



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS ET LEUR
SECURITE

Charlotte HUGREL

Robert JOUMARD

Transport routier - Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025

Référence ADEME 01-03-035

Référence INRETS C02-02

Rapport LTE n° 0420, Septembre 2004

Les auteurs :

Charlotte HUGREL, chargée de recherche, émissions des transports en France, LTE

Robert JOUMARD, directeur de recherche, spécialiste de la pollution de l'air, LTE

L'unité :

LTE : Laboratoire Transports et Environnement, INRETS, Case 24, 69 675 Bron cedex, France

Téléphone : 33 (0)4 72 14 23 00 – Télécopie : 33 (0)4 72 37 68 37

Email : hugrel@inrets.fr, joumard@inrets.fr

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ADEME pour le soutien financier apporté à cette recherche correspondant à la convention 01-03-035 et plus particulièrement Jane Noppe pour ses remarques, ses conseils et son soutien lors du déroulement de cette étude.

Nos remerciements vont également à Laurent Hivert du DEST (INRETS) pour les données qu'il nous a transmises et pour l'éclairage pertinent qu'il a pu apporter sur certains aspects de cette étude.

Nous tenons également à saluer la disponibilité de toutes les personnes que nous avons contactées au cours de cette étude et qui ont volontiers répondu à nos interrogations et demande de précisions.

Fiche bibliographique

1 UR (1 ^{er} auteur) INRETS-LTE	2 Projet n°	3 Rapport n°	
4 Titre Transport routier – Parc, usage et émissions des véhicules en France de 1970 à 2025			
5 Sous-titre		6 Langue	
7 Auteurs HUGREL Charlotte, JOUMARD Robert		8 Rattachement ext.	
9 Nom adresse financeur, co-éditeur ADEME, 27 rue Louis Vicat 75 737 Paris cedex 15		10 N° contrat, conv. 01 03 035	
		11 Date de publication Septembre 2004	
12 Remarques			
13 Résumé Ce rapport comporte deux parties distinctes mais néanmoins liées. La première partie concerne la méthode, les données et les hypothèses utilisées pour la détermination du parc de véhicules routiers français sur la période 1970-2025. Tout en apportant de nouveaux éléments, elle s'appuie largement sur les travaux précédemment développés par Béatrice BOURDEAU et par Stéphanie LACOUR. Chacune des grandes catégories de véhicules est traitée distinctement : les véhicules particuliers, les véhicules utilitaires légers, les bus et les cars, les poids lourds et les deux-roues. La seconde partie est consacrée à l'évaluation des émissions atmosphériques générées par le transport routier français et à son évolution au cours du temps. Pour ce faire nous avons conjointement exploité les données de parc précédemment estimées et le logiciel Copert III qui a été développé sur la base du modèle européen MEET. Outre l'estimation du bilan de polluants directement associé au parc modélisé dans la première partie, nous avons évalué l'influence de différents facteurs : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Moindre vieillissement des véhicules particuliers afin que le parc roulant estimé coïncide avec un des scénarios prospectifs établis par le Ministère des Transports ; ▪ Développement de la climatisation ; ▪ Développement du filtre à particules sur les moteurs diesel ; ▪ Engagement volontaire des constructeurs (ACEA, JAMA et KAMA) sur la réduction des émissions de CO₂. 			
14 Mots clés parc, véhicule particulier, poids lourd, véhicule utilitaire léger, deux-roues, transport routier, kilométrage, émissions, polluant, France		15 Diffusion Libre	
16 Nombre de pages 138	17 Prix Gratuit	18 Confidentiel jusqu'au	19 Bibliographie oui

Publication data form

1 Unit (1 st auteur) INRETS-LTE		2 Project n°		3 Report n°	
4 Title Road transportation – Fleet, use and emissions of road vehicles in France from 1970 to 2025					
5 Sub-title				6 Language F	
7 Authors HUGREL Charlotte, JOUMARD Robert				8 Affiliation.	
9 Sponsor, co-editor, name and adress ADEME, 27 rue Louis Vicat 75 737 Paris cedex 15				10 Contract, conv. n° 01 03 035	
				11 Publication date September 2004	
12 Notes					
13 Summary This report deals with the road transportation in France. It's composed with two principal parts. The first one deals with the evolution of the static fleet and the traffic from 1970 to 2025. This part is largely based on the study of Béatrice Bourdeau and Stéphanie Lacour. The results take into account very accurately the technological evolutions and the evolution of the usages of the different vehicle sub-categories. These traffic data are then transformed into emissions of atmospheric pollutants differentiating the different vehicle categories. It allows to analyse the evolutions of the road emissions. To estimate the emissions resulting from the fleet we used the European Copert III model developed in the framework of the MEET program (Methodology for calculating transport emissions and energy consumption). Copert III covers both fuel consumption and emissions of several pollutants. We either evaluate the influence of several factors : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Development of air-conditioning, ▪ Development of particulates filter, ▪ Constructors' agreement on CO₂ emissions. 					
14 Key words fleet, vehicle, heavy duty vehicle, passenger car, two-wheeler, road transport, mileage, emission, pollutant, inventory, France			15 Distribution statement Free		
16 Number of pages 138		17 Price Free		18 Declassification date	
				19 Bibliography yes	

Liste des acronymes et abréviations utilisés

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
APSAD : Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages
ASFA : Association Française des Sociétés d'Autoroutes
CERTU : Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports et l'Urbanisme
COPERT : Computer Programme to calculate Emission from Road Transport
CSNM : Chambre Syndicale Nationale du Cycle et du Motocycle
DAEI : Direction des Affaires Economiques et Internationales
DEST : Département Economie et Sociologie des Transports (INRETS)
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
MEET : Methodology for calculating transport emissions and energy consumption
NEDC : New European Driving Cycle (cycle de conduite utilisé dans le cadre des normes d'émission)
OEST / SES : Observatoire Economique et Statistique des Transports / Service Economique et Statistique
TIPP : Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers
TRM : Transport Routier de Marchandises (enquête)
TRV : Transport Routier de Voyageurs (enquête)
UTAC : Union Technique de l'Automobile, du motocycle et du Cycle
UTP : Union des Transports Publics

Sommaire

INTRODUCTION

CHAPITRE A – PARC ET USAGE

1.	Rappels : définitions et méthodes	6
1.1.	Notions de parc statique et de parc roulant	6
1.2.	Méthodes d'évaluation du parc	6
2.	Principes de calcul retenus pour l'évaluation du parc	8
2.1.	Estimation du parc statique	8
2.2.	Estimation du parc roulant	9
3.	Véhicules particuliers	10
3.1.	Définition	10
3.2.	Estimation du parc statique	10
3.2.1.	Données et hypothèses	10
3.2.2.	Résultat	17
3.3.	Estimation du parc roulant	18
3.3.1.	Données et hypothèses	18
3.3.2.	Résultat	24
3.4.	Modélisation sur la base des travaux du SES	25
4.	Véhicules utilitaires	28
4.1.	Définition	28
4.2.	Véhicules utilitaires légers	29
4.2.1.	Estimation du parc statique	29
4.2.2.	Estimation du parc roulant	34
4.3.	Bus et autocars	35
4.3.1.	Estimation du parc statique	36

4.3.2.	Estimation du parc roulant	40
4.4.	Poids lourds effectuant du transport de marchandises.....	42
4.4.1.	Estimation du parc statique	42
4.4.2.	Estimation du parc roulant	49
5.	Deux-roues	51
5.1.	Définition	51
5.2.	Motocyclettes.....	52
5.3.	Cyclomoteurs	70
5.3.1.	Estimation du parc statique	70
5.3.2.	Estimation du parc roulant	74
6.	Synthèse : immatriculations, parc statique et roulant du transport routier	76

CHAPITRE B - EMISSIONS

1.	Données et hypothèses pour l'utilisation de Copert III	79
1.1.	Données de parc.....	79
1.2.	Niveau technologique des véhicules.....	79
1.3.	Température et pression ambiantes	81
1.4.	Démarrage à froid	81
1.5.	Carburants.....	81
1.5.1.	Estimation des quantités de carburants.....	82
1.5.2.	Teneur en soufre et en plomb des carburants	84
1.6.	Limites du champ d'application de Copert III.....	85
2.	Résultats (Copert III)	86
2.1.	Consommation de carburant et émissions du parc routier français	86
3.	Influence de différents paramètres sur les émissions.....	92
3.1.	Ralentissement du vieillissement des véhicules particuliers	92
3.2.	Climatisation	93
3.2.1.	Pénétration de la climatisation.....	94

3.2.2.	Taux de fonctionnement du compresseur	95
3.2.3.	Estimation de la surconsommation et des surémissions générées par la climatisation	100
3.2.4.	Résultats	101
3.3.	Influence des filtres à particules	103
3.3.1.	Pénétration du filtre à particules	104
3.3.2.	Résultats	106
3.4.	Accords ACEA (JAMA et KAMA).....	107
3.4.1.	Parc VP respectant les accords des constructeurs.....	107
3.4.2.	Relation entre les émissions de CO ₂ sur la base de Copert III et sur la base des accords des constructeurs	108
3.4.3.	Résultats	111

CONCLUSION

1.	Bibliographie.....	115
2.	Annexes.....	118
2.1.	Annexe 1 – Réglementation européenne sur les véhicules	119
2.2.	Annexe 2 – Définition des genres de motocyclettes	120
2.3.	Annexe 3 – Coefficients de survie des VUL	121
2.4.	Annexe 4 – Coefficients de survie des bus et cars	122
2.5.	Annexe 5 – Coefficients de survie des poids lourds	123
2.6.	Annexe 6 – Coefficients de survie des motocyclettes, source CSNM	124
2.7.	Annexe 7 – Estimation du parc des deux-roues : analyse critique de la méthode proposée par LACOUR	125
2.8.	Annexe 8 – Emissions du transport routier en France.....	130

INTRODUCTION

Ce rapport concerne l'évaluation du parc routier français ainsi que le bilan des émissions de polluants atmosphériques associées à ces modes de transport.

Ce travail d'évaluation est conduit sur la période 1970-2025 et comporte ainsi une phase rétrospective de 1970 à 2000 et une phase prospective de 2000 à 2025.

La première partie de ce rapport est consacrée à l'évaluation des parcs statique et roulant. Compte tenu de l'absence de méthode de comptage du parc statique routier en France, ce qui pourrait être le cas si la vignette était encore en vigueur, la méthode employée est indirecte et demande de faire appel aux données d'immatriculation des véhicules ainsi qu'à des lois de survie permettant d'apprécier le rythme de mise à la casse d'une classe d'âge de véhicules en fonction du temps. Cette méthode a été développée dans le cadre d'une thèse INRETS-LTE, la thèse de Béatrice BOURDEAU, réalisée entre 1994 et 1998. Le travail présenté ici s'appuie largement sur ces premiers travaux ainsi que sur ceux de Stéphanie LACOUR qui a réalisé une réactualisation des données. Il comporte néanmoins des apports spécifiques tel que l'estimation du parc de deux roues.

Concernant la prospective nous nous sommes appuyés sur des techniques de projection relativement simples et qui ne tiennent pas compte d'une quelconque cadrage socio-économique. Néanmoins, nous avons, sur le cas des véhicules particuliers, procédé à une comparaison des résultats prospectifs établis par le SES avec nos propres résultats.

La seconde partie est consacrée à l'évaluation des émissions de polluants atmosphériques générés par le parc routier français.

Ce travail a été conduit en utilisant le logiciel Copert III développé sur la base de la méthode européenne MEET. Les résultats obtenus portent sur l'évolution des émissions globales du parc sur la période 1970-2025 ainsi que sur les facteurs d'émission unitaires. Toutefois seules les émissions globales font l'objet d'une présentation dans ce rapport ; on pourra trouver les données d'émissions unitaires détaillées par catégorie de véhicules, par type de carburant et de voirie sur le site Internet du LTE à partir du mois de novembre 2004.

Nous avons en outre cherché à évaluer l'influence d'un certain nombre de facteurs sur les émissions de polluants du parc routier français :

- vieillissement ralenti du parc ;
- développement du filtre à particules ;
- développement de la climatisation ;
- accords des constructeurs automobiles sur les émissions de CO₂.

Nous avons essayé de rédiger ce document dans un souci de transparence quant aux données et hypothèses utilisées afin que le lecteur puisse librement critiquer les résultats obtenus et la démarche employée. Nous espérons avoir rempli cet engagement.

A. PARC ET USAGE

1. RAPPELS : DEFINITIONS ET METHODES

1.1. Notions de parc statique et de parc roulant

Deux notions importantes doivent être distinguées : le parc statique et le parc roulant.

Le parc statique correspond au nombre de véhicules en service abstraction faite de l'usage qui en est fait. Ce parc est évalué en nombre de véhicules et ne tient pas compte du kilométrage parcouru par chacun d'entre eux.

Le parc roulant au contraire constitue une évaluation de la circulation effective des véhicules. Même au sein d'une catégorie identique, les véhicules particuliers par exemple, l'usage des véhicules peut être très différent en fonction de certaines de leurs caractéristiques (carburant, cylindrée...). L'évaluation du parc roulant est nécessaire dès lors que l'on souhaite apprécier la pollution associée au transport.

1.2. Méthodes d'évaluation du parc

BOURDEAU [Bourdeau, 1998 ; pp. 25-35] a recensé plusieurs méthodes d'évaluation du parc routier (principalement pour les véhicules particuliers et les utilitaires légers) et des usages qui en sont faits. Ces méthodes permettent parfois de dénombrer le volume du parc, parfois d'en déterminer la structure selon divers paramètres (cylindrées, puissance, constructeur...); toutes ne sont pas également adaptées pour étudier les évolutions du parc au cours du temps, effectuer des projections vers l'avenir et permettre *in fine* la quantification des émissions de polluants liés à la circulation des véhicules. Nous reprenons dans les paragraphes suivants les principaux commentaires effectués par BOURDEAU sur ces diverses méthodes.

Le tableau ci-après (Tableau 1) présente une classification des diverses méthodes d'estimation du parc automobile réalisées en France et en Europe.

Tableau 1 - Méthodes d'évaluation du parc routier (d'après [Bourdeau, 1998])

Démarche	Nature	Exemple ou principe
Statistique	Comptage administratif	Fichier central (carte grise), taxe fiscale
	Résultats d'enquête	Parc Auto SOFRES, Enquête de conjoncture INSEE
Modélisation	Modèles agrégés	Taux d'équipement au cours du temps = sigmoïde
	Modèles désagrégés	Taux d'équipement au cours du temps = f(facteurs économiques)
	Modèle démographique	Taux d'équipement au cours du temps = f(facteurs démographiques)
	Modèle de survie	Parc = f(flux d'entrée ; flux de sortie)

Parmi les méthodes de **comptage administratif**, le fichier central automobile apparaît a priori comme étant le plus intéressant dans le contexte français et ce, d'autant plus que la taxe fiscale sur les automobiles a disparu depuis quelques années. Toutefois, le fichier central permet une bonne estimation des entrées de véhicules dans le parc mais il conduit à une sous-évaluation des sorties de véhicules du parc dans la mesure où les véhicules retirés de la circulation ne font pas toujours l'objet d'une déclaration. Lorsqu'un véhicule est nouvellement immatriculé, il lui est systématiquement attribué un certificat d'immatriculation (carte grise) dont les mouvements sont gérés par les préfetures. Toutefois, lorsqu'un véhicule est détruit ou est vendu à l'étranger les cartes grises sont rarement restituées.

Les principaux reproches formulés à l'adresse **des panels et des enquêtes** portent sur :

- l'absence d'exhaustivité vis-à-vis des véhicules mais aussi des individus ;
- le caractère ponctuel de la démarche qui est susceptible d'amener un oubli ou une déformation des renseignements par les personnes enquêtées ; celui-ci rend surtout caduque toute perspective de projection de la situation à long terme ;
- l'hétérogénéité des différentes classifications de véhicules utilisées par les divers enquêtes ou panels.

Les **modèles agrégés, désagrégés, et démographiques** cherchent tous trois à prédire l'évolution du taux d'équipement des ménages. Ils se distinguent toutefois par le fait que :

- le modèle agrégé est fondé sur le fait que l'évolution du taux d'équipement en fonction du temps suit une courbe sigmoïde symétrique autour du point d'inflexion ;
- les modèles désagrégés vont quant à eux tenter de corrélérer l'évolution du taux d'équipement à un certain nombre de facteurs d'ordre économique comme les salaires par exemple ;
- les modèles démographiques considèrent que les facteurs déterminants pour le taux d'équipement des ménages ne sont plus seulement d'ordre économiques mais également démographiques (générations, âges, sexes...).

Dans le cas du **modèle de survie**, l'étude porte directement sur les conséquences du taux d'équipement des ménages sur le volume et la structure du parc statique. Dans ce modèle on cherche ainsi à estimer les flux d'entrée dans le parc par l'intermédiaire des immatriculations et les flux de sortie par l'intermédiaire de leur rythme de vieillissement.

Il importe de remarquer que l'utilisation d'un modèle de survie ne permet pas de s'affranchir de données statistiques d'une part, notamment pour l'évaluation des immatriculations et pour l'utilisation des véhicules, et d'informations qui peuvent être issues des modèles précédemment cités d'autre part, afin d'estimer le rythme de vieillissement des véhicules ou d'effectuer des projections à long terme.

En l'absence de méthode de comptage directe satisfaisante¹, l'estimation du parc statique et du parc roulant proposée dans ce document est fondée sur l'utilisation des modèles de survie des véhicules. Les grands principes de cette méthode sont présentés ci-après. La méthodologie, la source des données et les hypothèses utilisées sont ensuite détaillées pour chacune des grandes catégories de véhicules routiers.

2. PRINCIPES DE CALCUL RETENUS POUR L'EVALUATION DU PARC

2.1. Estimation du parc statique

Le parc des véhicules qui circulent sur le territoire français durant l'année A résulte :

- des véhicules neufs immatriculés pendant l'année A ;
- des véhicules d'occasion immatriculés pendant cette même année et n'ayant pas fait l'objet d'une précédente immatriculation sur le territoire national, c'est-à-dire les véhicules importés d'occasion ;
- des véhicules immatriculés pendant les années antérieures, n'ayant pas été mis à la casse et n'ayant pas été cédés à l'étranger.

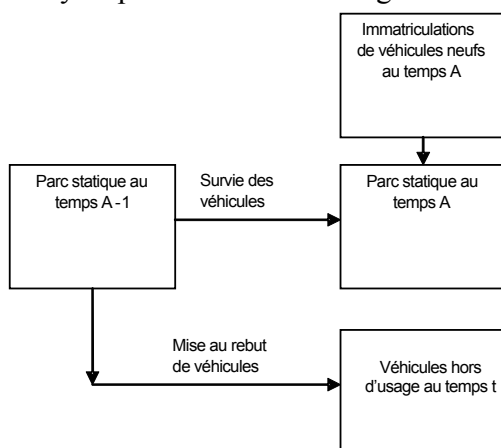


Figure 1 - Parc statique : facteurs d'évolution

Le parc statique de véhicules routiers correspondant à une année donnée est estimé à partir des véhicules neufs immatriculés durant cette année-là (le parc statique de l'année A correspond ainsi à un parc évalué au 31/12/A) et des véhicules neufs immatriculés durant les années antérieures n'ayant pas été mis à la casse et n'ayant pas été cédés à l'étranger.

Les véhicules d'occasion immatriculés durant l'année A et n'ayant pas fait l'objet d'une précédente immatriculation sur le territoire national, c'est-à-dire les véhicules ayant été importés d'occasion, devraient également être comptabilisés comme entrée du parc statique. Toutefois ils constituent un groupe difficile à estimer car mélangés à l'ensemble des véhicules d'occasion. En conséquence, afin d'éviter d'éventuelles doubles comptabilisations, et dans la mesure où on peut supposer que cette part de la flotte reste relativement restreinte par rapport à

¹ Des réflexions et des démarches sont en cours au niveau national pour essayer d'exploiter les données de contrôle technique à des fins de recensement du parc.

l'ensemble des immatriculations de véhicules neufs, ces véhicules seront systématiquement négligés.

Dans la plupart des cas, les données d'immatriculation de véhicules neufs seront extraites du Fichier Central des Automobiles². Mais, afin de pouvoir estimer le parc statique à partir de l'année 1970, il sera nécessaire, compte tenu de la durée de vie maximale des véhicules, de disposer des immatriculations des véhicules neufs à partir des années 40. Les données du Fichier Central Automobile ne permettant pas de remonter de manière satisfaisante aussi loin dans le temps, des projections et hypothèses complémentaires seront faites afin de compléter les jeux de données disponibles. De même, seront effectuées des projections des données d'immatriculation afin de pouvoir estimer le parc futur.

Les lois de survie utilisées pour chaque catégorie de véhicules proviendront de la bibliographie ou, dans le cas des deux-roues, d'une construction *ad hoc* de cette loi.

2.2. Estimation du parc roulant

Le parc roulant est estimé à partir du parc statique en appliquant un coefficient d'utilisation aux véhicules. Ce coefficient correspond au kilométrage moyen parcouru par les véhicules pendant une année.

Ce coefficient d'utilisation varie en fonction de plusieurs paramètres :

- le type de véhicules : une voiture particulière roule davantage qu'une motocyclette ;
- le type de carburant : les diesels sont de plus gros rouleurs que les véhicules essence ;
- la cylindrée : les véhicules de grosse cylindrée, surtout dans le cas des véhicules essence, roulent plus que les petites cylindrées ;
- l'âge des véhicules : l'utilisation des véhicules a tendance à décroître avec leur âge sans doute en raison d'une baisse, réelle ou supposée, de la fiabilité mécanique lorsque l'âge des véhicules augmente et peut-être également du fait du rapport spécifique entre le coût d'investissement et le coût d'usage de ces véhicules.

Le produit du parc statique par le coefficient d'utilisation correspondant à chacune des catégories de véhicules de ce parc fournit une estimation du kilométrage total parcouru par ce parc.

Compte tenu du fait que les émissions unitaires propres à un véhicule varient de manière sensible en fonction du type de voie³ sur laquelle s'effectue le déplacement mais aussi de l'intérêt d'évaluer la répartition du trafic et des émissions en fonction des différents réseaux

² Le Fichier Central des Automobiles est constitué à partir des informations des certificats d'immatriculation (cartes grises) des véhicules transmises par le Ministère de l'Intérieur. Ce fichier a été créé en 1950 et a été géré par l'INSEE jusqu'en 1973. Depuis cette date, le SES du Ministère des transports en assure la maîtrise d'ouvrage.

³ En réalité ces émissions varient en fonction de la cinématique de déplacement mais celle-ci étant difficile à estimer elle est approchée par la caractérisation des voies de circulation en considérant qu'il existe une bonne corrélation entre la cinématique de déplacement et le type de voie empruntée par le véhicule.

rouliers, on cherche ensuite à répartir le kilométrage total parcouru par les véhicules sur les trois types de voie de circulation que sont les voies urbaines, les routes et les autoroutes.

Les fonctions d'utilisation des véhicules utilisées ont, la plupart du temps, été établies à partir d'enquêtes telles que Parc Auto, TRM (Transport Routier de Marchandises) [OEST / Décure, 1995] ou TRV (Transport Routier de Voyageurs) [OEST / Rouxel, 1995].

3. VEHICULES PARTICULIERS

3.1. Définition

Les véhicules particuliers sont destinés à transporter des personnes. Pour l'essentiel, ils recouvrent des voitures de tourisme auxquelles s'ajoutent quelques petits utilitaires légers aménagés en voiture familiale.

Ces véhicules peuvent être classés en de nombreuses catégories en fonction de leurs caractéristiques techniques. Le type de carrosserie, ses dimensions, le nombre de places et/ou de portes, le nombre de corps (2 ou 3), le type de transmission, la puissance réelle du moteur, la puissance fiscale, la cylindrée, le carburant, le prix mais également l'équipement de l'habitacle sont autant de paramètres qui permettent de distinguer les véhicules particuliers en fonction des besoins, qu'ils soient fiscaux, commerciaux ou techniques.

La classification commerciale tient compte en premier lieu de la carrosserie ; on distingue notamment les berlines (voiture « classique » comportant trois, quatre ou cinq portes), les coupés (berlines raccourcie), les breaks (berlines dont le corps arrière est rallongé), les cabriolets (berlines ou coupés décapotables), les pick-up (véhicule découvert sur toute sa partie arrière), les limousines (berlines dont le corps principal est rallongé) et les monospaces. On différencie également les véhicules en fonction de leur train moteur : les tractions avant, les tractions arrière et les quatre roues motrices.

La notion de gamme et de segment est également utilisée par les constructeurs. Les segments, qui sont au nombre de six et s'appliquent aux seuls berlines et breaks, sont définis à partir de l'empattement (distance entre deux essieux), de la puissance réelle et du prix. Les gammes sont au nombre de dix et correspondent aux segments précédents auxquels s'ajoutent les coupés, les cabriolets, les quatre roues motrices et les dérivés de véhicules utilitaires légers.

3.2. Estimation du parc statique

3.2.1. Données et hypothèses

a) Structure du parc de véhicules particuliers

La structure du parc statique qui est attendue dans le cadre de l'utilisation du logiciel Copert III utilisé pour l'estimation des émissions de polluants associé au transport routier est fondée sur trois critères :

- carburant ;
- cylindrée ;
- niveau réglementaire.

Le type de carburant utilisé ainsi que la cylindrée sont des données connues par l'intermédiaire du Fichier Central des Automobiles.

Le niveau réglementaire des véhicules en revanche doit être déduit de l'année de leur première immatriculation. Cette déduction conduit à certaines approximations (Tableau 2 et Tableau 3).

D'une part, la date de mise en application des nouvelles réglementations ne coïncide pas toujours avec le début de l'année ; elle se situait souvent soit aux alentours du mois d'octobre, soit aux alentours du mois de juin ; au cours d'une même année, des véhicules neufs peuvent ainsi respecter la norme Euro I alors que d'autres vont vérifier Euro II. Nous n'avons pas cherché à reproduire ce niveau de précision et nous avons considéré que l'introduction de la norme se faisait au 1^{er} janvier de l'année la plus proche de la date réelle ; par exemple, si la date réelle d'introduction de la norme est le 1^{er} octobre 1997 on considère une introduction au 1^{er} janvier 1998 alors que si cette date est le 1^{er} janvier 2001 on considère une introduction au 1^{er} janvier 2001.

D'autre part, certains véhicules considérés ici comme des véhicules particuliers peuvent être considérés ici du point de vue de la norme d'émission comme des véhicules utilitaires légers. Nous n'avons pas tenu compte de ces cas qui restent assez rares.

Enfin, les textes réglementaires distinguent généralement une date de mise en application pour les nouveaux modèles et une date de mise en application pour les nouveaux véhicules (postérieure à la première lorsqu'elles sont distinguées). Le travail d'identification des nouveaux modèles n'a pas été réalisé compte tenu de son ampleur. En conséquence, seule la date de mise en application de la réglementation pour les nouveaux véhicules a été retenue (on introduit de ce point de vue un effet retard par rapport à la norme).

Les dates d'introduction des normes dans le cas des nouveaux modèles comme dans le cas des nouveaux véhicules ainsi que les dates retenues pour le formatage de notre parc sont rappelées en annexe 1.

Tableau 2 - VP diesel : année retenue pour les niveaux réglementaires (au 1^{er} janvier)

	Diesel < 2 l Diesel > 2 l
Pré-Euro I	1944
Euro I-91/441/EEC	1993
Euro II-94/12/EEC	1997
Euro III-98/69/EC étape 2000	2001
Euro IV-98/69/EC étape 2005	2006
Euro V (post 2005)	2010

Tableau 3 - VP essence : année retenue pour les niveaux réglementaires (au 1^{er} janvier)

	Essence < 1,4 l Essence 1,4 l – 2 l Essence > 2 l
PRE ECE	1944
ECE 15/00-01	1973
ECE 15/02	1981
ECE 15/03	1982
ECE 15/04	1986
Euro I-91/441/EEC	1993
Euro II-94/12/EEC	1997
Euro III-98/69/EC étape 2000	2001
Euro IV-98/69/EC étape 2005	2006
Euro V (post 2005)	2010

b) Immatriculation des véhicules particuliers neufs

La source principale de renseignements concernant les immatriculations de véhicules neufs provient du fichier central des automobiles (cartes grises). Ce fichier est toutefois trop volumineux pour être analysé dans son ensemble.

En revanche, un certain nombre d'organismes produisent des données nationales en effectuant des extrapolations d'un échantillon représentatif de véhicules extrait du fichier central des automobiles :

- Argus de l'Automobile ;
- Observatoire Economique et Statistique des Transports ;
- Comité des Constructeurs Français de l'Automobile ;
- Association Auxiliaire de l'Automobile.

Les immatriculations de véhicules sont suivies et régulièrement comptabilisées en France depuis les années cinquante (1954).

En deçà de cette période, il est nécessaire d'effectuer des hypothèses afin d'estimer les immatriculations de véhicules neufs.

Entre 1954 et 1970, seules les quantités totales d'immatriculations sont connues, tous modèles et tous carburants confondus.

Le tableau ci-après (Tableau 4) précise la source et la structure des données d'immatriculation qui sont utilisées et rappelle les hypothèses effectuées sur les diverses périodes.

Tableau 4 - Données et hypothèses relatives aux immatriculations des VP

Période	Source	Structure	Hypothèses
1944-1954			Croissance linéaire partant de 0 en 1944 pour atteindre la valeur de 1954 pour VP essence Pas de VP diesel
1954-1970	FCA	Tous modèles et carburants confondus	Croissance linéaire des VP diesel de 650 véhicules en 1959 à 6000 véhicules en 1970
1970-1999	FCA	Structure attendue	
1999-2025			Projection linéaire de la tendance des dix dernières années

Les données d'immatriculation futures sont obtenues par projection linéaire de la tendance des moyennes glissantes sur 20 ans des 10 dernières années. Cette projection permet d'obtenir la pente selon laquelle les immatriculations ont évolué au cours des dernières années, abstraction faite des variations ponctuelles de ces données. Cette pente est appliquée à partir de la valeur réelle des immatriculations pour l'année la plus récente connue afin d'obtenir une estimation des immatriculations futures (Figure 2). Ce travail de projection est fait par grande catégorie de véhicules particuliers (cylindrée ; carburant).

Les coefficients de corrélation obtenus sont assez satisfaisants sauf dans le cas des véhicules essence de grande cylindrée où la tendance linéaire représente mal l'évolution passée estimée à partir des moyennes glissantes (coefficients de corrélation : 0,97 pour les Es < 1,4 l ; 0,75 pour les Es 1,4 l – 2 l ; 0,24 pour les Es > 2 l ; 1 pour les D < 2 l et 0,99 pour les D > 2 l).

Lorsque la projection conduit à des nombres d'immatriculation négatifs, on considère alors une valeur nulle d'immatriculation ; c'est par exemple le cas pour les petites cylindrées essence (Figure 2).

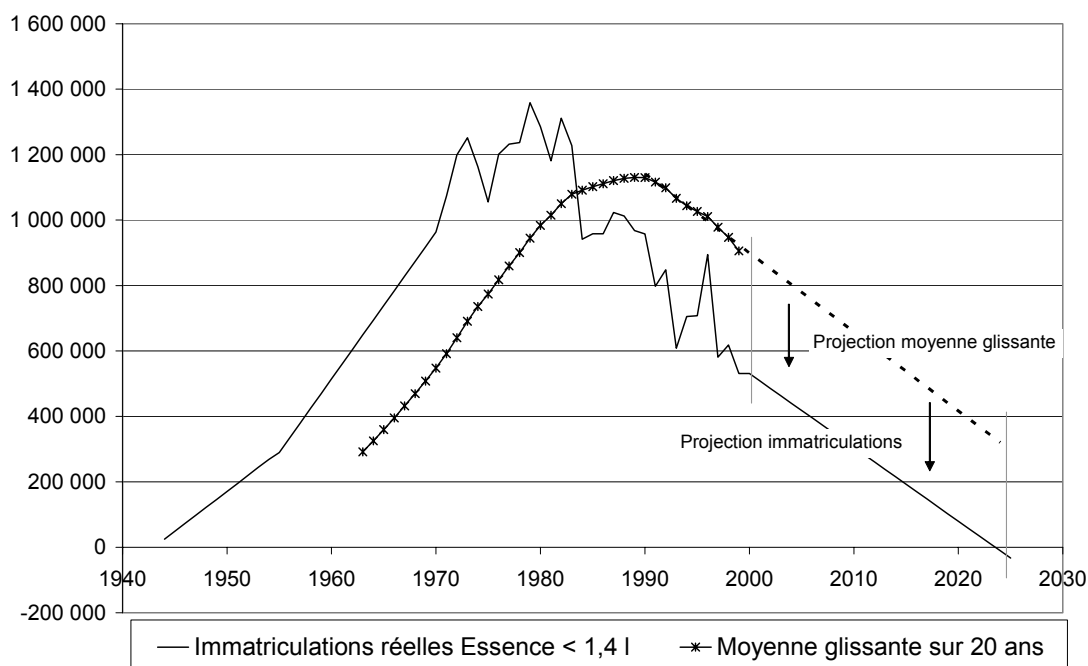


Figure 2 - Valeurs réelles, moyenne glissante et projection des immatriculations de VP Es < 1,4 l

La figure suivante (Figure 3) présente les immatriculations de véhicules particuliers neufs entre 1970 et 2025. Le total des immatriculations est détaillé en fonction du carburant utilisé et de la cylindrée.

On constate que le nombre d'immatriculations est relativement fluctuant d'une année sur l'autre même si au final le nombre total des immatriculations apparaît globalement croissant au cours du temps.

Les immatriculations des véhicules essence de faible cylindrée (<1,4 l) sont en baisse quasi constante à partir du début des années 80. On remarque cependant durant l'année 1996 l'effet de la « prime Juppé » (prime accordée pour la mise à la casse d'un véhicule ancien et l'achat d'un véhicule neuf entre 1994 et 1996) qui se traduit par une hausse importante mais ponctuelle des immatriculations de cette catégorie de véhicules. La projection dans le futur montre une baisse constante de ces véhicules avec une disparition totale après 2022.

Les immatriculations des véhicules essence de moyenne cylindrée (1,4 l – 2 l) sont en légère hausse jusqu'en 1987 puis décroissent jusqu'en 1995 avant d'augmenter à nouveau. On note une légère baisse de cette catégorie de véhicules dans le futur.

Les immatriculations des véhicules essence de grande cylindrée restent assez faibles et constantes au cours de la période étudiée si ce n'est sur les deux dernières années où elles augmentent de façon importante. La projection de cette tendance jusqu'en 2025 montre une très légère augmentation de ces véhicules.

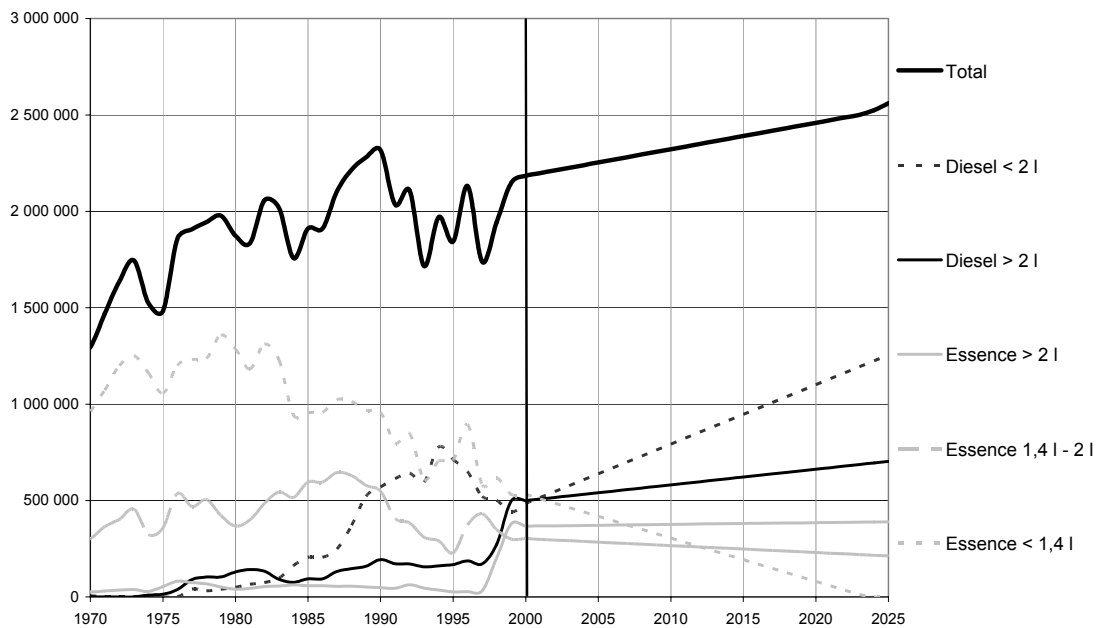


Figure 3 - Immatriculations des véhicules particuliers neufs 1970-2025

Les immatriculations des véhicules diesel de petite cylindrée (< 2 l) et de grande cylindrée (> 2 l) augmentent entre 1970 et 1999. Les immatriculations de petites cylindrées augmentent plus rapidement que celles des cylindrées plus importantes. Toutefois on remarque que cette hausse s'arrête aux alentours de 1997 alors que celle des grosses cylindrées diesel s'accélère au contraire. On observe une très forte augmentation des véhicules diesel de petite cylindrée dans le futur et une augmentation notable des véhicules diesel de grande cylindrée.

c) Survie des véhicules particuliers

La durée de vie maximale des véhicules particuliers se situe aux alentours de 26 ans [Gallez, 1994]. Ceci implique que pour déterminer le parc correspondant à une année donnée, il est nécessaire de connaître les immatriculations de véhicules neufs durant les 26 années précédentes. La durée de vie moyenne des véhicules se situe aux alentours d'une dizaine d'années.

GALLEZ [Gallez, 1994] a établi la forme de la loi de survie suivie par les véhicules particuliers et a estimé les paramètres de cette loi en fonction du carburant et de la gamme des automobiles.

Le coefficient de survie des véhicules âgés de a ans s'exprime par :

$$s_k(a) = 1 - \frac{\phi\left(\frac{\log a - m}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{\log A - m}{\sigma}\right)}$$

ϕ est la loi log-normale,

A représente l'âge limite de survie,

m correspond à l'abscisse du taux de survie médian,

σ mesure la dispersion des durées de vie autour de la valeur médiane et indique la plus ou moins grande rapidité de déclassement des véhicules.

L'utilisation de cette loi permet d'estimer le nombre de véhicules âgés de « a » ans qui sont encore en circulation à partir du nombre de véhicules de cette génération initialement immatriculés ; il suffit pour cela de multiplier l'effectif des immatriculations par la valeur du coefficient de survie correspondant.

Illustration de l'application de la loi de survie

100 automobiles basse gamme immatriculées en 1980

Pour cette catégorie de VP : $m=2,422$; $\sigma = 0,408$; $\ln A = 3,295$

=> $s(10 \text{ ans}) = 0,608$; Il reste donc environ 61 automobiles en 1990 sur les 100 véhicules immatriculés en 1980

En 2000 GALLEZ [Gallez, 2000] a actualisé les valeurs des coefficients de survie des voitures particulières à partir de séries de données plus longues que celles utilisées dans ses travaux précédents [Gallez, 1994].

Les données exploitées proviennent :

- des enquêtes de conjoncture auprès des ménages de l'INSEE pour la période de 1972 à 1994 ;
- du panel Parc Auto Sofres pour la période de 1995 à 1997.

Bien que la segmentation utilisée (Bas de Gamme, Moyenne Gamme, Haut de Gamme) par GALLEZ [Gallez, 2000] soit quelque peu différente de celle utilisée pour notre parc, LACOUR [Lacour, 2002] a proposé d'exploiter ces nouvelles données. Nous reprenons également cette proposition (Tableau 5).

Tableau 5 - Paramètres d'application de la loi de survie des VP

Période	m	σ	Ln A	Source [Gallez, 2000]	Utilisation [Lacour, 2002]
1944-1978	2,469	0,507	3,248	BG Tous carburants 1968-1978	< 1,4 | Essence 1944-1978
	2,194	0,502	3,200	MG Tous carburants 1968-1978	1,4 | – 2 | Essence 1944-1978
	2,226	0,503	3,219	HG Tous carburants 1968-1978	> 2 | Essence 1944-1978
	2,419	0,411	3,314	Diesel 1980-1992	Diesel 1944-1999

1979-2025	2,422	0,408	3,295	BG Tous carburants 1979-1992	< 1,4 l Essence 1978-1999
	2,349	0,407	3,199	MG Tous carburants 1979-1992	1,4 l – 2 l Essence 1978-1999
	2,254	0,557	3,199	HG Tous carburants 1979-1992	> 2 l Essence 1978-1999
	2,419	0,411	3,314	Diesel 1980-1992	Diesel 1944-1999

BG : bas de gamme, MG : moyenne gamme, HG : haut de gamme

L'ajustement des paramètres de la loi de survie, c'est-à-dire l'établissement des valeurs de A , m et σ , est fondée sur l'exploitation des informations recueillies dans les enquêtes de conjoncture auprès des ménages de l'INSEE ainsi que dans le panel Parc Auto. Leur valeur intègre toutes les formes de sortie du parc automobile et *a fortiori* les sorties correspondant à une mise au rebut des véhicules mais aussi à une vente à l'étranger.

3.2.2. Résultat

Le graphique ci-après (Figure 4) présente l'évolution du parc statique de véhicules particuliers entre 1970 et 2025. Il détaille le total du parc de véhicules particuliers en fonction du carburant et de la cylindrée.

De manière générale, on peut remarquer que l'évolution du parc statique est beaucoup plus lissée que l'évolution des immatriculations qui s'avérait très fluctuante d'une année sur l'autre.

On observe une augmentation importante et continue du parc statique entre 1970 et 1990 ; il passe de 11 millions de véhicules environ à 25 millions en 20 ans. Au-delà de 1990 et jusqu'en 2000, le parc statique semble stagner voire décroître légèrement. La projection future montre toutefois une augmentation continue du parc entre 2000 et 2025 ; le parc atteindrait presque 30 millions de véhicules à cette échéance.

Concernant les véhicules essence de petites cylindrées, leur parc statique atteint un maximum aux alentours du début des années 80. La part de ces véhicules sur l'ensemble du parc diminue constamment entre 1970 et 2000. Cette baisse s'accroît dès le début des années 80 (forte baisse des immatriculations des véhicules particuliers essence de petite cylindrée à cette période). Comme dans le cas des immatriculations, la baisse se poursuit de manière régulière dans les années futures. On constate toutefois que, contrairement aux seules immatriculations, les véhicules essence de petites cylindrées n'auront pas disparu du parc en 2025.

La part des véhicules diesel de petite cylindrée augmente de manière constante entre 1970 et 2000 puis entre 2000 et 2025. Ces véhicules étaient quasi absents dans le parc en 1970 et représentent presque 30 % en 2000 et pas loin de 50 % en 2025.

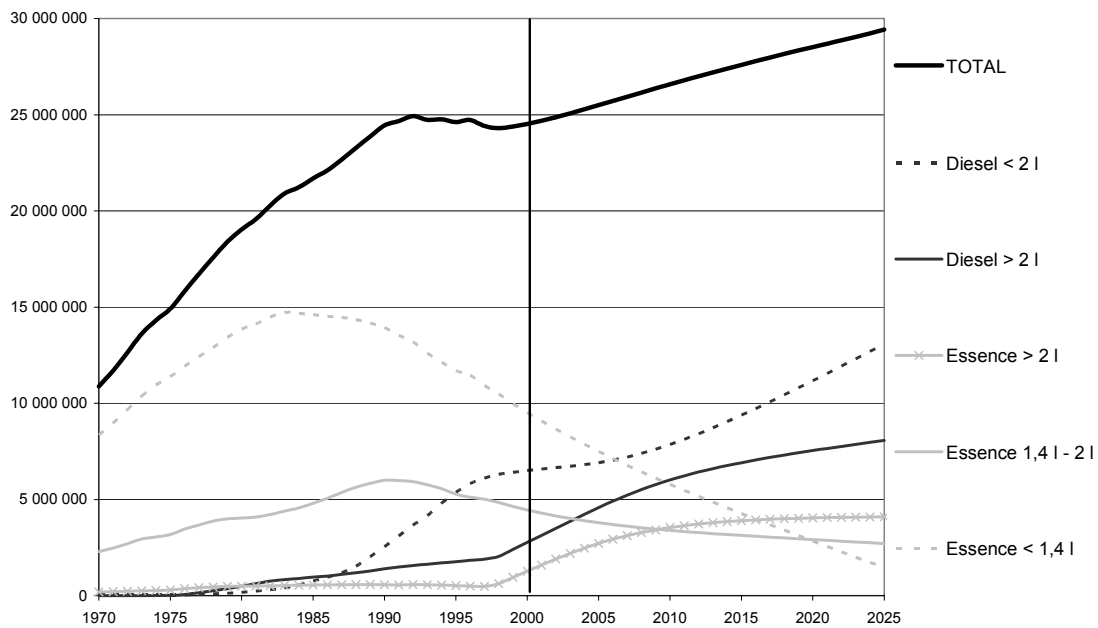


Figure 4 - Parc statique des véhicules particuliers 1970-2025

3.3. Estimation du parc roulant

3.3.1. Données et hypothèses

a) Fonctions d'utilisation

BOURDEAU [Bourdeau, 1998 ; pp. 179-183] a exploité les résultats de l'enquête Parc Auto entre 1985 et 1994 afin d'établir les kilométrages moyens parcourus par les véhicules en fonction du type de carburant utilisé et de leur cylindrée.

Ces premiers résultats ont ensuite été corrigés afin de tenir compte de l'âge des véhicules. Pour ce faire, BOURDEAU s'est appuyée sur les travaux de MADRE [Madre, 1994] et a montré que, sur la période étudiée (avril 1993-avril 1994), l'utilisation des véhicules suit une exponentielle décroissante en fonction de leur âge.

Le kilométrage annuel parcouru par une voiture d'âge i (exprimé en nombre d'années), de cylindrée k et de carburant c suit une loi exponentielle de la forme :

$$km(i, k, c) = g(k) \times km(c) \times f(i) = g(k) \times km(c) \times \exp(-\alpha \times i)$$

La valeur de kilométrage parcouru est cependant plus faible pour la première année de mise en circulation des véhicules ; ceci provient du fait que les véhicules entrent sur le marché de façon progressive à l'échelle d'une année et, qu'en conséquence, au 31 décembre de leur première année de mise en circulation les véhicules neufs ont rarement roulé pendant l'année civile entière.

Tableau 6 - Paramètres de la fonction d'utilisation des véhicules particuliers [Bourdeau, 1998]

	$g(k)$	$km(c)$	$f(i)$
Essence < 1.4 l	0,895	11 500	$\exp(-0.0561 \times i)$ et $f(0) = 0.858$
Essence 1.4 l – 2 l	1,183	11 500	$\exp(-0.0561 \times i)$ et $f(0) = 0.858$
Essence > 2 l	1,252	11 500	$\exp(-0.0561 \times i)$ et $f(0) = 0.858$
Diesel < 2 l	0,994	20 100	$\exp(-0.02488 \times i)$ et $f(0) = 0.858$
Diesel > 2 l	1,030	20 100	$\exp(-0.02488 \times i)$ et $f(0) = 0.858$

On remarque que les fonctions d'utilisation appliquées sont constantes, c'est-à-dire que pour une catégorie de véhicule le kilométrage moyen n'évolue pas au cours de la période étudiée. Suite à des échanges avec L. HIVERT du DEST nous avons pu confirmer cette hypothèse à l'échelle d'une dizaine d'année. En revanche, le kilométrage moyen parcouru par l'ensemble des véhicules particuliers du parc est en augmentation au cours des dernières années ; ceci provient du développement de la motorisation diesel à l'intérieur du parc.

b) Répartition sur les réseaux

En ce qui concerne la répartition des distances parcourues en fonction des trois types de réseau, BOURDEAU a supposé que le coefficient de partage entre la zone urbaine et les routes pouvait être considéré comme stable sur la période visée et pris égal à 35 % pour la période passée et 33 % pour le futur [Bourdeau, 1998 ; pp. 187-189].

Le coefficient de partage entre l'autoroute et les autres réseaux (routier et urbain) a été estimé en supposant un taux de croissance de la circulation sur autoroute équivalent au taux de croissance du réseau autoroutier sur la période passée et un taux de croissance ralenti par rapport à celui du réseau autoroutier (+0,3 % par an au lieu de +0,7 % par an).

Tableau 7 - Répartition du kilométrage des voitures particulières [Bourdeau, 1998]

	Urbain	Route	Autoroute
1970	35 %	62 %	3 %
2020	33 %	39 %	28 %

ANDRE [André, 1999] a par ailleurs effectué un travail de synthèse sur les documents consacrés à l'estimation de la répartition de la circulation sur les trois types de réseaux. Les valeurs auxquelles il aboutit sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 8).

Tableau 8 - Répartition du kilométrage des voitures particulières en France [André, 1999]

	Urbain	Route	Autoroute
Répartition	32 %	46 %	22 %
Vitesse	23 km/h	56 km/h	108 km/h

La modification de l'espace géographique français et notamment le développement des aires urbaines au cours des décennies passées, les changements relatifs au temps de travail, l'évolution des habitudes de consommation, le développement des activités de loisirs sont quelques exemples des facteurs susceptibles d'exercer une influence notable à la fois sur nos habitudes de déplacement mais aussi sur le territoire lui-même et donc sur la place des différents types de réseaux routiers.

Nous avons essayé de cerner plus précisément l'évolution de la répartition du trafic sur les trois types de réseaux en détaillant ces informations en fonction du carburant et de la cylindrée des véhicules particuliers. Comme il n'existe pas de données directes en la matière, nous avons procédé en plusieurs étapes et en faisant un certain nombre d'hypothèses.

Trafic autoroutier

L'estimation du parc roulant sur autoroute entre 1970 et 2025 repose sur l'hypothèse de proportionnalité entre ce parc roulant d'une part et le produit du taux de développement de la longueur du réseau avec le taux de développement de la densité de trafic d'autre part.

Les données de densité de trafic (nombre de véhicules / jour) et de longueur du réseau sur la période 1970-2004 nous ont été personnellement communiquées par l'Association Française des Autoroutes. Ces données sont détaillées année par année sur la période considérée.

Nous avons effectué une régression linéaire puis une projection de la densité de trafic d'une part et de la longueur du réseau d'autre part de manière à couvrir la période 1970-2025. Le coefficient de corrélation entre les données réelles et leur régression linéaire est moyen dans le cas de la densité (0,78) et très bon dans le cas de la longueur du réseau (0,98).

A partir de ces deux séries de données, nous avons estimé le taux de développement correspondant à chacune d'entre elles en prenant l'année 2000 comme année de référence. Puis un taux de développement global de la circulation autoroutière a été estimé en effectuant le produit des deux taux de développement précédents.

Le taux de développement global de la circulation autoroutière a été appliqué au parc roulant autoroutier de l'année 2000, connu par l'intermédiaire des données Parc Auto collectées par le DEST (données détaillées personnellement communiquées par L. HIVERT) pour estimer le parc roulant autoroutier sur la période 1970-2025 (Tableau 9).

Tableau 9 - Evolution des facteurs corrélés à l'augmentation du trafic autoroutier

	1970	2000	2025
Densité de trafic en veh/j*	10 442	20 055	28 961
Longueur du réseau (km)	995	7321	12 595
Taux global	0,07	1	2,48
Parc roulant (10 ⁹ en km)	5,2	73,8	183,4

* mesure sur la largeur de l'autoroute (et non sur une voie)

Les données de trafic qui nous ont été fournies par l'ASFA intègrent l'ensemble du trafic tous types de véhicules confondus. L'exploitation que nous avons faite de ces données repose sur l'hypothèse d'une forte similarité entre le taux d'évolution de la densité du trafic global (tous véhicules confondus) et le taux d'évolution de la densité du trafic de véhicules particuliers. A l'appui de cette hypothèse nous pouvons soulever le fait que le parc de véhicules particuliers constitue la majeure partie du parc routier et qu'en conséquence la densité de trafic global mesuré reflète pour une part majoritaire la densité de trafic des véhicules particuliers. De plus il n'est guère probable que l'évolution de la densité de trafic sur autoroute diverge radicalement selon la catégorie de véhicules qui est considérée.

Les données relatives à la longueur du réseau ne concernent que la longueur du réseau concédé et ne prennent pas en compte le nombre de voies⁴. Concernant le premier point, nous avons supposé que le développement des réseaux concédé et non concédé avait eu une évolution relativement similaire en termes de taux de développement et que, par ailleurs, le réseau non concédé ne représente qu'une part minoritaire de l'ensemble du réseau routier français (sur 10 000 km environ d'autoroutes 3 000 km sont non concédés en 2000). Concernant le deuxième point il n'aurait pas été pertinent de prendre en compte le nombre de voies puisque la mesure de la densité de trafic intègre déjà de manière implicite cette donnée.

Trafic urbain

L'estimation du parc roulant en zone urbaine entre 1970 et 2025 repose sur l'hypothèse de proportionnalité entre ce parc roulant d'une part et le produit du taux de développement de la superficie urbaine avec le taux de développement de la population habitant en zone urbaine.

Les données de superficie urbaine et les données de population urbaine proviennent de l'INSEE et portent sur la période 1990-2000 [INSEE, 2000].

Dans le cas de la superficie urbaine, nous avons réalisé une régression linéaire ($R^2 = 0,99$) de manière à disposer des valeurs annuelles sur toute la période 1990-2000. Dans le cas de la population nous avons appliqué un taux d'accroissement de 4% par an [INSEE, 2000] à partir des valeurs disponibles pour compléter la série de valeurs annuelles sur la période 1990-2000.

⁴ Les données qui distinguent le nombre de voies ne sont disponibles qu'à partir de 1987.

A partir de ces deux séries de données, nous avons estimé le taux de développement correspondant à chacune d'entre elles en prenant l'année 2000 comme année de référence. Une régression linéaire nous a permis de passer dans chacun des cas de la période 1990-2000 à la période 1970-2025 ($R^2 = 0,99$ dans l'un et l'autre cas).

Le taux de développement global urbain a été calculé année par année à partir du produit du taux de développement de la superficie et du taux de développement de la population. Ce taux de développement a été appliqué au parc roulant urbain de l'année 2000, connu par l'intermédiaire des données Parc Auto collectées par le DEST pour estimer le parc roulant urbain sur la période 1970-2025 (Tableau 10).

Tableau 10 - Evolution des facteurs corrélés à l'augmentation du trafic urbain

	1970	2000	2025
Taux de développement de la superficie urbaine	0,75	1	1,21
Taux de développement de la population urbaine	0,85	1	1,12
Taux global de développement urbain	0,64	1	1,35
Parc roulant (en 10^9 km)	75,5	117,4	158,8

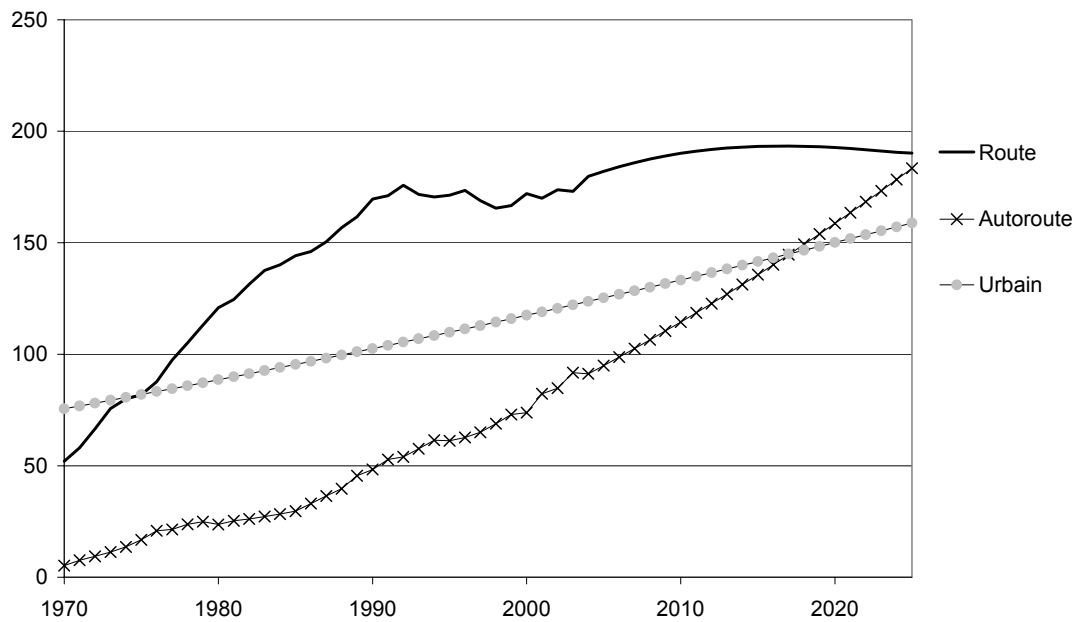
Trafic routier

L'estimation du parc roulant routier est obtenu par soustraction des parcs roulants urbain et autoroutier au parc roulant total.

Tableau 11 – Evolution du trafic routier

	1970	2000	2025
Parc roulant (en 10^9 km)	52	172	190

La figure suivante (Figure 5) représente l'évolution des trafics urbain, routier et autoroutier entre 1970 et 2025.

Figure 5 - Evolution de la répartition du trafic sur le réseau urbain, route et autoroute (en 10^9 km)

Ventilation du trafic par catégories de véhicules particuliers

Nous avons supposé qu'il existait une différence en termes de répartition du trafic sur les trois réseaux selon les catégories de véhicules particuliers. Il est ainsi fort probable que les véhicules de grosses cylindrées soient de plus gros rouleurs que les véhicules de petites cylindrées. Nous avons tenté de refléter ces différences.

La procédure de répartition du trafic de chacun des trois réseaux sur les différentes catégories de véhicules particuliers que nous avons employée est la suivante.

On connaît pour chaque année n entre 1970 et 2025, le parc roulant P_{nX} correspondant à la catégorie X de véhicules particuliers, dont la typologie est la suivante en fonction du carburant et de la cylindrée :

$$\{X\} = \{Es < 1,4 l ; 1,4 l < Es < 2 l ; Es > 2 l ; D < 2 l ; D > 2 l\}$$

Pour chaque année entre 1970 et 2025 on a :

$$P_{nX} = \alpha P_{u_{nX}} + \beta P_{r_{nX}} + \gamma P_{a_{nX}} \text{ et } \alpha + \beta + \gamma = 1 \text{ et } \sum P_{u_{nX}} = P_{u_n}, \sum P_{r_{nX}} = P_{r_n}, \sum P_{a_{nX}} = P_{a_n}$$

$P_{u_{nX}}$: parc roulant urbain de la catégorie X pour l'année n

$P_{r_{nX}}$: parc roulant routier de la catégorie X pour l'année n

$P_{a_{nX}}$: parc roulant autoroutier de la catégorie X pour l'année n

A partir de ces différentes équations nous avons procédé à une optimisation manuelle, année par année des coefficients α , β et γ les plus pertinents. Plusieurs valeurs étant envisageables pour chacun des cas, nous avons retenues les valeurs qui permettaient dans la mesure du possible de vérifier les hypothèses suivantes :

- les grosses cylindrées roulent davantage sur autoroute que les petites cylindrées ;
- les petites cylindrées roulent davantage en zone urbaine que les grosses cylindrées ;
- respect d'une certaine continuité dans l'évolution de α , β et γ sur la période 1970-2025 et en prenant comme point de départ les valeurs connues pour 2000.

A titre d'exemple des résultats obtenus, les figures suivantes présentent l'évolution de la répartition du trafic des voitures particulières diesel de cylindrée supérieure à 2 l.

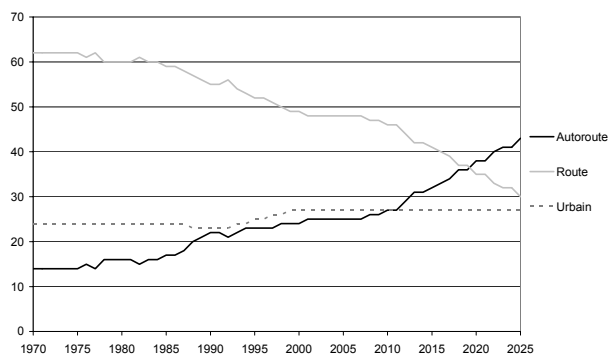


Figure 6 - Répartition du trafic des VP diesel > 2 l en %

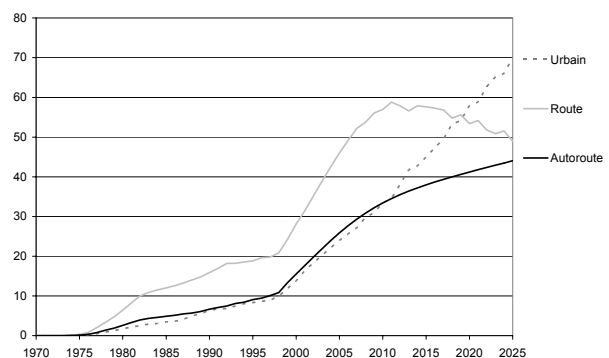


Figure 7 - Répartition du trafic des VP diesel > 2 l en 10^9 km

3.3.2. Résultat

La figure suivante (Figure 8) présente le parc roulant de véhicules particuliers entre 1970 et 2025 : parc roulant total et parc roulant en fonction du carburant et de la cylindrée.

On remarque que le parc roulant augmente d'une manière très continue entre 1970 et 2000. Il passe d'un peu moins de 150 milliards de kilomètres en 1970 à environ 350 milliards de kilomètres en 2000. L'augmentation se poursuit dans le futur et ce jusqu'en 2025.

La part des véhicules essence de petites cylindrées est prépondérante en 1970 mais elle ne cesse de décroître depuis cette date. Elle passe de plus de 70 % en 1970 à moins de 30 % en 2000 et ne représente plus que quelques pourcents en 2025.

A l'inverse, la part des véhicules diesel de petite cylindrée augmente très fortement sur la période considérée. Le kilométrage parcouru par ces automobiles atteint plus de 35 % du kilométrage total parcouru par les véhicules particuliers en 2000 et presque 50 % en 2025.

De manière générale, on observe que la pénétration du diesel sur le marché est plus nette encore à l'échelle du parc roulant qu'à celle du parc statique. Ce phénomène d'amplification provient du fait que les diesels sont de plus gros rouleurs que les véhicules essence.

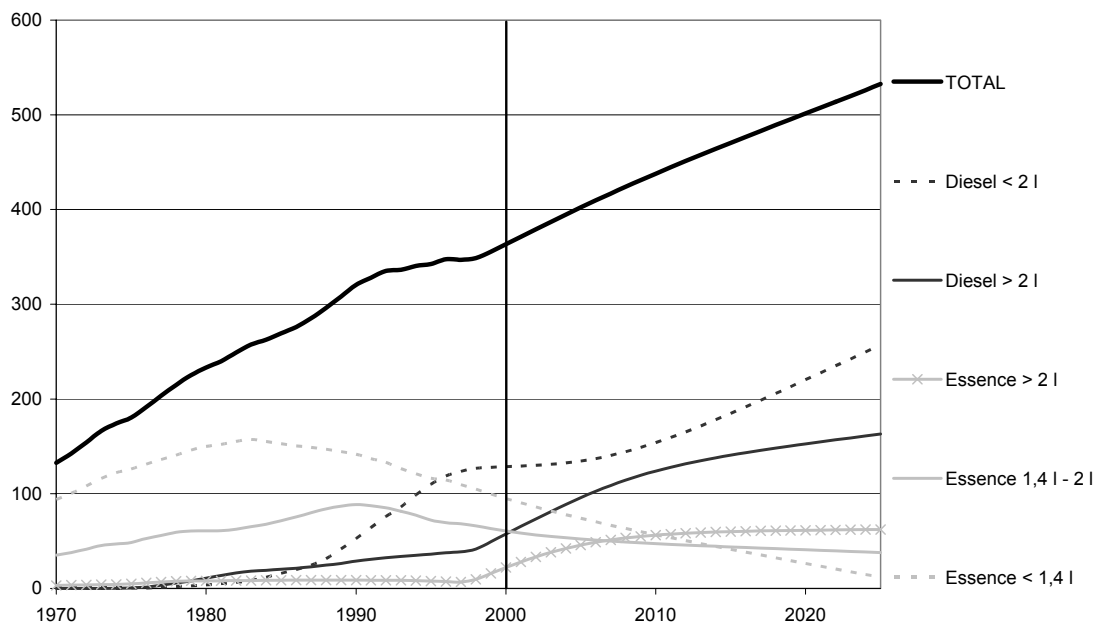


Figure 8 - Parc roulant des véhicules particuliers 1970-2025 (en milliards de km)

3.4. Modélisation sur la base des travaux du SES

Le Service Economique et Statistiques du Ministère de l'Equipement a procédé à une étude sur la demande de transport en France à l'horizon 2020 [SES, 1998]. Cette étude présente quatre scénarios prospectifs d'évolution de la demande de transport ; ces scénarios se distinguent par une volonté plus ou moins grande de limiter le développement du transport routier ; cette volonté est actualisée par l'intermédiaire d'un certain nombre de variables économiques : évolution de la Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers (TIPP), taxation du kérosène, évolution des prix du ferroviaire.... Les différents scénarios étudiés sont :

- Scénario A : poursuite des tendances observées sur les deux décennies 1970 et 1980 ;
- Scénario B : poursuite des inflexions récentes apportées à la politique des transports ;
- Scénario C : amélioration de l'internalisation des coûts externes et du partage modal, sans limitation de la mobilité des voyageurs ;
- Scénario D : rééquilibrage des parts modales, dans la perspective de nos engagements internationaux futurs relatifs à l'effet de serre.

Le scénario B, le scénario le plus plausible à l'heure actuelle, avait été retenu comme base prospective dans le cadre des travaux de LACOUR [Lacour, 2000]. Ce scénario B du SES propose une évolution de la circulation des ménages de 398 milliards de km en 1994 à 683 milliards de km en 2020. Afin d'atteindre le kilométrage total prévu par le SES en 2020

LACOUR a procédé à une projection des immatriculations selon une procédure similaire à celle que nous avons utilisée puis à un ajustement des kilométrages annuels effectués par les véhicules. Cette démarche la conduit à une distance moyenne de 13 915 km/an pour les véhicules essence et 24 321 km/an pour les véhicules diesel en 2020 ce qui représente une augmentation de 21 % du kilométrage annuel moyen parcouru par chacune de ces deux catégories de véhicules entre 2000 et 2020.

De même que LACOUR nous avons également choisi d'étudier les émissions générées par le parc sur la base du scénario prospectif B du SES. Toutefois, suite aux échanges que nous avons pu avoir avec L. HIVERT du DEST et sur la base des résultats des enquêtes Parc Auto nous avons considéré que le kilométrage annuel parcouru par chacune des catégories de véhicules restait constant sur cette période⁵. En revanche, nous avons modifié les coefficients de survie des véhicules de manière à retrouver le kilométrage total du scénario B du SES pour l'année 2020. Cette augmentation des coefficients de survie est par ailleurs cohérente avec les observations effectuées sur le parc dans le cadre des enquêtes Parc Auto (Figure 9 – communication personnelle L. HIVERT).

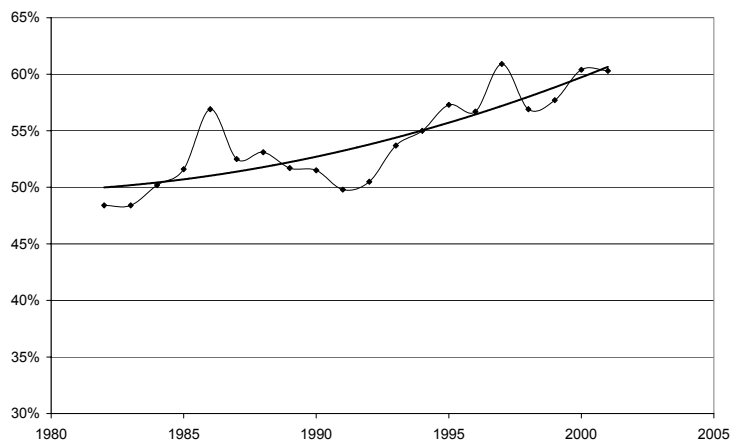


Figure 9 - Proportion du parc de VP d'âge supérieur à 5 ans (données réelles et tendance)

Les figures ci-dessous (Figure 10 et Figure 11) présentent les résultats comparés du parc statique et du parc roulant en l'absence de modification des coefficients de survie d'une part et avec modification des coefficients de survie d'autre part en vue d'atteindre le kilométrage total prévu par le scénario B du SES.

⁵ Le kilométrage annuel moyen sur l'ensemble du parc de VP a tendance à augmenter au cours du temps. Mais cette augmentation provient d'un changement structurel du parc – développement de la motorisation diesel notamment - et non d'une évolution du kilométrage moyen associé aux différentes catégories.

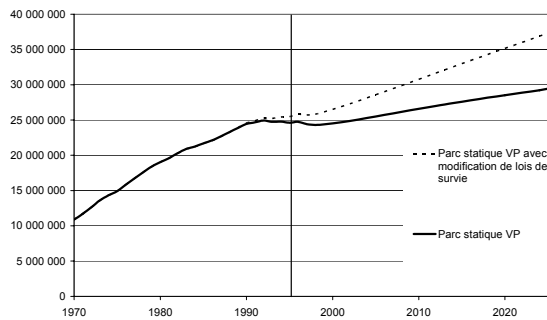


Figure 10 - Parc statique VP avec et sans modification des coefficients de survie

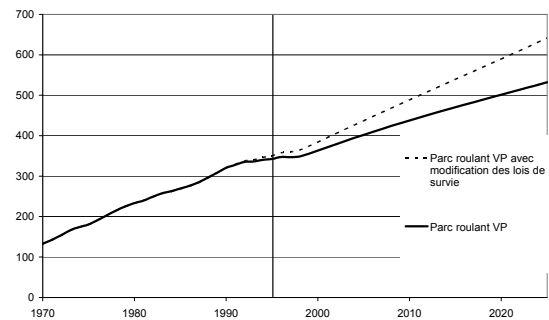


Figure 11 - Parc roulant VP avec et sans modification des coefficients de survie

Les scénarios du SES proposent une évolution de la circulation des ménages. Nous avons effectué une correction des valeurs en 2000 et 2020 fournies par le SES afin de passer de la circulation des ménages à la circulation des voitures particulières. Afin d'effectuer cette correction nous avons simplement appliqué le taux d'accroissement annuel prévu par le SES entre 2000 et 2020 à notre parc roulant de VP de 2000 ; de ce fait lorsque le SES passe de 398 milliards de km en 2000 à 683 milliards de km en 2020, nous passons de 384 milliards de km en 2000 à 600 milliards de km en 2020.

Concernant la modification des lois de survie des véhicules nous avons préféré jouer sur le rythme de déclassement des véhicules plutôt que sur leur durée de vie ; afin d'être conforme aux prévisions de parc du SES, le rythme de déclassement des véhicules est progressivement ralenti sur la période 1978-2025.

La figure suivante (Figure 12) présente une illustration de la modification apportée aux lois de survie : il s'agit de la loi de survie des véhicules particuliers essence de cylindrée comprise entre 1,4 l et 2 l avant et après modification en 2025. On constate que la loi obtenue pour satisfaire les prévisions du SES ne paraît guère crédible ; il faudrait attendre 12 ans avant de voir 10 % des véhicules d'une classe d'âge donnée être déclassés et 18 ans pour que la moitié des véhicules de cette même classe d'âge soit retirée du marché.

Il semblerait que le respect du scénario B du SES doive s'appuyer sur les modifications de plusieurs paramètres pour être crédible : une augmentation des immatriculations de véhicules plus importante que celle que nous avons prévue, un ralentissement de la vitesse de déclassement des véhicules éventuellement accompagné d'une petite augmentation de la durée de vie des véhicules et une augmentation du kilométrage annuel parcouru.

Compte tenu du travail requis pour effectuer ce type de modélisation ainsi que du manque d'informations fiables pour ajuster les différents paramètres de ces scénarios nous n'avons pas poussé plus avant le travail de recouplement entre notre approche et celle conduite par le SES.

Pour la suite de ce travail et notamment pour l'estimation des émissions de polluants nous conserverons l'évaluation du parc VP selon le protocole INRETS précédemment présenté et sans intervention des estimations du SES. Néanmoins cette brève partie consacrée à la mise en regard des résultats obtenus par deux démarches radicalement a été présentée afin de montrer l'intérêt qu'il peut y avoir à coordonner des approches technologiques, telle que la nôtre, et socio-économique, telle que celle du SES afin d'aboutir à des résultats plausibles de part et d'autre.

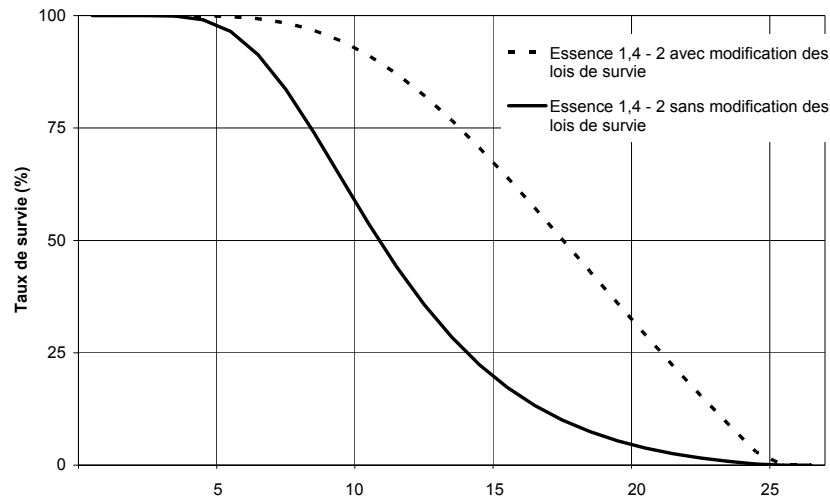


Figure 12 - Survie des VP essence 1,4 - 2 l en 2025 avant et après modification des paramètres

4. VEHICULES UTILITAIRES

4.1. Définition

Les véhicules utilitaires sont les véhicules administrativement définis comme tels par leur carte grise. Ils recouvrent essentiellement des véhicules à vocation économique : déplacements à titre professionnel, transport de marchandises ou de personnes, travail de chantier, services publics...

Compte tenu de la diversité de ces véhicules notamment en ce qui concerne leur taille et leur utilisation, ils sont en général répartis en trois catégories distinctes :

- les véhicules utilitaires légers : ces véhicules sont définis par l'intermédiaire d'un poids total autorisé en charge (PTAC) de 3,5 tonnes au maximum et d'un poids total roulant autorisé (PTRA) de 5 tonnes ;
- les poids lourds : ces véhicules sont définis par un PTRA supérieur à 5 tonnes ; les poids lourds se répartissent eux-mêmes en deux classes selon qu'il est nécessaire ou non de leur atteler une remorque pour effectuer le transport des marchandises ; si

l'ajout d'une remorque est nécessaire, ces véhicules sont des tracteurs et si celle-ci ne s'avère pas nécessaire⁶ il s'agit de porteurs ;

- les bus et les autocars : ces véhicules sont exclusivement dédiés au transport de personnes et doivent comporter plus de dix places.

Ces trois catégories ne sont pas exclusives les unes des autres. Il existe en effet un recouvrement entre les véhicules utilitaires légers et la catégorie des bus et autocars. Certains véhicules, comme les minibus par exemple, affichent un PTAC inférieur à 3,5 tonnes et offrent plus de 10 places pour le transport de passagers. Ces véhicules peuvent donc entrer dans la catégorie des véhicules utilitaires légers comme dans celle des bus et autocars.

Dans le travail d'évaluation du parc de véhicules utilitaires, les véhicules utilitaires légers qui offrent plus de 10 places pour le transport des passagers seront associés aux véhicules utilitaires légers et non aux bus et aux autocars. Ce choix se justifie par le fait que, par la suite, les facteurs d'émission associés aux véhicules utilitaires légers sont les mêmes qu'ils offrent ou non plus de 10 places.

Tableau 12 - Classification des véhicules utilitaires

PTAC < 3.5 tonnes ou PTRV < 5 tonnes		PTAC > 3.5 tonnes et PTRV > 5 tonnes		
Transport de marchandises	Transport de passagers	Transport de marchandises		Transport de passagers
Véhicules utilitaires légers	Minibus	Poids lourds		Bus et autocars
		Remorque nécessaire <i>Tracteur</i>	Remorque non nécessaire <i>Porteur</i>	

4.2. Véhicules utilitaires légers

4.2.1. Estimation du parc statique

a) Données et hypothèses

Structure du parc de véhicules utilitaires légers

La structure du parc statique qui est attendue dans le cadre de l'utilisation du logiciel Copert III est fondée sur deux critères :

- carburant ;
- niveau réglementaire.

⁶ Il est possible d'ajouter une remorque à certains porteurs : ce sont alors des trains routiers.

Le type de carburant utilisé est une donnée connue par l'intermédiaire du Fichier Central des Automobiles.

La méthode employée pour attribuer un niveau réglementaire à un véhicule est identique à celle qui a été explicitée pour le cas des véhicules particuliers (§ 3.2.1.a) p. 10).

Tableau 13 – Véhicules utilitaires légers : année retenue pour les niveaux réglementaires (au 1^{er} janvier)

	Essence
	Diesel
Pré-Euro I	1944
Euro I-93/59/EEC	1995
Euro II-96/69/EEC	1998
Euro III-98/69/EC étape 2000	2001
Euro IV-98/69/EC étape 2005	2006
Euro V (post 2005)	2010

Immatriculation des véhicules utilitaires légers neufs

La source principale de renseignements concernant les immatriculations de véhicules neufs provient du fichier central des automobiles via l'Argus de l'Automobile pour une partie des données et via l'Observatoire Economique et Statistique des Transports pour une autre partie des données.

Les immatriculations des véhicules utilitaires légers sont suivies et régulièrement comptabilisées en France de manière détaillée depuis 1987.

Entre 1977 et 1987, ces véhicules ont été suivis en tant que tels mais non de manière détaillée : on ne connaît pas la répartition entre véhicules essence et véhicules diesel.

Entre 1954 et 1977, les véhicules utilitaires légers étaient recensés avec les véhicules utilitaires dont le fichier ne comportait que trois classes distinctes :

- camions et camionnettes ;
- tracteurs ;
- bus.

Le tableau ci-après précise la source et la structure des données d'immatriculation et rappelle les hypothèses effectuées sur les diverses périodes.

Tableau 14 - Données et hypothèses relatives aux immatriculations des véhicules utilitaires légers

Période	Source	Structure	Hypothèses
1948-1954			Taux de croissance annuel du nombre de VU de la période 1948-1954 assimilé à celui de la période 1954-1970 Extrapolation linéaire du taux de VUL parmi les VU de la période 1977-1983 à la période 1948-1977 Hypothèse de l'absence de VUL diesel en-deçà de 1970
1954-1970	FCA (Argus)	VUL comptabilisés avec les VU (carburants confondus)	Extrapolation linéaire du taux de VUL parmi les VU de la période 1977-1983 à la période 1948-1977 Hypothèse de l'absence de VUL diesel en-deçà de 1970
1970-1977	FCA (Argus)	VUL comptabilisés avec les VU (carburants confondus)	Extrapolation linéaire du taux de VUL parmi les VU de la période 1977-1983 à la période 1954-1977 Différentiation essence / diesel en extrapolant le détail connu pour deux années (1970 ; 1986)
1977-1987	FCA (Argus)	VUL comptabilisés hors VU mais carburants confondus	Différentiation essence / diesel en interpolant le détail connu pour deux années (1970 ; 1986)
1987-1999	FCA (Argus et SES)	Structure attendue	
1999-2025			Projection linéaire de la tendance des dix dernières années

La méthode de projection utilisée pour effectuer les estimations futures est identique à celle employée dans le cas des véhicules particuliers (§ 3.2.1.b) p. 12). Les coefficients de corrélation obtenus lors de la régression linéaire sont très bons et dépassent 0,99 pour les VUL essence et diesel.

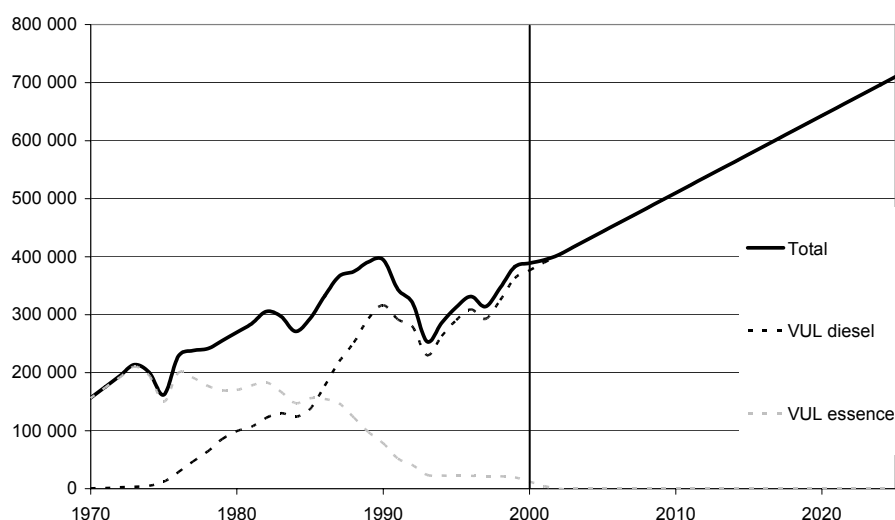


Figure 13 - Immatriculations des véhicules utilitaires légers neufs 1970-2025

Le graphique ci-dessus (Figure 13) présente les immatriculations des véhicules utilitaires légers entre 1970 et 2025 en fonction du carburant utilisé.

On observe des variations assez importantes du nombre d'immatriculations annuel avant 2000 bien que la tendance globale soit croissante. On relève notamment un maximum atteint aux alentours de 1990 ; celui-ci est suivi par une forte décroissance avec un minimum en 1993.

Comme dans le cas des véhicules particuliers, les immatriculations de véhicules utilitaires essence sont en baisse quasi constante depuis 1970 alors que les véhicules diesel augmentent sur cette même période. Le taux de véhicules essence parmi les véhicules utilitaires légers passe de presque 100 % en 1970 à quelques pourcents seulement en 2000.

La projection dans le futur montre une augmentation régulière des véhicules utilitaires légers jusqu'en 2025 avec une disparition des véhicules essence entre 2000 et 2010.

Survie des véhicules utilitaires légers

La durée de vie maximale des véhicules utilitaires est légèrement inférieure à la durée de vie maximale des véhicules particuliers ; elle se situe aux alentours de 22 ans.

L'estimation des coefficients de survie pour les véhicules utilitaires a été réalisée par BOURDEAU sur la base de l'enquête 1991 réalisée par l'OEST auprès des possesseurs de véhicules utilitaires [OEST, 1995]. Cette enquête, menée par l'intermédiaire de 23 000 questionnaires, permet de connaître le parc statique effectif de véhicules utilitaires légers en 1991 et la date d'immatriculation de ces véhicules (1972 étant la première date de mise en circulation prise en compte). A partir de ces données, BOURDEAU [Bourdeau, 1998 ; p. 169] est en mesure de calculer le coefficient de survie, pour 1991, des véhicules utilitaires légers immatriculés entre 1971 et 1991.

La courbe ainsi obtenue présente plusieurs défauts :

- elle ne vaut que ponctuellement pour l'année 1991 ;
- les coefficients dépassent 1 pour les quatre premières années du fait probable d'une différence sur le champ des véhicules utilitaires pris en compte ;
- elle présente une allure irrégulière ;
- elle couvre une période 19 ans alors que les véhicules utilitaires ont une durée de vie maximale estimée à 22 ans.

BOURDEAU a effectué certaines corrections visant à atténuer ces défauts :

- la courbe a été décalée de manière à ramener le premier coefficient de survie à 1 (division des valeurs par 1,09 qui était le coefficient obtenu pour la première année ;
- prolongation linéaire de la courbe au-delà de 19 ans pour atteindre zéro à 23 ans ;

- lissage des irrégularités par calcul des moyennes glissantes sur cinq ans.

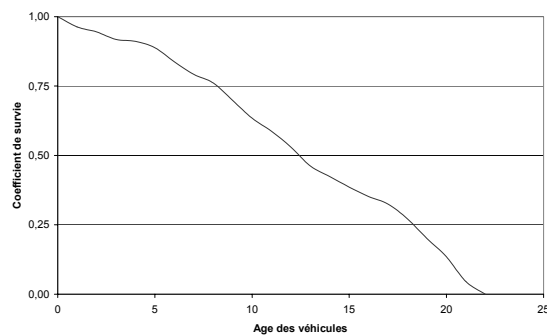


Figure 14 - Courbe de survie des véhicules utilitaires légers

Le graphique ci-contre (Figure 14) représente l'évolution du coefficient de survie des véhicules utilitaires légers en fonction de leur âge, tel que proposé par BOURDEAU et tel que nous l'avons utilisé.

Les valeurs des coefficients de survie correspondantes sont données en annexe 3.

b) Résultat

Le graphique ci-après (Figure 15) présente l'évolution du parc statique de véhicules utilitaires légers entre 1970 et 2025 en fonction du carburant utilisé.

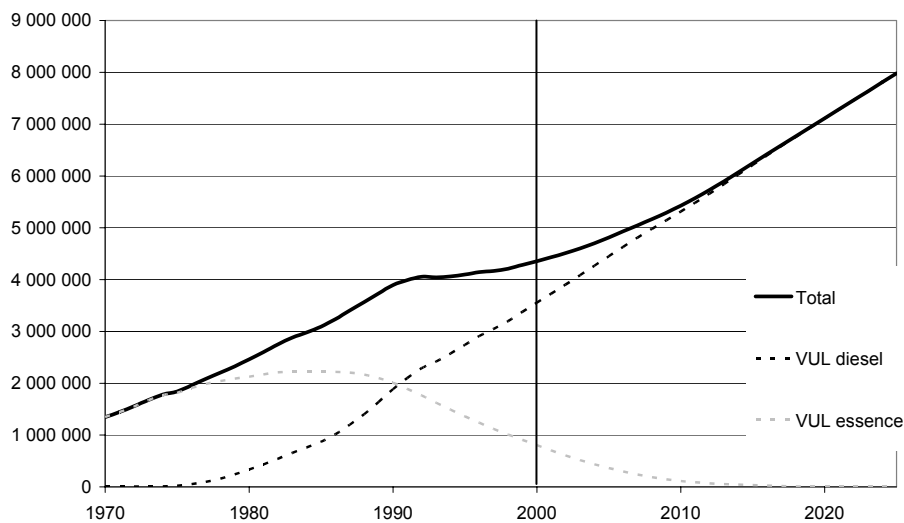


Figure 15 - Parc statique des véhicules utilitaires légers 1970-2025

On observe une augmentation continue du parc statique de véhicules utilitaires légers entre 1970 et 2025.

Le parc des véhicules essence atteint un plateau aux alentours de 1985, c'est-à-dire légèrement plus tardivement que celui atteint par les véhicules particuliers essence de petite cylindrée. A

partir de 1985, le parc des véhicules essence ne cesse de décroître pour atteindre une valeur nulle aux alentours de 2020.

A l'inverse, le parc statique des véhicules diesel ne cesse de croître depuis le milieu des années 70.

4.2.2. Estimation du parc roulant

a) Données et hypothèses

LACOUR [Lacour, 2002] a proposé une fonction d'utilisation des véhicules utilitaires légers dont la forme est similaire à la fonction de survie des véhicules particuliers. Les données de base ayant permis de construire cette fonction ne sont pas rappelées.

Toutefois en l'absence d'autres éléments solides relatifs à cet aspect, nous utilisons la fonction proposée par LACOUR (Tableau 15).

$$km(i, c) = km(c) \times f(i)$$

$$f(i) = 1 - \frac{\phi\left(\frac{i-m}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{I-m}{\sigma}\right)} \quad \text{avec } \phi \text{ la loi log-normale}$$

Tableau 15 - Paramètres de la fonction d'utilisation des véhicules utilitaires légers [Lacour, 2002]

	km(c)	I	i	m	σ
Diesel	27 000	30	1 à 21	4	1,4
Essence	16 000	30	1 à 21	8	3,5

Il importe de noter que dans le cas des véhicules utilitaires, la diminution du kilométrage parcouru annuellement lorsque l'âge du véhicule augmente est amplifiée par un changement de propriétaire lorsque le véhicule vieillit. Les sociétés détiennent une flotte de véhicules utilitaires dont l'âge moyen est relativement bas (5,6 ans) alors que les particuliers détiennent des véhicules beaucoup plus anciens (10,3 ans). Il semblerait donc que les véhicules détenus par les particuliers correspondent de manière assez fréquente à des véhicules d'occasion qui ont été rachetés à des sociétés. Or les sociétés ont une utilisation plus intensive de leurs véhicules qui parcourent 22 600 km/an que les particuliers (11 000 km/an).

Concernant la répartition des kilométrages parcourus par les véhicules utilitaires légers sur les trois types de réseau ainsi que les vitesses de déplacement, BOURDEAU [Bourdeau, 1998] souligne l'absence de données pertinentes en la matière. Compte tenu du fait que les véhicules utilitaires légers correspondent fréquemment à des dérivés de véhicules particuliers, elle suggère d'utiliser les données relatives à cette catégorie de véhicules.

Nous utilisons les vitesses et la répartition proposée dans le cadre des véhicules particuliers afin d'estimer le parc roulant des véhicules utilitaires légers (§ 3.3.1.b) p.19)

b) Résultat

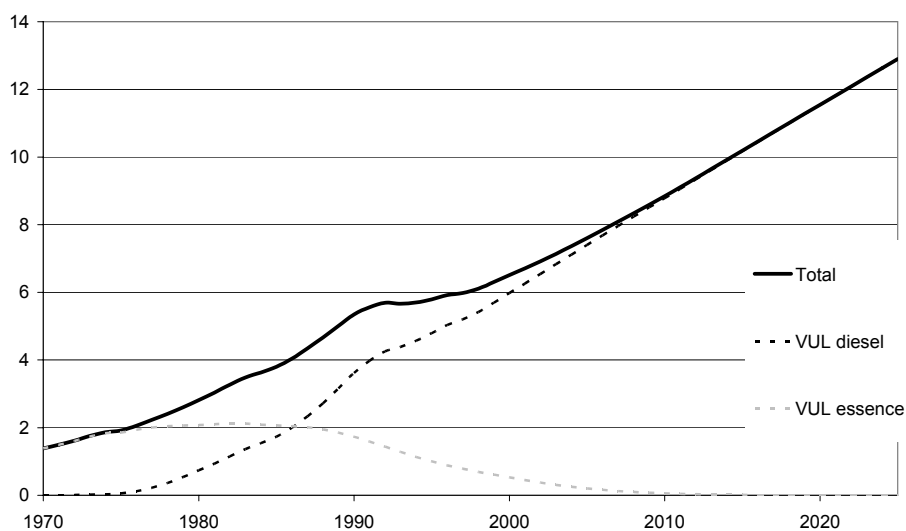


Figure 16 - Parc roulant des véhicules utilitaires légers 1970-2025 (milliards de km)

On constate que l'évolution du parc roulant est très proche de celle du parc statique :

- le parc global augmente de manière continue entre 1970 et 2025 ;
- le parc des véhicules essence atteint un plateau entre 1975 et 1985 puis décroît régulièrement jusqu'à atteindre une valeur nulle aux alentours entre 2010 et 2020 ;
- le parc diesel augmente constamment à partir de 1975.

4.3. Bus et autocars

Les bus et autocars sont des véhicules lourds affectés au transport de passagers. Ils excluent les minibus qui ont déjà été comptabilisés avec les véhicules utilitaires légers (Tableau 16).

Tableau 16 - Classification des véhicules affectés au transport de passagers

Nombre de places	< 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10
Types de places	Assises	Assises	Assises	Assises et debout
Poids	PTAC < 3.5 t et PTRA < 5 t	PTAC < 3.5 t et PTRA < 5 t	PTAC > 3.5 t ou PTRA > 5 t	PTAC > 3.5 t ou PTRA > 5 t
Dénomination réglementation européenne	M1	M2	M3	M3
Dénomination courante	Break (véhicule particulier)	Minibus (véhicule utilitaire léger)	Autocar	Autobus

4.3.1. Estimation du parc statique

a) Données et hypothèses

Structure du parc de bus et autocars

La structure du parc statique qui est attendue dans le cadre de l'utilisation du logiciel Copert III est fondée sur deux critères seulement :

- la distinction entre bus d'une part et autocars d'autre part ;
- le niveau réglementaire.

La méthode employée pour attribuer un niveau réglementaire à un véhicule est identique à celle qui a été explicitée pour le cas des véhicules particuliers (§ 3.2.1.a) p. 10).

Tableau 17 - Structure du parc de bus et autocars

	Bus Autocars
Pré-Euro I	1940
Euro I-91/542/EEC étape 1992	1994
Euro I-91/542/EEC étape 1995	1997
Euro III-99/96/EC étape 2000	2002
Euro IV-99/96/EC étape 2005	2007
Euro V-99/96/EC étape 2008	2010

Immatriculation des bus et autocars

La source principale de renseignements concernant les immatriculations de bus et autocars neufs provient du Fichier Central Automobile via l'Argus de l'Automobile pour une partie des données et via l'Observatoire Economique et Statistique des Transports pour une autre partie.

Les bus et autocars constituent une des trois catégories constituant les véhicules utilitaires ; ils sont suivis depuis 1954 sans qu'une distinction puisse être faite entre ces deux types de véhicules. BOURDEAU [Bourdeau, 1998] n'a pas cherché à différencier ces deux catégories mais LACOUR [Lacour, 2002] a effectué cette distinction sans toutefois indiquer la procédure utilisée. Selon la démarche de LACOUR les bus représenteraient 23 % du total des bus et autocars.

Afin d'affiner les hypothèses de répartition entre bus et autocars nous avons contacté la société Irisbus qui représente un des principaux constructeurs de bus sur le marché français. Ils nous

ont fourni les données d'immatriculation des véhicules lourds affectés au transport de passagers sur la période 1990-2003. Ces données détaillent l'année d'immatriculation, le type de véhicule (bus, bus articulé, DFA, DFC, cars, impérial, midibus, midicar), le carburant utilisé (gazole, gaz naturel) ainsi que le constructeur. Selon l'année considérée les cars représentent entre 60 % et 72 % de l'ensemble des bus et cars avec une moyenne de 65 %.

Tableau 18 - Données et hypothèses relatives aux immatriculations des bus et autocars

Période	Source	Structure	Hypothèses
1941-1954			Taux de croissance annuel du nombre de VU de la période 1941-1954 assimilé à celui de la période 1954-1970 Les bus+autocars représentant 2 % des VU entre 1954 et 1962, ce taux a été conservé pour la période 1948-1954 Hypothèse de l'absence de breaks avant 1950 Bus = 35 % (bus + autocars)
	FCA	La catégorie bus des VU intègre les breaks	Hypothèse de l'absence de breaks avant 1950 puis croissance linéaire sur la période 1950-1970 afin de rattraper la valeur estimée pour 1970 Bus = 35 % (bus + autocars)
1970-1987	FCA	La catégorie bus des VU intègre les breaks	Extrapolation à la période 1970-1987 du taux de breaks mesuré sur la période 1987-1994 Bus = 35 % (bus + autocars)
1987-1994	FCA	La catégorie bus des VU n'intègre plus les breaks qui sont comptabilisés avec les VP	Bus = 35 % (bus + autocars) jusqu'en 1990 et valeur réelle transmise par Irisbus à partir de 1990
1995-1999	FCA	Structure attendue	Répartition bus / cars fondée sur les données réelles Irisbus
1999-2025			Projection linéaire de la tendance des dernières années

Les données d'immatriculation futures sont obtenues par une méthode similaire à celle utilisée dans le cas des véhicules particuliers et des véhicules utilitaires légers. Toutefois, le nombre d'années prises en compte a été ajusté de manière à obtenir une tendance croissante⁷. Les coefficients de corrélation obtenus lors de la régression linéaire sont acceptables : 0,93 dans le cas des bus et 0,85 dans le cas des autocars.

⁷ La projection sur la base des dix dernières années selon la même méthode que dans le cas des véhicules particuliers fournissait de bonnes tendances du point de vue mathématique (coefficient de corrélation supérieur à 0,97). Toutefois les tendances qui se dégagèrent ont été contestées par des spécialistes du domaine (CERTU et UTP notamment) dans la mesure où ces tendances montraient une baisse notable des immatriculations de bus dans le futur. Les politiques actuelles étant plutôt volontaristes en matière de transport en commun, nous avons retenu le nombre maximal d'années (soit 7 ans) qui nous fournissait une tendance à l'augmentation des immatriculations.

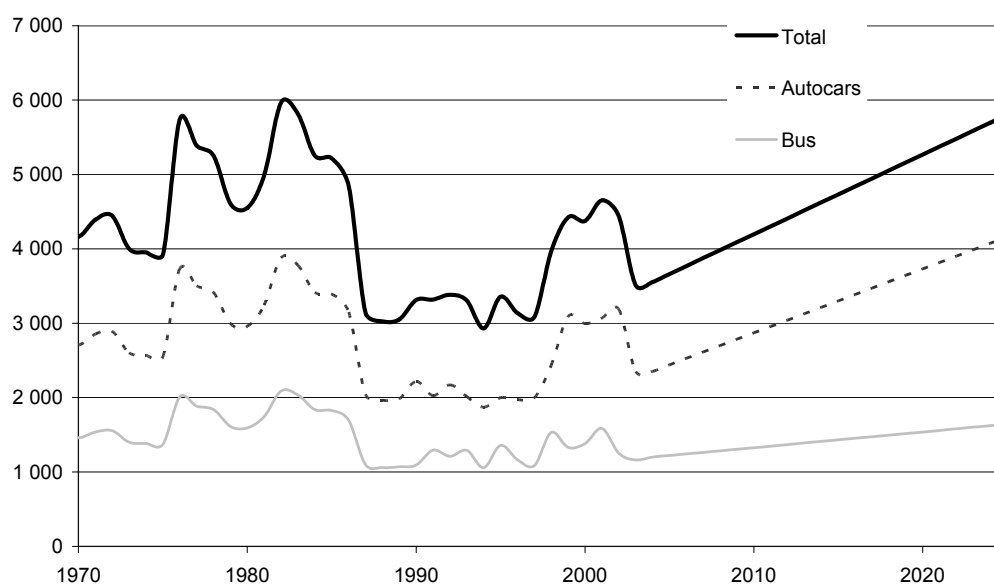


Figure 17 - Immatriculation des bus et des autocars 1970-2025

On constate une fluctuation importante des immatriculations de bus et d'autocars entre 1970 et 2000. Deux pointes maximales sont atteintes en 1976 et en 1982 (3 ans après les deux chocs pétroliers).

Survie des bus et autocars

L'estimation des coefficients de survie des bus et autocars a été réalisée par BOURDEAU [Bourdeau, 1998 ; p. 173] sur la base des résultats de l'enquête TRV⁸ de 1994 [OEST/Rouxel, 1995] effectuée par l'OEST auprès des entreprises effectuant du transport en commun de voyageurs via le réseau routier. Du fait de l'absence de distinction entre bus et cars dans les données exploitées par BOURDEAU, les rythmes de vieillissement de ces deux catégories n'ont pas été distingués.

Le cadre de cette enquête est notamment défini par le fait que seuls les véhicules dont l'âge est inférieur à 25 ans sont pris en compte. Du fait de cette limite, les résultats ne devraient pas permettre d'estimer les coefficients de survie des véhicules ayant dépassé cet âge limite. Toutefois, BOURDEAU a considéré que le taux de survie estimé pour les véhicules âgés de 25 ans s'avérait trop élevé pour que cet âge corresponde à leur âge maximal. Sur la base de cette considération elle a extrapolé la courbe de survie au-delà de 25 ans de façon à atteindre un

⁸ L'enquête TRV a pour objectif de mesurer le transport de voyageurs par autobus et autocars. Elle est effectuée par sondage à partir du fichier central des automobiles auprès des véhicules de moins de 26 ans qui comportent 10 places assises et plus. Le champ de l'enquête TRV exclut les autobus de la RATP et le autobus de province qui sont couverts par d'autres sources [SES, 2001] ; les autobus de la RATP représente une part importante du parc français, il conviendra d'interpréter prudemment toute extrapolation des résultats TRV à l'ensemble du parc français.

taux de survie nul « en respectant un rythme de vieillissement raisonnable »⁹ ; l'âge maximal déterminé par le biais de cette extrapolation est de 29 ans.

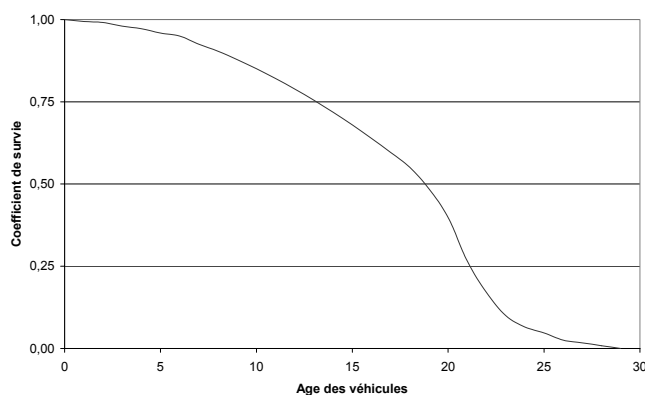


Figure 18 - Courbe de survie des bus et autocars

Le graphique ci-contre (Figure 18) représente l'évolution des coefficients de survie des bus urbains et autocars en fonction de leur âge. Nous reprenons par la suite ces valeurs établies par BOURDEAU.

Les valeurs des coefficients de survie correspondant sont données en annexe 4.

Résultat

Le graphique ci-après (Figure 19) représente l'évolution du parc statique de bus et autocars entre 1970 et 2025.

On observe une augmentation importante du parc statique de bus et d'autocars jusqu'aux alentours de 1985. Au-delà de cette date, le parc décroît de manière continue jusqu'aux années 1995 puis augmente à nouveau jusqu'en 2025. La technique de projection utilisée montre ici sans doute ses limites ; on s'attendrait en effet à ce que les politiques volontaristes en matière de transport en commun, qui devraient encore se trouver renforcé au cours des années à venir du fait du problème de l'effet de serre, conduisent à une forte augmentation du parc statique des bus d'ici à 2025 ; mais celles-ci n'apparaissant guère dans les tendances passées, leur effet ne peut être que mal reflété par la technique de projection. Ainsi on constate que le parc statique de bus augmente relativement peu entre 2005 et 2025.

⁹ La notion de « rythme de vieillissement raisonnable » n'est pas précisée. Il est probable que celui-ci a été apprécié au jugé et en fonction des rythmes de vieillissement connus pour les autres catégories de véhicules.

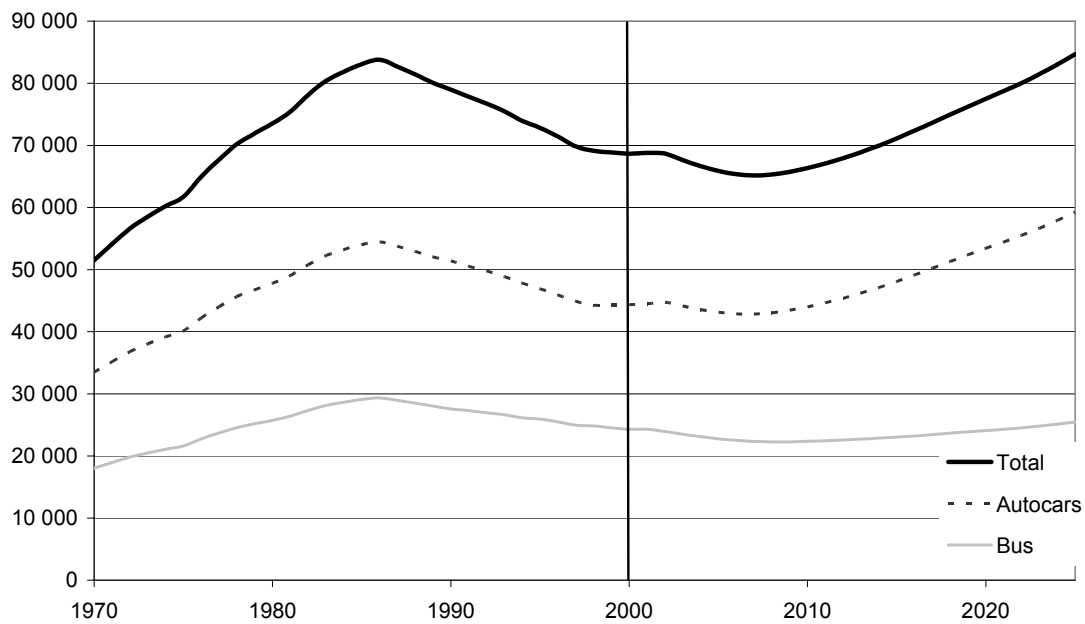


Figure 19 - Parc statique de bus et autocars 1970-2025

4.3.2. Estimation du parc roulant

a) Données et hypothèses

LACOUR [Lacour, 2002] a proposé une fonction d'utilisation des bus et des autocars apparemment construite sur la base de l'enquête TRV. Cette fonction permet de moduler le kilométrage annuel des véhicules en fonction de leur type (bus ou autocars) et en fonction de leur âge.

$$km(i, c) = km(c) \times f(i)$$

$$f(i) = 1 - \frac{\phi\left(\frac{i+1-m}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{l-m}{\sigma}\right)}$$

ϕ est la loi log-normale

Figure 20 - Paramètres de la fonction d'utilisation des bus et autocars [Lacour, 2002]

	km(c)	l	i	m	σ
Bus	55 000	35	1 à 29	3	1
Autocars	55 000	35	1 à 29	7	2,8

LACOUR souligne par ailleurs que l'enquête TRV ne porterait que sur les véhicules effectivement en fonctionnement au moment de l'enquête et exclurait de ce fait les véhicules appartenant au parc statique mais immobilisés pour des raisons diverses (utilisation occasionnelle, maintenance, nettoyage...).

Afin de ne pas procéder à une surestimation du parc roulant, LACOUR propose en conséquence d'appliquer un taux d'immobilisation au parc statique de véhicules établi sur la base de TRV. Les taux d'immobilisation suggérés sont de 30 % pour les autocars et de 15 % pour les bus urbains.

Concernant la répartition des kilométrages parcourus sur les trois types de réseaux, nous repreneons les chiffres proposés par ANDRE [André, 1999].

Tableau 19 - Répartition du kilométrage des bus et autocars en France selon le réseau

		Urbain	Route	Autoroute
Répartition (%)	Bus	92,8	5,9	1,3
	Autocars	28,3	55,3	16,4
Vitesse (km/h)	Bus	18	40	70
	Autocars	20	50	80

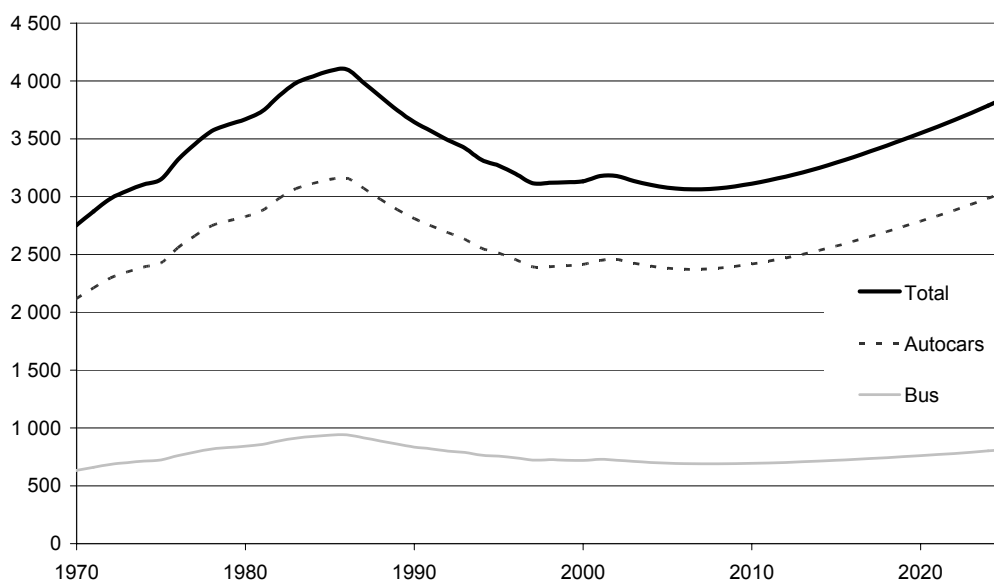


Figure 21 - Parc roulant de bus et d'autocars 1970-2025 (en millions de km)

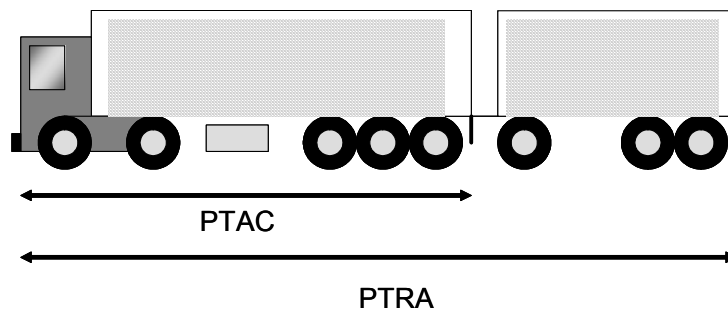
On constate que l'évolution du parc roulant est similaire à celle du parc statique. Le parc global augmente de manière continue entre 1970 et 1985 puis décroît jusqu'aux années 2000

avant d'augmenter à nouveau ; cette évolution est suivie par le parc d'autocars comme par celui des bus urbains.

4.4. Poids lourds effectuant du transport de marchandises

Nous désignerons par poids lourds les poids lourds effectivement affectés au transport de marchandises. Rappelons que cette catégorie comprend à la fois les camions dont l'usage nécessite la mise en place d'une remorque (les tracteurs) et les camions qui ne nécessitent pas de remorque (les porteurs). Du point de vue des émissions de polluants, la distinction entre porteurs et tracteurs ne s'impose pas dans la mesure où les émissions unitaires associées à ces deux catégories de véhicules sont identiques. Cependant, les usages des tracteurs et des porteurs étant pour leur part fortement différenciés, il importe de distinguer entre ces deux catégories de véhicules en vue de l'estimation du parc roulant.

La capacité de transport des poids lourds est estimée soit à partir du poids total autorisé en charge (PTAC) ou du poids total roulant autorisé (PTRA). Le PTAC s'applique aux porteurs ou à la partie porteuse d'un poids lourd alors que le PTRA s'applique aux tracteurs ou à l'ensemble porteur additionné d'une remorque.



4.4.1. Estimation du parc statique

a) Données et hypothèses

Structure du parc de poids lourds

La structure du parc statique qui est attendue dans le cadre de l'utilisation du logiciel Copert III est fondée sur deux critères :

- le poids des véhicules (PTRA ou PTAC) ;
- le niveau réglementaire.

La méthode employée pour attribuer un niveau réglementaire à un véhicule est identique à celle qui a été explicitée pour le cas des véhicules particuliers (§ 3.2.1.a) p. 10).

Tableau 20 - Poids lourds : année retenue pour introduction des niveaux réglementaires

	3,5 - <7,5
	7,5 - <16
	16 - <32
	≥ 32
Pré-Euro I	1946
Euro I-91/542/EEC étape 1992	1994
Euro I-91/542/EEC étape 1995	1997
Euro III-99/96/EC étape 2000	2002
Euro IV-99/96/EC étape 2005	2007
Euro V-99/96/EC étape 2008	2010

Immatriculation des poids lourds

La source principale de renseignements concernant les immatriculations de poids lourds neufs provient du Fichier Central Automobile via l'Argus de l'Automobile pour une partie des données (1954-1995) et via l'Observatoire Economique et Statistique des Transports pour une autre partie (1995-1999) [Bourdeau, 1998 ; p. 85 et p. 103].

Tableau 21 - Données et hypothèses relatives aux immatriculations de poids lourds

Période	Source	Structure	Hypothèses
1948-1954	Pas de données		Taux de croissance annuel du nombre de VU de la période 1948-1954 assimilé à celui de la période 1954-1970 Extrapolation linéaire du taux de VUL parmi les VU de la période 1977-1983 à la période 1948-1977 Extrapolation linéaire du taux de porteurs parmi les VU de la période 1954-1981 à la période 1948-1954 Extrapolation linéaire du taux de tracteurs parmi les VU de la période 1954-1969 à la période 1948-1954
1954-1977	FCA	La catégorie PL des VU intègre des VUL	Extrapolation linéaire du taux de VUL parmi les VU de la période 1977-1983 à la période 1948-1977
1977-1999	FCA	Structure attendue	
1999-2025			Projection linéaire de la tendance des dix dernières années

Les données d'immatriculation futures sont obtenues par la même méthode que dans le cas des véhicules particuliers et des véhicules utilitaires légers (projection linéaire de la tendance des moyennes glissantes sur 20 ans des 10 dernières années). Les coefficients de corrélation obtenus ne sont pas toujours satisfaisants (Tableau 22) notamment pour le cas des porteurs de la catégorie [7,5 - 16 tonnes].

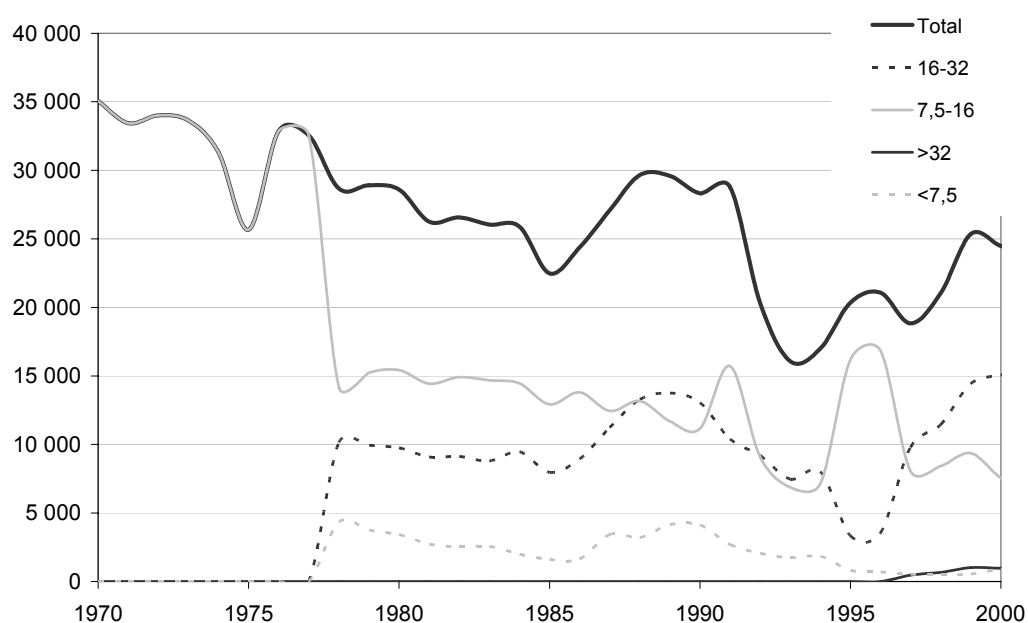


Figure 22 - Immatriculation des porteurs neufs entre 1970 et 2000 selon le tonnage

La figure précédente (Figure 22) présente la répartition des immatriculations de porteurs entre 1970 et 2000. On constate que la répartition entre les différentes classes de poids n'est pas équilibrée ; on a notamment une sous-représentation la classe des camions > 32 tonnes. On remarque en outre les fluctuations importantes de la classe des camions de la catégorie [7,5-16 tonnes] ce qui explique le mauvais coefficient de corrélation obtenu lors de la modélisation linéaire.

Tableau 22 - Coefficients de corrélation de la modélisation linéaire des immatriculations

	Porteurs	Tracteurs
3,5 - <7,5	0,92	0,50
7,5 - <16	0,13	0,83
16 - <32	0,59	0,73
≥ 32	0,52	0,91

Des travaux européens actuels conduits dans le cadre du programme Artemis (COST 346) se proposent de modifier la classification appliquée aux poids lourds de marchandises. Cette nouvelle classification, plus adaptée que l'ancienne aux différents gabarits de poids lourds actuellement en circulation, devrait notamment se différencier dans le cas des porteurs et dans le cas des tracteurs (Tableau 23).

Tableau 23 - Proposition d'une nouvelle classification pour les poids lourds selon le tonnage (Artemis)

Porteurs	< 7,5	[7,5-12[	[12-14[	[14-18[	[18-21[	[21-26[	[26-28[	[28-32[	≥32
Tracteurs	< 28	[28-34[	[34-40[	[40-50[	≥50				

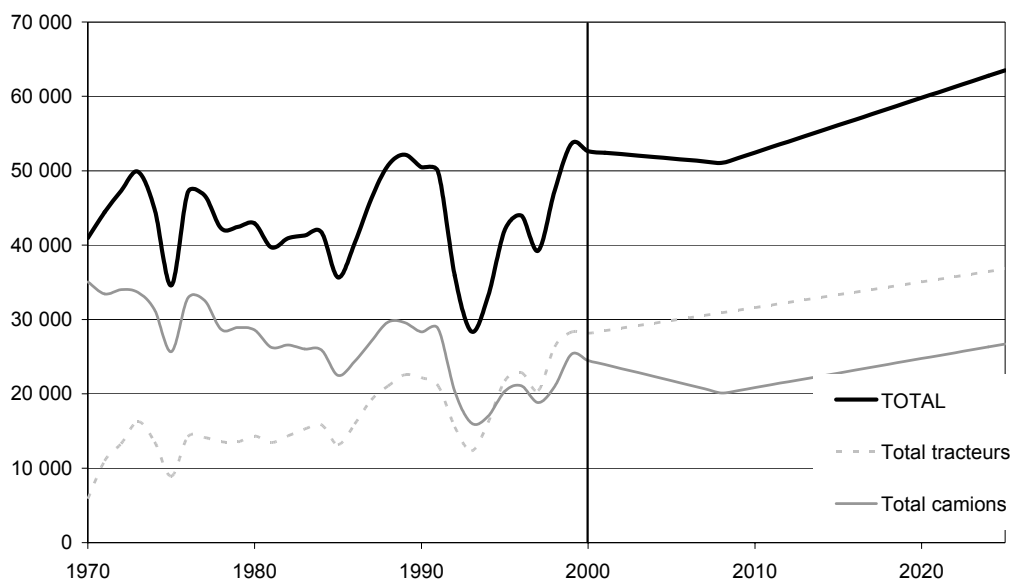


Figure 23 - Immatriculations des poids lourds neufs 1970-2025

Le graphique ci-avant (Figure 23) présente les immatriculations des poids lourds entre 1970 et 2025 en différenciant les porteurs et les tracteurs.

On observe des fluctuations assez importantes du nombre de poids lourds neufs immatriculés entre 1970 et 2000. On note toutefois une tendance à la baisse des immatriculations de porteurs neufs et une tendance à la hausse des immatriculations de tracteurs.

L'évolution future des immatriculations n'est pas linéaire et montre deux périodes :

- une première période au cours de laquelle on relève une baisse des immatriculations globales de poids lourds provenant de la baisse des immatriculations de porteurs alors que les immatriculations de tracteurs sont en augmentation ;
- une seconde période au cours de laquelle l'ensemble des immatriculations de poids lourds est en hausse.

La différenciation entre ces deux périodes provient de la disparition des porteurs dont le poids se situe entre 7,5 et 16 tonnes ; leur nombre diminue progressivement jusqu'à disparaître un peu avant 2010. Comme toutes les autres catégories de porteurs mais aussi de tracteurs sont

soit constantes soit en augmentation jusqu'en 2025, les immatriculations globales ont alors tendance à augmenter dès que les porteurs disparaissent (ce qui explique l'évolution non linéaire des immatriculations globales de poids lourds).

Survie des poids lourds

Les coefficients de survie et la durée de vie maximale diffèrent entre les porteurs et les tracteurs.

Dans le cas des porteurs, l'estimation des coefficients de survie a été réalisée par BOURDEAU [Bourdeau, 1998 ; p.171] sur la base de résultats provenant de l'enquête TRM menée par l'OEST auprès des entreprises détentrices de véhicules utilisés pour le transport routier de marchandises.

Cette enquête porte sur un échantillon de plus de 100 000 véhicules sélectionnés par l'intermédiaire du fichier central des automobiles ; elle concerne les véhicules de plus de 3 tonnes de charge utile et âgés de moins de 15 ans. Un certain nombre de véhicules, dont l'usage est particulier, sont exclus du champ de l'enquête :

- véhicules qui ne sont pas immatriculés dans les séries normales : véhicules militaires et des Domaines ;
- engins à usages spéciaux : engins agricoles, véhicules de travaux publics, véhicules incendie, bennes à ordures ;
- véhicules appartenant à des forains ou à des nomades ;
- tracteurs routiers.

Tableau 24 - Correspondance charge utile et PTAC [Bourdeau, 1998]

Charge utile	3 t – 4,5 t	4,5 t – 6,5 t	6,5 t – 9 t	9 t – 13 t	13 t – 17 t	> 17 t
PTAC	3,5 t – 5 t	5 t – 6 t	6 t – 9 t	9 t – 12 t	12 t – 16 t	> 16 t

Les informations obtenues par l'intermédiaire de cette enquête permettent de connaître le parc statique effectif de porteurs, dans les limites induites par le champ de l'étude, et la date d'immatriculation de ces véhicules.

Les coefficients de survie correspondant à chaque classe d'âge sont calculés par BOURDEAU [Bourdeau, 1998] en transformant tout d'abord les données obtenues sur des véhicules dont la capacité est exprimée en charge utile en données relatives à des véhicules dont la capacité est exprimée en PTAC (Tableau 24). Elle a ensuite effectué le rapport entre le nombre de poids lourds recensés par le parc statique relatif à une classe d'âge donnée et le nombre total

d'immatriculations de véhicules neufs de cette classe d'âge qui avaient été mis sur le marché. La courbe des coefficients de survie obtenue de cette manière présente plusieurs faiblesses :

- elle ne vaut que ponctuellement pour l'année 1991 ;
- les coefficients de survie sont très faibles car le champ pris en compte dans le cas du recensement des immatriculations est plus important que le champ pris en compte dans l'enquête OEST : certains véhicules paraissent ainsi avoir disparus, diminuant ainsi le nombre de survivants ;
- elle présente une allure irrégulière ;
- elle ne couvre qu'une quinzaine d'années alors que les porteurs ont une durée de vie de l'ordre de 25 ans.

Afin de pallier à ces faiblesses, BOURDEAU a effectué plusieurs corrections :

- décalage de l'ensemble de la courbe en ramenant le premier coefficient de survie à 1 (division par 0,824 c'est-à-dire la valeur du coefficient obtenu pour la première année) ;
- prolongation de la courbe au-delà de 14 ans pour atteindre une valeur nulle du coefficient de survie à 25 ans ;
- lissage « manuel » (méthode non explicitée) de la courbe.

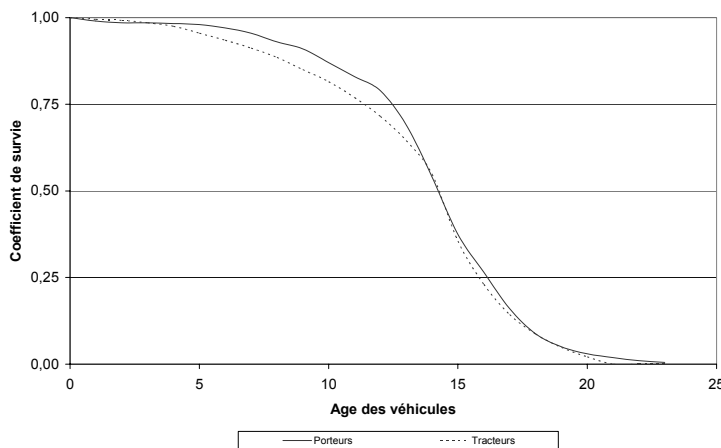
Dans le cas des tracteurs routiers, BOURDEAU [Bourdeau, 1998 ; p.172] s'est appuyée sur des données plus restreintes et provenant de communications personnelles sur la base de documents de l'Association Auxiliaire de l'Automobile [Garrigues, 1996]. Les données exploitées par BOURDEAU concernent le parc statique des tracteurs âgés de moins de 10 ans en 1995.

Les coefficients de survie de ces véhicules ont ensuite été estimés par la même méthode que dans le cas des tracteurs.

La courbe des coefficients de survie ainsi obtenue présente plusieurs faiblesses :

- elle ne vaut ponctuellement que pour l'année 1995 ;
- elle ne couvre qu'une dizaine d'années alors que les tracteurs ont plutôt une durée de vie de l'ordre de 20 ans.

BOURDEAU a procédé à une extrapolation des valeurs des coefficients de survie au-delà de 10 ans en prenant en compte un renouvellement assez rapide des véhicules.



Le graphique ci-contre (Figure 24) représente l'évolution du coefficient de survie des tracteurs et des porteurs en fonction de leur âge.

Les valeurs de coefficients de survie correspondant sont données en annexe 5.

Figure 24 - Courbe de survie des porteurs et des tracteurs

b) Résultat

Le graphique ci-après (Figure 25) présente l'évolution du parc statique de poids lourds entre 1970 et 2025.

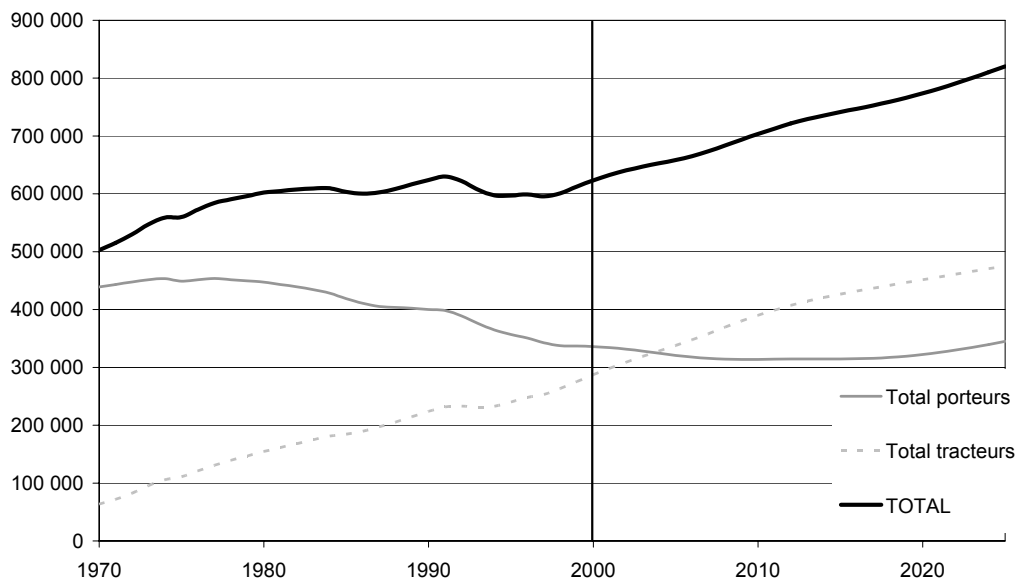


Figure 25 - Parc statique de poids lourds 1970-2025

On observe une augmentation du parc statique de poids lourds entre 1970 et 2025 avec la présence d'un léger palier entre 1980 et 2000.

Cette augmentation provient de l'accroissement du parc statique de tracteurs, le parc statique de porteurs ayant quant à lui plutôt tendance à diminuer. Cette diminution du parc statique de

porteurs provient de la disparition progressive de la classe des porteurs de 7,5 tonnes à 16 tonnes.

4.4.2. Estimation du parc roulant

a) Données et hypothèses

Concernant le taux d'utilisation des véhicules, nous utiliserons les données établies par LACOUR sur la base de l'enquête TRM de 1997 [Lacour, 2002 ; p.37].

Comme dans le cas des bus et des autocars, il est nécessaire de faire intervenir un taux d'immobilisation des poids lourds afin de corriger la différence de champ d'étude entre l'enquête TRM et nos propres travaux.

LACOUR précise que, en toute rigueur, le taux d'immobilisation des véhicules dépend de leur âge et de leur classe de PTAC. Toutefois, elle a seulement procédé à une évaluation de ces taux d'immobilisation en fonction de leur âge. Cette évaluation a été faite en rapportant le nombre de véhicules effectivement en fonctionnement par rapport au nombre de véhicules composant le parc statique pour différentes classes d'âge. Par ailleurs, afin d'obtenir le taux d'immobilisation des véhicules âgés de plus de 15 ans, LACOUR a supposé que la variation du taux d'immobilisation en fonction de l'âge des véhicules suivait une forme fonctionnelle complémentaire à celle des coefficients de survie ; les paramètres de cette fonction ont été déterminés par optimisation par rapport aux données en respectant la contrainte d'âge limite (Tableau 25).

$$Tx_{immobilisation} = 1 - 0,83 \times \left(1 - \frac{\phi\left(\frac{i+1-m}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{I-m}{\sigma}\right)}\right)$$

ϕ est la loi log-normale

Tableau 25 - Paramètres du taux d'immobilisation des poids lourds établis par Lacour [Lacour, 2002]

	l	i	m	σ
Porteurs	26	0 à 23	8	2
Tracteurs	21	0 à 20	3,5	0,925

Les valeurs estimées permettent de calculer un taux d'immobilisation moyen de 35 % environ alors que l'enquête TRM conclut à un taux d'immobilisation de 30 %. La différence entre ces deux estimations se justifie par le fait que le champ de l'enquête TRM ne prend pas en compte les véhicules dont l'âge est supérieur à 15 ans et qui sont des véhicules qui roulent moins que la moyenne.

LACOUR a également estimé le kilométrage annuel parcouru par les véhicules en fonction de leur âge. Cette évaluation est elle aussi fondée sur les résultats de l'enquête TRM qui fournissent le kilométrage annuel des véhicules utilisés pour différentes classes d'âge (Tableau 26).

$$km(i, c) = km(c) \times f(i)$$

Tableau 26 - Paramètres de la fonction d'utilisation des poids lourds [Lacour, 2002]

	Km	f(i)	l	i	m	σ
Porteurs	68 000	$\exp(-0,0766 \times i)$	NC	0 à 23	NC	NC
Tracteurs	100 000	$1 - \frac{\phi(\frac{i+1-m}{\sigma})}{\phi(\frac{l-m}{\sigma})}$	21	0 à 20	2,5	1

Concernant la répartition des kilométrages parcourus par les poids lourds en fonction du type de voirie, nous proposons d'utiliser les données proposées par André [André, 1999] dans lesquelles les différentes catégories de poids lourds font l'objet d'une différenciation en fonction de leur poids mais non en fonction du fait qu'ils soient des porteurs ou des tracteurs.

Tableau 27 - Répartition du kilométrage des poids lourds en France

		Urbain	Route	Autoroute
Répartition en %	3,5-<7,5	48	38	14
	7,5 - <16	50	36	14
	16 - <32	44	40	16
	≥ 32	15	50	35
Vitesse en km/h	3,5-<7,5	20 km/h	50 km/h	80 km/h
	7,5 - <16	20 km/h	50 km/h	80 km/h
	16 - <32	20 km/h	50 km/h	80 km/h
	≥ 32	20 km/h	50 km/h	80 km/h

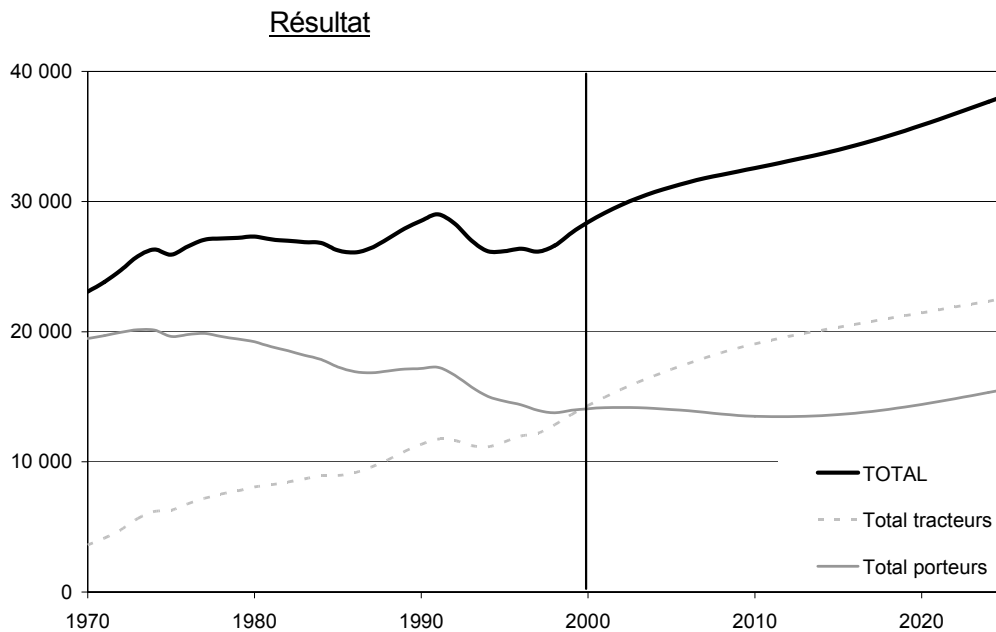


Figure 26 - Parc roulant de poids lourds 1970-2025 (millions de km)

On constate (Figure 26) que l'évolution du parc roulant est très proche de celle du parc statique :

- le parc global augmente entre 1970 et 2025 avec présence d'un plateau entre 1980 et 2000 ;
- le parc de porteurs a plutôt tendance à diminuer alors que le parc de tracteurs est en augmentation constante.

5. DEUX-ROUES

Cette partie du parc routier n'a pas été abordée par BOURDEAU. LACOUR a proposé une méthode d'estimation du parc de motocyclettes [Lacour, 2002 ; pp.45-46]. Cette méthode présentant toutefois un certain nombre de défauts (cf. Annexe 7), nous effectuerons une nouvelle proposition.

5.1. Définition

Dans la législation européenne (92/61/CEE), les deux-roues constituent la catégorie L des véhicules qui est elle-même divisée en cinq classes (Tableau 28).

Tableau 28 - Classification des deux-roues selon la législation européenne (92/61/CEE)

	L1	L2	L3	L4	L5
Nombre de roues	2	3	2	3	3
Vitesse maximale	< 45 km/h	< 45 km/h	> 45 km/h	> 45 km/h	> 45 km/h
Cylindrée			> 50 cm ³	> 50 cm ³	> 50 cm ³
Poids					< 1000 kg
Dénomination	Cyclomoteur	Triporteur	Motocyclette	Triporteur	Triporteur

En France, les véhicules ayant une cylindrée inférieure à 50 cm³ ne sont pas immatriculés : ce sont les cyclomoteurs et une partie des scooters. Les vélomoteurs, motocyclettes et scooters de plus de 50 cm³ de cylindrées sont immatriculés. Par la suite, les deux-roues motorisés qui ne sont pas immatriculés, c'est-à-dire les deux-roues dont la cylindrée est inférieure à 50 cm³ seront désignés par le terme cyclomoteurs ; les autres deux-roues, qui sont immatriculés et dont la cylindrée dépasse 50 cm³, seront désignés par le terme motocyclettes.

La puissance administrative des motocyclettes est directement calculée en fonction de leur cylindrée (Tableau 29).

Tableau 29 - Correspondance entre cylindrée et puissance fiscale des motocyclettes

Puissance fiscale	Cylindrée	Puissance fiscale	Cylindrée
1 CV	≤ 125 cm ³	4 CV	251 – 350
2 CV	126 – 175	5 CV	351 – 500
3 CV	176 – 250	5+n CV	501+n×125

5.2. Motocyclettes

- a) Estimation du parc statique
- b) Données et hypothèses

Structure du parc de motocyclettes

La structure du parc statique qui est attendue dans le cadre de l'utilisation du logiciel Copert III utilisé pour l'estimation des émissions de polluants associé aux deux roues est fondée sur trois critères :

- cylindrée ;
- type de moteur : deux-temps ou quatre-temps ;
- niveau réglementaire.

La cylindrée des motocyclettes est connue par l'intermédiaire des fichiers d'immatriculation. Le type de moteur n'est pas connu. Nous avons ainsi fait l'hypothèse que les motocyclettes dont la cylindrée était inférieure ou égale à 125 cm³ étaient équipées d'un moteur deux-temps et que les motocyclettes de cylindrée plus importante étaient toutes équipées d'un moteur quatre temps.

Le niveau réglementaire des véhicules est déduit de leur première année d'immatriculation par la même méthode que pour les véhicules particuliers (§3.2.1.a) p. 10).

Tableau 30 - Parc de motocyclettes : année retenue pour introduction des niveaux réglementaires

	2 T > 50 cm³ 4 T < 250 cm³ 4 T 250-750 cm³ 4 T > 750 cm³
Pré-Euro I	1955
97/24/EEC étape 1999	2000

Immatriculation des motocyclettes

Concernant les données d'immatriculation des motocyclettes, nous exploitons les données collectées par LACOUR [Lacour, 2002]. Ces données proviennent de l'Observatoire Economique et Statistique des Transports [OEST, 1984....1995], du Service Economique et Statistique [SES, 1997 et 1998] et d'une enquête SOFRES [Filou, 2000]. Ces sources permettent de connaître les immatriculations des deux-roues sur la période 1977-1999. Nous complétons les données de LACOUR à partir d'autres données provenant du SES¹⁰ de manière à couvrir la période 1970-2002.

Tableau 31 - Données et hypothèses relatives aux immatriculations des motocyclettes

Période	Source	Structure	Hypothèses
1955-1970			Réropolation linéaire des données 1970-2002 catégorie par catégorie
1970-1977	OEST	Total des immatriculations	Réropolation linéaire de la répartition des immatriculations totales sur chacune des catégories
1977-2002	OEST et SES	Structure attendue	
2002-2025			Projection linéaire de la tendance 1970-1999

¹⁰ Données transmises par M. MEHEUST de la Prévention Routière

Compte tenu de la durée de vie de ces véhicules, nous avons besoin de connaître les immatriculations de motocyclettes neuves à partir de 1955 et au-delà de 2002. Pour ce faire nous avons effectué une rétroprojection (période précédant 1970) et projection (période succédant à 2002) linéaires de l'ensemble des données dont nous disposons ; la technique d'extrapolation est identique à celle utilisée dans le cas de la projection des immatriculations de véhicules particuliers (§3.2.1.b) p. 12). Les coefficients de corrélation obtenus ne sont pas toujours pleinement satisfaisants (Tableau 32).

Tableau 32 - Coefficients de corrélation de la modélisation linéaire des immatriculations

2-temps > 50 cm ³	0,04	4-temps 250-750 cm ³	1
4-temps < 250 cm ³	0,57	4-temps > 750 cm ³	0,97

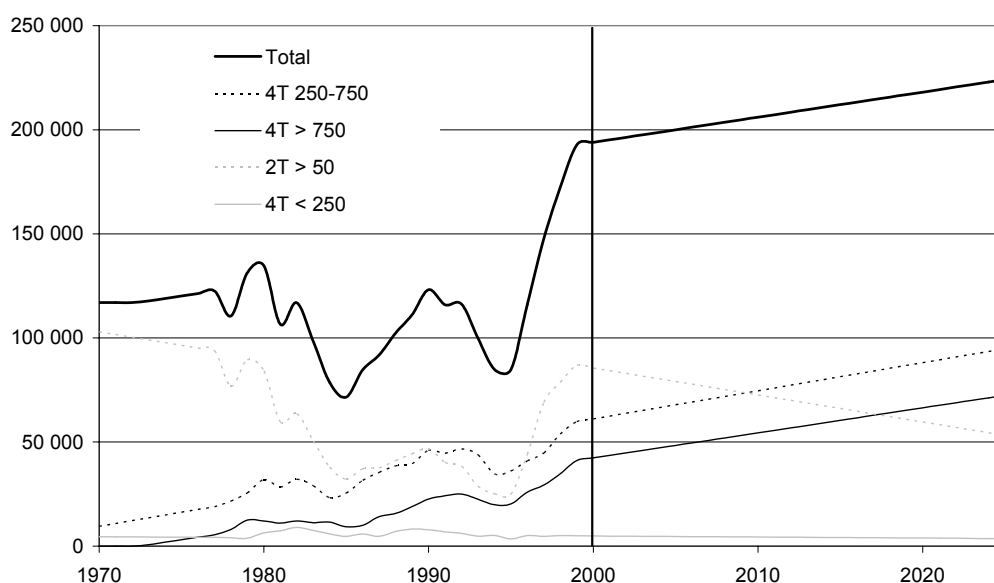


Figure 27 - Immatriculations des motocyclettes neuves 1970-2025

La figure ci-dessus (Figure 27) présente les immatriculations de motocyclettes neuves entre 1970 et 2025 en fonction du type de moteur et de la cylindrée de l'engin.

On observe une fluctuation assez importante des immatriculations totales de véhicules entre 1970 et 2000 avec la présence de deux périodes creuses aux alentours de 1985 et de 1995. Toutefois, le nombre d'immatriculations augmente de manière importante après 1970 puis entre 1995 et 1999. La projection linéaire de l'évolution des immatriculations entre 1970 et 2000 conduit à une augmentation des immatriculations totales de motocyclettes entre 2000 et 2025.

Le détail des immatriculations par cylindrée et par type de moteur montre que les motocyclettes de cylindrée importante (250-750 cm³ et > 750 cm³) ont plutôt tendance à

croître entre 1970 et 2025 ; les immatriculations de petites et moyennes cylindrées dotées d'un moteur à quatre-temps restent globalement constantes et très faibles sur toute cette période ; les immatriculations de petites cylindrées dotées d'un moteur deux-temps diminueraient entre 1970 et 2025 malgré une période de reprise entre 1995 et 2000.

Survie des motocyclettes

Nous proposons d'effectuer une estimation du parc statique de motocyclettes à partir de la construction et de l'exploitation d'une loi de survie spécifique à ces véhicules.

Afin d'estimer la loi de survie des motocyclettes nous faisons l'hypothèse que :

- l'âge maximal des véhicules est de 15 ans ;
- la loi de survie est de forme identique à celles proposées par BOURDEAU (§ 3.2.1.c p.15) dans le cas des autres véhicules soit :

$$s(a) = 1 - \frac{\phi\left(\frac{\log a - m}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{\log A - m}{\sigma}\right)}$$

ϕ est la loi log-normale.

Afin d'estimer les différents paramètres de la loi de survie correspondant aux motocyclettes, nous nous sommes appuyés sur des estimations de parc statique de la bibliographie ; nous avons exploité deux sources différentes :

- une source fournissant une estimation haute du parc statique de motocyclettes, le parc APSAD pour lequel nous avons des données sur la période 1980-1999 [Lacour, 2000] ;
- une source fournissant une estimation basse du parc statique de motocyclettes, le parc CNSM pour lequel nous avons des données sur la période 1990-2001 [Lacour, 2000].

A partir de ces données, nous avons effectué une recherche des paramètres de la loi de survie qui permettent de retrouver ces deux estimations de parc en partant des données d'immatriculation dont nous disposons. L'optimisation des valeurs des paramètres de la loi de survie a été effectuée par ajustement manuel en visant la minimalisation de la somme des carrés des écarts entre le parc statique produit à partir de la loi de survie et le parc CNSM ou le parc APSAD.

La figure ci-dessous (Figure 28) illustre les résultats de la modélisation obtenue dans l'un et l'autre cas. On observe une bonne concordance entre les résultats de la modélisation et les données de parc statique de la bibliographie.

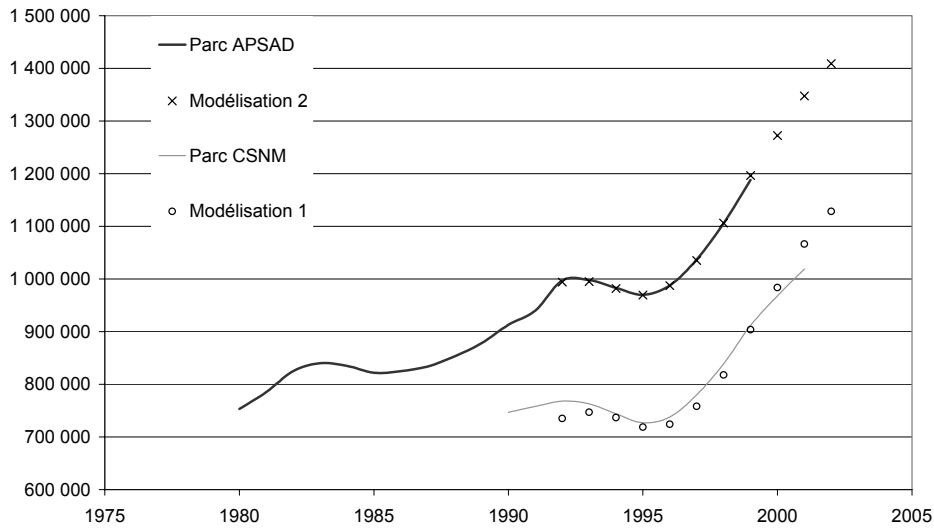


Figure 28 - Modélisation du parc statique de motocyclettes

Le tableau ci-dessous (Tableau 33) présente les coefficients de la loi de survie qui ont été obtenus à partir des parcs CSNM d'une part et APSAD d'autre part.

Tableau 33 - Paramètres de la loi de survie des motocyclettes pour les modélisations APSAD et CSNM

Source visée	m	σ	A
Parc CSNM	1,846	0,224	15
Parc APSAD	2,278	0,424	15

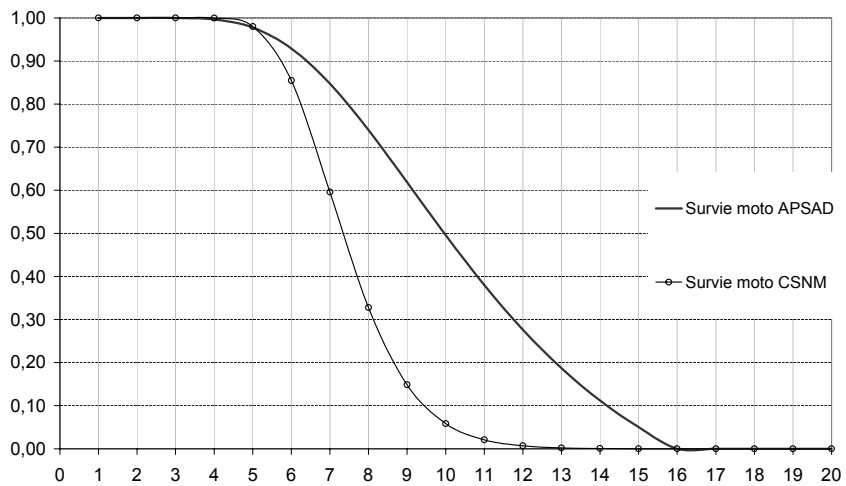


Figure 29 - Lois de survie des motocyclettes estimée à partir des parcs APSAD et CSNM

La figure ci-dessus (Figure 29) présente l'évolution des coefficients de survie des motocyclettes en fonction de leur âge dans le cas de la loi de survie établie à partir des données APSAD d'une part et à partir des données CSNM d'autre part. On constate que le déclassement des motocyclettes est beaucoup plus rapide dans le cas de l'estimation à partir des données CSNM que dans le cas de l'estimation à partir des données APSAD. On observe également que le déclassement des véhicules est, dans les deux cas, quasiment nul jusqu'à un âge de quatre à cinq ans ce qui ne paraît guère plausible dans la réalité.

Les lois de survie obtenues permettent de fournir l'âge moyen et l'âge médian des motocyclettes dans les deux cas :

- parc CSNM : âge moyen 7,3 ans et âge médian 6,3 ans ;
- parc APSAD : âge moyen 10,7 ans et âge médian 9,8 ans.

Afin de départager entre ces deux catégories de résultats, nous nous sommes intéressés à un panel de motocyclettes d'occasion et nous l'avons traité de manière à pouvoir estimer l'âge moyen de ces véhicules.

Le choix du panel de motocyclettes a été effectué sur la base de la disponibilité immédiate des données ainsi que sur la taille et la structure du panel.

Le panel choisi correspond à l'ensemble des véhicules faisant l'objet d'une annonce (en vue de sa vente) sur un site internet consacré aux motocyclettes (http://www.annonces-motos.com/recherche_occasions.htm). Au moment de sa consultation (décembre 2002), le site présentait environ 4500 annonces de motocyclettes d'occasion. Pour chacun des véhicules faisant l'objet d'une annonce, les informations théoriquement disponibles étaient : la marque (ex : Yamaha), le modèle (ex : 1100 XS), le genre (ex : Routière), la cylindrée, le kilométrage et la première année d'immatriculation. Sur l'ensemble des annonces, 4004 se sont révélées exploitables.

Les données ont été traitées en distinguant les catégories suivantes :

- Cylindrée : 50-125 cm³ ; 125 cm³ ; 125-250 cm³ ; 250-750 cm³ ; > 750 cm³ ;
- Genre : scooter, collection, trail, tous terrains, basique, routière, custom, roadster, sportive, non précisé (définition précise des genres donnée en annexe 1).

Le tableau ci-après (Tableau 34) présente la répartition de l'effectif total du panel pour les motocyclettes.

Tableau 34 - Panel de motocyclettes en fonction de leur genre et de leur cylindrée (en %)

	125 cm ³	125-250 cm ³	250-750 cm ³	> 750 cm ³
Scooter	2,1	0,5	0,6	0
Collection	0,3	0,2	0,8	0,8
Trail	3,2	0,2	5,5	2,0
Tous terrains	0,5	1,5	1,9	0
Basique	0,2	0	1,2	0,6
Routière	1,3	0,1	8,6	11,7
Custom	2,9	0,2	1,9	2,6
Roadster	0,5	0,1	10,1	5,1
Sportive	0,9	0,2	9,6	12,5
Non précisé	2,3	0,3	4,0	3,1
Total	14,0	3,3	44,1	38,5

On constate que le panel étudié fournit des échantillons de taille honorable pour les motocyclettes de cylindrée supérieure à 250 cm³ et plus particulièrement pour les sportives, les routières et les roadsters.

Nous avons estimé l'âge des motocyclettes à partir de leur première année d'immatriculation en considérant qu'elles avaient systématiquement été immatriculées en milieu d'année et que nous étions en janvier 2003 (nous avons donc négligé les premiers mois de l'année 2003). Selon cette méthode, on considère qu'un véhicule immatriculé en 2002 est âgé de 0,5 ans et qu'un véhicule immatriculé en 1990 est âgé de 12,5 ans. Le tableau ci-après présente l'âge moyen des motocyclettes par genre et par cylindrée.

Tableau 35 – Age moyen des motocyclettes du panel (en années)

	125 cm ³	125-250 cm ³	250-750 cm ³	> 750 cm ³
Scooter	2,8	3,8	1,7	
Collection	27,3	24	27,6	18,9
Trail	5,4	10,8	8,6	4,7
Tous terrains	6,2	6,0	4,5	
Basique	5,1		5,8	5,4
Routière	7,4	7,7	7,2	6,4
Custom	5,1	7,4	8,9	6,4
Roadster	5,1	5,2	3,7	3,4
Sportive	5,1	5,1	5,2	4,6
Non précisé	4,0	6,7	6,4	5,5
Total	5,3	7,3	6,3	5,4

L'observation des résultats montre l'existence claire de deux groupes de motocyclettes :

- les motocyclettes de collection d'une part dont l'âge dépasse 20 ans ;
- les autres motocyclettes d'autre part dont l'âge oscille entre 3 et 8 ans.

Ces mêmes résultats sont présentés sous forme graphique sur la figure suivante (Figure 30).

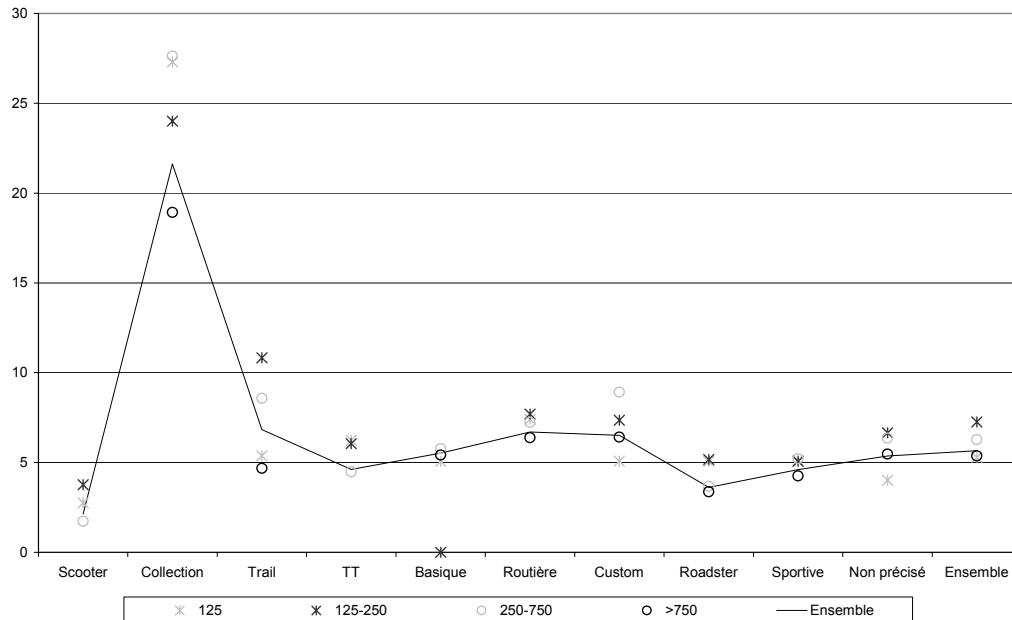


Figure 30 - Distribution de l'âge moyen des motocyclettes du panel

On observe que, dans la majorité des cas, les motocyclettes dont l'âge moyen est le plus élevé sont les motocyclettes dont la cylindrée est comprise entre 125 et 250 cm³ ; il oscille entre 5,2 ans pour les motocyclettes sportives (le cas du scooter > 125 cm³ ne peut être jugé représentatif car il n'est représenté dans le panel que par un seul véhicule) et 10,8 ans pour les trails. A l'inverse, les motocyclettes dont la cylindrée est supérieure à 750 cm³ sont les motocyclettes dont l'âge moyen est généralement le plus faible ; il oscille entre 3,4 ans pour les roadsters et 6,7 ans pour les routières.

Les genres de motocyclettes qui paraissent les plus âgés (motocyclettes de collection mis à part) sont les trails, les routières et les customs. Celles qui semblent les moins âgées sont les roadsters et les scooters.

La comparaison de l'âge moyen des véhicules obtenu sur la base de ce panel avec l'âge moyen des véhicules estimé suite à la modélisation du parc statique sur la base des données APSAD d'une part et sur les données CSNM d'autre part, tendrait plutôt à conforter l'option du parc CSNM qui conduit à un âge moyen de 7,3 ans alors que le parc APSAD conduit à un âge moyen de 10,7 ans.

Il convient cependant d'introduire certaines remarques quant à la représentativité de notre panel par rapport à l'ensemble du parc statique de motocyclettes.

La première réserve concerne la représentativité de chaque classe de genre et de cylindrée des motocyclettes composant le panel par rapport à leur effectif réel au sein du parc statique. Nous avons par exemple constaté que, dans le cadre de notre panel, les motocyclettes les mieux représentées sont les sportives, les routières et les roadsters de plus de 250 cm³ et que les motocyclettes de 125 cm³ ne représentent qu'un peu moins de 14 % du panel. Or l'évolution des immatriculations entre 1970 et 2000 montre que les motocyclettes de 125 cm³ représentent presque la moitié des immatriculations. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer cette distorsion :

- le rapport entre le nombre de motocyclettes de 125 cm³ et le nombre de motocyclettes de plus grosse cylindrée qui ressort de notre panel est effectivement équivalent au rapport entre ces deux classes dans le parc statique ; ceci impliquerait que les motocyclettes de 125 cm³ ont une durée de vie nettement inférieure à celle des motocyclettes de cylindrée plus importante ;
- le rapport entre le nombre de motocyclettes de 125 cm³ et le nombre de motocyclettes de plus grosse cylindrée qui ressort de notre panel est effectivement différent du rapport entre ces deux classes dans le parc statique ; dans ce cas, ceci signifierait simplement que les motocyclettes de 125 cm³ sont moins présentes dans les petites annonces que les motocyclettes de cylindrée plus importantes (les 125 cm³ seraient moins destinées à changer de propriétaire que les motocyclettes de cylindrée plus importantes).

Bien qu'on ne puisse trancher de manière certaine entre ces deux options sans le recours à une estimation détaillée du parc statique, la deuxième hypothèse semble plus plausible que la première. La moindre valeur des motocyclettes de 125 cm³, une utilisation sans doute davantage tournée vers les moments de loisirs (ballades occasionnelles) pourrait expliquer que ces véhicules fassent moins l'objet d'échanges sur le marché de l'occasion.

La deuxième réserve qui peut être énoncée porte sur le fait que les motocyclettes faisant l'objet d'une annonce sur le marché de l'occasion sont des véhicules ayant encore assez de valeur pour présenter un intérêt sur ce marché. Tous les véhicules appartenant au parc statique ne sont plus forcément en état d'être revendus. Ce processus de sélection introduit ainsi un biais entre un panel délimité au sein du marché de l'occasion, tel que celui que nous avons étudié, et le parc statique. En conséquence, on peut penser que l'âge moyen de notre panel constitue probablement une sous-estimation de l'âge moyen des véhicules constituant le parc statique.

A l'inverse le fait que les véhicules neufs ou les véhicules très récents ne soient pas pris en compte dans un panel extrait du marché de l'occasion conduit plutôt à une surestimation de l'âge moyen du parc statique de motocyclettes.

In fine et compte tenu des remarques et constatations précédentes, nous proposons de retenir les paramètres de la loi de survie qui ont été établis sur la base des données du CSNM.

Suite à ces travaux, nous avons également contacté le CSNM d'une part et l'APSAD d'autre part afin d'obtenir davantage d'informations quant aux méthodes employées pour l'évaluation du parc de deux roues.

Dans le cas de l'APSAD¹¹, nous avons appris que le parc de motocyclettes était évalué d'après l'application de la formule suivante :

$$P_n = 0,85 * P_{n-1} + L_{n-1} + I_{n-1} - E_{n-1}$$

P_i : parc durant l'année i ;

L_i : livraisons durant l'année i ;

I_i : importations durant l'année i ;

E_i : exportations durant l'année i .

Les sociétés adhérentes de l'APSAD ne font pas de l'évaluation du parc une de leur priorité ; de ce fait, il n'existe pas de recensement des deux-roues assurés ce qui, hormis les véhicules utilisés mais non assurés, aurait constitué une bonne méthode d'évaluation.

On observe que dans la méthode d'évaluation proposée par l'APSAD, le nombre de véhicules sortant du parc entre les années $n-1$ et n est indépendant de l'âge moyen du parc et correspond simplement à 15 % du parc durant l'année $n-1$.

A l'heure actuelle, l'APSAD ne développe plus sa propre méthode de calcul de parc et a décidé d'utiliser les résultats produits par la méthode du CSNM.

Dans le cas du CSNM¹², le calcul du parc est effectué à partir de la prise en compte de coefficient de survie des deux roues. La valeur de ces coefficients a fait l'objet d'un débat et d'un consensus entre experts ; ces valeurs ont été validées en comparant l'estimation de parc ainsi obtenu avec le parc deux-roues estimé dans le cadre de l'Auto Magazine d'une part et dans le cadre de l'enquête ménage d'autre part. Les coefficients de survie établis par le CSNM sont donnés en annexe 6 ; ils sont identiques pour les différentes catégories de motocyclettes ainsi que pour les cyclomoteurs.

Le graphique ci-après (Figure 31) présente la loi de survie établie par le CSNM et la loi de survie que nous avons précédemment calculée à partir des données CSNM.

¹¹ Communication personnelle avec M. POLLET

¹² Communication personnelle avec M. COMPAGNE, Secrétaire Général du CSNM

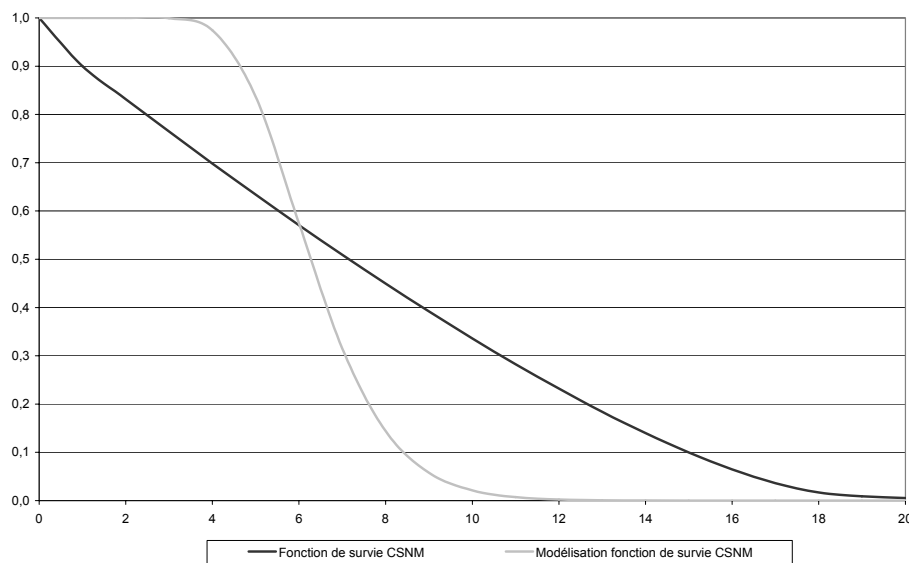


Figure 31 - Motocyclette : loi de survie CSNM et loi de survie modélisée à partir du parc CSNM

On constate que la loi de survie établie par le CSNM correspond à une loi quasi linéaire. L'âge maximal atteint par les véhicules est de 20 ans.

La comparaison entre la loi du CSNM et la modélisation que nous avons réalisée de cette loi de survie à partir du parc CSNM et de la forme générale des lois de survie adoptée dans le cas des autres véhicules fait apparaître des différences assez importantes entre les deux approches :

- le taux de motocyclettes jeunes (< 4 ans) sortant du parc est relativement important dans le cas de la loi CSNM (> 30 %) alors qu'il est quasi nul dans le cas de la modélisation ;
- le taux de motocyclettes dont l'âge est compris entre 4 et 8 ans qui sortent du parc est très important dans le cas de la modélisation (80 % environ) alors qu'il est plus restreint dans le cas de la loi CSNM (20 % environ).

Sur la base de cette observation, il est fort probable que la loi CSNM ait tendance à surestimer les sorties de parc sur les motocyclettes jeunes puis à les sous-estimer par la suite et que notre modélisation procède à l'inverse.

La figure suivante (Figure 32) représente le parc de motocyclettes estimé à partir de la loi de survie de l'APSAD, de celle du CSNM et de notre propre modélisation. Compte tenu de sa forme itérative, la loi de survie APSAD requiert l'utilisation d'un parc constituant un point de départ pour être appliquée ; nous avons utilisé le parc CSNM de 1970 pour cette estimation.

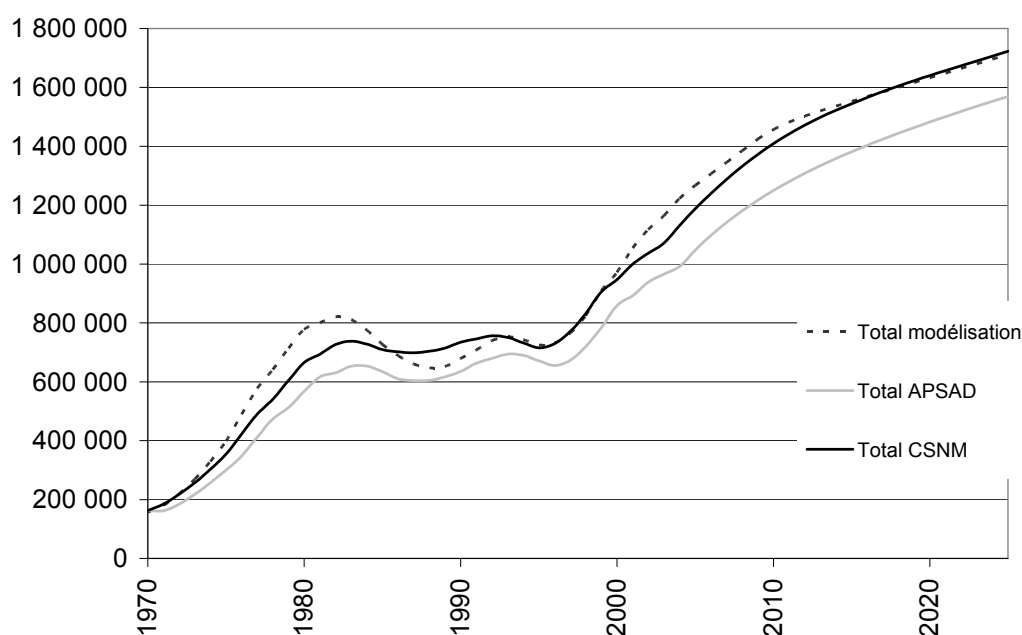


Figure 32 - Motocyclettes : parc statique d'après les lois de survie APSAD, CSNM et modélisation

La figure ci-avant (Figure 32) montre que, malgré leurs différences, les trois lois de survie étudiées produisent des parcs sensiblement équivalents. On constate toutefois que la différence est plus importante entre l'estimation APSAD et les deux autres ; la loi APSAD ayant tendance à sous-estimer le parc par rapport aux deux autres résultats. La loi CSNM et la modélisation que nous avons effectuée produisent des résultats très similaires même s'ils diffèrent quelque peu lorsque le parc varie de manière brusque (phase de croissance avant 1980 et après 2000).

Une analyse plus détaillée de la composition du parc produit par les trois lois montrerait sans doute de plus grandes différences notamment en termes de répartition des véhicules selon leur âge ; par exemple et compte tenu de la forme des lois de survie CSNM et de la loi modélisée on observerait plus de motocyclettes très jeunes (< 4 ans) dans le parc modélisé que dans le parc APSAD mais moins de motocyclettes d'âge moyen (4-8 ans).

Compte tenu des différences relativement minimales entre les trois estimations, de la difficulté de trancher sur leur bien fondé en l'absence de données plus solides, nous choisirons de retenir la modélisation que nous avons effectuée de la loi de survie à partir des données CSNM car sa forme correspond à la forme générale des lois de survie utilisées pour les autres véhicules.

Résultat

Le graphique ci-après (Figure 33) présente l'évolution du parc statique de véhicules particuliers entre 1970 et 2025 en fonction du type de moteur et de la cylindrée des engins.

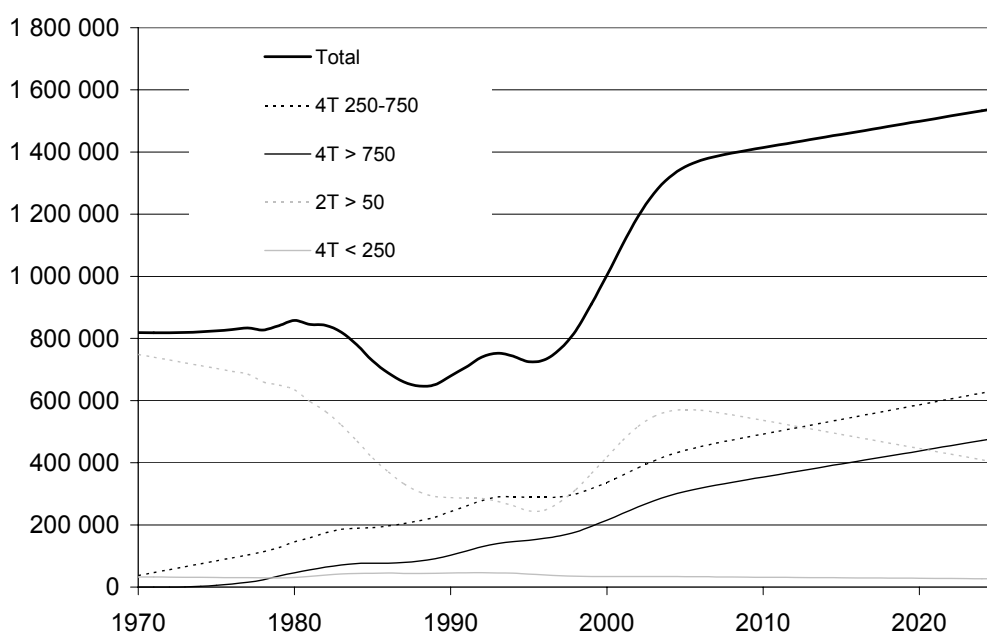


Figure 33 - Parc statique de motocyclettes 1970-2025

On observe une fluctuation du nombre de véhicules entre 1970 et 2000 avec la présence de deux périodes creuses aux alentours de 1985 et de 1995. Toutefois, le nombre de motocyclettes composant le parc statique augmente de manière importante entre 1995 et 2000. La projection linéaire de cette évolution entre 1970 et 2000 conduit à une augmentation du parc statique de motocyclettes entre 2000 et 2025.

Comme dans le cas des immatriculations, le détail du parc statique par cylindrée et par type de moteur montre que les motocyclettes de cylindrée importante ($250-750 \text{ cm}^3$ et $> 750 \text{ cm}^3$) ont plutôt tendance à croître entre 1970 et 2025 ; le parc de petites et moyennes cylindrées dotées d'un moteur à quatre-temps restent globalement constant sur toute cette période ; le parc de petites cylindrées dotées d'un moteur deux-temps diminue entre 1970 et 2025 malgré une période de reprise entre 1995 et 2000.

c) Estimation du parc roulant

Données et hypothèses

Dans son rapport sur les émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2025, LACOUR [Lacour, 2002] souligne que les données d'usage des deux-roues sont plus restreintes encore que les données servant à l'élaboration du parc statique.

Pour la France, la source principale serait les deux dernières enquêtes Transports et Communications conjointement réalisées par l'INRETS et l'INSEE [INSEE, 1997]. Ces données permettent de connaître la distance moyenne parcourue par les motocyclettes pour chaque trajet et la durée de ces trajets.

Le panel de motocyclettes exploité (§ b) 5.2.b) p.52) comporte une indication des kilométrages totaux parcourus par chaque véhicule. Le croisement de ces données avec l'âge des véhicules nous permet d'accéder au kilométrage annuel parcouru par les motocyclettes. Nous présentons ci-après quelques uns des résultats obtenus parmi les plus significatifs.

Tableau 36 - Usage moyen de l'ensemble des du panel

Age du véhicule	125 cm ³		125 - 250 cm ³		250-750 cm ³		> 750 cm ³	
	Km	Effectif	Km	Effectif	Km	Effectif	Km	Effectif
1 ans – 2 ans	5 087	122	2 981	23	9 089	367	10 883	429
3 ans – 5 ans	3 138	262	2 437	39	5 776	583	7 180	542
6 ans – 10 ans	2 958	99	2 098	36	4 871	415	5 591	288
11 ans – 15 ans	1 772	27	1 185	21	3 838	226	4 277	149
16 ans – 20 ans	1 402	9	727	2	2 712	54	3 751	51
> 20 ans	753	27	675	9	1 919	71	3 459	38
Moyenne	3327	546	2 089	130	5 754	1 716	7 435	1 497

Km : Kilométrage annuel moyen depuis sa mise en circulation

Les résultats présentés précédemment montrent clairement que l'usage annuel des motocyclettes varie de manière importante avec la cylindrée et l'âge du véhicule. Des résultats plus détaillés, que nous ne présentons pas ici, montrent également une variation des kilométrages annuels parcourus en fonction du genre des motocyclettes.

Concernant l'influence de la cylindrée, on observe un usage croissant avec l'augmentation de la cylindrée. Ainsi les scooters de cylindrée inférieure à 125 cm³ roulent en moyenne 2700 km par an alors que les 125 cm³ parcourent 4700 km par an. Dans le cas des trails, on passe de 4200 km par an pour les 125 cm³ à 10 000 km par an pour les catégories > 750 cm³. Les routières parcourent 3200 km/an, 6300 km/an et 7800 km/an lorsque leur cylindrée est respectivement de 125, 250-750 et > 750 cm³. Enfin, si l'on considère l'ensemble des genres de motocyclettes pour chaque classe de cylindrée, on observe une croissance du kilométrage annuel moyen avec l'augmentation de la cylindrée.

Tableau 37 - Evolution de l'usage des motocyclettes avec la cylindrée (tous genres et tous âges confondus)

	125 cm ³	125-250 cm ³	250-750 cm ³	> 750 cm ³
Kilométrage annuel moyen depuis la mise en circulation	3 300	2 100	5 700	7 400

Enfin, sauf cas exceptionnel, on relève une nette diminution du kilométrage annuellement parcouru par les motocyclettes avec leur âge. La figure suivante (Figure 34) présente

l'évolution du kilométrage moyen annuel des motocyclettes depuis leur mise en circulation en fonction de leur âge et en fonction de leur cylindrée.

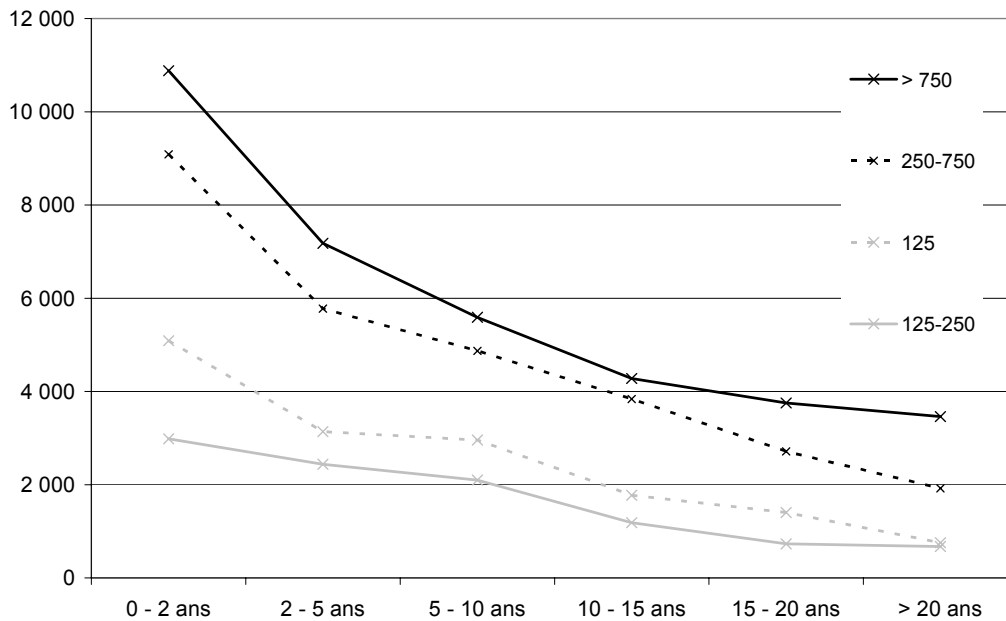


Figure 34 - Evolution du kilométrage annuel moyen des motocyclettes depuis leur mise en circulation

A partir du kilométrage **annuel moyen** des motocyclettes depuis leur mise en circulation, nous avons essayé d'estimer le kilométrage **annuel effectivement** parcouru par celles-ci en fonction de leur âge et la variation de ce kilométrage au cours du temps.

Rappelons que le calcul du kilométrage annuel moyen des motocyclettes depuis leur mise en circulation correspond au rapport entre le kilométrage total parcouru par le véhicule à un âge donné et cet âge. Il ne permet pas de connaître l'évolution du kilométrage annuel effectivement parcouru par les véhicules au cours de leur vie. Au contraire, le kilométrage annuel effectif correspond à la distance réellement parcourue par un véhicule au cours d'une année donnée.

On peut par exemple considérer deux véhicules mis en circulation depuis deux ans ; le premier parcourt 10 000 km chacune des deux années et le second effectue 15 000 km la première année et 5 000 km la seconde année ; ces deux véhicules ont le même kilométrage moyen annuel au cours de leur deuxième année, soit 10 000 km, alors qu'ils ont des kilométrages annuels effectifs très distincts.

Afin d'estimer le kilométrage annuel effectif $km(x)$ des véhicules nous avons supposé que celui-ci suivait une fonction linéaire avec l'âge du véhicule :

$$(1) Km(x) = px + q$$

A partir de cette fonction il est possible d'estimer le kilométrage total parcouru par un véhicule après n années de mise en circulation :

$$(2) Km(n) = km(1) + km(2) + \dots + km(n)$$

L'égalité (1) peut-être développée sous une forme qui montre que le kilométrage parcouru par un véhicule après n années est une fonction polynomiale d'ordre deux de son âge :

$$Km(n) = (p + q) + (2 \times p + q) + \dots + (n \times p + q)$$

$$Km(n) = p(1 + 2 + \dots + n) + q \times n$$

$$(3) Km(n) = p(n(n+1)/2) + q \times n$$

Les données qui sont à notre disposition à partir du panel étudié nous permettent d'estimer le kilométrage total parcouru par les véhicules en fonction de leur âge. Les courbes correspondantes sont présentées dans la figure ci-après (Figure 35).

On constate sur cette figure que le kilométrage total parcouru par les véhicules est décroissant en fonction de l'âge des véhicules dans le cas des motocyclettes de 125-250 cm³ ainsi que pour les 250-750 cm³. Un tel résultat peu surprendre en première instance : comment le kilométrage total d'un véhicule peut-il diminuer en fonction de son âge ? Lorsqu'un certain nombre de kilomètres a été parcouru il est impossible de diminuer ce kilométrage par la suite. Ceci est effectivement vrai, le kilométrage total d'un véhicule ne peut en aucun cas être une fonction décroissante, ou partiellement décroissante, de son âge. Mais dans le cas qui nous intéresse une courbe donnée ne représente pas l'évolution du kilométrage total d'un véhicule en fonction de son âge mais le kilométrage total de véhicules appartenant à des classes d'âge différentes. Ainsi la décroissance de la courbe des motocyclettes de 250-750 cm³ entre 15 et 20 ans signifie que les motocyclettes de 250-750 cm³ âgées de 15 ans et échangées sur le marché de l'occasion ont parcouru 58 000 km environ alors que celles âgées de 20 ans n'en ont parcouru que 54 000 ; ces deux groupes de motocyclettes n'ont pas été soumis à la même intensité d'usage au cours de leur vie.

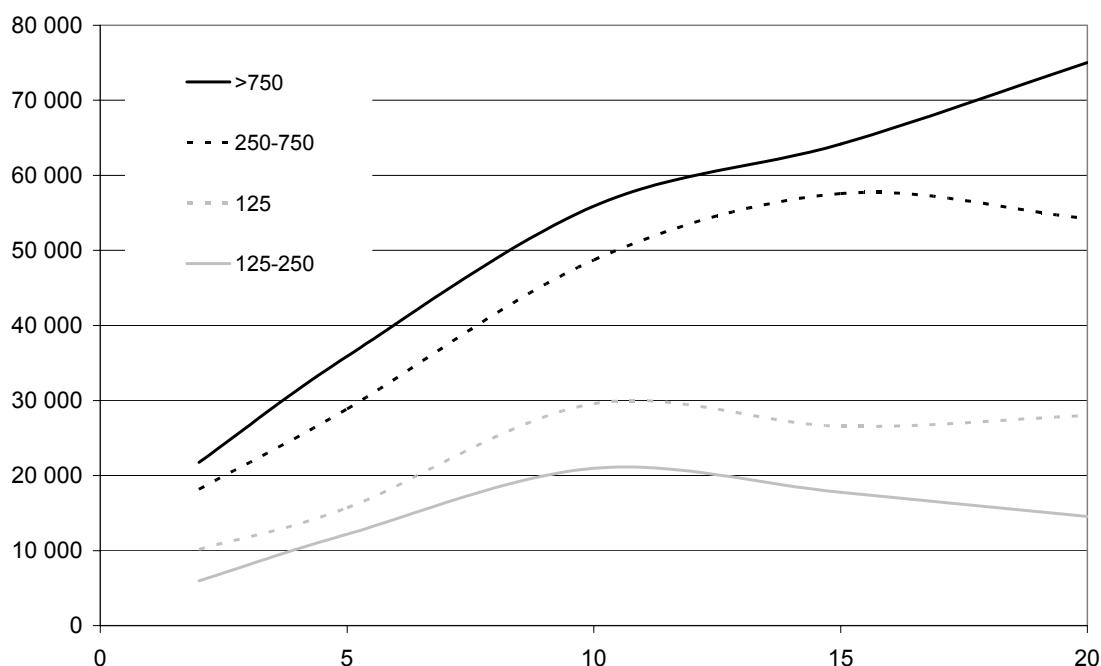


Figure 35 - Kilométrage total parcouru par les motocyclettes en fonction de leur âge

Nous effectuons une régression polynomiale du second degré par la méthode des moindres carrés pour calculer l'équation de chacune de ces courbes ; les coefficients de corrélation obtenus dans chacun des cas sont relativement bons : 0,90 pour les motocyclettes de cylindrée 125 cm³ ; 0,94 pour les motocyclettes de cylindrée 125-250 cm³ ; 0,98 pour les motocyclettes de cylindrée 250-750 cm³ et 0,95 pour les motocyclettes > 750 cm³. Ces équations, correspondant à une forme de type (3), nous permettent ainsi d'estimer les coefficients p et q de la droite (1) correspondant à la variation linéaire du kilométrage effectif des véhicules en fonction de leur âge.

Tableau 38 - Evolution de l'usage des motocuclettes en fonction de leur âge

	125 cm ³	125 – 250 cm ³	250-750 cm ³	> 750 cm ³
Kilométrage annuel effectif	4191-272 x	3277-246 x	7409-448 x	7892-408 x

Le graphique suivant (Figure 36) représente les courbes d'évolution du kilométrage annuel effectif des motocyclettes en fonction de leur âge.

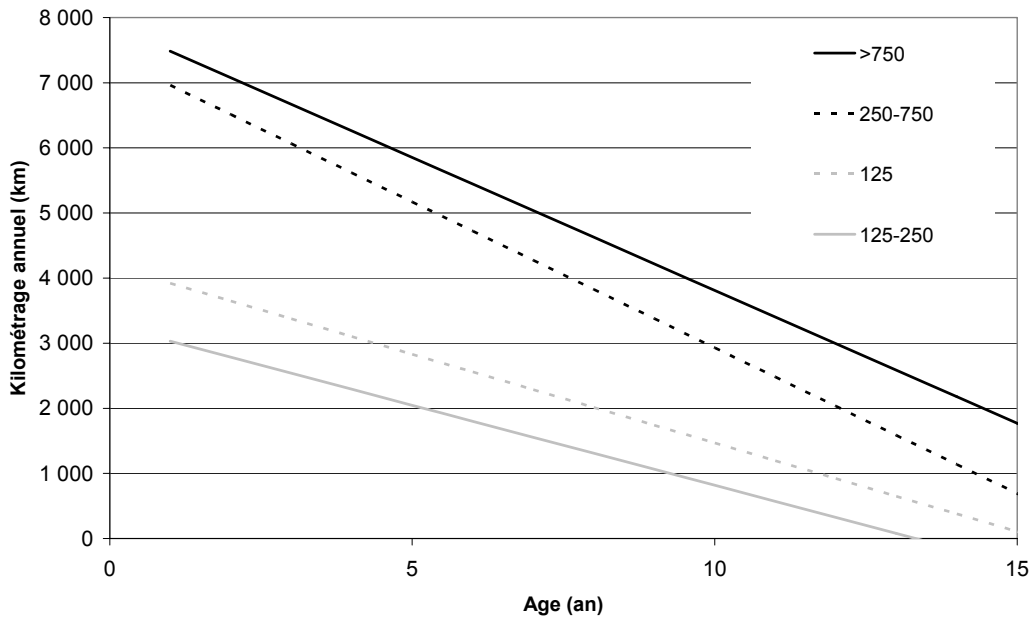


Figure 36 - Evolution de l'utilisation des motocyclettes en fonction de leur âge

En ce qui concerne la répartition des distances parcourues en fonction des trois types de réseau ainsi que les vitesses de déplacement, nous exploitons les valeurs proposées par ANDRE dans le cadre de son étude sur les statistiques de parc des véhicules et d'activité de transport pour la France [André, 1999].

Tableau 39 - Répartition du kilométrage des motocyclettes en France [André, 1999]

	Urbain	Route	Autoroute
Répartition (%)	33	46	21
Vitesse (km/h)	30	70	90

Résultat

La figure ci-après (Figure 37) présente le parc roulant de motocyclettes entre 1970 et 2025 en fonction de la cylindrée et du type de moteur.

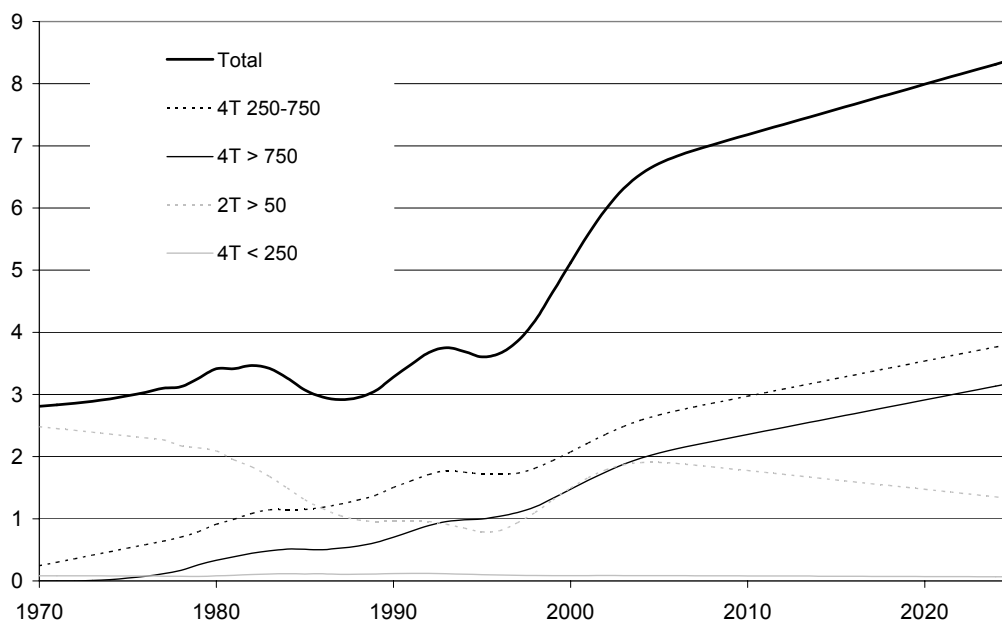


Figure 37 - Parc roulant des motocyclettes 1970-2025 (en milliards de km)

On observe une fluctuation du parc roulant entre 1970 et 2000 avec la présence de deux périodes creuses aux alentours de 1985 et de 1995, puis une augmentation importante entre 1995 et 2000. La projection linéaire de cette évolution entre 1970 et 2000 conduit à une augmentation du parc roulant de motocyclettes entre 2000 et 2025.

Comme dans le cas du parc statique, le détail du parc roulant par cylindrée et par type de moteur montre que le trafic de motocyclettes de cylindrée importante ($250-750 \text{ cm}^3$ et $> 750 \text{ cm}^3$) ont plutôt tendance à croître entre 1970 et 2025 ; le trafic de petites et moyennes cylindrées dotées d'un moteur à quatre-temps restent globalement constant sur toute cette période ; le trafic de petites cylindrées dotées d'un moteur deux-temps diminuent entre 1970 et 2025 malgré une période de reprise entre 1995 et 2000.

5.3. Cyclomoteurs

5.3.1. Estimation du parc statique

a) Données et hypothèses

Structure du parc de cyclomoteurs

La structure du parc de cyclomoteurs, véhicules à deux roues dont la cylindrée est inférieure à 50 cm^3 , attendue dans le cadre de l'utilisation du logiciel Copert III est simplement déterminée par le niveau réglementaire des véhicules.

La méthode utilisée pour attribuer un niveau réglementaire à un véhicule est identique à celle qui a été explicitée pour le cas des véhicules particuliers (§ 3.2.1.a) p.10).

Tableau 40 – Cyclomoteurs : année retenue pour les niveaux réglementaires (au 1^{er} janvier)

Pré-Euro 97/24	1955
97/24 EEC étape 1999	2000
97/24 EEC étape 2000	2004

Entrée sur le marché des cyclomoteurs neufs

Rappelons que les cyclomoteurs ne font pas l'objet d'une immatriculation sur le territoire français. Toutefois, comme les autres véhicules, ils entrent sur le marché, sont utilisés et mis au rebut lorsqu'ils sont considérés par leur possesseur comme étant hors d'usage. Une démarche identique à celles des autres véhicules peut ainsi être appliquée à l'estimation du parc statique de cyclomoteurs.

La source principale de renseignements concernant les ventes de cyclomoteurs neufs est la Chambre Syndicale Nationale du Motocycle. Les données disponibles couvrent la période allant de 1970 à 2002.

Le tableau ci-après précise la source des données de vente de cyclomoteurs sur les diverses périodes.

Tableau 41 - Données et hypothèses relatives aux ventes de cyclomoteurs

Période	Source	Hypothèses
1955-1970		Volume de vente de cyclomoteurs constant sur la période 1955-1970
1970-2002	CSNM d'après des données constructeurs	
2002-2025		Projection linéaire de la tendance des années 1970-2002

Les données de vente futures sont obtenues par projection linéaire de la tendance des moyennes glissantes sur 10 ans de l'ensemble des données disponibles. Le coefficient de corrélation obtenu pour la modélisation linéaire des moyennes glissantes est plutôt bon et atteint 0,93.

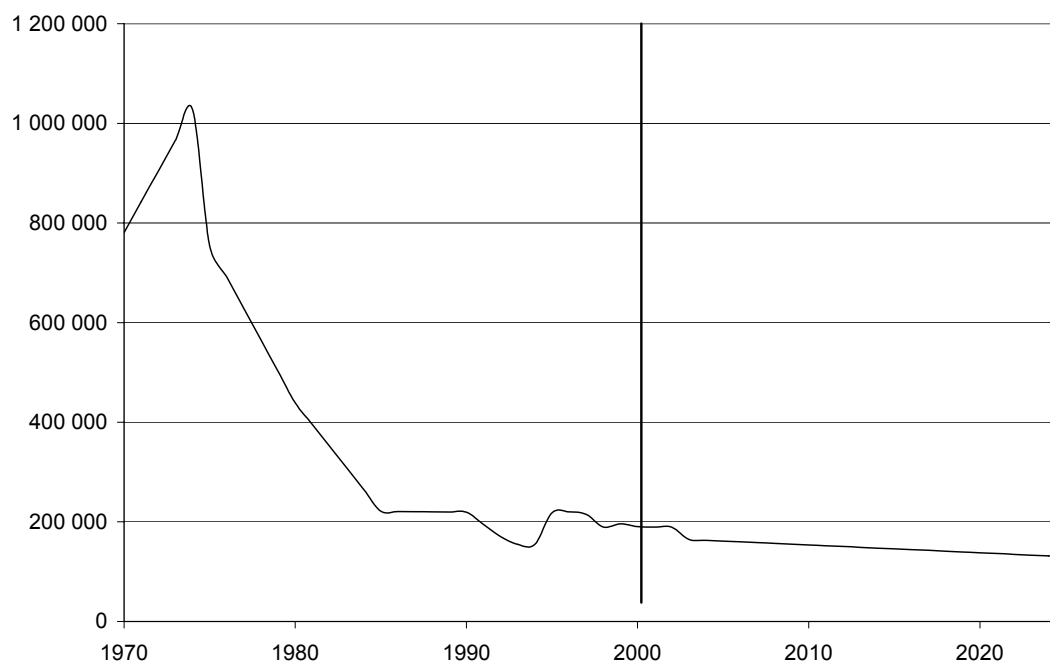


Figure 38 - Vente des cyclomoteurs 1970-2025

La figure ci-dessus (Figure 38) présente les ventes de cyclomoteurs neufs entre 1970 et 2025.

On constate que les ventes de cyclomoteurs sont en déclin entre 1975 et 2025 même si la baisse se ralentit à partir de 1995.

Survie des cyclomoteurs

La loi de survie des cyclomoteurs est estimée par la même méthode que dans le cas des motocyclettes : disposant d'une évaluation du parc statique de cyclomoteurs du CSNM pour les années 1975, 1980, 1985, 1990 et sur la période 1995-2001, on cherche à modéliser ce parc à partir des données de vente de cyclomoteurs et de l'application d'un coefficient de survie de la forme (§ 3.2.1.c) p. 10) :

$$s(a) = 1 - \frac{\phi\left(\frac{\log a - m}{\sigma}\right)}{\phi\left(\frac{\log A - m}{\sigma}\right)}$$

où ϕ est la loi log-normale.

La figure ci-après (Figure 39) représente l'ajustement entre la modélisation et les données de parc statique provenant du CSNM.

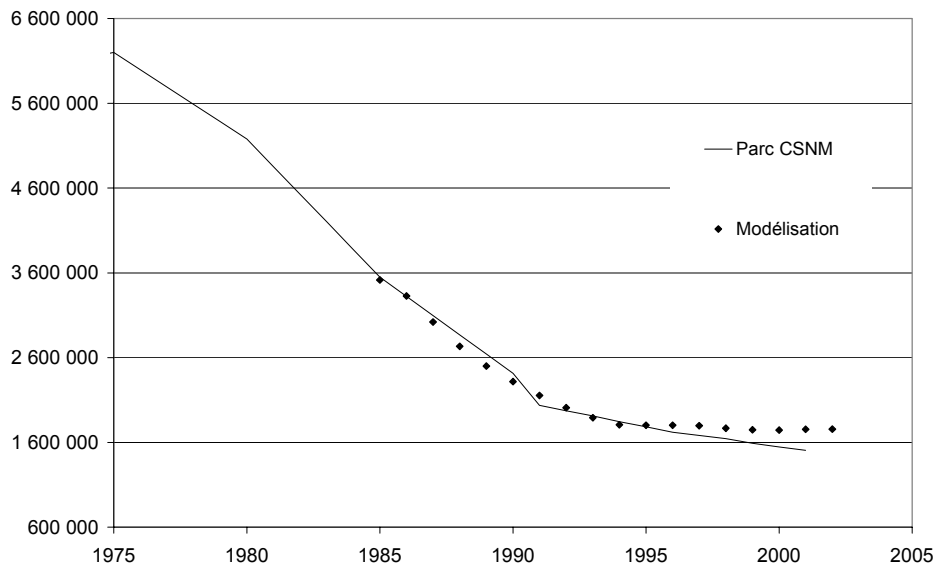


Figure 39 - Modélisation du parc statique de cyclomoteurs

Le tableau ci-dessous (Tableau 42) présente les coefficients de la loi de survie qui ont été obtenus à partir du parc CSNM et qui est illustrée dans la figure suivante (Figure 40).

Tableau 42 - Paramètres de la loi de survie des cyclomoteurs

Source visée	m	σ	A
Parc CSNM	2,151	0,1	15

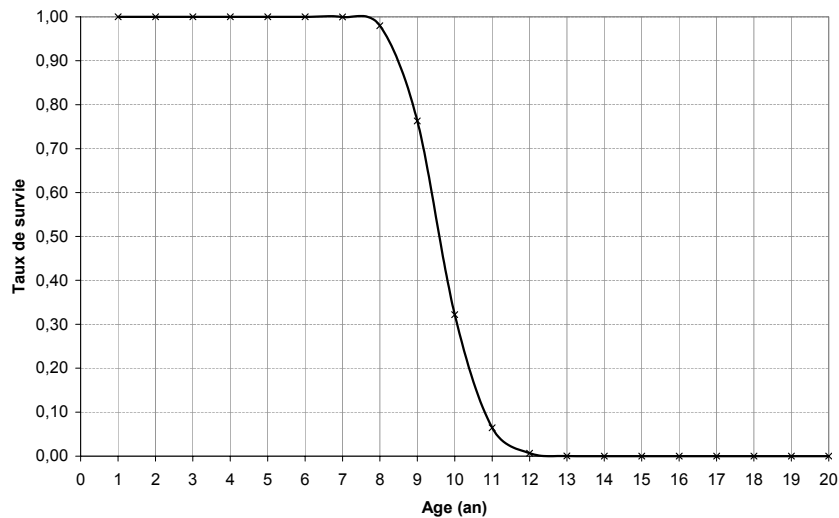


Figure 40 - Loi de survie des cyclomoteurs

La forme de la loi de survie des cyclomoteurs est relativement peu crédible. On observe notamment qu'il n'y a quasiment aucun déclassement de véhicules avant l'âge de 7 ans. En

revanche le taux de survie varie de manière très abrupte en quelques années ; en l'espace de 4 ans, soit entre 7 et 12 ans la quasi-totalité des cyclomoteurs est mise au rebut. Il est fort probable que la loi de survie réelle des cyclomoteurs produise une mise au rebut certainement beaucoup plus progressive que celle que nous avons établie. Toutefois compte tenu de l'absence de données contradictoires il ne nous est pas possible de dépasser ce seul constat et nous conserverons la loi établie lors des estimations suivantes.

b) Résultat

Le graphique ci-après (Figure 41) présente l'évolution du parc statique de cyclomoteurs entre 1970 et 2025.

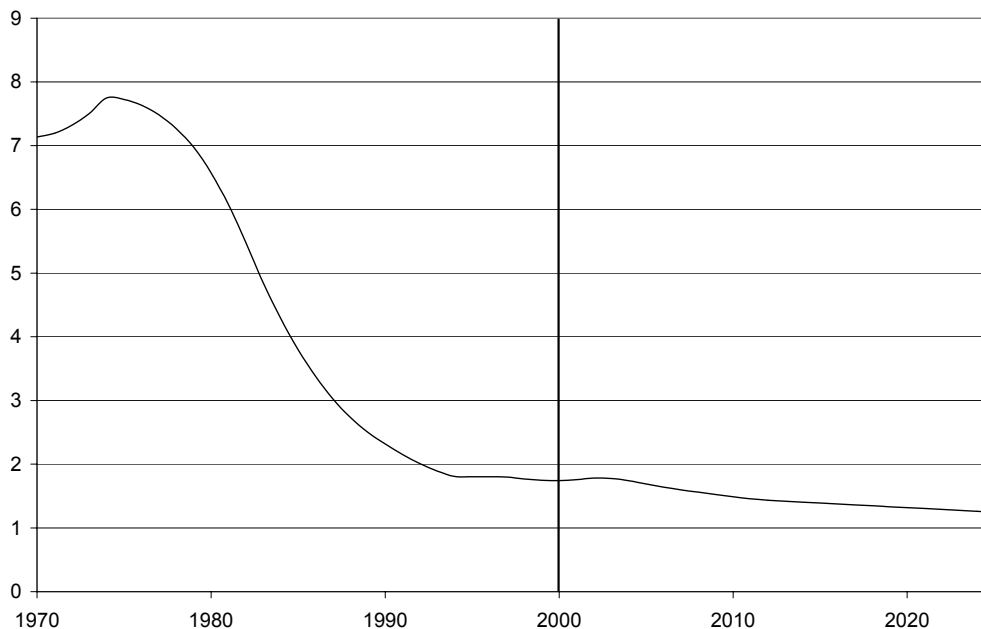


Figure 41 - Parc statique des cyclomoteurs 1970-2025

Comme dans le cas des ventes de cyclomoteurs neufs, on observe une diminution constante du parc statique de cyclomoteurs entre 1970 et 2025.

5.3.2. Estimation du parc roulant

a) Données et hypothèses

Concernant l'estimation du kilométrage annuel parcouru par les cyclomoteurs nous procédons par la même méthode que dans le cas des motocyclettes. Nous exploitons également les données du panel étudié dans le cas des motocyclettes.

Tableau 43 - Usage moyen de l'ensemble des cyclomoteurs

Age du véhicule	Kilométrage annuel moyen depuis sa mise en circulation	Effectif
1 ans – 2 ans	6 213	28
3 ans – 5 ans	2 593	47
6 ans – 10 ans	1 586	22
11 ans – 15 ans	747	11
16 ans – 20 ans	1 149	1
> 20 ans	116	26
Moyenne	2 963	115

Nous estimons le kilométrage annuel effectif des cyclomoteurs sur la base du kilométrage annuel moyen à partir de la mise en circulation des cyclomoteurs en suivant la même méthode que dans le cas des motocyclettes (§ 5.2.b) p. 64). Ceci nous permet d'aboutir à la fonction d'utilisation suivante :

$Km(x) = 2258 - 125x$ dans laquelle x représente l'âge du cyclomoteur.

En ce qui concerne la répartition des distances parcourues par les cyclomoteurs en fonction des trois types de réseau ainsi que les vitesses de déplacement, nous exploitons les valeurs proposées par André dans le cadre de son étude sur les statistiques de parc des véhicules et d'activité de transport pour la France [André, 1999].

Tableau 44 - Répartition du kilométrage des cyclomoteurs en France [André, 1999]

	Urbain	Route	Autoroute
Répartition	80 %	20 %	0 %
Vitesse	23 km/h	30 km/h	

b) Résultat

Le graphique ci-après présente le parc roulant des cyclomoteurs entre 1970 et 2025. Comme dans le cas des ventes de véhicules neufs et dans celui du parc statique, on observe une diminution constante du parc roulant de cyclomoteurs entre 1970 et 2025.

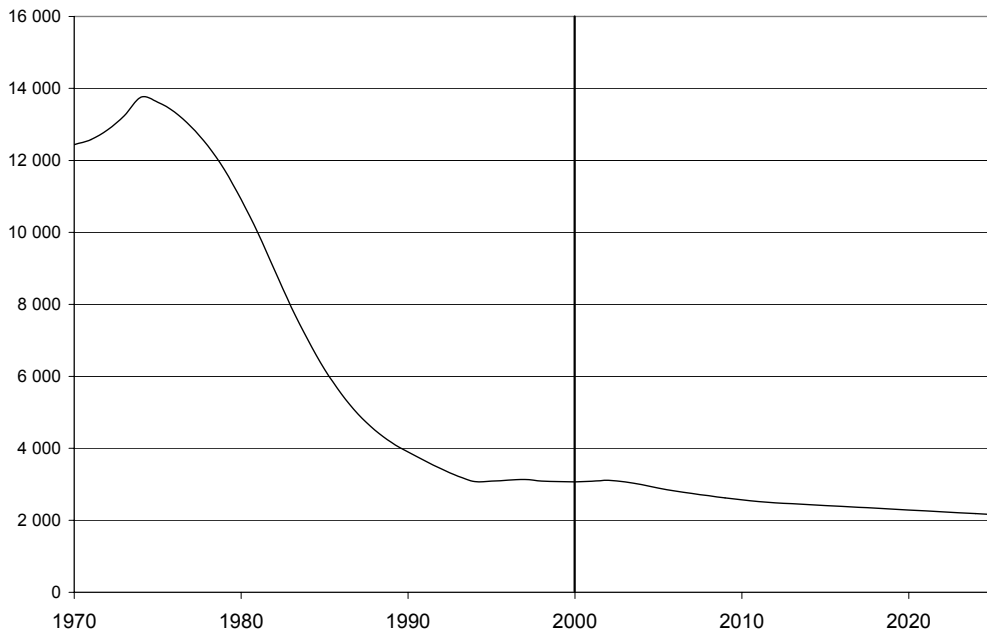


Figure 42 - Parc roulant des cyclomoteurs 1970-2025 (en millions de km)

6. SYNTHÈSE : IMMATRICULATIONS, PARC STATIQUE ET ROULANT DU TRANSPORT ROUTIER

La partie suivante synthétise les principaux résultats concernant les immatriculations, le parc statique et le parc roulant du transport routier en France. Chacun des graphiques de synthèse distingue : les véhicules particuliers, les véhicules utilitaires légers, les deux-roues, les poids lourds ainsi que les autobus et autocars.

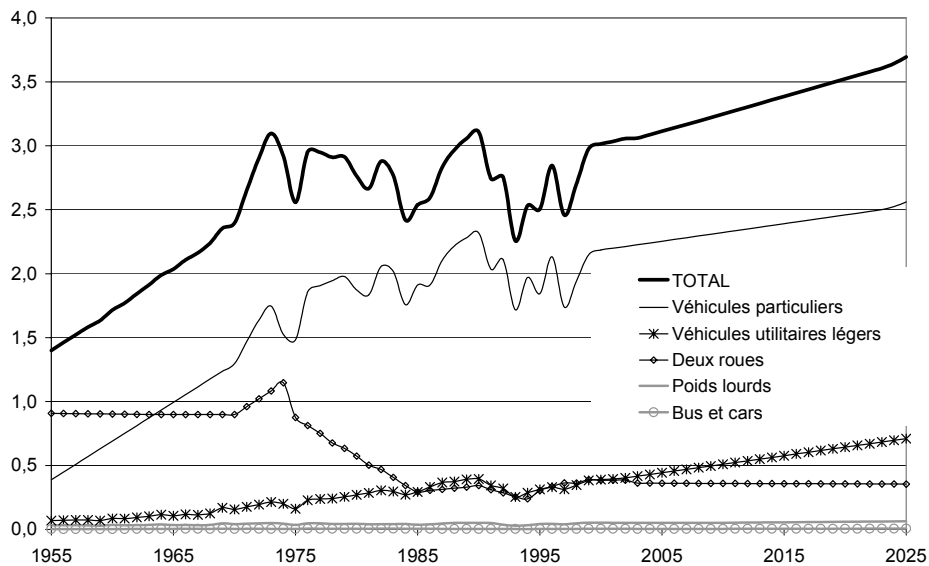


Figure 43 - Synthèse des immatriculations en France de 1955 à 2025 (en millions de véhicules)

Relativement aux immatriculations dans le domaine du transport routier, on observe qu'elles sont globalement fortement croissantes sur la période 1955-2025 ; elles sont multipliées par un facteur un peu supérieur à deux sur cette période. L'essentiel des immatriculations est représenté par les véhicules particuliers ; elles représentent 30 % environ du total en 1955 (prédominance très large des deux-roues à cette période, notamment des cyclomoteurs) et plus de 70 % en 2025. On observe également une montée en puissance des immatriculations de véhicules légers entre 1955 et 2025. La somme véhicules particuliers et légers représente 90 % du total des immatriculations en 2025.

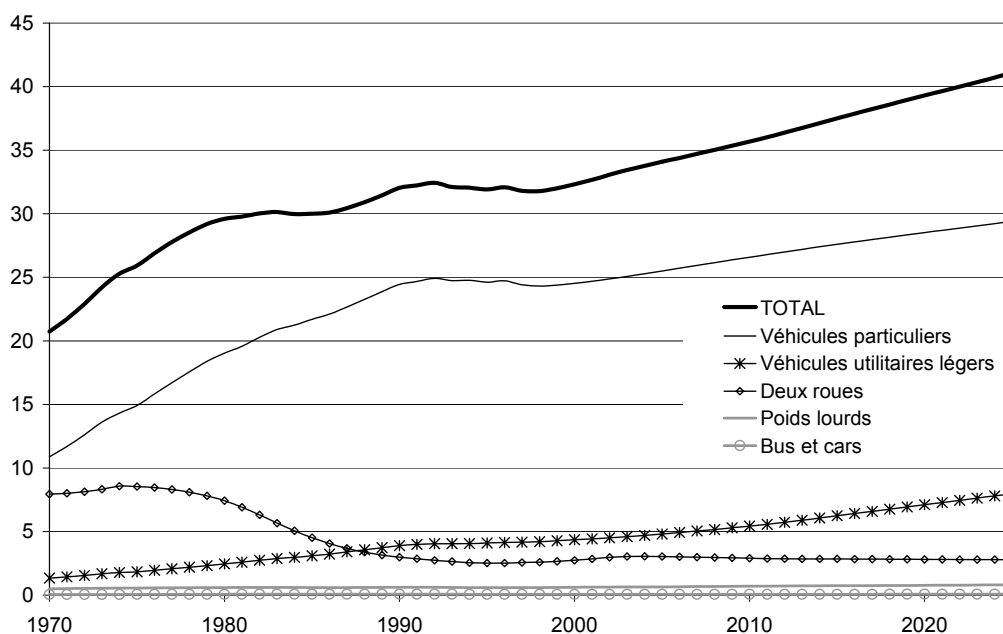


Figure 44 - Synthèse du parc statique des véhicules routiers en France de 1970 à 2025 (en millions de véhicules)

Le parc statique est en forte croissance sur la période 1970-2025 ; il passe de 20 millions de véhicules environ à 40 millions de véhicules. Concernant la composition de ce parc on retrouve les grandes tendances des immatriculations : prédominance des véhicules particuliers, montée en puissance des véhicules utilitaires légers et baisse des deux-roues.

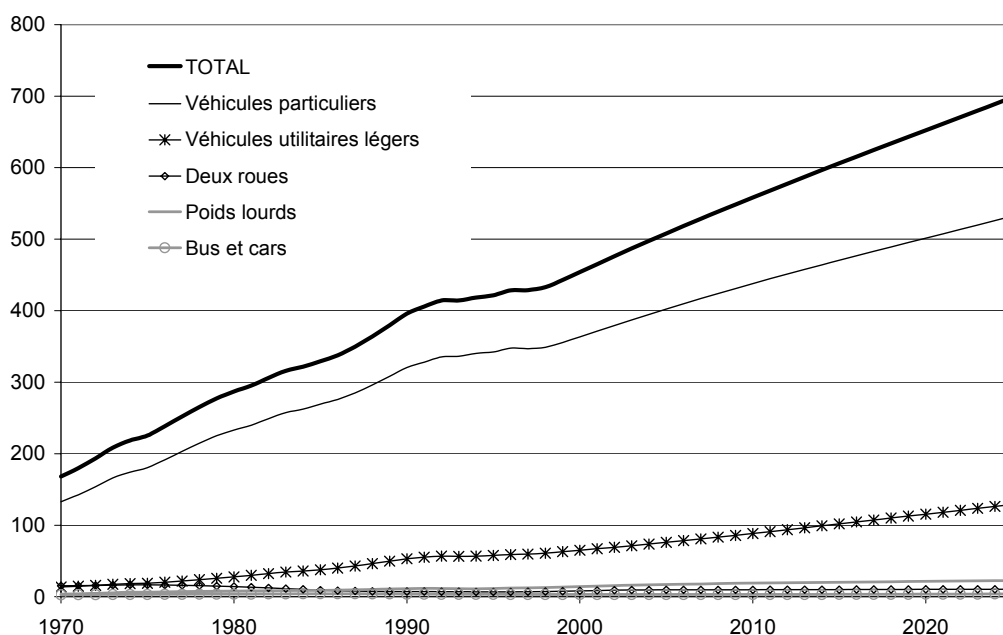


Figure 45 - Synthèse du parc roulant de véhicules routiers entre 1970 et 2025 (en milliards de véhicules)

Le parc roulant routier augmente très fortement au cours des années étudiées ; il passe de 170 milliards de kilomètres en 1970 à 700 milliards de kilomètres en 2025, soit une multiplication par quatre environ du nombre de kilomètres annuellement parcourus. Comme dans le cas du parc statique on relève ici encore une prédominance des véhicules particuliers et une montée en puissance des véhicules utilitaires légers. En revanche et contrairement au cas du parc statique, la part des deux-roues est quasi négligeable sur toute la période.

On peut noter que le facteur de croissance du parc roulant routier est plus important (multiplication par quatre environ) que celui du parc statique (multiplication par deux environ). Cette différence provient de deux types de facteurs :

- une montée en puissance des véhicules utilitaires légers parallèlement à une diminution des deux-roues ; ce qui signifie que même en raisonnant à parc constant on a une substitution de véhicules ayant un fort kilométrage annuel à des véhicules ayant un faible kilométrage annuel ;
- dans la catégorie des véhicules particuliers, on observe en sus du développement de ce parc, une montée en puissance des véhicules de moyenne et grande cylindrée ainsi que des véhicules diesel au détriment des véhicules de petite cylindrée et des véhicules essence ; ceci conduit encore une fois à remplacer des véhicules d'usage modéré par des véhicules dont l'usage annuel est plus important.

B. EMISSIONS

Le parc détaillé dont nous disposons permet d'effectuer un inventaire national des émissions de polluants liées au transport routier grâce à l'utilisation du logiciel Copert III. Sauf exception requérant un niveau de détail plus important, cet inventaire est calculé avec un pas de temps de cinq ans sur la période 1970-2025.

1. DONNEES ET HYPOTHESES POUR L'UTILISATION DE COPERT III

Copert III, logiciel fondé sur le modèle MEET [MEET, 1999] développé dans le cadre de travaux européens, requiert l'entrée d'un nombre important de données afin de pouvoir estimer les émissions de polluants.

1.1. Données de parc

Les données de parc et de circulation sur les trois types de voiries correspondent aux données précédemment exposées.

1.2. Niveau technologique des véhicules

Lors des travaux MEET ayant abouti à la réalisation du logiciel Copert III, seuls les véhicules particuliers et les véhicules utilitaires légers répondant à la norme Euro I ont pu faire l'objet de mesure ainsi que les véhicules lourds répondant à la norme Pré-Euro.

L'estimation des émissions pour les véhicules répondant aux normes technologiques ultérieures repose sur l'hypothèse d'une équivalence entre le taux de réduction appliqué pour passer de la norme Euro I (Pré-Euro dans le cas des poids lourds) aux normes suivantes et le taux de réduction entre les émissions réelles des véhicules respectant Euro I et celles des véhicules respectant les normes ultérieures. Les facteurs de réduction appliqués sont différents dans le cas des émissions à chaud et des émissions à froid. La méthodologie complète d'estimation de ces facteurs est quelque peu différente dans le cadre de Copert III et dans le cadre des travaux de MEET ; on pourra se reporter à la publication de NTZIACHRISTOS et SAMARAS sur ce sujet [Ntziachristos, 2000].

Les taux de réduction appliqués dans chacun des cas sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 45 - Taux de réduction des émissions des véhicules particuliers essence (Euro II à Euro IV) selon Copert III

Taux de réduction sur les émissions à froid par rapport au niveau EURO I (%)			
	CO	VOC	NOx
EURO II	0,28	0,44	0,28
EURO III	0,38	0,68	0,68
EURO IV	0,82	0,82	0,82
Taux de réduction sur les émissions à chaud par rapport au niveau EURO I (%)			
	CO	VOC	NOx
EURO II	0,32	0,79	0,64
EURO III	0,44	0,85	0,76
EURO IV	0,66	0,97	0,87

Tableau 46 - Taux de réduction des émissions des véhicules particuliers diesel (Euro II à Euro IV) selon Copert III

Taux de réduction sur les émissions à froid par rapport au niveau EURO I (%)				
	CO	VOC	NOx	Particules
EURO II	0	0	0	0
EURO III	0	0	0	0
EURO IV	0	0	0	0
Taux de réduction sur les émissions à chaud par rapport au niveau EURO I (%)				
	CO	VOC	NOx	Particules
EURO II	0	0	0	0
EURO III	0	0,15	0,31	0,28
EURO IV	0	0,31	0,88	0,55

Tableau 47 - Taux de réduction des émissions des véhicules utilitaires légers essence (Euro II à Euro IV) selon Copert III

Taux de réduction sur les émissions à froid par rapport au niveau EURO I (%)			
	CO	VOC	NOx
EURO II	0,28	0,39	0,28
EURO III	0,38	0,68	0,68
EURO IV	0,82	0,82	0,82
Taux de réduction sur les émissions à chaud par rapport au niveau EURO I (%)			
	CO	VOC	NOx
EURO II	0,39	0,76	0,66
EURO III	0,48	0,86	0,79
EURO IV	0,72	0,94	0,90

Tableau 48 - Taux de réduction des émissions des véhicules utilitaires diesel (Euro II à Euro IV) selon Copert III

Taux de réduction sur les émissions à froid par rapport au niveau EURO I (%)				
	CO	VOC	NOx	Particules
EURO II	0	0	0	0
EURO III	0	0	0	0
EURO IV	0	0	0	0
Taux de réduction sur les émissions à chaud par rapport au niveau EURO I (%)				
	CO	VOC	NOx	Particules
EURO II	0	0	0	0
EURO III	0,18	0,38	0,16	0,33
EURO IV	0,35	0,77	0,32	0,65

1.3. Température et pression ambiantes

Les données de température et de pression ambiantes, qui interviennent notamment dans le calcul des phénomènes d'évaporation de carburant, que nous utilisons lors du calcul de l'inventaire sont les données par défaut de Copert III pour la France.

1.4. Démarrage à froid

Concernant les données de démarrage à froid, nous utilisons également les valeurs par défaut de Copert III malgré les polémiques qu'elles suscitent. Ces données devront très probablement être revues dès lors que la question de méthode qu'elles soulèvent aura été tranchée par les spécialistes. Dans cette optique, nous nous abstenons pour l'heure de toute modification de ces valeurs.

1.5. Carburants

Parallèlement aux données de parc, Copert III requiert également l'intégration de données relatives à la consommation nationale de carburants : quantité annuelle d'essence plombée et sans plomb, de gazole et de GPL ainsi que la teneur en plomb et en soufre de chacun des carburants.

Ces données, entrées par l'utilisateur, servent de point de départ au calcul de plusieurs résultats : émissions de CO₂, de plomb, de soufre, de cadmium, de cuivre, chrome, sélénium, zinc. Parallèlement à ceci, Copert III permet d'estimer, à partir des données de parc roulant, la consommation effective des véhicules. Dans le cas où la consommation saisie par l'utilisateur et la consommation calculée par Copert III ne sont pas équivalentes, on obtient des résultats incohérents entre eux (par exemple entre la consommation calculée par Copert III et les émissions de CO₂). Dans ce cas de figure nous avons fait le choix de procéder à une correction des différents résultats estimés sur la base de la consommation saisie par

l'utilisateur (CO₂, pb, S, Cd, Cu, Cr, Se, Zn). Cette correction est réalisée en appliquant à ces résultats un facteur correctif équivalent au rapport entre la consommation calculée et la consommation saisie.

Les véhicules fonctionnant au GPL n'ayant pas été recensés en tant que tels dans l'évaluation du parc routier ce carburant a été négligé dans la réalisation de l'inventaire français. Les autres données ont été précisées en plusieurs étapes :

- évaluation de la quantité d'essence (tous types d'essence confondus) d'une part et de gazole d'autre part puis évaluation de la quantité d'essence sans plomb et de la quantité d'essence plombée ;
- évaluation des teneurs en soufre et en plomb des carburants en fonction des périodes considérées.

1.5.1. Estimation des quantités de carburants

L'estimation des quantités d'essence et de gazole consommées sur le territoire français au cours de la période 1970-2025 a été effectuée en s'appuyant sur les données du CPDP (Comité Professionnel Du Pétrole) et qui nous ont été transmises par le DEST qui les utilisent dans le cadre des calculs de « rebasement » du parc. Les données du CPDP à notre disposition couvrent la période 1990-2001.

Afin d'estimer les quantités d'essence et de gazole consommées sur le territoire en deçà de 1990 et au-delà de 2001, nous avons effectué une régression linéaire de la quantité totale d'essence consommée en fonction du kilométrage annuel total parcouru par le parc routier essence d'une part et de la quantité totale de gazole en fonction du kilométrage annuel total parcouru par le parc routier diesel d'autre part.

Les coefficients de corrélation obtenus pour les deux cas de régression linéaire sont plutôt bons : 0,92 pour le cas de l'essence et 0,95 pour le cas du gazole.

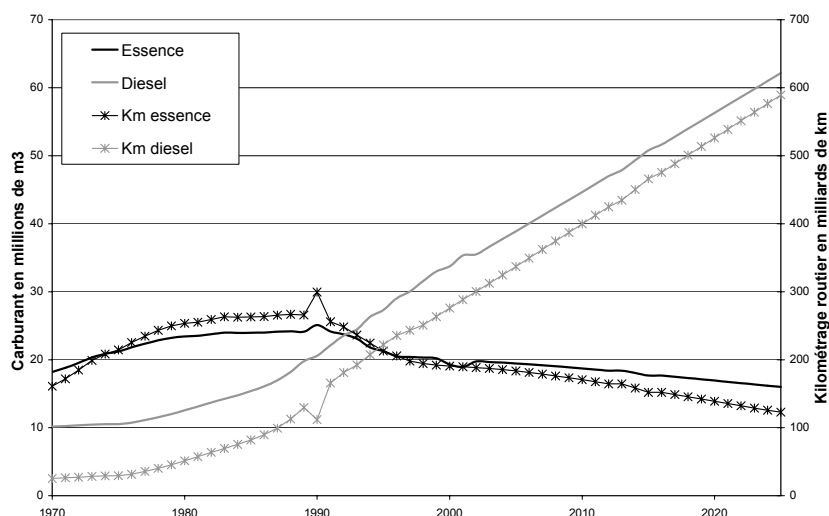


Figure 46 - Consommation de carburants en France 1970-2025

La ventilation de la consommation d'essence entre essence plombée et essence sans plomb est réalisée sur la base de données provenant du Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie [MEFI, 2003]. Les données à notre disposition indiquent les quantités de gazole, de supercarburant plombé et de supercarburant sans plomb achetés sur le territoire français sur la période 1995-2000. Ces données sont extrapolées de manière linéaire en fonction du temps en considérant :

- l'apparition de l'essence sans plomb en 1990 [Miquel, 2001];
- la disparition de l'essence plombée en 2000 [Miquel, 2001].

Le coefficient de corrélation obtenu est très bon puisqu'il atteint 0,98.

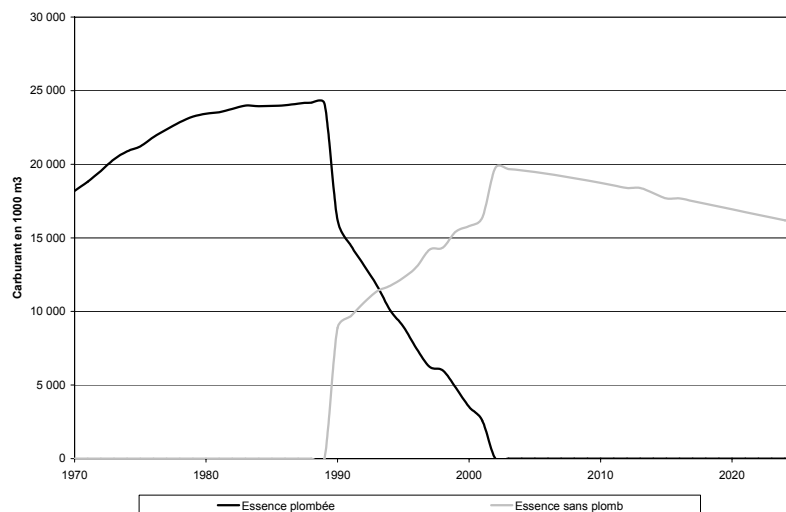


Figure 47 - Consommation d'essence en France sur la période 1970-2025

Les données requises par Copert III pour les consommations de carburant doivent être exprimées en tonne. Les données dont nous disposons étant exprimées en m^3 , nous utilisons une masse volumique de :

- 0,765 t/m^3 pour l'essence [Guibet, 1997]
- 0,845 t/m^3 pour le gazole [Guibet, 1997].

1.5.2. Teneur en soufre et en plomb des carburants

La diminution de l'utilisation du plomb dans l'essence plombée a tout d'abord pris la voie d'une réduction du pourcentage de plomb incorporé dans l'essence avant celle d'une interdiction de l'essence plombée. Du maximum dans les années 1960 qui était de 1,3 g/l de plomb, on est passé à 0,63 g/l en 1970 puis à 0,15 g/l en 1995 [Miquel, 2001]. A l'heure actuelle les carburants ne doivent pas dépasser la teneur limite de 0,005 g/l [DGEMP, 2001].

Une personne responsable de la qualité chez Total nous a déclaré que l'évolution de la qualité des carburants, la teneur en plomb par exemple, se faisait sur des périodes relativement courtes (de l'ordre de quelques mois) et ne suivait pas une transformation progressive. En conséquence, nous choisissons de modéliser les caractéristiques du carburant en fonction du temps sous forme de plateaux constants avec des phases de transition rapide.

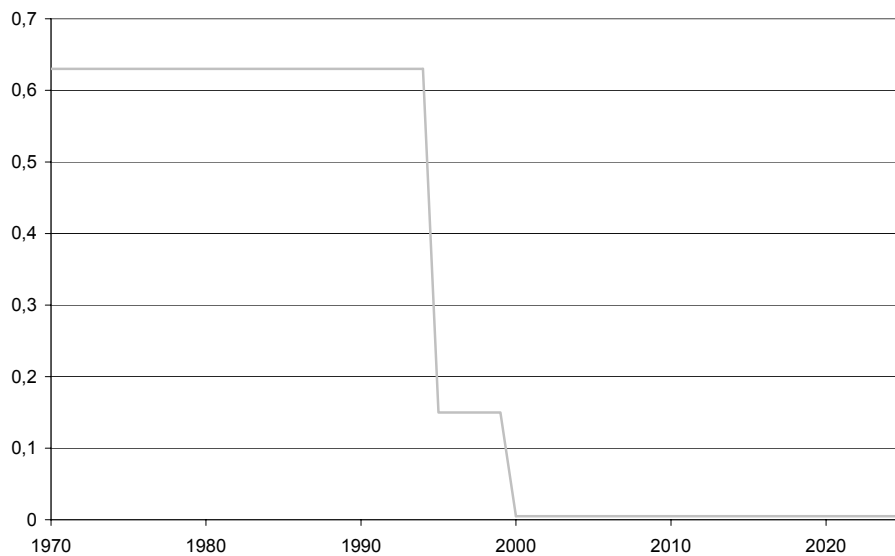


Figure 48 - Evolution de la teneur en plomb de l'essence en France sur la période 1970-2025 (g/l)

La teneur en soufre des carburants est elle aussi soumise à une réduction progressive. Les étapes de cette réduction sont différentes dans le cas de l'essence et dans le cas du gazole [DGEMP, 2001].

Tableau 49 - Teneur limite en soufre des carburants (en mg/kg)

	Avant 1/1/2000	1/1/200	2005
Essence	500	150	50
Gazole	500	350	50

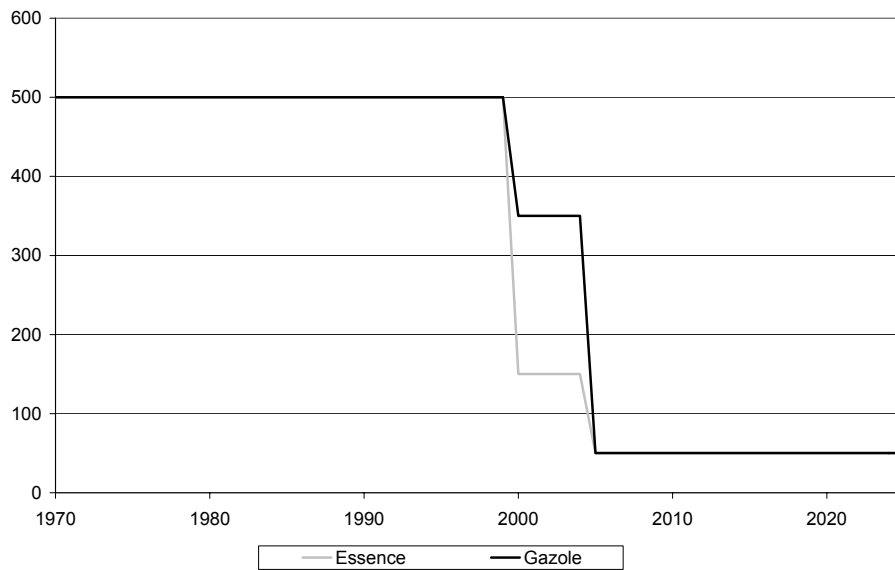


Figure 49 – Evolution de la teneur en soufre des carburants sur la période 1970-2025 (mg/kg)

1.6. Limites du champ d'application de Copert III

Il importe de souligner que les facteurs d'émission intégrés à Copert III permettent de prendre en compte les véhicules qui seront soumis aux réglementations futures et notamment Euro 3 et Euro 4. En revanche, le logiciel ne permet pas la prise en compte d'un certain nombre d'autres facteurs dont l'influence peut se révéler très importante sur les émissions de polluants ; nous citerons notamment la présence d'un filtre à particules sur les moteurs diesel et l'utilisation de la climatisation.

2. RESULTATS (COPERT III)

2.1. Consommation de carburant et émissions du parc routier français

Le graphique ci-après (Figure 50) présente la consommation de carburant du parc routier français entre 1970 et 2025 ; les résultats sont ventilés par grand type de transport : véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers, poids lourds, deux-roues.

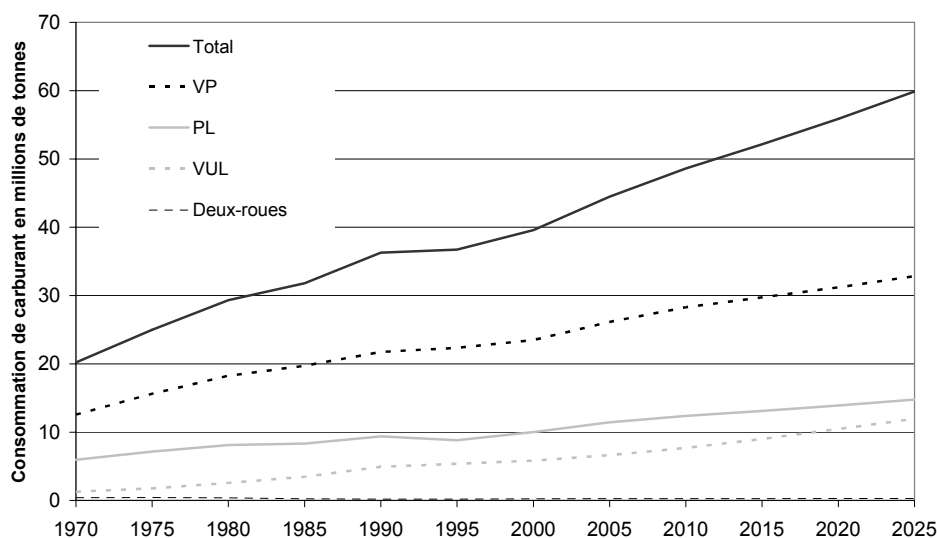


Figure 50 - Consommation de carburant du transport routier en France de 1970 à 2025

On observe une augmentation régulière de la consommation totale de carburant entre 1970 et 2025 ; elle est quasiment multipliée par trois lors de cette période.

Les voitures particulières représentent plus de la moitié de la consommation totale de carburant du transport routier. Viennent ensuite les poids lourds puis les véhicules légers dont la part augmente au cours du temps. La contribution des deux-roues est minime.

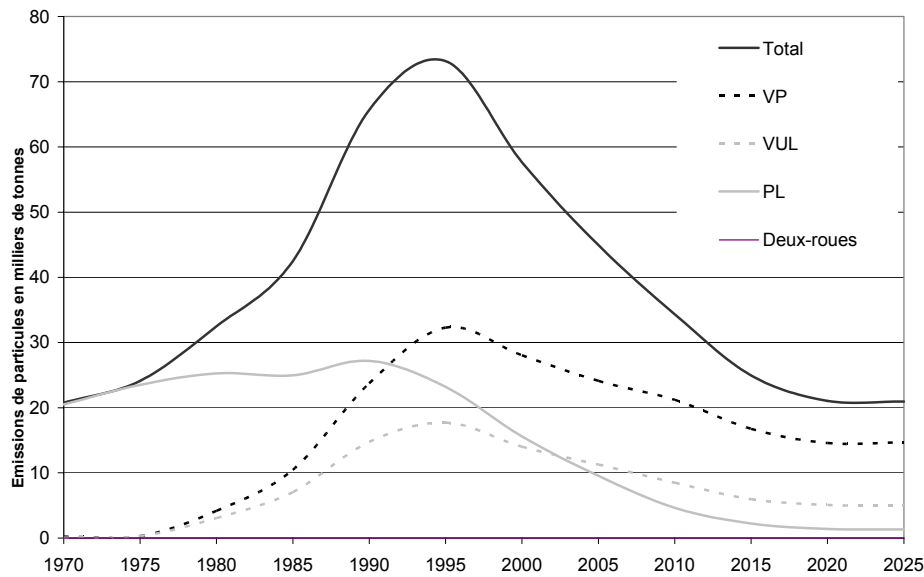


Figure 51 - Emissions de particules du transport routier en France de 1970 à 2025

La figure ci-dessus (Figure 51) représente les émissions de particules générées par le transport routier en France entre 1970 et 2025. Les émissions sont détaillées par grand type de transport routier.

Contrairement au cas de la consommation de carburant, on note que l'évolution de ces émissions ne se fait pas de manière linéaire au cours du temps. On relève la présence d'un maximum d'émissions de particules aux alentours de 1995. Cette évolution provient de la combinaison de plusieurs facteurs :

- quasi stagnation jusqu'en 1990 puis diminution des émissions de particules associées aux poids lourds ;
- augmentation jusqu'aux alentours de 1995 puis légère diminution avant une nouvelle période de légère croissance des émissions associées aux véhicules particuliers ainsi qu'aux véhicules utilitaires légers.

L'évolution des émissions de particules générées par les poids lourds provient de deux facteurs dont l'influence se fait de manière inverse : d'une part le parc roulant de poids lourds augmente au cours du temps, ce qui favorise plutôt l'augmentation des émissions de particules ; d'autre part la norme d'émissions de particules devient de plus en plus sévère ce qui conduit à une diminution des émissions unitaires de particules.

L'évolution des émissions de particules générées par les véhicules particuliers et les véhicules utilitaires légers résulte de trois facteurs différents ; une augmentation du parc roulant qui tend à accroître les émissions de particules ; une diésélisation croissante de ces deux parcs qui contribue aussi à une augmentation des émissions de particules ; un abaissement des seuils réglementaires qui devrait conduire à une diminution des émissions de particules. L'évolution

globale des émissions de particules générées par les véhicules particuliers et par les véhicules utilitaires légers montre que l'abaissement des seuils réglementaires ne constitue pas une mesure suffisamment efficace pour conduire à une disparition de cet impact.

La figure suivante (Figure 52) présente les émissions de NO_x en France entre 1970 et 2025. Le détail des émissions est fourni par grande catégorie de transport.

Comme dans le cas des émissions de particules, les émissions totales de NO_x générées par le transport routier présentent un maximum aux alentours de 1990. On constate en outre que cette évolution des émissions de NO_x est quasiment identique pour les différentes catégories du transport routier. La diminution de NO_x observée à partir des années 1990 provient d'un renforcement des normes appliquées à chacune des catégories de véhicules.

On remarque que la contribution des poids lourds devient prépondérante aux alentours de 2005.

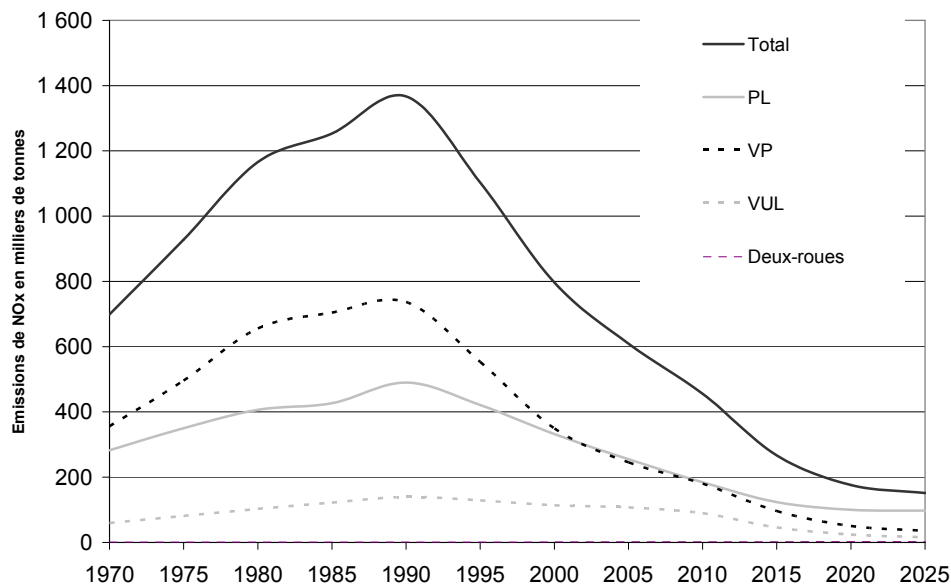
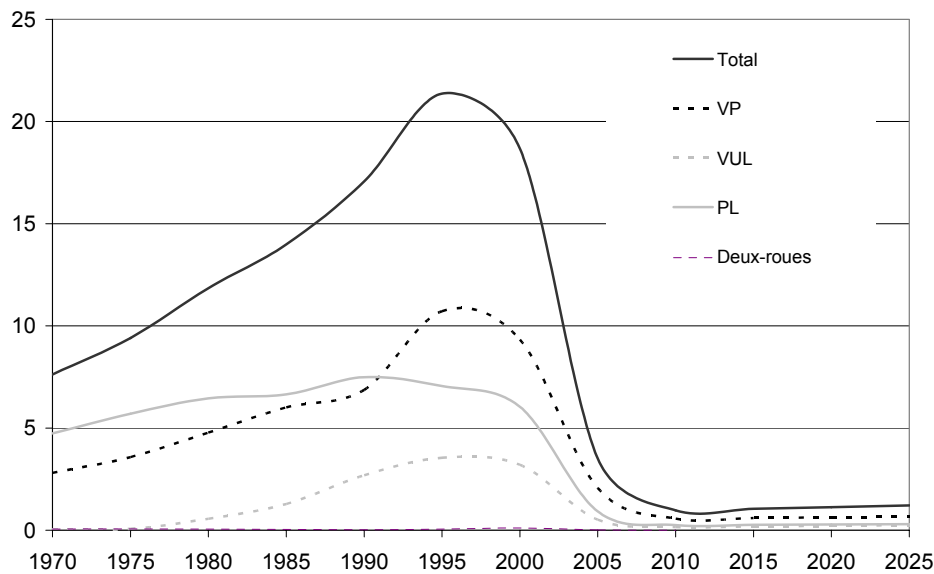


Figure 52 - Emissions de NO_x du transport routier en France de 1970 à 2025

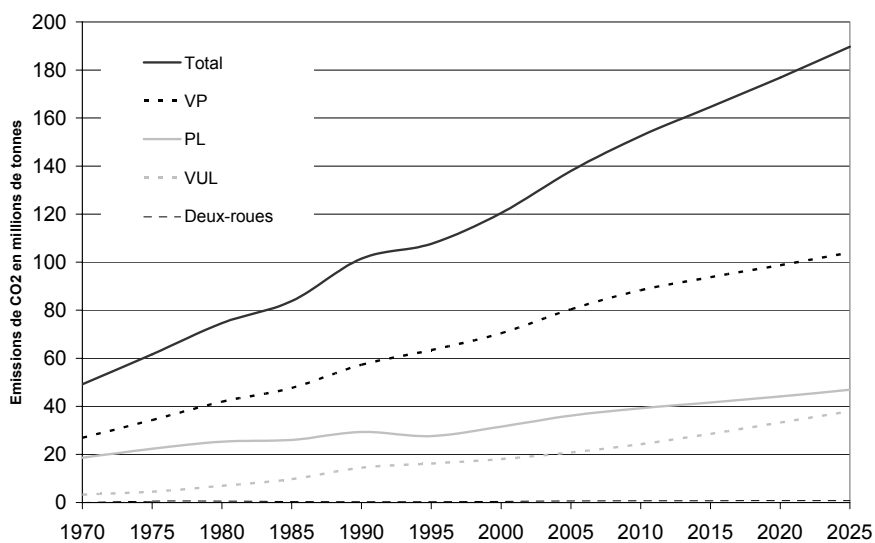
Figure 53 - Emissions de SO₂ du transport routier en France de 1970 à 2025 (en tonnes)

La figure ci-dessus (Figure 53) représente les émissions de SO₂ générées par le transport routier entre 1970 et 2025 en fonction des grandes catégories de transport routier.

On relève l'existence d'une première phase durant laquelle les émissions de SO₂ augmentent entre 1970 et 2000. Les émissions décroissent alors de manière très forte sur la période 2000-2005. Elles augmentent de nouveau mais de manière très légère entre 2010 et 2025.

On distingue relativement bien sur ce graphique les deux périodes notables de la réduction de la teneur en soufre dans les carburants : une première inflexion entre 1995 et 2000 lors du passage de 500 mg/kg à 350 mg/kg pour la première réduction (150 mg/kg pour l'essence) suivie par la chute brutale des émissions lors du passage de 350 à 50 mg/kg pour la seconde réduction.

Les émissions des véhicules particuliers et celles des poids lourds se comportent de manière différente sur la période 1970-1990. Cette différence provient de l'évolution propre de ces deux parcs roulants. D'une part, la phase d'augmentation du parc roulant des poids lourds est moins importante que celle des véhicules particuliers sur cette période. De plus, et contrairement aux véhicules particuliers, leur contribution aux émissions de SO₂ est déjà importante en 1970 puisqu'à cette période ils fonctionnent déjà tous au gazole.

Figure 54 - Émissions de CO₂ du transport routier en France de 1970 à 2025

La figure ci-dessus (Figure 54) représente l'évolution des émissions de CO₂ générées par le transport routier en France entre 1970 et 2025 en fonction de chaque grande catégorie de transport.

On constate que sur l'ensemble du parc comme pour chaque grande catégorie de transport routier les émissions de CO₂ augmentent de manière continue sur la période 1970-2025. Les émissions totales de CO₂ ont quasiment été multipliées par trois entre 1970 et 2000. En l'absence de toute mesure forte visant à corriger la tendance actuelle, elles devraient encore augmenter de 50 % par rapport à la situation en 2000.

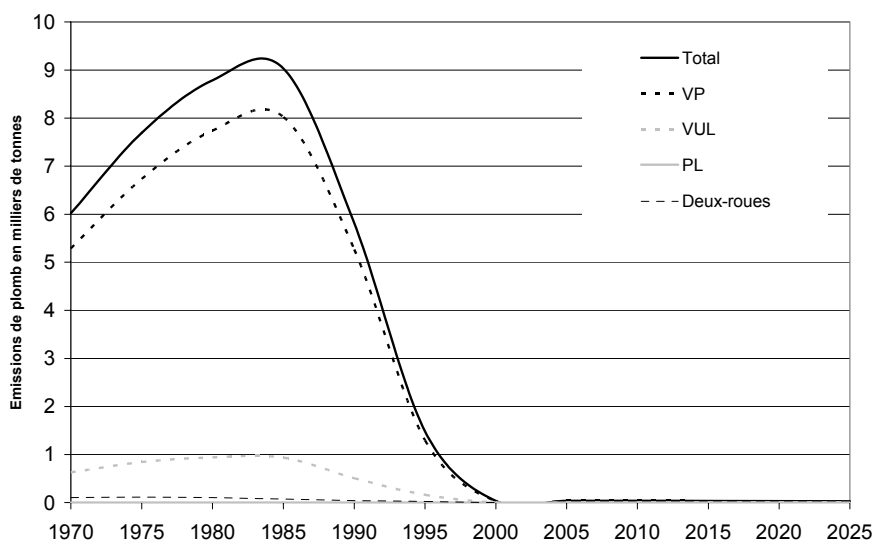


Figure 55 - Émissions de plomb du transport routier en France sur la période 1970-2025

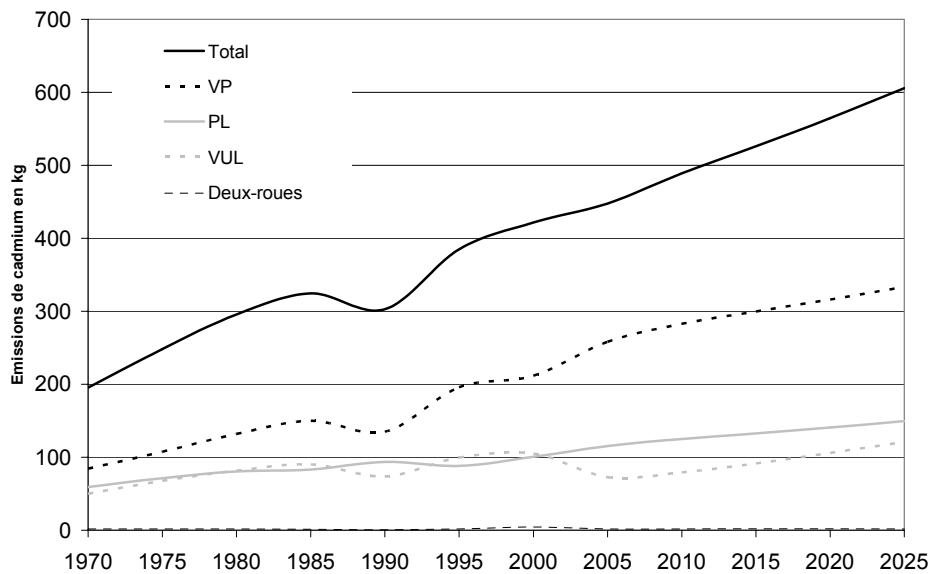


Figure 56 - Emissions de cadmium du transport routier en France sur la période 1970-2025 (en kg)

Les figures ci-dessus (Figure 55 et Figure 56) représente l'évolution des émissions de deux métaux lourds : le plomb d'une part dont les émissions évoluent de manière très spécifique et le cadmium d'autre part dont le comportement est relativement représentatif de celui des autres métaux lourds pris en compte (cuivre, chrome, nickel, sélénium, zinc).

En ce qui concerne les émissions de plomb on observe tout d'abord une phase de croissance entre 1970 et 1985 puis une phase de décroissance importante jusqu'à atteindre un plateau nul aux alentours des années 2000. Cette évolution est tout d'abord le résultat de l'augmentation du parc roulant de véhicules particuliers (période 1970-1985) puis des mesures réglementaires qui visaient d'une part à une réduction progressive de la teneur en plomb dans l'essence (période 1985-2000) et d'autre part à une disparition de l'essence plombée (période 2000-2025).

Dans le cas des émissions de cadmium, l'évolution se fait de manière très différente. On observe une croissance constante des émissions de cadmium entre 1970 et 2025 marquée par une brève période d'infléchissement aux alentours de 1990. Cet infléchissement provient très probablement des débuts de la diésélisation du parc de véhicules particuliers.

Concernant les métaux lourds présents sous forme de traces dans les carburants (cadmium, cuivre, chrome, nickel, sélénium, zinc), il importe de noter que les résultats doivent être interprétés et manipulés avec une certaine prudence. En effet ces estimations sont tributaires des teneurs en métaux lourds dans les carburants saisis sur Copert III, c'est-à-dire de données dont le suivi ne fait pas l'objet d'une contrainte réglementaire et qui sont la plupart du temps méconnues des pétroliers eux-mêmes. L'origine de ces traces de métaux lourds serait une

contamination du pétrole et des carburants lors des phases de logistique (stockage et transport).

3. INFLUENCE DE DIFFERENTS PARAMETRES SUR LES EMISSIONS

Cette partie est consacrée à l'évaluation de l'effet induit par un certain nombre de paramètres sur les émissions associées au parc routier. Nous chercherons successivement à estimer l'influence:

- d'une baisse du rythme de vieillissement des véhicules ;
- du développement de la climatisation des véhicules particuliers ;
- du développement du filtre à particules pour les moteurs diesel ;
- des accords des constructeurs automobiles sur les émissions de CO₂.

3.1. Ralentissement du vieillissement des véhicules particuliers

Le scénario dans lequel les véhicules particuliers connaissent un rythme de vieillissement plus lent que le rythme actuel a été présenté précédemment (§3.4 p. 25). Il correspond à une modification des coefficients de survie des véhicules de manière à ce que le taux d'augmentation du parc roulant de véhicules particuliers concorde avec celui qui est prévu pour le scénario B élaboré dans le cadre des travaux prospectifs du SES (Figure 12).

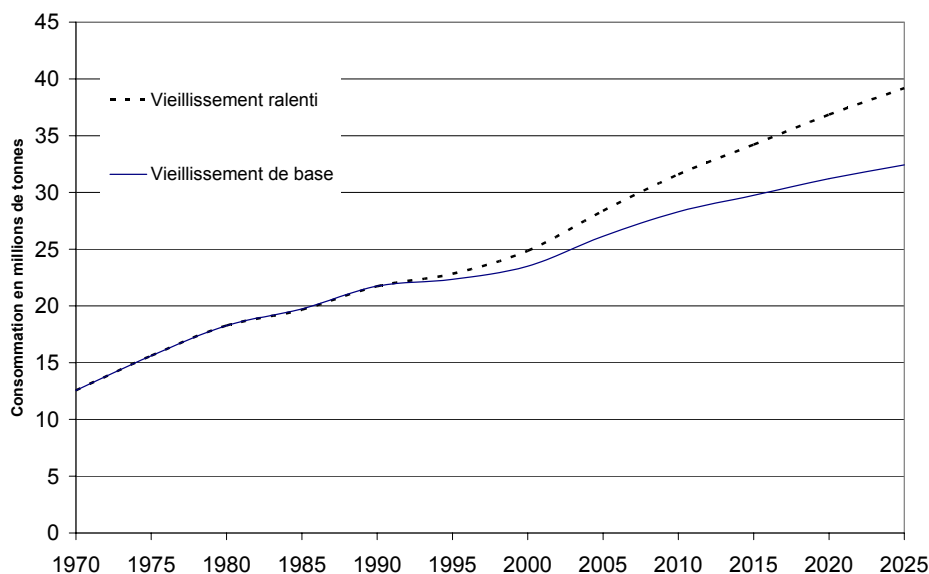


Figure 57 - Consommation de carburant du parc VP et du parc VP avec vieillissement ralenti

Les figures ci-avant (Figure 57) et ci-après (Figure 58) présentent la consommation de carburant et les émissions de CO₂ du parc de véhicules particuliers dans le cas du scénario de

base et dans le cas du scénario avec ralentissement du vieillissement. On constate que l'écart entre les deux scénarios est loin d'être négligeable puisqu'il atteint environ 20 % pour l'un et l'autre des impacts présentés.

Rappelons que notre scénario de base est fondé sur une projection des tendances passées des ventes d'immatriculation alors que le scénario B du SES, construit sur la base d'une approche économique, est fondé sur une poursuite des inflexions actuelles en faveur des transports en commun. Les résultats des impacts respectifs de ces deux scénarios sont donc inversés par rapport aux optiques dans lesquelles ils ont été construits. Toutefois, comme il a été dit dans la partie consacrée à la construction du scénario avec vieillissement ralenti (3.4 p.25), il est assez difficile de concilier ces deux formes d'approches de la prospective. Néanmoins elles constituent l'une pour l'autre une perspective critique qu'il importe de ne pas négliger, voire sur laquelle il serait intéressant de s'appuyer pour enrichir ce type de travaux et les rendre plus pertinents.

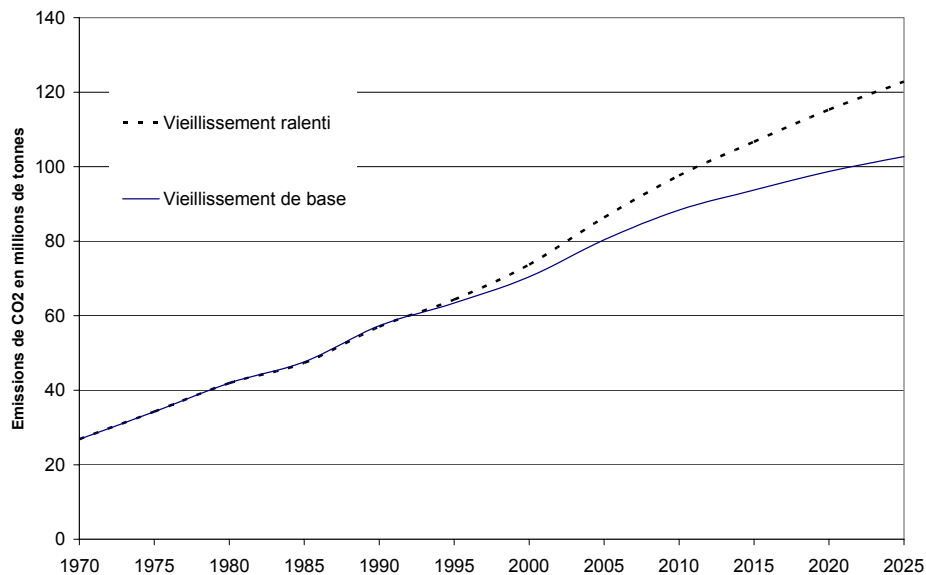


Figure 58 – Emissions de CO₂ du parc VP et du parc VP avec vieillissement ralenti

3.2. Climatisation

La climatisation s'est largement développée en France au cours de ces dernières années, que ce soit la climatisation des locaux ou celle des véhicules.

En ce qui concerne les véhicules particuliers, l'ADEME annonce que le taux d'équipement des véhicules neufs a crû en France de moins de 15 % en 1995 à plus de 60 % en l'an 2000 [Ademe, 2003]. Elle prévoit que ce mouvement, qui s'est amorcé par une diffusion en série sur des véhicules haut de gamme et milieu de gamme et en option par offre promotionnelles

pour des véhicules de taille moindre, devrait se maintenir au cours des prochaines années. Cette expansion dans les ventes annuelles se poursuit actuellement avec une pénétration de cet équipement de l'ordre de 70 % en 2003. Une saturation progressive, selon une évolution sigmoïdale, est par la suite attendue avec un taux d'équipement de 90 % à compter de 2010.

Outre des émissions de fluides frigorigènes par perte au niveau des liaisons par flexibles dans l'installation et au niveau du joint tournant situé entre le compresseur et le moteur thermique, l'utilisation de la climatisation entraîne une surconsommation de carburant ainsi qu'un surcroît d'émissions. Cette influence dépend du type de véhicule, du niveau de refroidissement attendu ainsi que du type de trajet effectué (l'influence serait plus importante en zone urbaine que sur route).

Afin d'effectuer une évaluation de l'ordre de grandeur de l'influence de la climatisation sur la consommation en carburant ainsi que sur les émissions, il est nécessaire de prendre en compte :

- la pénétration de la climatisation sur le marché au cours des années à venir ;
- les données de surconsommation et de surémissions liées au compresseur ;
- le taux de fonctionnement annuel du compresseur en fonction des conditions climatiques.

Bien que le cas des autres véhicules mériteraient d'être pris en compte, notre étude ne portera que sur la climatisation des véhicules particuliers. A ce jour il n'existe en effet aucune donnée concernant le taux d'équipement ainsi que la surconsommation et la surémission dans le cas des poids lourds. On soulignera simplement que, compte tenu du nombre de passagers et de l'importance des échanges intérieur/extérieur dus à l'ouverture des portes, il est probable que la climatisation d'un bus ait un effet important en terme de surconsommation et surémission.

3.2.1. Pénétration de la climatisation

Il n'existe pas de données détaillées au niveau français retraçant l'évolution du taux d'équipement des différentes catégories de véhicules particuliers en fonction du carburant et de leur cylindrée.

Pour modéliser la pénétration de la climatisation dans le parc de véhicules particuliers français nous nous sommes appuyés sur plusieurs données et hypothèses :

- prise en compte des données détaillées d'équipement pour l'année 2000 transmises par Laurent HIVERT du DEST à partir des enquêtes Parc Auto (Tableau 50) ;
- démarrage de l'équipement en climatisation aux alentours des années 1990 et davantage sur les véhicules de cylindrées les plus importantes ;

- évolution du taux de pénétration de forme sigmoïdale avec une saturation à un taux d'équipement de 90 %, celui-ci étant plus élevé sur les véhicules de grande cylindrée que sur les véhicules de petite cylindrée.

	Es <1,4l	Es 1,4-2l	Es > 2 l	D < 2 l	D > 2 l
Taux d'équipement parc VP	10 %	25 %	70 %	25 %	50 %

Tableau 50 - Taux d'équipement en climatisation du parc VP en 2000 (DEST d'après Parc Auto 2000)

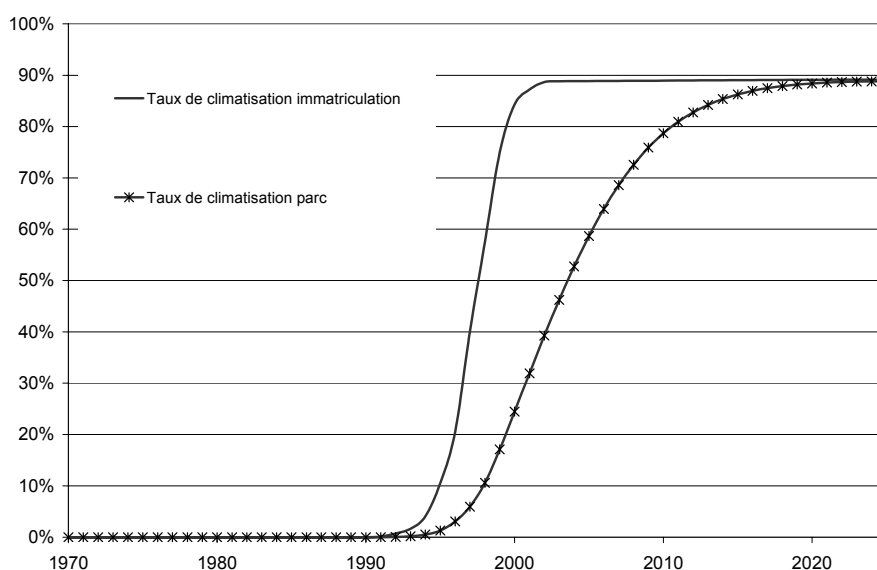


Figure 59 - Evolution du taux moyen de climatisation des VP

On constate sur cette figure que le taux d'équipement en climatisation sur les véhicules particuliers en 2000 est plus élevé que la valeur annoncée par l'Ademe. Dans la modélisation effectuée il n'était pas possible de respecter à la fois les 60 % de voitures neuves équipées en 2000 (chiffre Ademe) et le taux d'équipement issu des enquêtes Parc Auto et transmis par le DEST. Face à cette double contrainte, nous avons privilégié les chiffres relatifs au parc statique issus de l'enquête Parc Auto.

3.2.2. Taux de fonctionnement du compresseur

La surconsommation de carburant et la surémission de polluants sont dues au fonctionnement du compresseur de la climatisation. Afin d'estimer la surconsommation moyenne annuelle d'un véhicule équipé d'une climatisation, il est donc nécessaire d'évaluer le temps pendant lequel le compresseur va être appelé à fonctionner au cours d'une année. Ce temps de

fonctionnement dépend de la gêne éprouvée par le conducteur en fonction des conditions climatiques extérieures.

La gêne ressentie par un conducteur dépend de multiples paramètres. Néanmoins la température et le degré d'humidité extérieure sont les principaux facteurs influents. Pour un même degré d'humidité, plus la température est importante, au-delà d'une température minimale, plus la gêne éprouvée est importante. Pour une même température, plus le taux d'humidité est important plus la gêne sera importante (le taux d'humidité de l'air affecte l'évacuation de la transpiration).

Plusieurs indices de gêne en fonction de la température et de l'humidité ont été proposés dans la littérature [URQUIZA, 2003]. Pour notre part nous proposons d'utiliser l'indice Humidex qui est exploité depuis les années 1960 par le service météorologique canadien (http://lavoieverte.qc.ec.gc.ca/meteo/Documentation/Humidex_fr.html). Le tableau ci-dessous (Tableau 51) présente la valeur de l'indice Humidex en fonction de données de température et d'humidité.

	15°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C
40 %	15	20	21	22	24	25	26	28	29	31	32	34
45 %	15	20	22	23	24	26	27	29	30	32	33	35
50 %	15	21	22	24	25	27	28	30	31	33	34	36
55 %	15	22	23	24	26	27	29	31	32	34	36	37
60 %	15	22	24	25	27	28	30	32	33	35	37	38
65 %	16	23	24	26	27	29	31	32	34	36	38	40
70 %	16	23	25	27	28	30	32	33	35	37	39	41
75 %	16	24	26	27	29	31	33	34	36	38	40	42
80 %	17	25	26	28	30	32	33	35	37	39	41	43
Peu de gens sont incommodés						Sensation de malaise plus ou moins grande						
Sensation de malaise assez grande. Prudence. Ralentir les activités en plein air.						Sensation de malaise généralisée. Danger. Eviter les efforts.						

Tableau 51 – Humidex : indice de gêne en fonction de la température et de l'humidité (en équivalent °C)

Afin d'estimer le taux de fonctionnement du compresseur d'un véhicule particulier équipé d'une climatisation en France nous nous appuyons sur la synthèse effectuée par URQUIZA [URQUIZA, 2003]. A partir de ces travaux nous établissons la formule suivante :

$$\tau = \frac{1}{365} \left[\sum_i (j_i \times \frac{P_d}{p_d + p_n} \times \tau_i) + \sum_j (n_j \times \frac{P_n}{p_d + p_n} \times \tau_j) \right]$$

avec :

τ : taux moyen de fonctionnement annuel (compris entre 0 et 1)

τ_i et τ_j : taux de fonctionnement du compresseur aux indices de gêne $i^\circ\text{C}$ et $j^\circ\text{C}$ (compris entre 0 et 1)

j_i et n_j : nombre de jours pendant lesquels l'indice de gêne est de $i^\circ\text{C}$ et nombre de nuits pendant lesquelles l'indice de gêne est de $j^\circ\text{C}$

p_d et p_n : parc roulant en période diurne et parc roulant en période nocturne.

Cette formule établit que le taux de fonctionnement moyen annuel du compresseur d'une climatisation correspond à la somme des taux de fonctionnement annuel diurne et nocturne respectivement pondérés par le pourcentage de la circulation en période diurne et le pourcentage de la circulation en période nocturne.

Le taux de fonctionnement moyen annuel diurne du compresseur correspond à la somme des taux de fonctionnement moyen du compresseur (τ_i) pour chaque indice de gêne $i^\circ\text{C}$ respectivement pondérés par la répartition temporelle de ces différents indices de gêne considérés. Le calcul sur les périodes nocturnes est identique au calcul sur les périodes diurnes.

Les taux de fonctionnement moyen correspondant à chaque indice de gêne $i^\circ\text{C}$ en période diurne et $j^\circ\text{C}$ en période nocturne sont donnés dans le tableau suivant (Tableau 52).

Tableau 52 - Taux de fonctionnement du compresseur pour différentes situations de gêne d'après [Koupal, 1998].

Indice de gêne en Equivalent $^\circ\text{C}$	Taux de fonctionnement diurne	Taux de fonctionnement nocturne
19	0	0
23	0,28	0,03
25	0,33	0,08
36	0,81	0,71
38	0,87	0,87
40	0,92	0,92
> 43	1	1

Afin d'évaluer la répartition temporelle des différents indices de gêne sur le territoire français au cours d'une année, nous avons demandé à Météo France d'extraire le nombre de jours par an au cours desquels la température moyenne est supérieure à un seuil de :

- 23 °C, 25 °C et 30°C sur les périodes diurnes allant de 7 heures UTC (9 heures en été) à 20 heures UTC (22 heures en été) ;
- 23 °C sur la période nocturne de 20 heures UTC à 7 heures UTC.

Cette extraction a été faite département par département pour les dix dernières années. Ces données nous ont permis de déterminer le nombre moyen de jours par an pendant lesquels la température diurne moyenne était comprise entre 23°C et 25°C ou entre 25°C et 30°C ou supérieure à 30°C ainsi que le nombre de jours pendant lesquels la température nocturne était supérieure à 23°C. Le choix de ces différents seuils de température a été réalisé en collaboration avec Météo France afin qu'ils produisent les résultats les plus pertinents possibles (Tableau 53).

Tableau 53 - Conditions climatiques sur la France (d'après données Météo France sur 10 ans)

Période diurne	N max jours*	N min jours*	Période nocturne	N max jours	N min jours
$23^{\circ}\text{C} \leq i < 25^{\circ}\text{C}$	106	0	$23^{\circ}\text{C} \leq i$	133	0
$25^{\circ}\text{C} \leq i < 30^{\circ}\text{C}$	144	0			
$30^{\circ}\text{C} \leq i$	47	0			

* N max (N min) : le nombre maximal (respectivement le nombre minimal) de jours pendant une année pour lesquels la température vérifie le critère de la première colonne ; ce nombre est identifié sur l'ensemble des mesures annuelles département par département sur les dix années suivies.

En ce qui concerne le taux d'humidité, nous avons travaillé avec une hypothèse basse et une hypothèse haute afin de pouvoir estimer les indices de gêne Humidex correspondant. Nous avons considéré un cas avec un taux d'humidité de 20 % et un cas avec un taux d'humidité de 70 %.

Nous avons alors appliqué la formule permettant de calculer le taux de fonctionnement annuel du compresseur département par département ; les résultats départementaux de taux de fonctionnement moyen annuel du compresseur ont ensuite été moyennés en tenant compte de la répartition du parc de véhicules particuliers département par département pour l'année 2000 [DAEI, 2002] (une approche plus précise que celle-ci consisterait à évaluer les flux touristiques sur le territoire français au cours des mois les plus chauds de l'année). Ceci nous a permis d'aboutir à une estimation globale du taux de fonctionnement du compresseur d'une climatisation à l'échelle de la France :

- un taux de fonctionnement annuel de 4 % du temps pour un taux d'humidité de 20 % ;
- un taux de fonctionnement annuel de 8 % du temps pour un taux d'humidité de 70 %.

Les départements dont le taux de fonctionnement est le plus fort sont par ordre décroissant :

- la Corse : taux de 14 % à 20 % d'humidité et de 29 % à 70 % d'humidité ;
- le Gard, le Vaucluse et les Bouches-du-Rhône : taux de 7 % à 20 % d'humidité et de 14 % à 70 % d'humidité.

Les départements dont le taux de fonctionnement du compresseur est le plus faible sont par ordre croissant :

- la Meuse et la Haute-Savoie : taux de 0 % à 20 % d'humidité et de 0 % à 70 % d'humidité ;
- les Côtes-d'Armor, le Finistère, la Manche et le Pas-de-Calais : taux de 1 % à 20 % d'humidité et de 2 % à 70 % d'humidité.

Le graphique suivant présente la distribution des taux de fonctionnement de compresseur sur les différents départements français pour des taux d'humidité de 20 % et 70 %.

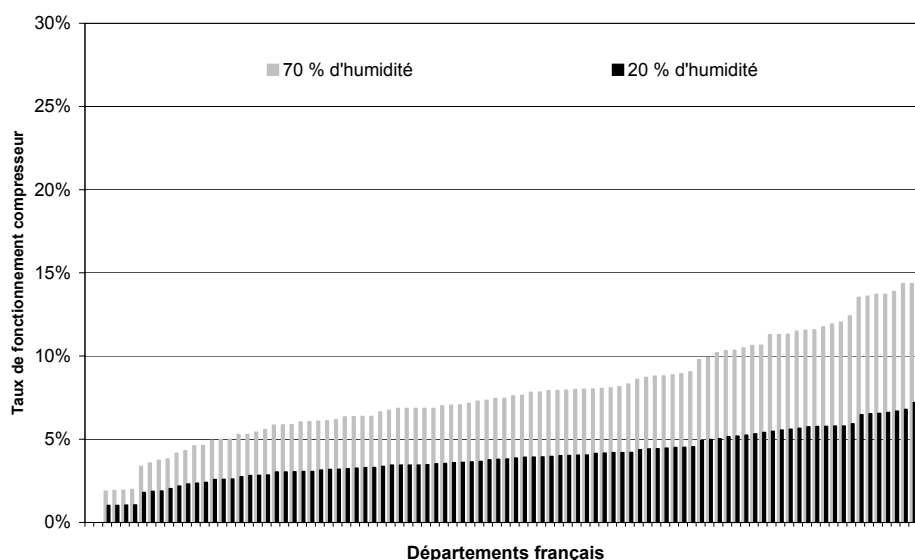


Figure 60 - Taux annuel de fonctionnement du compresseur d'une climatisation pour les différents départements français (par ordre croissant de taux de fonctionnement)

Pour conclure sur cette partie consacrée à l'estimation du taux de fonctionnement du compresseur d'une climatisation automobile en France, nous soulignerons simplement que nos calculs aboutissent à une sous-estimation de ce taux de fonctionnement dans la mesure où ils ne prennent pas en compte le phénomène de chauffe d'une automobile stationnée en plein soleil. Ce dernier facteur a probablement une influence non négligeable sur la demande de fonctionnement de la climatisation mais il est difficilement quantifiable sauf à équiper des automobiles et à suivre le temps de fonctionnement de la climatisation en fonction des paramètres météorologiques.

3.2.3. Estimation de la surconsommation et des surémissions générées par la climatisation

Les données de surconsommation et de surémissions que nous avons exploitées sont des données provenant d'une série d'essais conduits par l'UTAC et traités par l'INRETS [UTAC, 1997].

Cette étude a été effectuée sur 20 véhicules représentatifs du parc automobile français.

Les émissions de polluants ont été mesurées sur les bases modifiées de la Directive 91/441/CEE sans les 40 secondes de démarrage (cycle NEDC 2 ou « EURO 2000 » = cycle urbain + cycle extra-urbain).

La consommation de carburant a été mesurée sur la base de la Directive 80/1268 (départ chaud) ainsi que de manière complémentaire sur la base de la Directive 80/1268/CEE (départ froid).

Les essais ont été effectués avec une température ambiante de 30 °C et une humidité relative de 50 % pour 10 véhicules et pour une température de 40°C et une humidité relative de 30 % pour les autres véhicules. Les véhicules ont tout d'abord été testés en configuration de base, c'est-à-dire tous les accessoires hors service et avec réglage du banc à rouleaux correspondant aux vitres fermées, avant d'être testés avec la climatisation réglée à 20°C ou au maximum si cette consigne ne pouvait être atteinte.

Parmi ces différentes données nous avons exploité les mesures effectuées avec une température ambiante de 30°C pour :

- la consommation de carburant estimée sur la base de la Directive 80/1268/CEE à la vitesse de 120 km/h et sur la base de la Directive 93/116/CEE pour les cycles urbain (18,7 km/h) et extra-urbain (62,6 km/h) départ froid ;
- l'émission de CO₂ estimée sur la base de la Directive 93/116/CEE pour les cycles urbain (18,7 km/h) et extra-urbain (62,6 km/h).
- Le cas de véhicules diesel est traité distinctement du cas des véhicules essence.

La surconsommation de carburant et les surémissions en CO₂ sont estimées par différence entre les essais dans la configuration de base et les essais avec la climatisation en fonctionnement. Ces valeurs sont exprimées en g/km ; nous les avons converties en g/min afin de nous affranchir au mieux de la différence entre la vitesse requise pour les différents cycles et la vitesse moyenne précédemment retenue pour la circulation sur les réseaux urbain, route et autoroute.

Ces valeurs de surconsommation et de surémission sont en outre conservées sous forme de valeur absolue et ne sont pas rapportées à la consommation ou à l'émission réelle de chaque véhicule testé. Ceci signifie que par la suite nous considérerons que la surconsommation et la surémission sont des grandeurs indépendantes de la cylindrée des véhicules ce qui peut se justifier par le fait que bien que les habitacles soient plus grands (et donc plus demandeurs d'énergie pour être climatisés) sur des véhicules de grande cylindrée, ils sont aussi probablement mieux isolés.

Les différentes valeurs retenues sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 54).

Tableau 54 - Surconsommation et surémission unitaires dues à la climatisation

	Surconsommation de carburant		Surémission CO2	
	Essence en g/mn	Diesel en g/mn	Essence en g/mn	Diesel en g/mn
Urbain	7.10^{-3}	$8,5.10^{-3}$	5,6	6,6
Extra-urbain	7.10^{-3}	1.10^{-2}	3,3	2,9
120 km/h	1.10^{-2}	$1,5.10^{-2}$		
	Essence en l/100 km	Diesel en l/100 km	Essence en g/km	Diesel en g/km
Urbain	3,1	3,2	1,7	2
Extra-urbain	0,9	1,1	3,4	3
120 km/h	0,7	0,8		

3.2.4. Résultats

Les graphiques suivants présentent les résultats de surconsommation et de surémission du parc de véhicules particuliers français en fonction du développement de la climatisation au cours du temps.

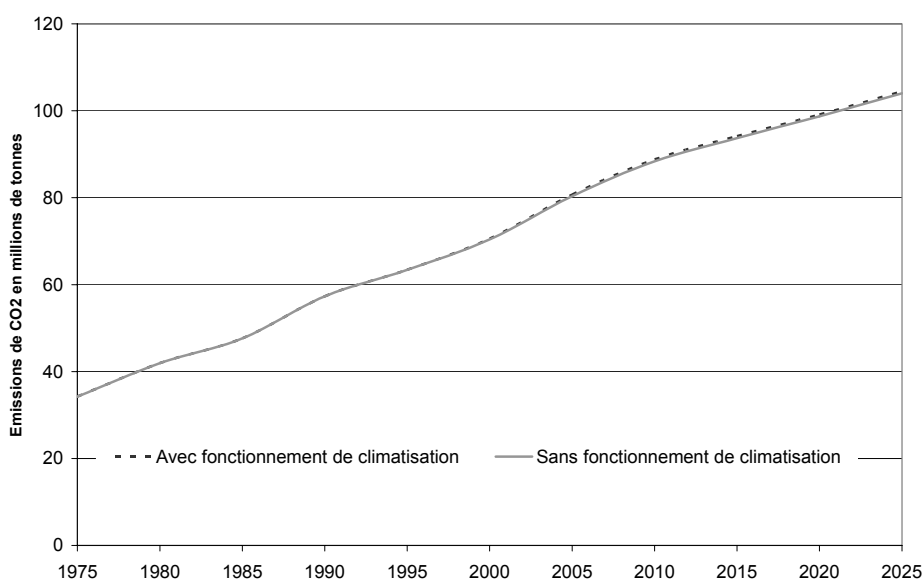


Figure 61 - Influence de la climatisation sur les émissions de CO₂ du parc français de véhicules particuliers entre 1970 et 2025 (en 10⁶ tonnes) – 20 % d'humidité

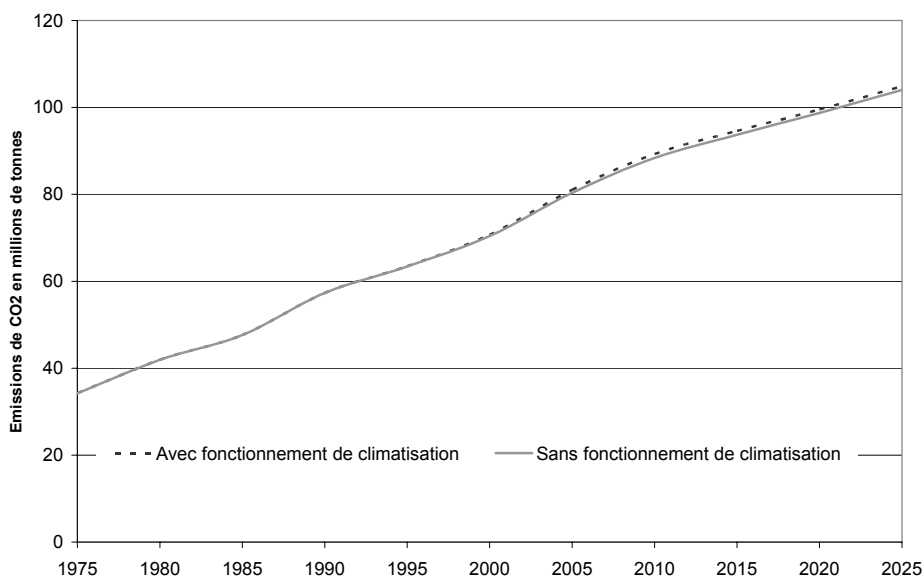


Figure 62 - Influence de la climatisation sur les émissions de CO₂ du parc français de véhicules particuliers entre 1970 et 2025 (en 10⁶ tonnes) – 70 % d'humidité

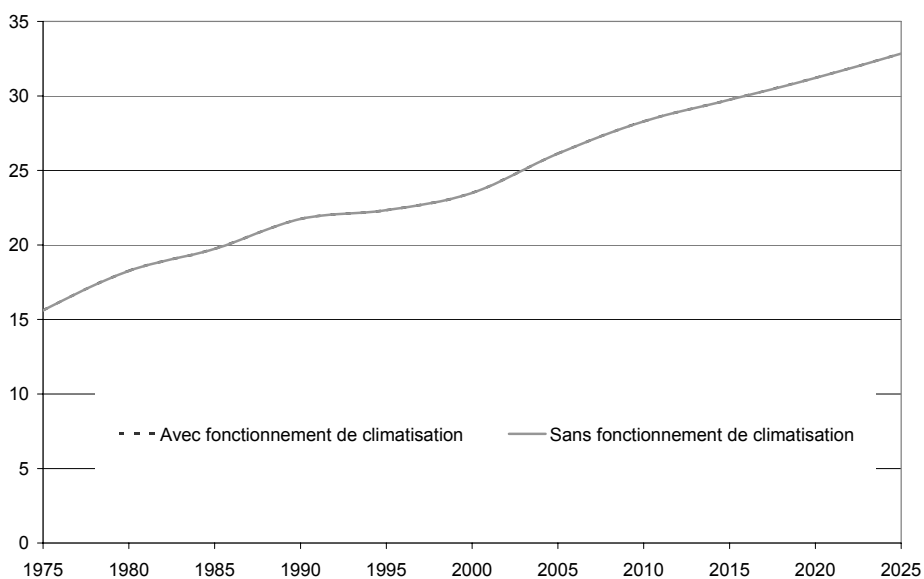


Figure 63 - Influence de la climatisation sur la consommation du parc français de véhicules particuliers entre 1970 et 2025 (en tonnes)

On constate qu'à l'échelle du parc français de véhicules particuliers la surconsommation et la surémission de CO₂ sont relativement faibles au regard de la consommation et de l'émission de CO₂ de ce parc. Toutefois, en 2025 la différence entre les émissions de CO₂ qui seraient émises par un parc de véhicules particuliers en l'absence de climatisation et un parc de véhicules particuliers équipés de climatisation (cas avec 70 % d'humidité) est légèrement

supérieure à 800 000 tonnes de CO₂ ce qui correspond aux émissions générées par 500 000 habitants environ au cours de leurs activités domestiques.

3.3. Influence des filtres à particules

Malgré des performances environnementales relativement bonnes notamment du fait de sa faible consommation, le moteur diesel demeure critiqué pour ses rejets de particules et ses fumées noires. PSA Peugeot-Citroen a récemment mis au point un filtre à particules permettant de réduire ces émissions à la limite du mesurable. A l'heure actuelle, le filtre à particules équipe les Peugeot 307, 406, 607 et 807, les Citroën C5 et C8 ainsi que les Fiat Ulysse et Lancia Phedra mais il est promis à un développement important et ce d'autant plus que les autres constructeurs étudient de leur côté ce type de technologie.

Le principal problème posé par le développement d'un filtre à particules concerne sa régénération. En effet, la rétention de particules très fines ne présente en tant que telle aucune difficulté ; il suffit pour cela d'adopter un filtre dont la maille est suffisamment petite pour retenir les particules souhaitées. Monté sur un véhicule, le problème posé par ce type de filtre est son encrassement ; au fur et à mesure que les particules sont retenues, le filtre s'encrasse jusqu'à se colmater totalement. Il importait donc de mettre au point un système de régénération du filtre qui n'abaisse pas les performances du véhicule d'une part et qui ne n'ajoute pas de contrainte au conducteur.

Le système de régénération mis au point par PSA, premier constructeur à avoir doté certains moteurs de véhicules particuliers de filtre à particules, consiste à brûler périodiquement les particules accumulées sur le filtre. Cette combustion, qui nécessite normalement une température supérieure à 550°C, est réalisée par surinjection de carburant en phase de détente d'une part – ce qui a tendance à produire de la chaleur plutôt que du couple moteur, et introduction d'un adjuvant (l'Eolys®) à base de cérine qui abaisse la température naturelle de combustion des particules à 450°C. La régénération du filtre est pilotée par le logiciel de commande du moteur. Un capteur de pression (mesurant le différentiel avant et après le filtre) suit l'état de colmatage et déclenche dès que nécessaire l'opération de régénération. La régénération complète nécessite deux à trois minutes et s'effectue tous les 500 à 700 km en moyenne [NARS, 2002].

Afin d'évaluer l'incidence de cet équipement sur les émissions de particules du parc automobile français il est nécessaire de considérer :

- la pénétration du filtre à particules sur le marché des véhicules routiers diesel au cours des années à venir ;
- l'efficacité du filtre à particules.

En ce qui concerne l'efficacité du filtre à particules, les données disponibles montrent que le taux de poussières résiduelles dans les fumées du moteur se situe à la limite du mesurable. De

ce fait nous supposons qu'après installation d'un filtre à particules la concentration de poussières dans les fumées est nulle.

3.3.1. Pénétration du filtre à particules

PSA ayant été le premier constructeur à équiper ses véhicules diesel de filtre à particules, le scénario de pénétration du filtre au sein des différentes catégories de véhicules routiers sera largement inspiré des éléments connus en ce qui concerne le développement de cette technologie dans le cadre de ce groupe.

La mise sur le marché des premières automobiles diesel équipées de filtre à particules date de l'année 2000. On sait par ailleurs que PSA annonçait un chiffre de 500 000 véhicules équipés de filtre à particules à la fin de l'année 2003 et prévoyait 2 000 000 de véhicules équipés d'ici à 2005. Après vérification auprès de PSA ces deux chiffres concernent l'ensemble du marché européen. L'estimation du nombre de véhicules équipés en 2003 et 2005 à l'échelle de la France est faite en appliquant la part des immatriculations françaises du groupe PSA par rapport au total des immatriculations européennes pour l'année 2002¹³. Les immatriculations françaises représentant 34 % environ des immatriculations européennes de PSA [CCFA, 2004], on estime le nombre de véhicules particuliers français issus du groupe PSA et équipés d'un filtre à particules à 170 000 environ en 2003 et à 670 000 environ en 2005.

A partir de ces données nous effectuons une simulation de l'évolution du taux d'équipement des véhicules particuliers du groupe PSA (Figure 64) de manière à :

- débiter la mise sur le marché des véhicules équipés de FAP en 2000 pour les plus grosses cylindrées et en 2004 pour les plus petites ;
- retrouver les estimations d'immatriculations données pour l'année 2003 et 2005.

Il a été relativement difficile de caler cette courbe de manière à tomber sur les estimations exactes. Le taux de développement simulé nous conduit ainsi à :

- 200 000 véhicules PSA équipés de FAP en 2003 au lieu de 170 000 ;
- 650 000 véhicules PSA équipés de FAP en 2005 au lieu de 670 000.

¹³ PSA ne souhaitait pas diffuser le détail de la répartition des véhicules équipés de FAP sur les différents pays européens.

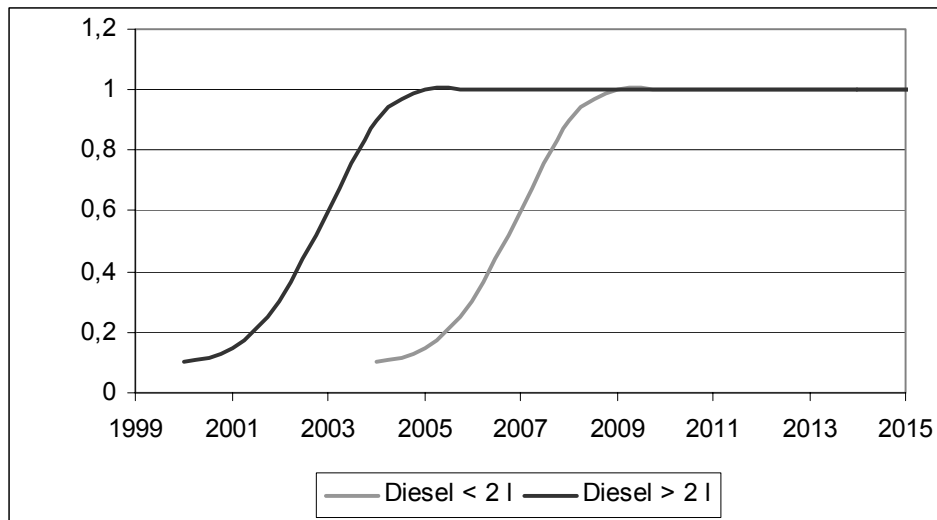


Figure 64 - Simulation du taux d'équipement des VP diesel du groupe PSA en France

Ces mêmes taux d'équipement sont ensuite appliqués aux constructeurs ayant annoncé la sortie de véhicules équipés de filtre à particules : Renault, VAG et Opel ; leur pénétration sur le marché est initiée en 2005.

On considère également que le filtre à particules sera rendu nécessaire par l'application de la norme Euro V, ce qui signifie qu'à partir de 2010 tous les véhicules diesel nouvellement immatriculés seront équipés de filtre à particules.

L'ensemble de ces considérations nous permet d'estimer un taux de pénétration global du FAP au sein des véhicules particuliers diesel. Celui-ci est estimé en prenant en compte la part de chacun des trois groupes de constructeurs sur le marché français en 2002, soit 34 % pour PSA, 41 % pour Renault, Volkswagen, Audi et Opel et 25 % pour l'ensemble des autres constructeurs [CCFA, 2004].

En ce qui concerne les véhicules utilitaires légers et les poids lourds nous avons appliqué la même pénétration que celle qui concernent les véhicules particuliers diesel de petite cylindrée, soit un démarrage de l'équipement en 2004 et un taux d'équipement total en 2010.

Dans la réalité, il existait déjà 2000 bus équipés de filtre à particules en 2003 (essentiellement des bus RATP). Concernant les poids lourds, cinq camions équipés de FAP étaient en phase expérimentale en 2003 ; mais ce chiffre devrait évoluer rapidement car le nouveau plan véhicules propres prévoyait une aide pour l'équipement de 1000 poids lourds (source Ademe, communication personnelle de G. Plassat).

3.3.2. Résultats

Le graphique ci-après montre l'abaissement important des émissions de particules qui serait généré par la généralisation de cet équipement.

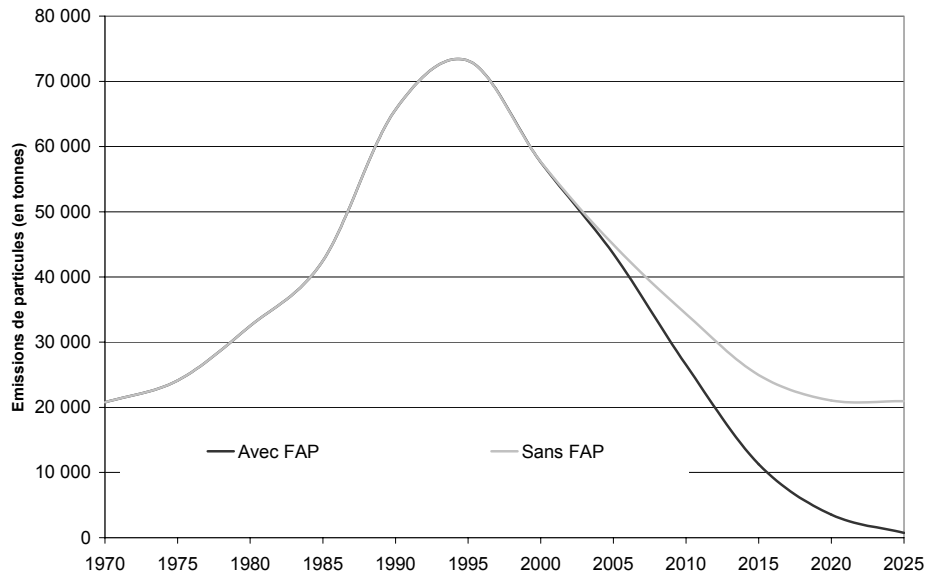


Figure 65 - Influence du filtre à particules sur les émissions en particules du parc routier français

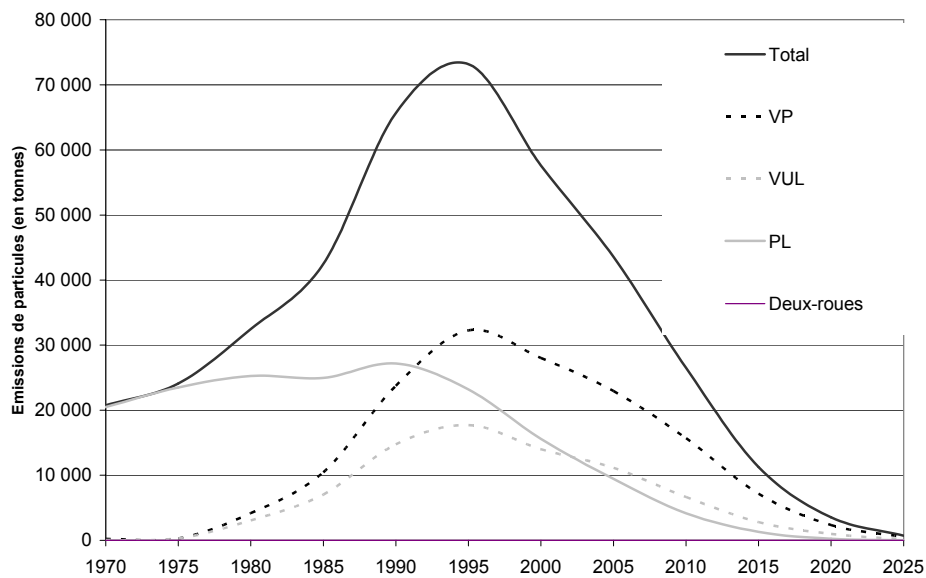


Figure 66 – Émissions de particules du parc routier français

3.4. Accords ACEA (JAMA et KAMA)

Compte tenu des progrès réalisés en ce qui concerne les émissions de polluants dans le domaine des transports, la contribution à l'effet de serre apparaît maintenant comme le problème environnemental majeur généré par la circulation routière.

Devant cet enjeu, les constructeurs européens (ACEA), japonais (JAMA) et coréens (KAMA) se sont volontairement engagés, devant la commission européenne, dans une procédure de réduction des émissions de CO₂. Les objectifs fixés dans le cadre de cet engagement, avalisé et annuellement contrôlé par la Commission européenne, prévoient une réduction des émissions de unitaires moyennes des véhicules neufs mis sur le marché et tous carburants confondus à 140 g/km d'ici à 2008 (2009 pour la JAMA et la KAMA) et à 120 g/km d'ici à 2012.

Compte tenu du fait que les émissions unitaires des véhicules neufs mis sur le marché se situaient aux alentours de 190 g/km en 1995, on peut considérer que l'effort consenti par les constructeurs est relativement important.

Dans cette partie, nous tentons d'évaluer l'effet de ces engagements sur les émissions de CO₂ du parc français de véhicules particuliers. Ce travail nécessite :

- d'identifier au cours du temps le parc de véhicules respectant les accords des constructeurs ;
- de substituer le bilan des émissions de CO₂ associé à ce parc et estimé sur la base des accords à celui qui est estimé par l'intermédiaire de Copert III.

3.4.1. Parc VP respectant les accords des constructeurs

Afin d'identifier le parc des véhicules particuliers respectant les accords ACEA, JAMA et KAMA, nous avons recensé les véhicules du parc français dont les constructeurs adhèrent à l'un de ces trois organismes. Ce travail a été effectué pour les années 1980, 1985, 1990, 1996...2002 d'après des données publiées sur le site de l'ACEA. Pour ces différentes années, les véhicules immatriculés en France et qui n'ont pas été construits par un des ces constructeurs représentent moins de 1 % du total des véhicules immatriculés. Les véhicules provenant de constructeurs de l'ACEA représentent 95 % environ avec une légère tendance à la baisse au cours des années.

Sur la base de ces résultats, nous avons considéré que tous les véhicules immatriculés à partir de 1995 ont été construits de manière à vérifier les accords ACEA ; du fait de cette hypothèse on néglige le décalage temporel entre les accords ACEA d'une part et JAMA et KAMA d'autre part ; les véhicules dont aucun des constructeurs n'appartient à ces organismes, très minoritaires en France, sont également négligés et assimilés à des véhicules de type ACEA.

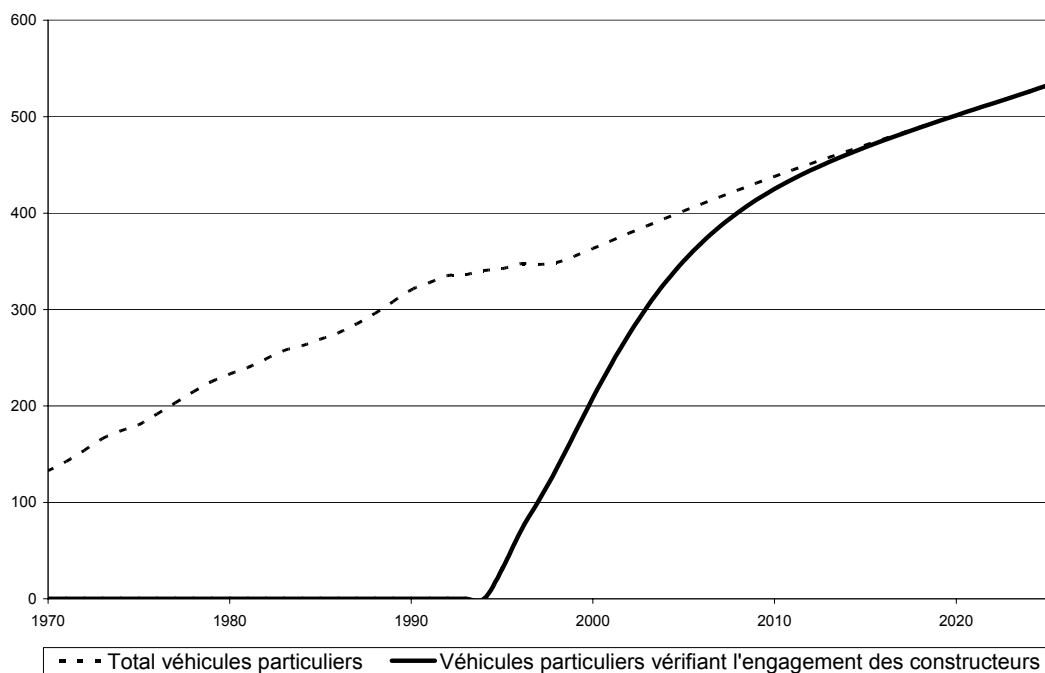


Figure 67 - Pénétration des véhicules vérifiant l'engagement des constructeurs sur le CO₂ dans le parc de VP français (en milliards de km)

La figure ci-dessus (Figure 67) représente la pénétration du parc de véhicules particuliers soumis aux accords des constructeurs sur les émissions de CO₂ au sein du parc de véhicules particuliers français. De manière annexe, cette figure montre également la vitesse de renouvellement du parc français de véhicules particuliers.

3.4.2. Relation entre les émissions de CO₂ sur la base de Copert III et sur la base des accords des constructeurs

Ainsi que dans le cas des normes appliquées aux émissions de polluants, les valeurs ciblées dans le cadre des accords des constructeurs sur les émissions de CO₂ sont mesurées sur la base d'un cycle NEDC (New European Driving Cycle).

Au contraire les émissions évaluées dans le cadre du modèle Copert III proviennent de mesures effectuées sur la base de cycles représentatifs.

En conséquence, le calcul du bilan CO₂ qui est associé au parc de véhicules particuliers dans lequel certains véhicules vérifient les accords des constructeurs ne consiste pas simplement à remplacer les émissions unitaires attribuées aux véhicules vérifiant les accords dans le cadre de Copert III par les émissions unitaires prévues dans le cadre des accords. Il est nécessaire d'étudier la relation qui existe entre des émissions de CO₂ mesurées sur cycle représentatif et des émissions unitaires mesurées sur cycle NEDC.

Afin d'étudier le rapport entre ces deux catégories de mesures nous avons tracé l'évolution des émissions de CO₂ mesurées sur la base du cycle NEDC d'une part et sur la base d'un cycle représentatif d'autre part ; on traite de manière distincte le cas des véhicules essence et le cas des véhicules diesel. Cette comparaison porte sur la période 1995-2001 pour laquelle nous disposons de données concernant les émissions mesurées sur la base du cycle NEDC.

Les émissions mesurées sur la base des cycles représentatifs ont été estimées par l'intermédiaire de Copert III. Pour ce faire nous avons saisi le parc roulant correspondant aux véhicules neufs année par année entre 1995 et 2001 sur le logiciel Copert III. Cette opération nous a permis d'obtenir un bilan des émissions de CO₂ pour chacune des années. Ces différents bilans ont ensuite été rapportés au parc roulant de véhicules neufs en distinguant le cas des véhicules diesel et essence ce qui nous permet d'accéder à une évaluation des émissions unitaires de CO₂ sur cycle représentatif, année par année, sur la période 1995-2001.

Les émissions mesurées sur la base du cycle NEDC sont issues du troisième rapport annuel publié par la Commission des communautés européennes sur l'efficacité de la stratégie communautaire visant à réduire les émissions de CO₂ des voitures [Commission, 2002].

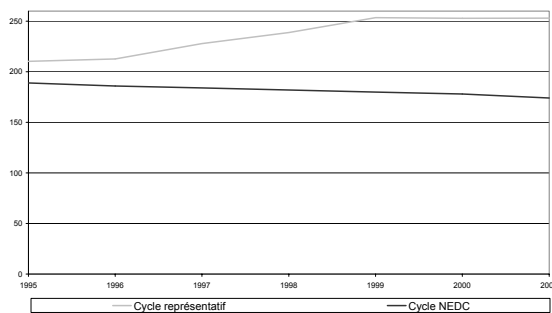


Figure 68 – Emissions unitaires de CO₂ VP essence sur cycle représentatif et NEDC (g/km)

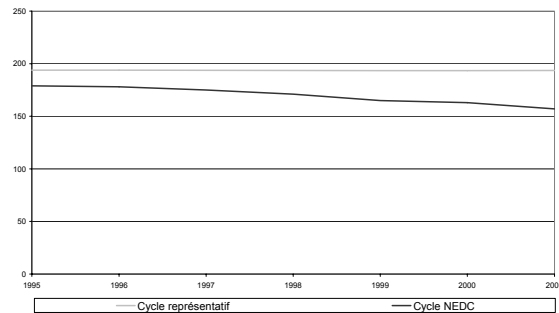


Figure 69 - Emissions unitaires de CO₂ VP diesel sur cycle représentatif et NEDC (g/km)

On observe sur les figures ci-dessus que, dans le cas des véhicules essence comme dans le cas des véhicules diesel, l'évolution des émissions unitaires représentatives n'est pas proportionnelle à celle des émissions mesurées sur NEDC. Les émissions mesurées sur NEDC diminuent alors que les émissions mesurées sur cycles représentatifs augmentent dans le cas des véhicules essence ou stagnent dans le cas des véhicules diesel. Ces résultats montrent qu'il ne semble pas y avoir de relation simple permettant de transposer les valeurs obtenues sur les cycles NEDC en valeurs qui seraient obtenues sur les cycles représentatifs utilisés dans le cadre de Copert III.

Toutefois, et malgré les limites évidentes de cette approche afin d'évaluer l'effet des accords ACEA, nous avons considéré que la différence relative (c'est-à-dire exprimée en pourcentage

des émissions unitaires d'un véhicule immatriculé en 1995) entre les émissions unitaires d'un véhicule immatriculé en 1995 et les émissions unitaires d'un véhicule immatriculé au cours d'une année postérieure était la même dans le cas d'une mesure sur cycle NEDC ou d'une mesure sur cycle représentatif (ce qui équivaut à un raisonnement selon lequel 1995 serait pris comme base 100).

L'estimation des émissions unitaires correspondant à des mesures sur cycle représentatif qui sont associées aux émissions unitaires mesurées sur cycle NEDC est présentée dans le tableau suivant (Tableau 55). Afin d'estimer les valeurs sur cycle représentatif sur l'ensemble de la période 1995-2012 nous avons procédé en plusieurs étapes :

- calcul des émissions unitaires sur cycle NEDC sur la période 2002-2012 en distinguant le cas de l'essence et du gazole ;
- calcul des émissions unitaires sur cycle représentatif sur la période 2002-2012 en distinguant le cas de l'essence et du gazole.

Pour procéder à ces estimations nous nous sommes tout d'abord appuyés sur les émissions unitaires sur cycle NEDC dont nous disposions pour la période 1995-2001 ; ces données sont différenciées pour l'essence et le gazole. A partir de la valeur globale cible des émissions unitaires sur NEDC fixée pour 2012, soit 120 g/km, ainsi que de la composition prospective des immatriculations à cette même date, nous avons estimé des valeurs cibles spécifiques pour les véhicules diesel et essence ; cette démarche nous a permis d'établir une valeur cible de 232 g/km pour le cas des véhicules essence et de 128 g/km pour le cas des véhicules diesel. Nous avons procédé de la même manière pour l'étape intermédiaire de 2008. Nous avons ensuite interpolé les émissions unitaires sur cycle NEDC dans le cas de l'essence d'une part et dans le cas du gazole d'autre part, sur les périodes 2001-2008 et 2008-2012.

Sur la base des émissions unitaires sur cycle représentatif et des émissions unitaires sur cycle NEDC pour la période 1995-2012, nous avons appliqué un raisonnement de type base 100 pour l'année 1995 afin d'estimer les émissions unitaires sur cycle représentatif dans le cas des diesel d'une part et dans le cas des essence d'autre part pour la période 2002-2012.

Tableau 55 - Emissions unitaires de CO₂ sur cycle représentatif avant et après correction selon les accords ACEA et selon l'année d'immatriculation (en g/km)

		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ES	Sans ACEA	210	213	228	239	254	253	253	257	259
	Avec ACEA	210	210	222	231	243	240	237	239	238
D	Sans ACEA	194	194	194	194	193	193	194	194	194
	Avec ACEA	194	192	188	184	179	175	171	167	163
M	Sans ACEA	202	205	214	221	227	226	225	227	226
	Avec ACEA	202	203	209	212	215	211	207	205	201

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ES	Sans ACEA	260	261	269	270	271	273	275	304	305
	Avec ACEA	234	231	234	231	228	222	217	239	232
D	Sans ACEA	194	194	194	194	194	194	194	196	196
	Avec ACEA	159	155	151	147	143	139	135	132	128
M	Sans ACEA	226	226	228	228	228	227	227	239	237
	Avec ACEA	196	191	190	185	180	174	168	175	168

Es : essence ; D : diesel ; M : moyenne

On note que l'évolution des émissions unitaires sur cycle représentatif se fait plutôt dans le sens d'une augmentation dans le cas des véhicules essence. Cet effet est induit par la montée en puissance des véhicules de moyenne et grosse cylindrée au détriment des petites cylindrées.

En ce qui concerne l'ensemble des véhicules particuliers, essence et diesel confondus, on constate que les émissions unitaires sur cycle représentatif passent de 202 g/km en 1995 à 180 g/km en 2008 et 168 g/km en 2012, chiffres à comparer aux valeurs cibles de 190 g/km en 1995, 140 g/km en 2008 et 120 g/km en 2012.

3.4.3. Résultats

La figure suivante représente les émissions de CO₂ du parc de véhicules particuliers français dans le cas où sont appliqués les accords des constructeurs et en l'absence de ces accords.

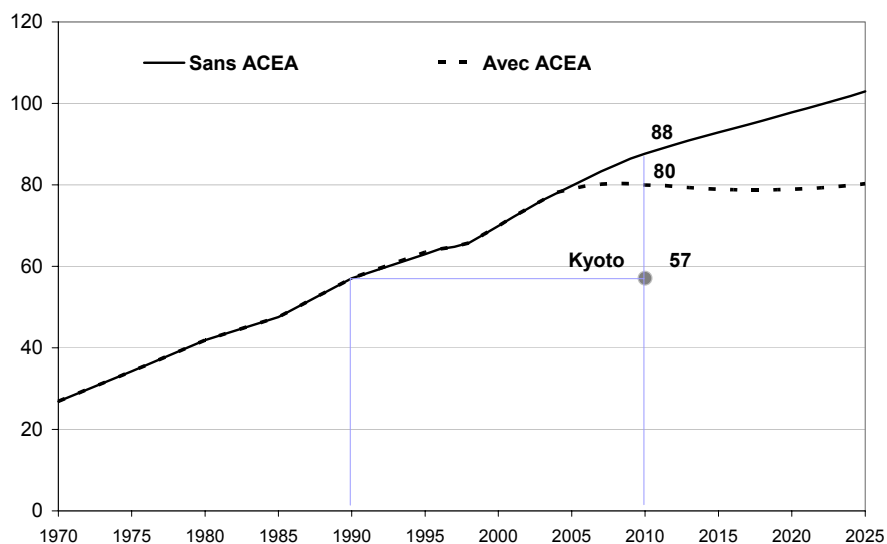


Figure 70 - Influence des accords ACEA, JAMA et KAMA sur les émissions de CO₂ du parc de VP français (en 10⁶ tonnes)

On a également signalé sur la figure le niveau que devraient atteindre les émissions de CO₂ si les accords de Kyoto, qui prévoient en 2010 un retour des émissions de CO₂ au niveau de 1990, se déclinaient de manière homogène sur tous les secteurs d'activités.

On observe sur cette courbe l'existence d'une première période, de 1995 à 2005 environ pendant laquelle la mise en place des accords ACEA n'a quasiment aucune influence sur les émissions de CO₂ à l'échelle du parc de véhicules particuliers puis une seconde période durant laquelle ces accords vont avoir pour effet de stabiliser les émissions de CO₂ à leur niveau de 2005. L'existence de cette première phase sans effet apparent provient de l'évolution des émissions unitaires sur cycle représentatif entre 1995 et 2005, période durant laquelle elles sont passées de 210 g/km à 230 g/km. Dans un deuxième temps, ces dernières émissions se stabilisant et celles des véhicules diesel continuant à décroître on a une diminution des émissions unitaires globales qui vient compenser l'augmentation du parc, ce qui conduit finalement à une stabilisation des émissions totales de CO₂.

On constate ainsi que si les accords ACEA, JAMA et KAMA permettent une baisse notable des émissions de CO₂, ils sont nettement insuffisants pour atteindre les objectifs fixés dans le cadre des accords de Kyoto. Il paraît de ce fait peu probable que ces objectifs soient atteints sans passer par une modification importante de nos habitudes de déplacements et nos besoins en matière de transport sauf à parier sur un saut technologique majeur d'ici à 2010, hypothèse qui semble de moins en moins envisageable.

Pour conclure sur cette partie, il importe en outre d'ajouter que nous avons effectué cette simulation en reprenant la base technologique du parc tel que nous l'avons modélisé dans la première partie de ce rapport. Nous n'avons en effet pas modifié la répartition des véhicules en fonction des motorisations essence ou diesel. Or l'observation des émissions unitaires des véhicules essence et diesel nous montre que les constructeurs pourraient utiliser la promotion des véhicules diesel comme levier d'action pour atteindre les objectifs fixés dans le cadre de leur engagement volontaire¹⁴. Dans cette optique la diminution du bilan global des émissions de CO₂ pour le parc de véhicules particuliers serait nettement moindre car si les émissions unitaires des véhicules diesel sont effectivement plus faibles que celles des véhicules particuliers, leur utilisation annuelle est, quant à elle, nettement supérieure.

¹⁴ Les rapports d'évaluation de la Commission sur l'avancement de la mise en œuvre de ces engagements montrent que cela n'a pas été le cas jusqu'à présent.

CONCLUSION

Ce rapport est constitué de deux parties, la première portant sur l'évaluation du parc routier français et la seconde sur les émissions de polluants atmosphériques de ce parc.

En ce qui concerne l'évaluation du parc, nous avons vu que le transport routier suit une augmentation continue depuis 1970. Il devrait par ailleurs continuer à croître d'ici à 2025. La majeure partie de ce parc est constituée par le trafic des véhicules particuliers, trafic multiplié par quatre environ entre 1970 et 2025. Le trafic de marchandises représente également une part non négligeable et qui est en augmentation importante.

La méthode d'évaluation employée pour estimer le parc routier mérite cependant d'être approfondie et améliorée sur un certain nombre d'aspects :

- Lois de survie des véhicules ; nous avons considéré que les lois de survie restaient identiques sur la période étudiée or il semble plus probable que celles-ci varient au cours du temps ; il serait intéressant de procéder à une recherche des facteurs qui influent sur ces lois et à établir leur évolution au cours du temps.
- Répartition du trafic sur les différents types de réseau ; nous avons essayé d'améliorer l'estimation de la répartition du trafic des véhicules particuliers entre les trois réseaux que constituent les autoroutes, les routes et les zones urbaines. Néanmoins ce point mériterait une étude à part entière qui devrait être fondée sur une large gamme de relevés de terrain.
- Prospective ; la comparaison entre notre approche, purement technologique, et l'approche du SES en ce qui concerne la prospective de trafic nous conduit à conclure que de tels travaux doivent impérativement être menés de concert par des équipes ayant un acquis technologique et des équipes d'orientation plus socio-économique sans quoi les résultats produits risquent fort d'être aberrants pour l'une ou l'autre des parties.

L'évaluation des polluants atmosphériques montre que la plupart des problèmes de pollution atmosphérique jusqu'à présent associés au transport routier (émissions de plomb, de composés soufrés, de particules) sont soit d'ores et déjà réglés soit en passe de l'être. A l'heure actuelle, le problème de l'effet de serre reste le seul problème environnemental majeur généré par les émissions de polluants du transport routier. Par ailleurs l'évaluation de l'influence des accords des constructeurs automobiles (ACEA, JAMA, KAMA) a montré que cette mesure, pourtant ambitieuse, ne peut à elle seule constituer une solution puisqu'elle ne permet même pas de respecter les engagements pris dans le cadre des accords de Kyoto.

Pour conclure, nous rappelons au lecteur intéressé qu'il pourra trouver sur le site Internet INRETS-LTE dès le début du mois de novembre 2004, le détail des émissions unitaires pour chaque catégorie de transport (VP, VUL, PLM, PLV, 2R), pour les carburants essence et diesel et en fonction des trois types de réseaux (autoroute, route et urbain).

1. BIBLIOGRAPHIE

- [André, 1999] ANDRE, M. *Pollution de l'air due aux transports – Statistiques de parc des véhicules et d'activité de transports pour la France*. Bron : INRETS, 1999, 24 p.
- [André, 1994] ANDRE M., ROUMEGOUX J.P., VIDON R., PRUVOST C., TASSEL P. *Usages et conditions de fonctionnement des petits véhicules utilitaires – Méthode de mesure au moyen de capteurs embarqués*. Bron : INRETS, 1994, 69 p.
- [Ademe, 2003] BARBUSSE S., GAGNEPAIN L. *La climatisation automobile – Impact énergétique et environnemental*. Paris : Ademe, Données de référence, 2003, 8 p.
- [Bourdeau, 1998] BOURDEAU, B. *Evolution du parc automobile français entre 1970 et 2020*. Thèse ingénierie de l'environnement. Chambéry : Université de Savoie, 1998, 377 p.
- [Brossier, 1997] BROSSIER, C. *La demande de transport – Perspectives d'évolution à l'horizon 2020*. Paris : DAEI-SES, 1997, 71 p.
- [CCFA, 1997] CCFA. *Analyses et statistiques*. France : CCFA, 2002, 71 p.
- [CCFA, 2004] <http://www.ccfa.fr>, Faits et chiffres – Europe – Immatriculations de voitures par groupe et par pays, consulté le 2/06/04.
- [Commission, 2001] Commission des communautés européennes. *Mise en œuvre de la stratégie communautaire visant à réduire les émissions de CO2 des voitures*. Bruxelles : Deuxième et troisième rapport annuel sur l'efficacité de la stratégie, 2001 et 2002.
- [Copert III] Téléchargement du logiciel sur le site <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>
- [Filou, 2000] FILOU, C. *Analyse de l'exposition au risque des motocyclistes – Principaux résultats de l'enquête SOFRES 1999 – La sécurité des motocyclistes en 1999*. Arcueil : INRETS, 2000 84 p.
- [Gallez, 1994] GALLEZ, C. *Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché de l'automobile*. Thèse sciences économiques. Paris : Université de Paris I – Panthéon – Sorbonne, 1994, 353 p.
- [Gallez, 2000] GALLEZ, C. ORFEUIL, J. P. *Stratégies de réduction de la pollution de l'air liée aux transports*. Arcueil : DTT-INRETS, rapport de convention n°690-9931-D33, 2000, 88 p.
- [Gallez, 2000] GALLEZ C., COUTURIER, N. *Renouvellement du parc automobile et prospective transport-environnement*. Arcueil : INRETS, 2000, 88 p.
- [Hivert, 2001] HIVERT, L. *Le parc automobile des ménages*. Arcueil : INRETS, 2001, 171 p.

- [INSEE, 1997] INSEE. *La mobilité régulière et la mobilité locale en 1982 et en 1994*. France : INSEE, Résultats n°532-533, 1997, 194 p.
- [Koupal, 1998] KOUPAL J. Draft – *Air conditioning Correction Factors in Mobile 6*. USA : Assessment and Modelin Division US EPA Office of Mobile Sources, 23 p. Report Number M6.ACE.001 and 20 p. Report Number M6.ACE.002.
- [Kyriakis, 1998] KYRIAKIS N. A., SAMARAS Z.C., ANDRIAS A.E. *Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport – Road traffic composition*. Grèce : LAT report, Deliverable n°16, 1998, 144 p.
- [Lacour, 2002] LACOUR S. JOUMARD, R. *Parc, usage et émissions des véhicules routiers en France de 1970 à 2020*. Bron : INRETS, 2002, 89 p.
- [Laux, 1989] LAUX J.M. *Les moteurs diesel pour les transports*. Culture et technique n°19, Ed. C.R.C.T. Neuilly-sur-Seine, France, 1989, pp. 20-29
- [Madre, 1994] MADRE J.L., MAFFRE J. (1994) *L'enquête transports et communications 1993-1994*. Courrier des statistiques n°69, mars 1994, Amiens, France, pp. 53-56
- [Madre, 1996] MADRE J.L. *L'utilisation de l'automobile vue à travers trois instruments d'enquête*. Document de travail. Arcueil : INRETS, janvier 1996
- [MEET, 1999] MEET. *Methodolgy for calculating transport emissions and energy consumption*. Luxembourg : European Comission – DG Transport, ISBN 92-828-6785-4, 360 p.
- [Nars, 2002] NARS p. *Méthode de mesure des émissions de polluants dans le cas de véhicules équipés du filtre à particules*. Bron : rapport INRETS-LTE 0222, 2002.
- [Nziachristos, 2000] NZIACHRITOS L., SAMARAS, Z. *Copert III. Computer Programme to calculate emissions from road transport*. Methodology and emission factors (Version 2.1) Copenhagen : EEA, Technical Report n°49, 2000.
- [OEST, 1991] OEST. *L'utilisation des véhicules utilitaires légers en 1991*. Paris : OEST, 1991, 54 p.
- [OEST, 1995] OEST. *L'utilisation des véhicules de transport en commun de personnes*. Paris : OEST, 1995, 63 p.
- [OEST, 1995] OEST. *L'utilisation des véhicules de transport routier de marchandises*. Paris : OEST, 1995, 122 p.
- [OEST, 1984] OEST. *Mémento de statistique des transports*. Paris : OEST, 1984. [idem pour les années 1985, 1995]
- [SES, 2001] SES. *Les transports par autocars en 2000*. SES INFO RAPIDES, juillet 2001, n°128, 4 p.
- [SES, 1998] SES. *Les données détaillées du SES - L'utilisation des véhicules de transport routier de marchandises en 1997*. Paris, 1998.

- [SES, 1997] **SES. *Mémento de statistique des transports*. Paris : SES, 1997. [Idem pour les années 1998 et 1999]**
- [Urquiza, 2003] **URQUIZA G. *Estimation des émissions de polluants des transports routiers : méthodes mises en œuvre en Espagne et éléments pour la prise en compte de la climatisation*. Bron : INRETS-LTE, rapport 0323, 2003, 95 p.**
- [Utac, 1997] **UTAC. Evaluation de l'influence de la climatisation sur la consommation de carburant et les émissions de polluants des automobiles. Monthléry : rapport final n° 96/04666, 1997.**

2. ANNEXES

2.1. Annexe 1 – Réglementation européenne sur les véhicules

Limites d'émissions UE pour les Véhicules Particuliers - en g/km

Classe	Normes	Date NM	Date NV	Date Copert	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel									
M1	Euro 1	31/12/1991	31/12/1992	1993	2,72	-	0,97	-	0,14
	Euro 2 - IDI	01/01/1996	01/01/1997	1997	1,0	-	0,7	-	0,08
	Euro 2 - DI	01/01/1998	01/01/1999	1997	1,0	-	0,9	-	0,1
	Euro 3	01/01/2000	01/01/2001	2001	0,64	-	0,56	0,5	0,05
	Euro 4	01/01/2005	01/01/2006	2006	0,5	-	0,3	0,25	0,025
Essence									
M1	Euro 1	31/12/1991	31/12/1992	1993	2,72	-	0,97	-	-
	Euro 2	01/01/1996	01/01/1997	1997	2,2	-	0,5	-	-
	Euro 3	01/01/2000	01/01/2001	2001	2,3	0,2	-	0,15	-
	Euro 4	01/01/2005	01/01/2006	2006	1,0	0,1	-	0,08	-

Note : dès 2000, suppression dans le cycle d'essai des 40 premières secondes de mise en température moteur

NM : nouveaux modèles ; NV : véhicules neufs

Limites d'émissions UE pour les Véhicules Utilitaires Légers - en g/km

Classe	Normes	Date NM	Date NV	Date Copert	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel									
N1 <1305 kg	Euro 1	01/10/1993	01/10/1994	1995	2,72	-	0,97	-	0,14
	Euro 2	01/01/1997	01/10/1997	1998	1	-	0,6	-	0,1
	Euro 3	01/01/2000	01/01/2001	2001	0,64	-	0,56	0,5	0,05
	Euro 4	01/01/2005	01/01/2006	2006	0,5	-	0,3	0,25	0,025
N2 1305-1760 kg	Euro 1	01/10/1993	01/10/1994	1995	5,17	-	1,4	-	0,19
	Euro 2	01/01/1998	01/10/1998	1998	1,2	-	1,1	-	0,15
	Euro 3	01/01/2001	01/01/2002	2001	0,8	-	0,72	0,65	0,07
	Euro 4	01/01/2006	01/01/2007	2006	0,63	-	0,39	0,33	0,04
N3 >1760 kg	Euro 1	01/10/1993	01/10/1994	1995	6,9	-	1,7	-	0,25
	Euro 2	01/01/1998	01/10/1998	1998	1,35	-	1,3	-	0,2
	Euro 3	01/01/2001	01/01/2002	2001	0,95	-	0,86	0,78	0,1
	Euro 4	01/01/2006	01/01/2007	2006	0,74	-	0,46	0,39	0,06
Essence									
N1 <1305 kg	Euro 1	01/10/1993	01/10/1994	1995	2,72	-	0,97	-	-
	Euro 2	01/01/1997	01/10/1997	1998	2,2	-	0,5	-	-
	Euro 3	01/01/2000	01/01/2001	2001	2,3	0,2	-	0,15	-
	Euro 4	01/01/2005	01/01/2006	2006	1,0	0,1	-	0,08	-
N2 1305-1760 kg	Euro 1	01/10/1993	01/10/1994	1995	5,17	-	1,4	-	-
	Euro 2	01/01/1998	01/10/1998	1998	4,0	-	0,65	-	-
	Euro 3	01/01/2001	01/01/2002	2001	4,17	0,25	-	0,18	-
	Euro 4	01/01/2006	01/01/2007	2006	1,81	0,13	-	0,1	-
N3 >1760 kg	Euro 1	01/10/1993	01/10/1994	1995	6,9	-	1,7	-	-
	Euro 2	01/01/1998	01/10/1998	1998	5,0	-	0,8	-	-
	Euro 3	01/01/2001	01/01/2002	2001	5,22	0,29	-	0,21	-
	Euro 4	01/01/2006	01/01/2007	2006	2,27	0,16	-	0,11	-

Note : Pour Euro 1 et Euro 2 les classes de masse étaient N1 (<1250 kg), N2 (1250-1700 kg), N3 (>1700 kg).

Limites d'émissions UE pour les Véhicules Utilitaires Diesel de plus de 3,5 Tonnes - en g/kWh (Fumées en m-1)

Normes	Date NM	Date NV	Date Copert	Classe	Cycle d'essai	CO	HC	NOx	PM	Fumées	
Diesel											
Euro 1	01/07/1992	01/10/1993	1994	1992	< 85 kW	ECE R49	4,5	1,1	8,0	0,612	a
						ESC	4,5	1,1	8,0	0,36	a
Euro 2	01/10/1995	01/10/1996	1997	10/1999	> 85 kW	ECE R49	4,0	1,1	7,0	0,25	a
						ESC	4,0	1,1	7,0	0,15	a
Diesel	01/10/2000	01/10/2001	2002	10/1999	-	ESC & EDR	1,5/1,0	0,25/1,2	2,0	0,02	0,15
Essence	01/10/2005	01/10/2006	2007	10/2005	1,2	-	1,5/1,2	0,46	3,3	0,02	0,5
EURO 5 - utilisation	01/01/2008	01/01/2008	2008	10/2005	-	-	1,5	0,46	2,0	0,02	0,5

Note :

a - Fumées selon Rég24.03 puis Dir 72/306;

b - Enhanced Environmentally Friendly Vehicles

c - pour les moteurs de cylindre unitaire inférieure à 0,7 dm³ et de régime nominal supérieur à 3000 tr/mn

2.2. Annexe 2 – Définition des genres de motocyclettes

Basique : comme son nom l'indique c'est une moto basique, c'est à dire qu'elle se compose d'un moteur, de deux roues, d'un cadre, d'une selle et d'un guidon, le reste étant un luxe. C'est le type de moto sur lequel on passe le permis

Routière : comme leur nom l'indique la routière est faite pour la route, elle offre une meilleure protection aux intempéries et un meilleur confort avec des carénages et des tête de fourche . L'espace et le bien être du passager sont aussi plus recherchés. C'est une moto faite pour les week-ends et les escapades.

Custom : le custom, c'est d'abord une « gueule »... Performances, autonomie et confort passent au second plan. C'est la « moto-plaisir » qui se destine plutôt à de petites virées campagnardes. La position « pieds en avant et mains sur un guidon relevé » est caractéristique de ce type de moto largement chromée.

Roadster : c'est l'alternative entre la routière et la sportive. Les roadsters sont en effet équipés de moteurs aux qualités très sportives. Ces motos sont très maniables et privilégient les sensations. Les carénages sont quasi inexistantes : une bulle ou un saut de vent restent les rares ajouts « admis ». Il s'agit d'une moto épurée au look accrocheur... bref, une mangeuse de bitume aux lignes agressives !

Sportive : c'est la « moto sensation », la « moto passion ». La sportive cumule les superlatifs, elle est plutôt exclusive. Le duo n'est pas son point fort et la ville n'est pas son terrain de prédilection mais les performances de son moteur gommant ces inconvénients. Plusieurs années d'expérience sont nécessaires pour dompter ces fauves. Le budget d'entretien est élevé (pneus plus gros, gros kit chaîne, quantité d'huile plus conséquente, etc.) mais on a là une « bête de circuit » qui reste moins chère que son équivalent automobile. La sportive possède une direction très rigide pour obtenir une tenue de route optimale. La position de conduite, penchée en avant, fatigue le dos en ville.

Trail : tantôt orientés tout-terrain avec des pneus crampons, tantôt orientés routières, très maniables, les trails sont très agréables à piloter malgré leur hauteur de selle et sont efficaces en utilisation routière avec des roues adaptées.

2.3. Annexe 3 – Coefficients de survie des VUL

Age	Coefficients
0	1
1	0,963
2	0,945
3	0,918
4	0,911
5	0,888
6	0,837
7	0,792
8	0,761
9	0,698
10	0,634
11	0,587
12	0,53
13	0,462
14	0,424
15	0,386
16	0,352
17	0,325
18	0,271
19	0,201
20	0,135
21	0,046
22	0

2.4. Annexe 4 – Coefficients de survie des bus et cars

Age	Coefficients
0	1
1	0,994
2	0,991
3	0,98
4	0,972
5	0,959
6	0,9495
7	0,925
8	0,9035
9	0,8781
10	0,8505
11	0,8207
12	0,7887
13	0,7545
14	0,7181
15	0,6795
16	0,6387
17	0,5957
18	0,5505
19	0,485
20	0,398
21	0,265
22	0,17
23	0,1
24	0,065
25	0,047
26	0,025
27	0,017
28	0,008
29	0

2.5. Annexe 5 – Coefficients de survie des poids lourds

Age	Coefficients Porteurs	Coefficients Tracteurs
0	1	1
1	0,99	0,995
2	0,985	0,992
3	0,985	0,985
4	0,983	0,975
5	0,98	0,955
6	0,97	0,935
7	0,955	0,912
8	0,93	0,885
9	0,91	0,85
10	0,87	0,815
11	0,83	0,769
12	0,789	0,715
13	0,69	0,645
14	0,54	0,548
15	0,375	0,355
16	0,265	0,23
17	0,16	0,143
18	0,088	0,087
19	0,05	0,048
20	0,03	0,021
21	0,019	0
22	0,01	0
23	0,005	0

2.6. Annexe 6 – Coefficients de survie des motocyclettes, source CSNM

Age	Coefficients
0	1,000
1	1,000
2	0,995
3	0,991
4	0,983
5	0,964
6	0,935
7	0,900
8	0,860
9	0,816
10	0,768
11	0,717
12	0,664
13	0,608
14	0,550
15	0,491
16	0,429
17	0,366
18	0,302
19	0,236
20	0,168
21	0,100

2.7. Annexe 7 – Estimation du parc des deux-roues : analyse critique de la méthode proposée par LACOUR

En l'absence de données d'enquête, LACOUR propose d'utiliser une méthode dans laquelle le parc statique de motocyclettes dépend de l'accroissement de la demande sur le marché des immatriculations de véhicules neufs et comme de véhicules d'occasion.

$$Parc_{n+1} = Parc_n + \delta_{neuf,n} \times I_{neuf,n} + \delta_{occas,n} \times I_{occas,n}$$

$$\delta_{neuf,n} = \frac{I_{neuf,n} - I_{neuf,n-1}}{I_{neuf,n-1}}$$

$$\delta_{occas,n} = \frac{I_{occas,n} - I_{occas,n-1}}{I_{occas,n-1}}$$

$Parc_n$: parc de l'année n

$I_{neuf,n}$: immatriculations de véhicules neufs de l'année n

$I_{occas,n}$: immatriculations de véhicules d'occasion de l'année n

$\delta_{neuf,n}$: taux d'accroissement des immatriculations de véhicules neufs entre les années n et n-1

$\delta_{occas,n}$: taux d'accroissement des immatriculations de véhicules d'occasion entre les années n et n-1

Afin de pouvoir estimer le parc statique par l'intermédiaire de cette méthode, il convient de disposer d'une valeur initiale de parc. LACOUR propose une estimation basse du parc statique en 1970 et une estimation haute :

- Estimation basse : $Parc_{1970} = 535\ 000$ motocyclettes ;
- Estimation haute : $Parc_{1970} = 695\ 000$ motocyclettes.

LACOUR n'explique pas la procédure d'estimation de ces deux valeurs. On peut supposer qu'elle s'est appuyée sur les évaluations du parc statique des motocyclettes dont elle disposait par ailleurs¹⁵.

LACOUR souligne enfin que cette méthode d'estimation de parc, qui présente l'avantage de la simplicité induit toutefois des coefficients de survie identiques pour les différentes gammes de motocyclettes.

Deux autres critiques majeures peuvent être formulées à l'encontre de cette proposition de méthode ; l'une porte sur la prise en compte des immatriculations des véhicules d'occasion

¹⁵ Lacour dispose de plusieurs séries d'estimation du parc statique des motocyclettes : Chambre Syndicale Nationale des Motocyclettes, parc de l'Argus Automobile, parc de l'Assemblée Plénière des Sociétés d'Assurances Dommages. Ces différentes estimations ne concordent pas très bien entre elles.

alors que l'autre concerne la relation entre l'accroissement du parc statique et l'accroissement des immatriculations.

Concernant les véhicules précédemment étudiés nous avons décidé de ne pas tenir compte des immatriculations de véhicules d'occasion dans la mesure où ces immatriculations correspondent généralement à de simples changements de propriétaires des véhicules et de manière assez exceptionnelle à des entrées sur le territoire français de véhicules précédemment immatriculés à l'étranger. Ainsi, le fait d'intégrer les immatriculations de véhicules d'occasion au calcul du parc conduirait à une double comptabilisation importante de véhicules :

- première comptabilisation du véhicule à partir des immatriculations de véhicules neufs et des coefficients de survie ;
- seconde comptabilisation du véhicule si celui-ci change de carte grise du fait d'un changement de propriétaire.

Les résultats graphiques des données d'immatriculations sur la période 1970 – 2020 présentés par LACOUR [Lacour, 2002 ; p.42] montrent que les immatriculations de véhicules d'occasion sont plus importantes que les immatriculations des véhicules neufs. Cette observation implique que les immatriculations de véhicules d'occasion prises en compte par LACOUR portent bien sur tous les changements de carte grise et qu'ils ne sont pas limités aux seuls changements qui correspondraient à des entrées de véhicules sur le territoire. La méthode suggérée induit donc de ce point de vue une double comptabilisation de véhicules.

Outre ce problème de comptabilisation des véhicules d'occasion, il convient par ailleurs d'examiner la relation entre l'accroissement du parc statique et l'accroissement des ventes de véhicules neufs. Pour ce faire, nous nous reporterons à une formule qui exclut toute référence aux immatriculations de véhicules d'occasion et qui consiste simplement à appliquer le taux d'accroissement des immatriculations de l'année antérieure :

$$(1) Parc_{n+1} = Parc_n + \delta_{neuf,n} \times I_{neuf,n}$$

$$(2) \delta_{neuf,n} = \frac{I_{neuf,n} - I_{neuf,n-1}}{I_{neuf,n-1}}$$

Nous pouvons par ailleurs établir la formule de départ qui permet d'estimer l'accroissement du parc statique en fonction des entrées (immatriculations de véhicules neufs) et des sorties de véhicules du parc (véhicules hors d'usage).

$$(3) Parc_{n+1} = Parc_n + Entrées + Sorties$$

Dans le cadre de cette formule, les entrées dans le parc peuvent être assimilées aux immatriculations de véhicules neufs.

$$(3) Parc_{n+1} = Parc_n + I_{neuf,n} + Sorties$$

La combinaison de (1) et (3) nous permet de fournir la manière dont sont estimées les sorties du parc dans l'équation (1).

$$(1) + (3) \Rightarrow \delta_{neuf,n} \times I_{neuf,n} = I_{neuf,n} + Sorties$$

$$(1) + (2) + (3) \Rightarrow Sorties = I_{neuf,n} \times (\delta_{neuf,n} - 1)$$

$$(1) + (2) + (3) \Rightarrow Sorties = I_{neuf,n} \times \left(\frac{I_{neuf,n}}{I_{neuf,n-1}} - 2 \right)$$

Nous pouvons tester l'influence de certaines valeurs clefs des immatriculations afin d'évaluer la pertinence de cette formule permettant d'estimer les sorties de véhicules du parc des deux-roues.

$$(A) Sorties = 0 \Rightarrow I_{neuf,n} = 0 \text{ ou } I_{neuf,n} = 2 \times I_{neuf,n-1}$$

$$(B) Sorties < 0 \Rightarrow I_{neuf,n} < 2 \times I_{neuf,n-1}$$

$$(C) I_{neuf,n-1} = 0 \Rightarrow Sorties \text{ non calculables mais limite tendant vers } \infty$$

On constate qu'il n'y a aucun véhicule sortant du parc dans deux configurations (A) : l'une correspond à des immatriculations nulles durant l'année considérée et l'autre correspond au cas où les immatriculations durant l'année considérée sont doubles des immatriculations de l'année précédente. Il peut être à la rigueur légitime d'imaginer que la mise au rebut de véhicules est nulle pour une année durant laquelle aucun véhicule n'est immatriculé (période de crise par exemple) ; toutefois, certaines sorties du parc sont inévitables (accidents, pannes irréversibles...) et sont donc négligées dans cette configuration. En revanche, le cas où les sorties du parc sont nulles lorsque les immatriculations de l'année considérée sont double des immatriculations de l'année précédente ne paraît guère être justifiable.

On observe des sorties effectives du parc (B) lorsque les immatriculations de l'année considérée sont inférieures au double des immatriculations de l'année précédente. Le nombre de véhicules sortant du parc croît de 0 à $I_{neuf,n-1}$ lorsque le nombre d'immatriculations de l'année considérée évolue de 0 à $I_{neuf,n-1}$; ce nombre décroît de $I_{neuf,n-1}$ à 0 lorsque le nombre d'immatriculations de l'année considérée évolue de $I_{neuf,n-1}$ à $2 I_{neuf,n-1}$; au-delà d'un nombre d'immatriculations de $2 I_{neuf,n-1}$, le terme *Sorties* de l'équation devient positif (cette « création » de véhicules n'a aucune réalité).

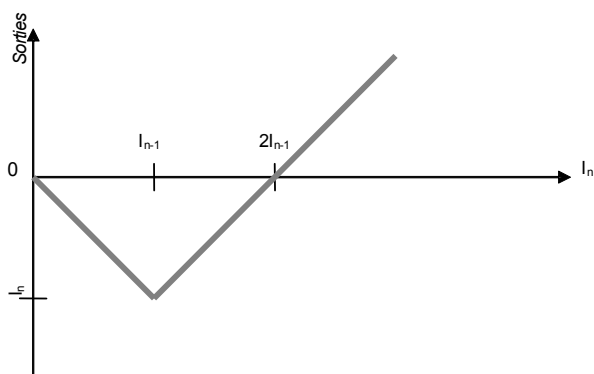


Figure 71 - Evolution des sorties du parc en fonction des immatriculations de véhicules neufs dans le modèle Lacour

On remarque en outre que l'absence d'immatriculation durant une année interdit le calcul du nombre de véhicules sortant du parc durant l'année suivante (C).

Ces différentes remarques conduisent à relativiser la pertinence du modèle de calcul de parc statique proposé par LACOUR.

Afin de pousser plus avant l'analyse critique de ce modèle, nous l'avons appliqué au cas des véhicules particuliers pour lequel nous disposons par ailleurs d'une évaluation du parc statique. La figure ci-dessous illustre les résultats du parc statique de véhicules particuliers lorsqu'il est estimé par la méthode des coefficients de survie d'une part et par la méthode proposée par LACOUR dans le cadre du parc des deux-roues d'autre part.

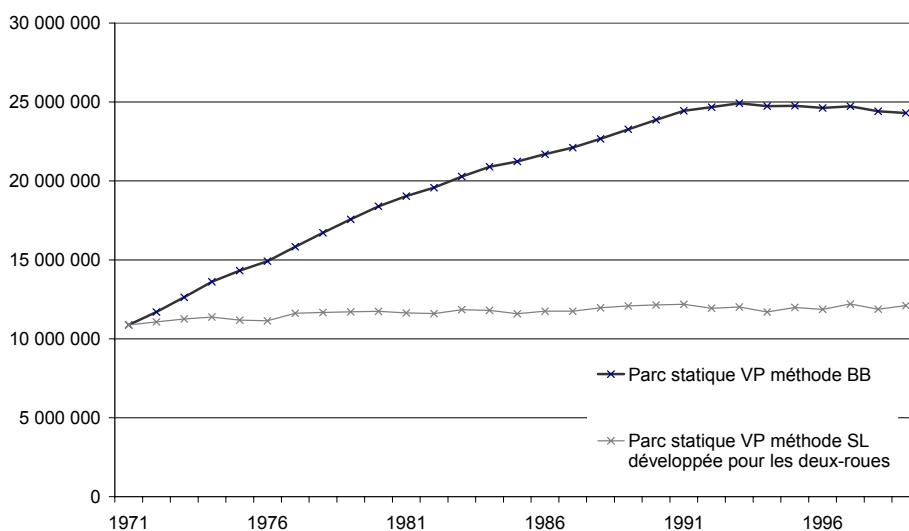


Figure 72 - Méthodes d'évaluation du parc statique de deux-roues - application au cas des véhicules particuliers

On constate que les deux méthodes proposées conduisent à des résultats très différents. Dans le cas de la méthode des coefficients de survie, le parc statique de véhicules particuliers croît de manière quasi continue entre 1970 et 2000. L'application de la méthode préconisée par LACOUR dans le cas des deux-roues conduit quant à elle à une quasi stagnation du parc statique de véhicules particuliers entre 1970 et 2000.

Compte tenu de la concordance relativement bonne sur le parc statique de véhicules particuliers qu'il est possible d'observer entre les résultats découlant de la méthode BOURDEAU et les résultats issus d'autres sources comme le CCFA, il paraît difficilement évitable de ne pas remettre en cause le bien-fondé de la méthode proposée par LACOUR afin d'estimer le parc statique des véhicules deux-roues.

2.8. Annexe 8 – Emissions du transport routier en France

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t
VP essence																	
1970	7 375 346	355 609	559 832	0	12 517 086	27	5 288	2 770	84	84	420	588	84	8 394	22 826	529 446	660
1975	8 660 064	494 562	678 780	0	15 551 539	34	6 736	3 528	107	107	535	748	107	10 692	28 739	623 697	897
1980	9 013 442	639 931	729 844	0	17 363 772	39	7 740	4 054	123	123	614	860	123	12 286	33 165	658 216	1 094
1985	8 259 711	667 679	767 046	0	17 469 863	41	8 021	4 202	127	127	637	891	127	12 732	35 115	674 282	1 166
1990	6 162 611	665 475	718 825	0	16 599 654	41	5 266	2 758	84	84	418	585	84	8 358	34 925	595 439	1 195
1995	3 776 149	429 031	491 235	0	13 285 547	35	1 295	3 473	105	105	526	737	105	10 523	29 875	389 287	2 173
2000	2 086 746	190 472	246 326	0	12 289 702	35	30	2 583	99	99	497	695	99	9 933	22 359	189 563	4 230
2005	1 310 740	70 222	112 896	0	12 525 054	38	36	971	121	121	607	850	121	12 138	13 871	83 750	5 304
2010	701 602	25 775	50 798	0	12 040 889	37	36	239	119	119	596	835	119	11 929	7 054	37 173	4 796
2015	340 605	9 523	26 419	0	11 144 759	35	34	225	112	112	561	786	112	11 228	2 453	21 943	2 075
2020	195 083	4 426	18 108	0	10 111 525	32	31	206	103	103	514	720	103	10 285	623	16 973	608
2025	141 557	2 881	14 580	0	9 069 167	29	28	186	93	93	464	650	93	9 282	114	14 367	128

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t
VP diesel																	
1970	617	648	189	216	46 929	0	0	38	0	0	2	3	0	47	5	176	20
1975	824	1 058	320	298	64 482	0	0	52	1	1	3	5	1	64	7	234	28
1980	11 355	15 858	4 983	4 163	902 044	3	0	720	9	9	45	63	9	900	102	3 214	389
1985	28 540	36 575	12 223	10 462	2 268 149	7	0	1 811	23	23	113	158	23	2 264	257	8 088	975
1990	63 912	71 604	28 438	23 743	5 149 008	16	0	4 112	51	51	257	360	51	5 139	600	18 085	2 201
1995	101 692	124 020	45 708	32 281	9 050 189	28	0	7 243	91	91	453	634	91	9 054	1 097	26 194	3 946
2000	114 057	158 864	52 217	28 041	11 209 860	35	0	6 743	112	112	562	787	112	11 238	1 416	25 461	5 022
2005	130 281	175 121	56 684	24 112	13 613 553	43	0	1 094	137	137	683	957	137	13 669	1 674	25 159	6 216
2010	142 765	153 845	55 221	21 194	16 254 854	51	0	327	163	163	817	1 144	163	16 347	1 678	25 142	6 753
2015	106 596	86 277	39 032	16 737	18 598 811	59	0	375	188	188	938	1 313	188	18 763	922	21 400	3 716
2020	80 475	45 710	26 673	14 574	21 094 221	67	0	426	213	213	1 066	1 492	213	21 321	343	19 683	1 368
2025	73 669	32 502	22 324	14 681	23 772 047	75	0	481	240	240	1 202	1 683	240	24 045	93	20 338	367

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t
VUL essence																	
1970	451 627	59 346	44 645	0	1 261 932	3	630	10	50	50	1 406	67	0	3	0	0	0
1975	604 617	79 449	59 769	0	1 689 415	4	844	13	67	67	2 011	95	0	4	0	0	0
1980	682 334	86 395	67 992	0	1 890 731	5	942	15	75	75	2 250	107	0	4	0	0	0
1985	682 811	84 844	68 306	0	1 884 238	5	938	15	74	74	2 183	104	0	4	0	0	0
1990	584 500	66 968	59 592	0	1 582 701	4	506	8	40	40	1 613	78	0	3	0	0	0
1995	338 201	36 577	34 473	0	932 003	2	163	11	55	55	889	47	0	2	0	0	0
2000	153 154	14 917	15 132	0	518 078	1	3	10	52	52	482	48	0	1	0	0	0
2005	51 270	4 656	4 916	0	203 215	1	0	2	8	8	180	24	0	0	0	0	0
2010	10 780	813	946	0	59 493	0	0	1	3	3	49	10	0	0	0	0	0
2015	1 568	60	98	0	15 692	0	0	0	1	1	11	4	0	0	0	0	0
2020	93	2	4	0	1 164	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O	
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t	
VUL diesel																		
1970	202	306	60	57	12 679	0	0	10	0	0	1	1	0	13	0	0	0	
1975	1 077	1 631	318	301	67 550	0	0	54	1	1	3	5	1	67	0	0	0	
1980	10 912	16 124	3 464	3 050	687 121	2	0	548	7	7	34	48	7	685	0	0	0	
1985	25 238	36 837	8 287	7 049	1 592 532	5	0	1 270	16	16	79	111	16	1 588	0	0	0	
1990	52 855	72 478	20 214	14 749	3 364 901	11	0	2 682	34	34	168	235	34	3 353	0	0	0	
1995	64 778	91 951	26 961	17 709	4 435 241	14	0	3 539	44	44	221	310	44	4 423	0	0	0	
2000	56 278	98 462	31 781	14 010	5 306 839	17	0	3 187	53	53	266	372	53	5 312	0	0	0	
2005	51 492	102 342	34 668	11 281	6 425 852	20	0	516	65	65	323	452	65	6 450	0	0	0	
2010	44 464	88 557	32 027	8 486	7 622 859	24	0	153	77	77	384	537	77	7 674	0	0	0	
2015	28 579	45 396	20 819	5 978	8 997 659	29	0	182	91	91	454	636	91	9 089	0	0	0	
2020	20 710	24 057	13 606	5 068	10 474 337	33	0	212	106	106	530	742	106	10 599	0	0	0	
2025	17 745	16 425	9 989	4 921	11 949 715	38	0	242	121	121	605	847	121	12 101	0	0	0	

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O	
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t	
PLM																		
1970	78 937	254 837	60 440	19 079	5 400 155	17	0	4 291	54	54	268	375	54	5 364	334	4 855	60	
1975	88 625	318 677	70 175	21 896	6 528 586	20	0	5 194	65	65	325	454	65	6 492	372	5 411	66	
1980	93 350	369 584	76 356	23 381	7 354 814	23	0	5 857	73	73	366	512	73	7 321	332	4 833	59	
1985	89 733	385 534	75 524	22 881	7 504 938	23	0	5 981	75	75	374	523	75	7 477	278	4 030	53	
1990	97 530	453 186	84 507	25 307	8 645 255	27	0	6 895	86	86	431	603	86	8 619	220	3 169	51	
1995	80 458	390 212	71 563	21 604	8 164 522	26	0	6 524	82	82	408	571	82	8 155	168	2 403	51	
2000	62 109	309 233	58 105	14 468	9 386 389	30	0	5 655	94	94	471	660	94	9 424	125	1 778	52	
2005	47 016	238 731	45 245	8 823	10 810 329	34	0	872	109	109	545	763	109	10 895	103	1 464	56	
2010	35 483	173 191	33 175	4 245	11 732 916	37	0	237	119	119	593	830	119	11 852	97	1 385	61	
2015	30 578	115 611	25 464	2 024	12 421 625	39	0	251	126	126	628	879	126	12 563	100	1 431	67	
2020	30 174	93 671	23 351	1 279	13 143 478	42	0	266	133	133	665	931	133	13 298	0	0	0	
2025	31 794	91 852	24 078	1 228	13 938 881	44	0	282	141	141	705	987	141	14 104	0	0	0	

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O	
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t	
PLV																		
1970	8 424	27 652	4 042	1 413	559 906	2	0	447	6	6	28	39	6	559	0	0	0	
1975	9 639	31 640	4 625	1 617	640 646	2	0	511	6	6	32	45	6	639	0	0	0	
1980	11 235	36 886	5 394	1 885	746 952	2	0	596	7	7	37	52	7	745	0	0	0	
1985	12 518	41 099	6 011	2 101	832 291	3	0	664	8	8	42	58	8	830	0	0	0	
1990	11 173	36 690	5 369	1 876	743 098	2	0	593	7	7	37	52	7	741	0	0	0	
1995	9 263	30 767	4 470	1 580	660 185	2	0	528	7	7	33	46	7	659	0	0	0	
2000	6 854	23 058	3 494	1 117	637 558	2	0	383	6	6	32	45	6	639	0	0	0	
2005	4 861	16 443	2 634	732	633 773	2	0	51	6	6	32	45	6	637	0	0	0	
2010	3 434	11 260	1 940	409	647 781	2	0	13	7	7	33	46	7	653	0	0	0	
2015	2 753	7 530	1 588	213	696 007	2	0	14	7	7	35	49	7	703	0	0	0	
2020	2 607	5 844	1 498	126	760 738	2	0	15	8	8	38	54	8	769	0	0	0	
2025	2 707	5 292	1 545	94	836 386	3	0	17	8	8	42	59	8	846	0	0	0	

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O	
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t	
Deux-roues																		
1970	255 994	761	130 990	0	402 954	0	103	54	2	2	8	11	2	164	2 143	45 491	103	
1975	277 174	876	140 874	0	438 201	1	113	59	2	2	9	13	2	180	1 271	26 139	67	
1980	245 167	942	115 777	0	386 739	1	105	55	2	2	8	12	2	166	658	11 383	65	
1985	164 602	822	67 995	0	258 320	0	75	39	1	1	6	8	1	118	242	3 661	32	
1990	133 706	859	45 589	0	208 986	0	42	22	1	1	3	5	1	67	63	690	13	
1995	127 474	952	37 817	0	201 364	0	24	53	2	2	8	11	2	162	14	69	4	
2000	145 553	1 270	40 047	0	246 698	0	1	111	4	4	21	30	4	427	1	3	0	
2005	112 079	1 762	26 773	0	269 010	1	0	13	2	2	8	12	2	166	0	0	0	
2010	91 557	1 938	17 068	0	270 637	1	1	4	2	2	9	13	2	182	0	0	0	
2015	90 630	2 108	15 232	0	279 357	1	1	4	2	2	9	13	2	187	0	0	0	
2020	93 294	2 289	14 667	0	288 884	1	1	4	2	2	9	13	2	185	0	0	0	
2025	95 963	2 471	14 104	0	298 410	1	1	4	2	2	9	13	2	183	0	0	0	

	CO	NOx	COV	PM	Carburant	CO2	Pb	SO2	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn	CH4	COVNM	N2O	
	t	t	t	t	t	million t	kg	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	t	t	t	
Total																		
1970	8 171 147	699 159	800 198	20 765	20 201 640	49	6 022	7 620	195	195	2 133	1 084	145	14 543	0	0	0	
1975	9 642 020	927 893	954 861	24 111	24 980 419	62	7 693	9 412	248	248	2 918	1 365	181	18 139	0	0	0	
1980	10 067 796	1 165 721	1 003 809	32 479	29 332 172	75	8 787	11 846	296	296	3 355	1 654	221	22 108	0	0	0	
1985	9 263 153	1 253 390	1 005 393	42 493	31 810 331	84	9 034	13 983	325	325	3 434	1 854	250	25 013	0	0	0	
1990	7 106 287	1 367 260	962 534	65 675	36 293 604	101	5 814	17 070	303	303	2 927	1 917	263	26 281	0	0	0	
1995	4 498 014	1 103 511	712 227	73 173	36 729 050	108	1 482	21 370	385	385	2 538	2 355	330	32 978	0	0	0	
2000	2 624 750	796 276	447 101	57 637	39 595 125	120	34	18 672	422	422	2 331	2 636	370	36 974	0	0	0	
2005	1 707 741	609 277	283 815	44 948	44 480 786	138	37	3 518	448	448	2 378	3 101	440	43 956	0	0	0	
2010	1 030 084	455 379	191 174	34 334	48 629 430	153	36	973	489	489	2 481	3 415	486	48 638	0	0	0	
2015	601 310	266 505	128 653	24 952	52 153 909	165	34	1 051	526	526	2 638	3 681	525	52 534	0	0	0	
2020	422 436	176 001	97 907	21 047	55 874 346	177	31	1 129	565	565	2 823	3 952	565	56 457	0	0	0	
2025	363 436	151 424	86 621	20 924	59 864 607	190	28	1 211	606	606	3 028	4 239	606	60 560	0	0	0	