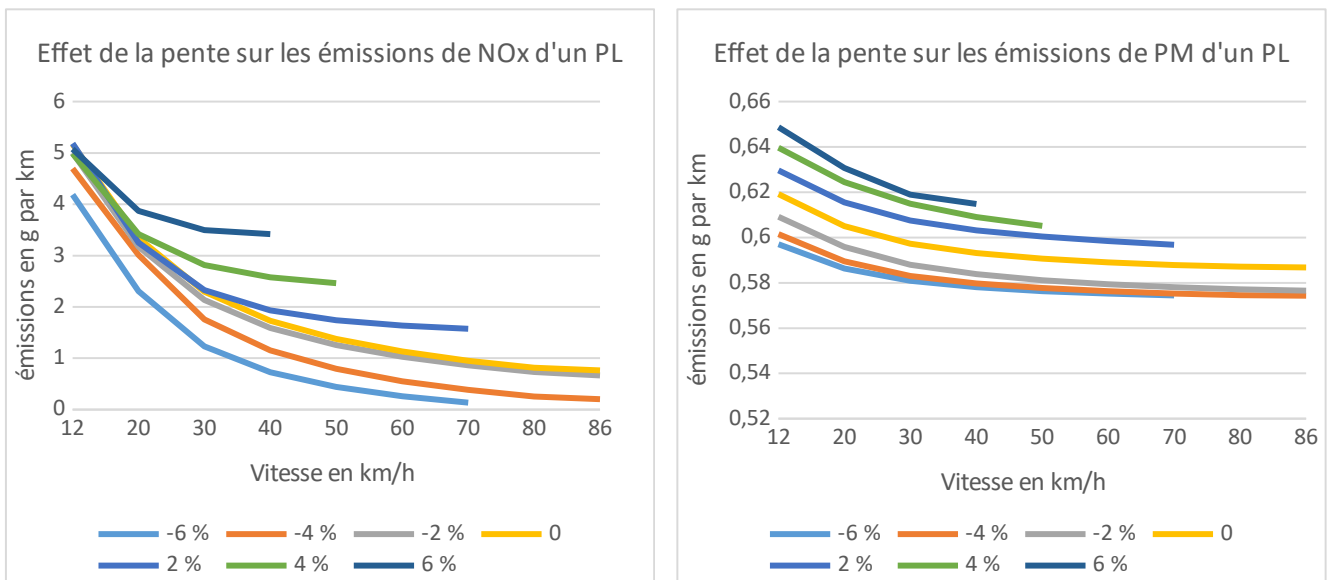


Illustration 20 : Effet de la pente sur les émissions de NOx et de PM d'un poids-lourd

Pour les émissions de CO<sub>2</sub>, on constate que comparativement aux émissions à pente nulle, elles sont :

- plus élevées en montée, de 2,1 fois (2 %, 70 km/h) à 3,7 fois (6 %, 40 km/h), soit 2,39 kg/km supplémentaire maximum ;
- largement plus faibles en descente, jusqu'à 53 fois (-6 %, 70 km/h), soit jusqu'à 691 g/km de moins.

En prenant une vitesse moyenne de 70 km/h sur un parcours théorique alternant faibles montées (2 %) et fortes descentes (-6 %) sur des kilométrages égaux, le bilan serait tout de même défavorable en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, puisqu'aux alentours de +111 g/km. Pour une route de montagne théorique (pentes à +/- 6 %) parcourue à 40 km/h, le bilan devient vraiment défavorable, à +1 600 g/km.

Sans surprise, la **consommation de carburant** (dont dépendent directement les émissions de CO<sub>2</sub>) est largement impactée par une pente positive, comparativement à une pente nulle, soit jusqu'à 3,7 fois plus de consommation (cas d'une pente à 6 %, à 40 km/h), équivalent à 760 g/km supplémentaire.

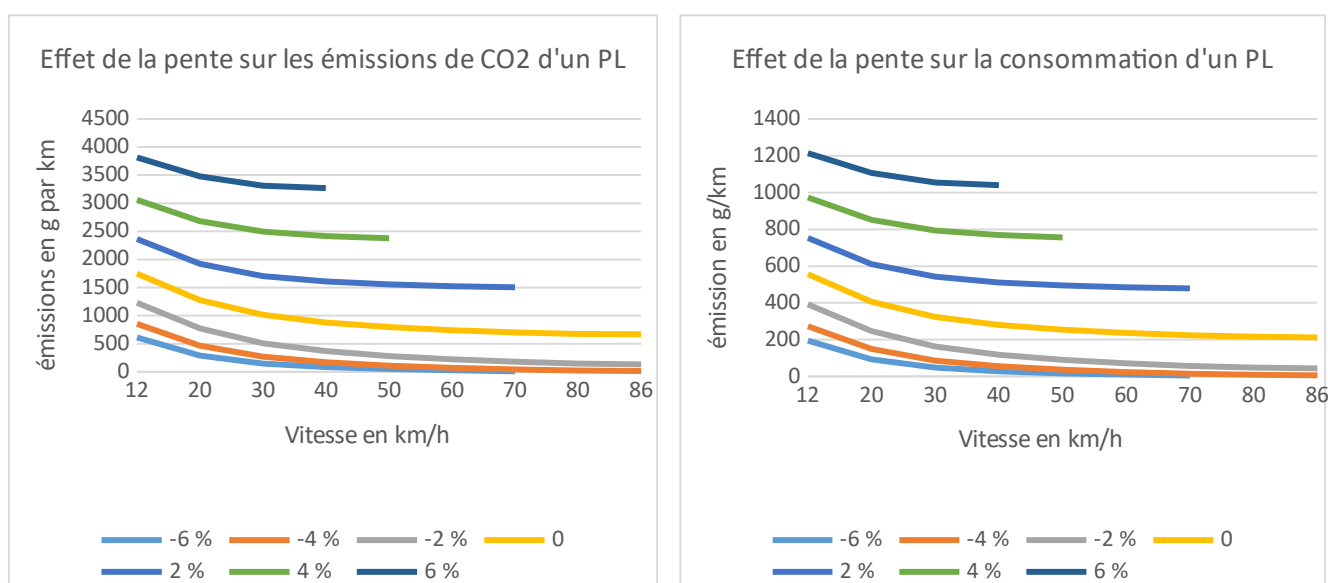


Illustration 21 : Effet de la pente sur les émissions de CO<sub>2</sub> et la consommation d'un poids-lourd

## Influence de la charge pour un poids-lourd

Concernant la charge (utile transportée<sup>26</sup>), elle est par défaut paramétrée à 50 % dans CopCerema (comme pour les résultats de ce document). Pour autant, il est intéressant de comparer ces émissions « par défaut » à celles générées par un poids-lourd « à vide » (de chargement) ainsi qu'à 100 % de son PTAC.

Les graphiques ci-après (illustrations 22 et 23) caractérisent l'effet de la charge transportée sur les émissions d'un poids-lourd représentatif du parc roulant en 2020.

Comparativement à la demi-charge (courbe orange à 50 % du PTAC), qui pourrait équivaloir aux conditions d'un trajet débuté « à plein » pour finir « à vide » sur la totalité du parcours de livraison d'un transporteur, on constate que les émissions de :

- **NO<sub>x</sub>** sont légèrement plus faibles à pleine charge (100 % du PTAC) pour les faibles vitesses jusqu'à 50 km/h, et légèrement plus élevées à vide quelle que soit la vitesse ; ce résultat au premier abord surprenant montre l'importance du fonctionnement optimal du moteur (auquel sont liés les rejets de NO<sub>x</sub>), dimensionné pour une charge à tracter définie ;
- **PM** sont sensiblement les mêmes que ce soit à vide ou à charge maximale (respectivement, écarts inférieurs à 5 mg/km et 4 mg/km), ce qui montre la prépondérance des PM « hors échappement ».

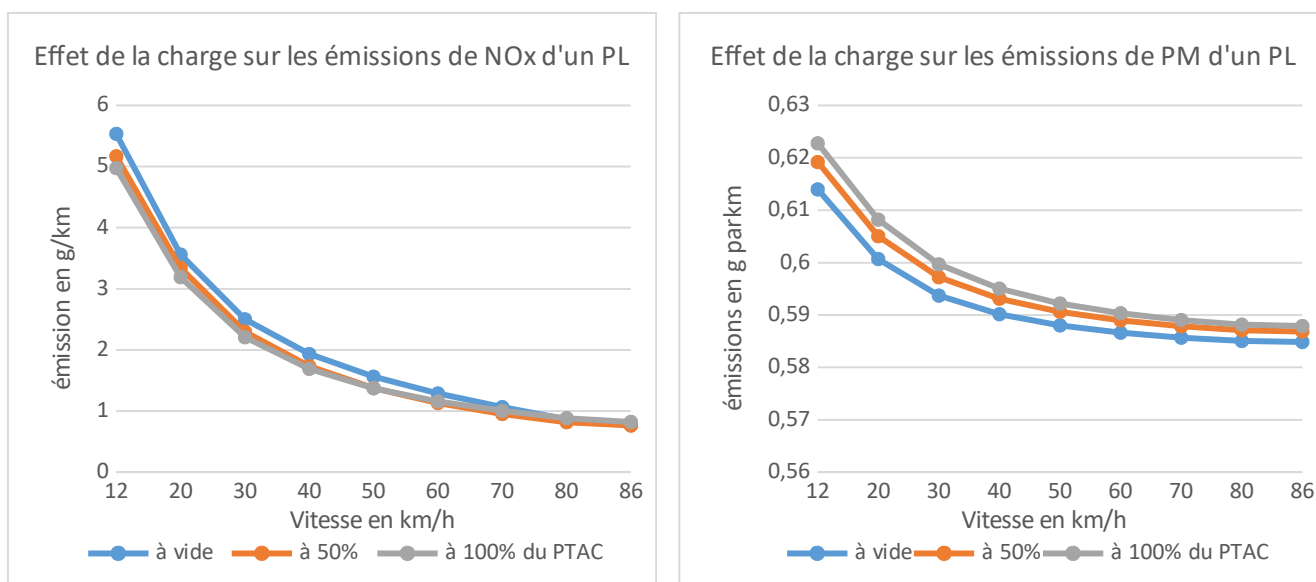


Illustration 22 : Effet du pourcentage de chargement sur les émissions de NO<sub>x</sub> et de PM<sub>10</sub> d'un poids-lourd

<sup>26</sup> charge utile transportée = PTAC (poids total autorisé en charge) – poids à vide du camion (= sans son chargement et sans le poids du conducteur, mais avec les réservoirs pleins, les équipements, etc.)

Pour les émissions de CO<sub>2</sub>, on constate que comparativement à une demi-charge, les émissions de CO<sub>2</sub> sont :

- plus élevées à pleine charge (100 % du PTAC), jusqu'à 1,23 fois à 12 km/h, soit 394 g/km supplémentaire ;
- plus faibles à vide, jusqu'à 1,3 fois à 12 km/h, soit 383 g/km de moins.

Sans surprise, la **consommation de carburant** (dont dépendent directement les émissions de CO<sub>2</sub>) est largement impactée par une charge maximale comparativement à une demi-charge, soit jusqu'à 1,27 fois plus de consommation sur la plage de vitesses inférieures à 50 km/h.

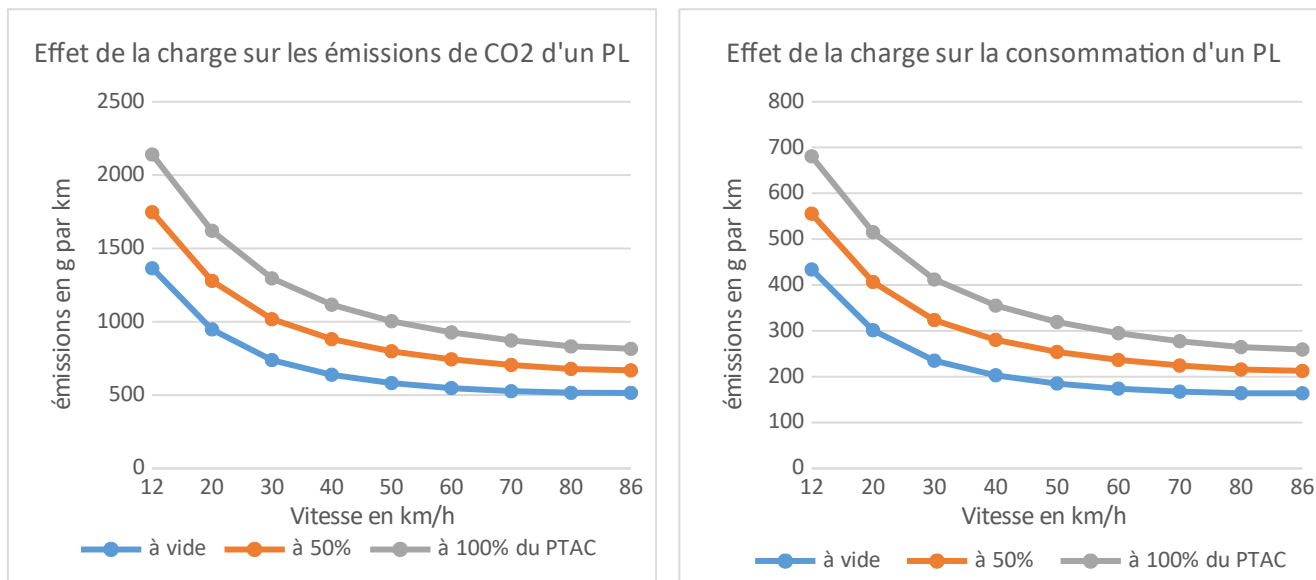


Illustration 23 : Effet du pourcentage de chargement sur les émissions de CO<sub>2</sub> et la consommation d'un poids-lourd

## Surémissions du démarrage à froid pour un véhicule léger

Le démarrage (avec moteur) « à froid » d'un véhicule est source d'émissions supplémentaires, comparativement aux émissions que produirait dans les mêmes conditions de conduite et de circulation le moteur (et système de catalyse éventuel) en température de fonctionnement stabilisée (et donc optimisée pour la combustion, voire la catalyse), dit moteur « à chaud ».

La méthodologie Copert existante s'applique uniquement aux véhicules particuliers et correspond à des trajets urbains et ruraux, en tenant compte du kilométrage effectué « à froid » sur un trajet qui est pris par défaut à 12 km, ce qui peut correspondre à un trajet moyen pour se rendre quotidiennement à son travail par exemple.

Le moteur met environ 5 à 10 minutes à atteindre une température stabilisée, cela dépendant aussi des conditions météorologiques, le froid extérieur ayant un impact sur la montée en température. Ainsi en conditions urbaines, donc à vitesse modeste ponctuée de stops fréquents, non propices à une montée rapide de température du moteur, la part kilométrique « à froid » est donc majoritaire. En plus de 100 % « à froid », l'autre pourcentage retenu est 40 % du trajet effectué à moteur froid (recommandation Ademe), ce qui peut correspondre à un trajet rural.

Les graphiques ci-après (illustration 24) montrent qu'un trajet effectué avec un moteur « à froid » génère une surconsommation de carburant et des émissions supplémentaires par rapport à un trajet effectué avec un moteur « à chaud », particulièrement pour le CO<sub>2</sub> avec 25 % d'émissions en plus pour un trajet 100 % à froid.

Il est à noter que pour le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatiles (COV), ces proportions sont beaucoup plus élevées, soit pour un trajet à 30 km/h effectué 40 % à moteur froid, 2,4 fois plus d'émissions pour le CO et 4 fois plus pour les COV par rapport à un trajet effectué « à (moteur) chaud ».

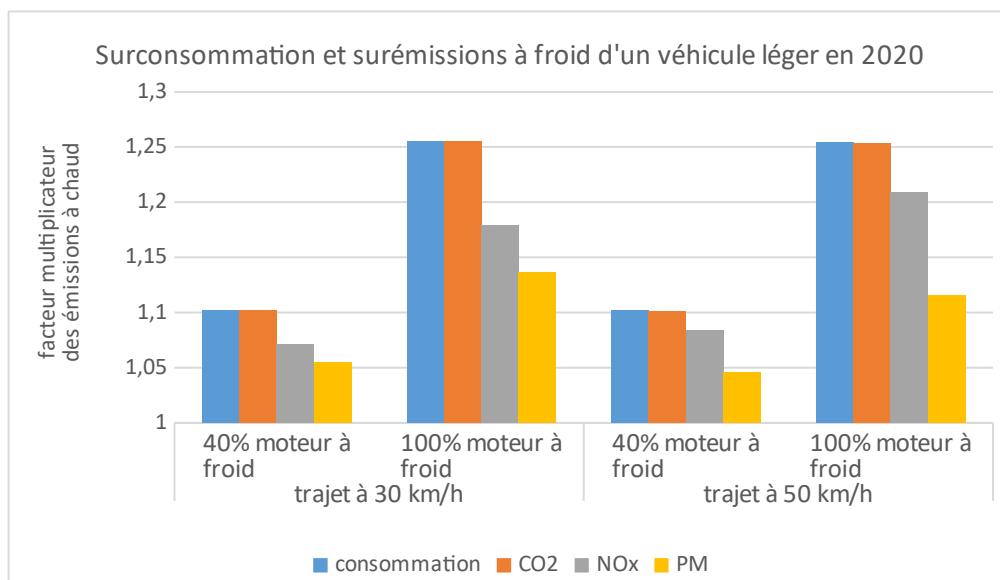


Illustration 24 : Surconsommation et surémissions à froid d'un véhicule léger en 2020

## Émissions d'un véhicule particulier selon son classement Crit'Air

Les graphiques ci-après (illustration 25) représentent les émissions de NOx d'un véhicule particulier autorisé à rouler selon son classement du certificat qualité de l'air Crit'Air<sup>27</sup>, en fonction de sa vitesse moyenne en conditions urbaines (10 à 50 km/h).



Les véhicules sont répartis en 6 classes environnementales (vignettes Crit'Air 0 à 5), dont la classification dépend du type de véhicule (VP, VUL, véhicules lourds, deux-roues...), de sa motorisation et de la norme européenne d'émissions polluantes qu'il respecte, dite « norme Euro ». Une classe spécifique est réservée aux véhicules électriques « zéro émission moteur ».

L'image ci-contre classe les VP selon les vignettes Crit'Air 0 à 3.

Les courbes correspondent à un véhicule particulier représentatif en 2025 et 2035 des véhicules autorisés à rouler, car appartenant au classement Crit'Air 0 à 2 par exemple (légende Crit'Air 2), lors d'épisodes de pollution ou encore au sein de métropoles ayant défini une zone à faibles émissions mobilité (ZFE-m). Comparativement, la courbe rouge schématise les émissions de NOx d'un véhicule particulier du parc roulant complet (pas de restriction de circulation quelle que soit la norme Euro).

La restriction de circulation aux véhicules classés 0 à 1 (légende Crit'Air 1) conduit à une diminution drastique des émissions, quasi nulles, tandis que l'évolution du parc roulant en 10 ans diminue quoi qu'il en soit les émissions de moitié environ.

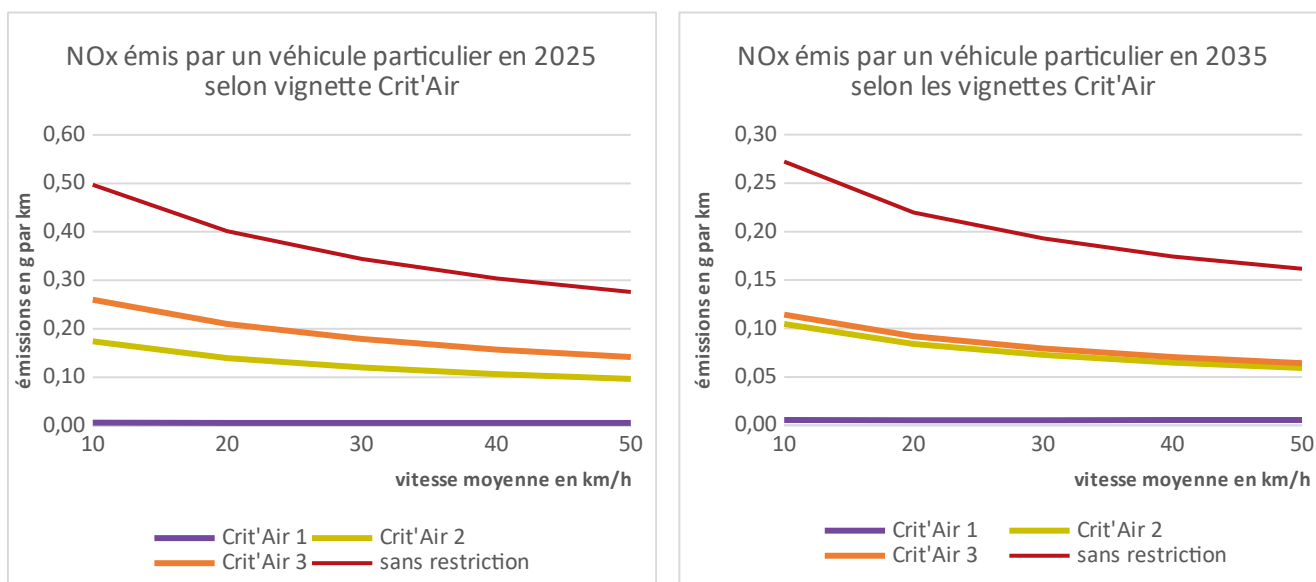


Illustration 25 : Émissions de NOx d'un véhicule particulier selon les vignettes Crit'Air autorisées

<sup>27</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/certificats-qualite-lair-critair>



## Émissions d'un véhicule particulier en correspondance avec le parc SNBC

Les graphiques ci-après (illustrations 26 et 27) représentent les émissions de polluants et la consommation en fonction de la vitesse d'un véhicule particulier appartenant au parc prospectif SNBC (stratégie nationale bas-carbone).

Autant les courbes en 2015 et 2030 ont une allure similaire à celles d'un véhicule appartenant au parc Ifsttar comme dans le reste du document, autant celles à partir de 2050 illustrent l'effet radical d'une disparition des véhicules à moteur thermique du parc roulant au profit des véhicules électriques, conduisant au « zéro émission » recherché, si ce n'est pour les particules dont la part majoritaire « hors échappement » subsiste<sup>28</sup>.

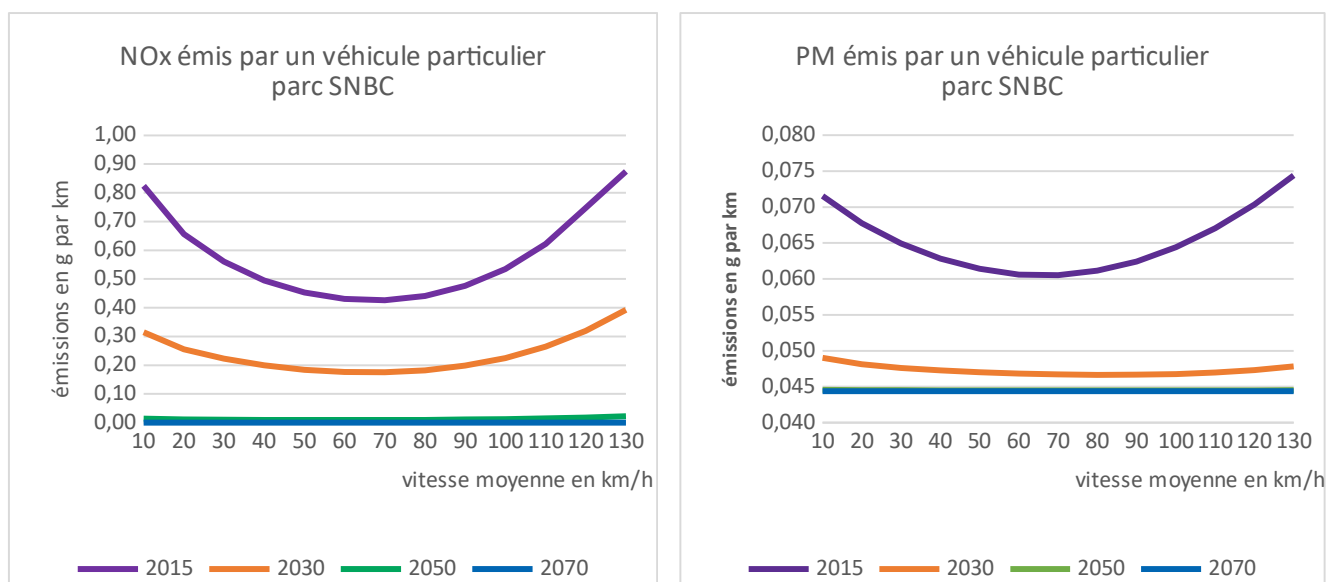


Illustration 26 : Émissions de NOx et de PM d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse – parc SNBC

Nota : les courbes des NOx et des PM en 2050 (en vert) sont quasi confondues avec celles de 2070.

<sup>28</sup> Le rapport « Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport » (OCDE, 2020) souligne cette part significative des particules fines « hors échappement » pour les véhicules électriques notamment, de plus pénalisés par leur poids (batterie) et système de freinage puissant qui génèrent ce type de particules par abrasion des plaquettes de frein.

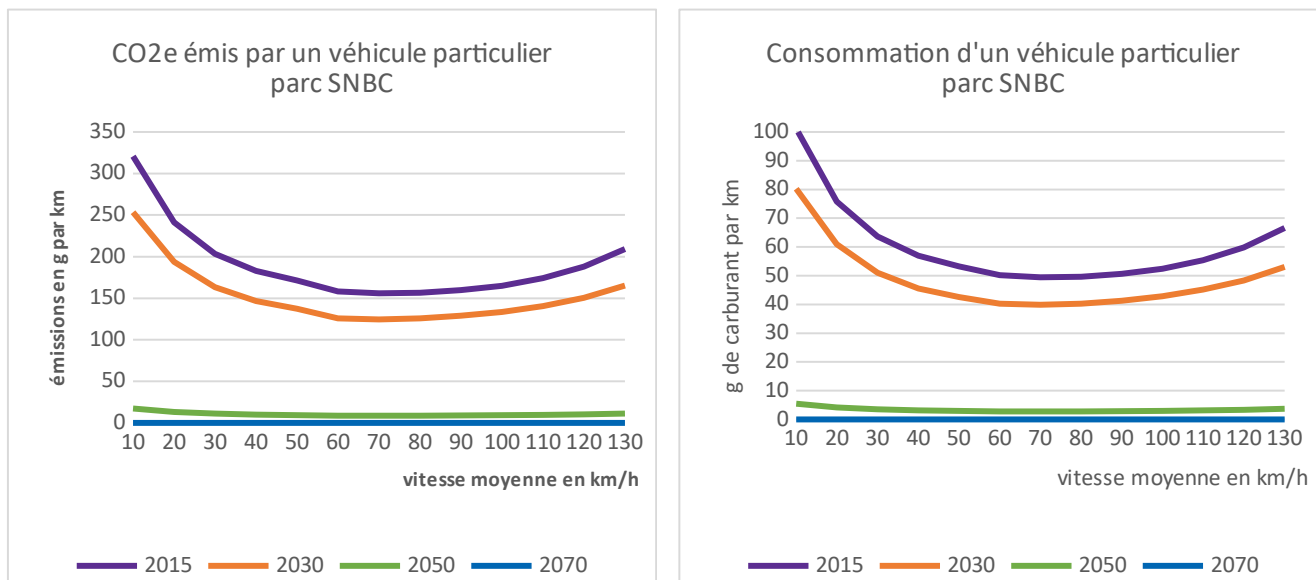


Illustration 27 : Émissions de CO<sub>2e</sub> et consommation d'un véhicule particulier en fonction de la vitesse – parc SNBC

## Émissions d'un poids-lourd en correspondance avec le parc SNBC

Les graphiques ci-après (illustrations 28 et 29) représentent les émissions de polluants et la consommation en fonction de la vitesse d'un poids-lourd appartenant au parc prospectif SNBC (stratégie nationale bas-carbone).

Les courbes pour les NOx et les PM ont une allure similaire à celles d'un véhicule lourd appartenant au parc Ifsttar, comme dans le reste du document. Pour les GES et la consommation de carburant, les courbes de 2050 et de 2070 traduisent un passage beaucoup plus rapide vers des énergies alternatives au diesel (GNC majoritairement et électrique), conduisant à une forte réduction des émissions et de la consommation.

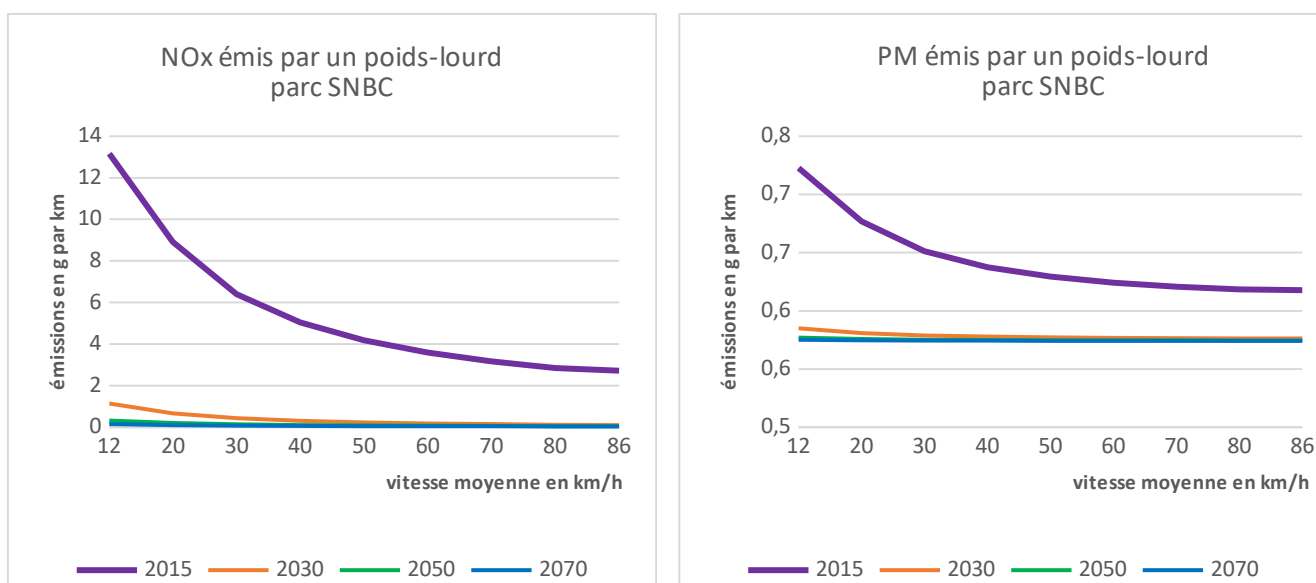


Illustration 28 : Émissions de NOx et de PM d'un poids-lourd en fonction de la vitesse – parc SNBC

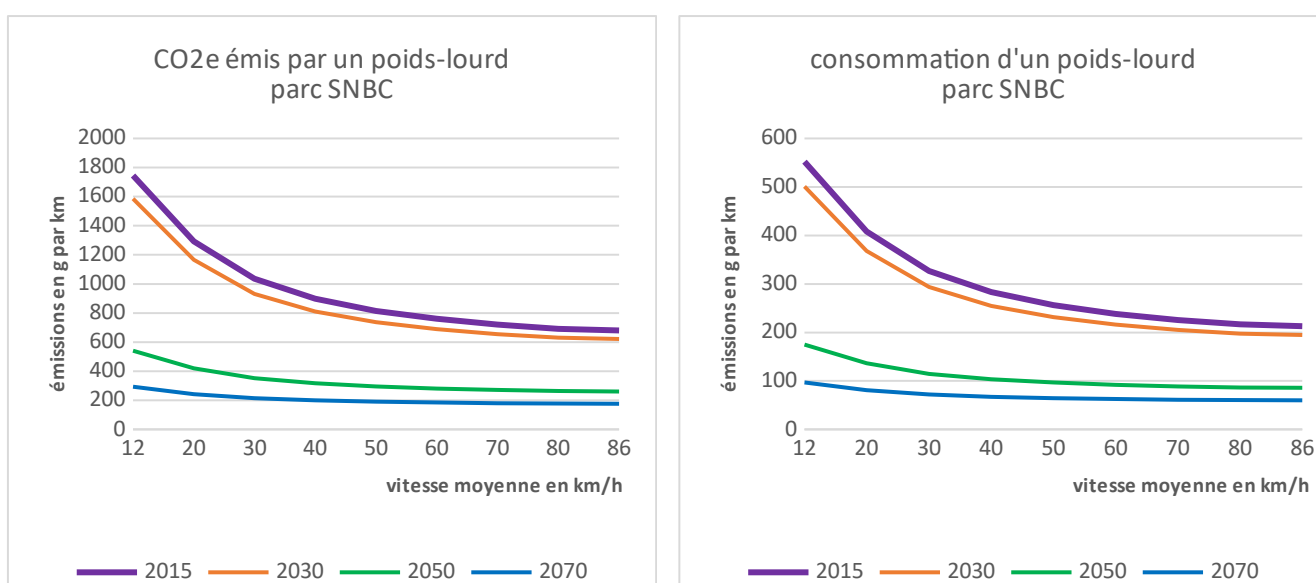


Illustration 29 : Émissions de CO<sub>2e</sub> et consommation d'un poids-lourd en fonction de la vitesse – parc SNBC

# Conclusion

En se basant sur la modélisation des rejets de polluants atmosphériques émis par un véhicule en fonction de sa vitesse, l'objectif de ce rapport est d'actualiser les éléments concernant ces émissions de dioxyde d'azote (NO<sub>x</sub>), de particules fines (PM<sub>10</sub>) et de CO<sub>2e</sub> (équivalent CO<sub>2</sub> des gaz à effet de serre : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O), sur la base de la méthodologie européenne Copert version 5 et du parc roulant automobile prospectif actualisé jusqu'en 2050.

Les émissions de polluants sont représentées en fonction de la vitesse moyenne du véhicule car celle-ci influence leur variation de manière significative.

Ainsi pour un véhicule particulier, les émissions de NO<sub>x</sub>, de PM<sub>10</sub> et de GES sont minimales pour des vitesses proches de 70 km/h, tandis que pour un véhicule utilitaire (<3,5 T), elles le sont aux alentours de 60 km/h. La courbe caractéristique « en U » des émissions en fonction de la vitesse montre par ailleurs qu'en 2020, le maximum des émissions, égal jusqu'au double de la valeur minimale, se situe à 130 km/h, et que les émissions à de faibles vitesses (10 à 20 km/h) équivalent peu ou prou à celles produites à grande vitesse (100 à 110 km/h).

Cependant pour les NO<sub>x</sub> et les PM<sub>10</sub>, en raison d'une amélioration du parc roulant (norme Euro, alternative au moteur thermique...), on observe un aplatissement progressif de la courbe en U au cours des années, jusqu'à obtenir pour la projection du parc roulant en 2050 une valeur minimale pour les NO<sub>x</sub> 4 fois inférieure au minimum de 2020. Pour un véhicule utilitaire, la tendance pour la courbe est la même mais les valeurs d'émission unitaires minimales, 2 fois plus fortes que pour un véhicule particulier en 2020, restent comparativement 3 fois plus fortes en 2050 (le parc roulant des utilitaires étant encore majoritairement diesel).

Pour un véhicule léger dont le trajet (urbain) à 30 km/h de moyenne serait effectué en majorité avec un moteur « à froid », les surémissions correspondantes par rapport aux émissions avec un moteur « chaud » (température stabilisée après un certain temps de roulage) représentent un quart de celles-ci pour le CO<sub>2</sub> (et une surconsommation de carburant équivalente) et environ un cinquième pour les NO<sub>x</sub>.

Pour un poids-lourd (majoritairement des 40-50T articulés de 5 essieux), la courbe des émissions de polluants atmosphériques et de GES en fonction de la vitesse présente un maximum à très faible vitesse (10 km/h) puis une diminution progressive des émissions jusqu'à environ 90 km/h. En 2050, les émissions minimales en termes de CO<sub>2e</sub> sont environ 3 fois celles minimales d'un véhicule léger. Si l'on raisonne plutôt en termes de charge transportée, les émissions maximales de CO<sub>2e</sub> sont environ 5,5 fois plus élevées que celles maximales d'un véhicule utilitaire (rapport de 1,5 fois pour les NO<sub>x</sub> et de 11 fois pour les PM<sub>10</sub>).

Par ailleurs, la charge transportée (jusqu'à 100 % du PTAC) et la pente de la route ont une influence certaine sur les valeurs d'émissions, même si les rejets de particules fines ne sont pas particulièrement impactés.

On remarquera que pour les véhicules légers comme pour les poids-lourds, les émissions sont importantes à très faible vitesse (jusqu'à 30 km/h environ), ce qui signifie que les situations de congestion du trafic routier sont très pénalisantes du point de vue de la qualité de l'air.

Un autre facteur déterminant des émissions routières est donc la composition du parc roulant automobile, dont l'évolution vers des véhicules plus « propres » à la faveur d'une norme Euro de plus en plus contraignante en termes d'émission de polluants atmosphériques et avec l'arrivée progressive de motorisations alternatives (électriques, hybrides, GPL, hydrogène...) au fur et à mesure de son

renouvellement, conduit à une diminution des émissions de polluants atmosphériques et des gaz à effet de serre.

À terme, un parc roulant de véhicules électriques (comme pour le parc prospectif SNBC dès 2050) paraît être une solution pour éviter l'émission de polluants atmosphériques, tout comme la solution alternative au moteur thermique par l'utilisation de piles à combustible (PAC) hydrogène pour les véhicules lourds (camions et bus).

Dans ces deux cas, il est toutefois important d'analyser le cycle de vie complet en termes d'émissions de gaz à effet de serre, en particulier le cycle de vie des batteries pour l'électrique ou encore l'utilisation d'hydrogène « vert » pour les PAC, c'est-à-dire produit à partir de sources décarbonées.

Par contre, ces deux solutions, électrique et hydrogène, ne diminuent pas la part de particules fines « hors échappement » (et les métaux lourds présents dans ces particules) qui constituent déjà la majorité des particules fines PM<sub>10</sub> générées par le trafic routier.

# Bibliographie

Émissions routières de polluants atmosphériques – Courbes et facteurs d'influence, Note d'information Setra 11/2009

<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/emissions-routieres-polluants-atmospheriques-courbes>

Circulaire interministérielle (abrogée et remplacée par la note technique de février 2019) N°DGS/SD7B/2005/273 du 25 février 2005 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières  
(<http://circulaires.legifrance.gouv.fr/index.php?action=afficherCirculaire&hit=1&r=44436>)  
et son guide méthodologique  
([https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/guide\\_m%C3%A9thodologique\\_air\\_sante.pdf](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/guide_m%C3%A9thodologique_air_sante.pdf))

CITEPA - Secten – le rapport de référence sur les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France  
[https://www.citepa.org/wp-content/uploads/Citepa\\_Rapport-Secten\\_ed2020\\_v1\\_09072020.pdf](https://www.citepa.org/wp-content/uploads/Citepa_Rapport-Secten_ed2020_v1_09072020.pdf)

CopCerema  
<https://www.cerema.fr/fr/actualites/copcete-copcerema-outil-calcul-emissions-du-traffic-routier>

COPERT – Emisia, spin-off company of the Aristotle University of Thessaloniki / Laboratory of Applied Thermodynamics  
<https://www.emisia.com/utilities/copert/>

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - 1.A.3.b.i-iv Road transport Oct. 2020.pdf – European Environment Agency EEA Report No 13/2019  
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>

## Glossaire

**Concentration (de polluant)** : elle représente la quantité de polluant présent dans l'air ambiant. Elle s'exprime le plus souvent en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (microgramme=0,001 mg par mètre cube), soit le rapport entre la masse du polluant et le volume d'air considéré (on peut aussi trouver des unités comme les ppm ou les ppb).

**Émission (de polluant)** : elle représente la quantité de polluant émise par une source, soit directement (polluant **primaire**), soit indirectement (polluant **secondaire**, comme l'ozone) car résultant du produit de réactions chimiques dans l'atmosphère entre plusieurs polluants.

**Modélisation** : simulation numérique d'un phénomène physique dans le cadre d'une estimation, notamment à des fins de prévision. Le modèle utilisé doit être régulièrement évalué par des mesures *in situ* afin de vérifier, voire améliorer le modèle.

# Annexes

Les annexes regroupent les données des calculs d'émissions en fonction de la vitesse pour différents cas : polluant, type de véhicule, parc roulant.

## Annexe 1 – Ensemble des cas modélisés

L'ensemble des graphes et données brutes est accessible via le fichier attaché à gauche de ce document pdf.



Connaissance et prévention des risques – Développement des infrastructures – Énergie et climat – Gestion du patrimoine  
d'infrastructures – Impacts sur la santé – Mobilités et transports – Territoires durables et ressources naturelles – Ville et bâtiments

**Cerema Nord-Picardie**

44 ter, rue Jean Bart - CS 20 275 - 59019 Lille Cedex

Tél : +33 (0)3 20 49 60 00 – fax : +33 (0)3 20 53 15 25

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 902 - F69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 20 20