



Emissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires légers

R. Joumard, R. Vidon, P. Tassel

► To cite this version:

R. Joumard, R. Vidon, P. Tassel. Emissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires légers. 2001, 71p. hal-00546342

HAL Id: hal-00546342

<https://hal.science/hal-00546342>

Submitted on 14 Dec 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



*INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS ET LEUR SÉCURITÉ*

Robert JOUMARD

Robert VIDON

Patrick TASSEL

Émissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires légers

*Rapport n° LTE 0101
Avril 2001*

Les auteurs :

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

Robert VIDON, ingénieur d'étude, responsable du banc véhicule, LTE

Patrick TASSEL, technicien, laboratoire d'émissions, LTE

L'unité :

LTE : Laboratoire Transports et Environnement, INRETS, case 24, 69675 Bron cedex, France

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

Emel : joumard@inrets.fr

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ADEME pour son soutien financier, dans la cadre de la convention ADEME 96 66 006 "Caractérisation des émissions réelles des véhicules utilitaires", ainsi que J. Noppe pour ses conseils. Ce rapport constitue le rapport final de la partie petits VU de cette convention (objectif A, partie III.1 du plan de recherche). Cette convention faisait partie d'un programme commun avec le CRMT (convention ADEME 96 66 005).



case 24, 69675 Bron cedex, France
tel.: +33 (0)472 14 23 00, fax: +33 (0)472 37 68 37

Fiche bibliographique

1 UR (1er auteur) INRETS-LTE		2 Projet n° 3.1.4		3 Rapport n° LTE 0101	
4 Titre Émissions unitaires de polluants des véhicules utilitaires légers					
5 Sous-titre				6 Langue F	
7 Auteur(s) JOURMARD Robert, Robert VIDON & Patrick TASSEL				8 Rattachement ext.	
9 Nom adresse financeur, co-éditeur ADEME, 27 rue L. Vicat, 75737 Paris cedex 15, France				10 N° contrat, conv. ADEME 96 66 006	
				11 Date de publication avril 2001	
12 Remarques					
13 Résumé 27 petits véhicules utilitaires diesel ont été testés sur banc à rouleau sur des cycles de conduite représentatifs de leurs usages. Quatre catégories de véhicule sont considérées : voitures commerciales (7 véhicules), fourgonnettes (10 véhicules), fourgons de 2,5 t (7 véhicules), et de 3,5 t de PTAC (3 véhicules). Chaque catégorie a été testée selon six à neuf cycles chauds, qui se différencient par leur cinématique et la charge embarquée. Les émissions de CO, HC, NO _x , CO ₂ et particules en masse ainsi que la consommation de carburant ont été évaluées. Les résultats montrent l'influence de la vitesse moyenne du cycle de conduite, de la charge embarquée et du type de véhicule sur les émissions. Celles-ci sont assez différentes des émissions des voitures particulières comme du modèle européen MEET.					
14 Mots clés véhicule utilitaire léger, cycle de conduite, vitesse, charge, émission unitaire, polluant atmosphérique, consommation de carburant, départ à chaud, mesure			15 Diffusion libre		
16 Nombre de pages 71 pages	17 Prix gratuit	18 Confidentiel jusqu'au		19 Bibliographie oui	

Publication data form

1 Unit (1st author) INRETS-LTE		2 Project n° 3.1.4		3 INRETS report n° LTE 0101	
4 Title Unit emissions of atmospheric pollutants from light duty vehicles					
5 Subtitle				6 Language F	
7 Author(s) JOURMARD Robert, Robert VIDON & Patrick TASSEL				8 Affiliation INRETS	
9 Sponsor, co-editor, name and address ADEME, 27 rue L. Vicat, 75737 Paris cedex 15, France				10 Contract, conv. n° ADEME 96 66 006 11 Publication date April 2001	
12 Notes					
13 Summary 27 diesel Light Duty Vehicles have been tested on a chassis dynamometer using driving cycles representative of their usage. 4 vehicle categories have been considered: commercial cars (7 vehicles), light vans (10 vehicles), 2.5 ton vans (7 vehicles), and 3.5 ton vans (3 vehicles). Each category has been tested according to 6 to 9 hot cycles, differing by their kinematics and their loading rates. CO, HC, NO _x , CO ₂ and particulate emissions together with fuel consumption have been evaluated. Results show the influence of the average cycle speed, the load and the vehicle category on emissions. These measured emissions are quite different from passenger car emissions, and from emissions calculated using the European MEET model.					
14 Key Words light duty vehicle, driving cycle, speed, load, unit emission, atmospheric pollutant, fuel consumption, hot start, measurement			15 Distribution statement free		
16 Nb of pages 71 pages		17 Price free		18 Declassification date	
				19 Bibliography yes	

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	7
2. MÉTHODE.....	9
2.1. Échantillons de véhicules.....	9
2.2. Cycles de conduite.....	11
2.3. Conditions de tests.....	16
2.4. Prélèvement et analyse des polluants.....	16
2.5. Présentation des résultats.....	17
3. RÉSULTATS.....	21
3.1. Influence de la vitesse moyenne.....	21
3.2. Influence de la charge.....	21
3.3. Émission selon la catégorie de véhicule.....	22
3.4. Comparaison des PVU et voitures particulières.....	24
3.5. Comparaison avec le modèle MEET pour les fourgons de 3,5 t.....	26
4. CONCLUSION.....	27
Annexe 1 : Liste des véhicules testés avec leurs principales caractéristiques.....	29
Annexe 2 : Cycles d'essai utilisés.....	31
Annexe 3 : Comparaison des émissions par véhicule et des moyennes.....	39
Annexe 4 : Influence du mode d'agrégation sur les courbes de tendance.....	43
Annexe 5 : Émissions unitaires moyennes pour les voitures commerciales et fourgonnettes..	44
Annexe 6 : Émissions unitaires moyennes pour les fourgons de 2,5 t et 3,5 t.....	46
Annexe 7 : Émissions unitaires des différentes classes de PVU à vide selon la vitesse moyenne des cycles.....	48
Annexe 8 : Émissions unitaires des fourgonnettes selon la vitesse moyenne des cycles.....	51

Annexe 9 : Émissions unitaires des fourgons de 2,5 t selon la vitesse moyenne des cycles....	53
Annexe 10 : Émissions unitaires des fourgons de 3,5 t selon la vitesse moyenne des cycles..	55
Annexe 11 : Émissions unitaires agrégées des différentes classes de PVU.....	57
Annexe 12 : Limites des émissions selon la norme.....	59
Annexe 13 : Émissions unitaires agrégées moyennes selon la norme d'émission.....	60
Annexe 14 : Influence de la norme sur les émissions agrégées globales.....	63
Annexe 15 : Comparaison des cycles PVU et modem Hyzem.....	66
Liste des tables et figures.....	67
BIBLIOGRAPHIE.....	69

1. Introduction

Les émissions des petits véhicules utilitaires ont été très peu étudiées par le passé. Ainsi dans la synthèse européenne sur les facteurs d'émissions des véhicules légers effectuée dans le cadre du projet MEET (Samaras & Nziachristos, 1998), 2500 tests sur cycles représentatifs avaient été recensés pour les voitures particulières, et seulement près de 140 pour les petits véhicules utilitaires (PVU). De plus ces tests, bien que visant à évaluer les émissions unitaires des PVU, ont tous été menés sur des cycles représentatifs des conditions de conduite des voitures particulières. En fait les PVU ont été traités de la même manière que les voiture à usage personnel ou familial.

Le poids des émissions françaises des PVU parmi l'ensemble des émissions des transports routiers reste faible, mais est loin d'être négligeable. Pour les NOx, nous l'avons estimé (Joumard et Lambert, 1991) à un cinquième des émissions des voitures particulières, et à près d'un dixième des émissions de l'ensemble des véhicules utilitaires.

La spécificité des usages des PVU par rapport aux voitures et aux poids lourds (cf. André et coll., 2000), leurs caractéristiques particulières, et la part des PVU dans les émissions du trafic justifient pleinement de mener une étude spécifique sur les émissions unitaires des PVU. Cette étude a été menée en 3 étapes :

- des expérimentations sur les usages et conditions de fonctionnement des PVU, au cours de 78 000 km de trajets effectués par 39 véhicules (André et coll., 1997),
- la mise au point de cycles de conduite spécifiques aux PVU (André et coll., 2000),
- une campagne de mesure des émissions unitaires sur des PVU diesel dont le présent rapport présente la méthode et les résultats.

2. Méthode

Un échantillon de petits véhicules utilitaires allant de la voiture commerciale au fourgon de 3,5 t a été testé en laboratoire sur un nombre relativement important de cycles de conduite à chaud, afin d'en connaître les émissions de polluants réglementés et la consommation.

2.1. Échantillons de véhicules

Les petits véhicules utilitaires (PVU) ou véhicules utilitaires légers (VUL) sont des véhicules à usage professionnel dont le poids total autorisé en charge (PTAC) n'excède pas 3,5 t. Le PTAC est le poids du véhicule y compris sa charge, mais sans tenir compte d'une éventuelle remorque. On peut distinguer six catégories de PVU (André et coll., 1994) :

- les voitures de sociétés ou commerciales qui sont des voitures particulières à usage professionnel, bénéficiant d'un taux de TVA réduit. Ils se distinguent généralement des voitures particulières par l'absence de banquette et de portes arrières. Leur PTAC est compris entre 1,1 et 1,9 t.
- les fourgonnettes qui sont des modèles proches des voitures particulières mais conçues spécifiquement pour des usages professionnels en terme de carrosserie, motorisation ... comme les Renault Express ou Citroën C15 très utilisés par les artisans. Leur PTAC varie de 1,2 à 2,1 t.
- les pick-up équipés d'un plateau arrière, de technologie automobile ou industrielle selon leur poids, très rares en France.
- Les véhicules tous terrains, conçus spécifiquement pour cet usage comme la Land Rover.
- Les fourgons de 2,5 t de PTAC, de type Renault Trafic : ils relèvent de la technologie automobile.
- Les fourgons de 2,5 à 3,5 t de PTAC, de type Iveco Daily, qui relèvent de la technologie poids lourd.

On trouvera Tableau 1 les répartitions de ces catégories de véhicules utilitaires dans les immatriculations. Le poids très faible des pick-up et des véhicules utilitaires nous amène à ne tester que les quatre autres catégories.

Nous avons donc testé 27 petits véhicules utilitaires, soient 7 voitures commerciales, 10 fourgonnettes, 7 fourgons de 2,5 t et 3 fourgons de 3,5 t. On trouvera les normes d'émissions respectives Tableau 2, et les caractéristiques moyennes de ces sous-échantillons Tableau 3, et en Annexe 1 la liste des véhicules avec leur principales caractéristiques.

année	voitures commer- ciales	fourgon- nettes	pick-up	tous terrains	fourgons 2,5 t	fourgons 3,5 t	fourgons 5 t
1989-91	33,5	31,4	1,2	3,3	30,4		
1999	42,4	17,6	1,5	1,0	5,7	31,7	
échant.	26	37	0	0	26	11	

Tableau 1 : Répartitions en % des différentes catégories de petits véhicules utilitaires dans les immatriculations françaises de 1989-91 (André et coll., 1994) et 1999 (Lacour, 2001) et dans l'échantillon de véhicules testés.

échantillon	88/436	Euro 1	Euro 2	total
commerciales	1	4	2	7
fourgonnettes			10	10
fourgons de 2,5 t		1	6	7
fourgons de 3,5 t		2	1	3
total	1	7	19	27

Tableau 2 : Distribution des véhicules testés selon la réglementation européenne d'émissions.

On remarquera que le poids des différentes classes de PVU dans l'échantillon ne correspond guère à leur poids dans le parc. Le nombre de fourgons de 3,5 t est ainsi particulièrement faible (3) ; il est inférieur au nombre minimal de 5 que nous estimons habituellement nécessaire pour que les émissions moyennes de l'échantillon puissent être considérées comme représentatives de la catégorie de véhicule, c'est à dire peu dépendantes du choix des véhicules testés. Ce faible échantillonnage est dû aux difficultés pratiques que nous rencontrons pour faire fonctionner des véhicules aussi lourds sur notre banc à rouleau.

A l'intérieur de chaque catégorie, le choix des modèles de véhicule n'a pas été fait pour représenter strictement la distribution des modèles dans le trafic, mais selon d'autres impératifs, liés à l'origine des véhicules :

- les voitures commerciales testées ne sont pas stricto sensu des voitures commerciales mais des voitures de tourisme, identiques en terme de motorisation, poids, rapports de boîte, et appartenant généralement à des particuliers. Le choix des modèles a été effectué selon leur disponibilité et en respectant une certaine diversité.
- Les fourgonnettes sont issues du parc d'EDF Lyon et ont été choisies selon leur disponibilité dans ce parc.
- Les fourgons de 2,5 et 3,5 t proviennent de sociétés de location. Ils ont été choisis selon la disponibilité des loueurs.

L'âge et le kilométrage des véhicules sont assez variés. Cependant par échantillon les voitures commerciales et les fourgons de 3,5 t ont un kilométrage relativement élevé proche de 90 000 km (cf. Tableau 3) tandis que les fourgonnettes et fourgons de 2,5 t ont un kilométrage faible proche de 30 000 km. Ces distorsions ainsi que le faible nombre de véhicules par échantillon nous amèneront à comparer les émissions des différents échantillons avec beaucoup de précaution. On devra plutôt considérer les résultats des mesures comme exploratoires.

Les carburants utilisés proviennent des stations service locales de Bron.

échantillon	n	cylindrée (cm ³)	puissance (kW)	masse (kg)	puissance massique (kW/t)	âge (an)	kilomé- trage (1000 km)
commerciales	7	1885	54,7	1055	52,1	4,7	93
fourgonnettes	10	1830	46,4	946	49,2	1,8	39
fourgons 2,5 t	7	2585	62,1	1880	33,4	1,4	21
fourgons 3,5 t	3	2299	56,0	1723	32,3	1,2	89

Tableau 3 : Moyennes des principales caractéristiques des 4 échantillons de véhicules.

2.2. Cycles de conduite

Les véhicules sont testés sur le banc à rouleau de l'INRETS. Il s'agit d'un banc à génératrice de puissances nominale 93 kW et maximale 132 kW, de couples nominal 2114 Nm et maximal 3000 Nm, muni d'un rouleau de 1219 mm de diamètre. L'inertie du véhicule est simulée mécaniquement pour 540 kg par les systèmes en rotation et au delà par la génératrice électrique.

Le refroidissement du véhicule et tout particulièrement du moteur est assuré par une ventilation d'air ambiant asservie à la vitesse du véhicule jusqu'à 120 km/h, sur une section de 0,8 m² placée à l'avant de la calandre : le refroidissement est ainsi très proche du refroidissement sur route.

Chaque échantillon de véhicules est testé selon un jeu de cycles de conduite qui lui est spécifique. Chaque jeu ou famille de cycles a été élaboré sur la base de cinématiques enregistrées sur route par 7 à 12 véhicules privés, au cours de 16 à 25 000 km d'usage habituel, selon les familles (cf. Tableau 4 et André et coll., 1997). Les cycles ont été construits par analyse multidimensionnelle et classification de segments cinématiques homogènes. On trouvera dans André et coll. (2000) une description détaillée de la mise au point de ces cycles.

Chaque cycle est représentatif d'une condition de conduite particulière, en différenciant les cinématiques à vide des cinématiques en charge pour les fourgonnettes et fourgons de 2,5 t. Pour les voitures commerciales la charge se trouve être assez peu variable. Pour les fourgons de 3,5 t un même cycle cinématique correspond à plusieurs charges et sera donc suivi avec des charges différentes.

Les cycles sont parfois précédés de cycles de préconditionnement et de cycles de postconditionnement. Pour cette raison les cycles de conduite stricto sensu sont appelés « purs » et « entiers » quand ils intègrent les pré et postconditionnements. Le nombre de cycles varient de 5 à 9 selon la catégorie de véhicule :

- six cycles Inrets PVU commerciale : trois urbains, un routier et deux autoroutiers,
- huit cycles Inrets PVU fourgonnette : deux cycles urbains, un cycle routier, et un cycle autoroutier, chacun d'entre eux décliné à vide et en charge,
- neuf cycles Inrets PVU fourgon 2,5 t : deux cycles urbains, un cycle routier, et un cycle autoroutier, chacun d'entre eux décliné à vide et en charge, ainsi qu'un cycle de livraison,
- cinq cycles Inrets PVU fourgon 3,5 t : deux cycles urbains, un cycle de livraison, un routier et un autoroutier. Ces cycles sont indépendants de la charge du véhicule. Les cycles urbain lent, route et autoroute sont testés à 10 et 50 % de la charge utile.

Principes d'élaboration	Famille de cycles	Base de données	Nom	Conditions décrites	Coef. de pondération pour cycles ent-purs-ers		Vit. moy. (km /h)
- Décomposition d'un trajet en segments cinématiques homogènes - Description de chaque segment par la distribution croisée vitesse x accélération instantanées - analyse multidimensionnelle et classification - choix du trajet le plus représentatif comme cycle - différenciation des usages selon la charge du véhicule	Inrets PVU commerce	12 voitures en France, 1800 trajets, 25 000 km	urbain 1	urbain congest., arrêts	5,9	7,0	20,5
			urbain 2	urbain fluide	14,7	17,5	28,2
			urbain 3	urbain faible vitesse	4,6	5,5	17,8
			route	route		19,8	60,1
			route+post	""	23,1		55,3
			autoroute 1	grand routier		31,0	81,4
			pré+autoroute 1+post	""	32,5		69,9
			autoroute 2	autoroute		19,2	114,8
			pré+autoroute 2+post	""	19,2		89,7
	Inrets PVU fourgonnette	12 véhicules en France, 4000 trajets, 18 000 km	urbain 1 vile	urbain dense	6,6	6,6	12,2
			urbain 1 chargé	""	4,8	4,7	14,0
			urbain 2 vile	urbain	19,5	19,2	20,0
			urbain 2 chargé	""	13,5	13,4	20,3
			route vile	route	24,3	24,1	37,4
			route chargé	""	24,3	24,1	43,4
			autoroute vile	autoroute		5,1	89,8
			pré+autoroute vile	""	4,5		81,1
			autoroute chargé	""		2,8	83,5
			pré+autoroute chargé	""	2,5		76,4
	Inrets PVU fourgon 2,5 t	8 véhicules en France, 1600 trajets, 16 000 km	urbain 1 vile	urbain dense	13,6	15	17,0
			urbain 1 chargé	""	9,0	10	16,9
			urbain 2 vile	urbain	12,9	14,3	26,7
			urbain 2 chargé	""	13,5	14,9	25,3
			livraison	livraison	2,0	2,2	13,8
			route vile	route		16,1	58,3
			pré+route+post vile	""	18,2		46,3
			route chargé	""		17,5	59,4
			pré+route chargé	""	19,7		58,1
			autoroute vile	autoroute		4,0	97,9
	Inrets PVU fourgon 3,5 t	7 véhicules en France, 2300 trajets, 19 000 km	pré+autor.+post vile	""	4,4		90,2
			autoroute+post 2 vile	""	(4,4)		97,8
			autoroute chargé	""		6,0	95,2
			pré+autor.+post char.	""	6,7		82,7
			autor.+post 2 chargé	""	(6,7)		90,2
			urbain lent	urbain dense	5,0	5,6	12,1
			urbain fluide	urbain fluide	19,1	21,1	22,3
			livraison	livraison	1,9	2	10,5
			route	route		43,4	63,8
			pré+route+post	""	45,4		50,4
			autoroute	autoroute		27,8	90,3
			pré+autoroute	""	28,6		88,1

Tableau 4 : Synthèse des principes d'élaboration et de certaines caractéristiques des différentes familles de cycles représentatifs utilisés (André et coll., 2000).

On trouvera Tableau 5 les principales caractéristiques cinématiques de ces cycles, ainsi que des cycles pré et postconditionnement, que l'on pourra comparer aux cycles réglementaires. Nous les avons positionnés Figure 1 en termes de vitesse moyenne et accélération. On remarquera que les accélérations sont assez systématiquement supérieures que celles des cycles réglementaires (à même vitesse moyenne), et d'autre part que pour les fourgonnettes les accélérations sont supérieures à vide qu'en charge, et vice versa pour les fourgons de 2,5 t. Ces caractéristiques reproduisent les conditions réelles de conduite et de charge telles qu'enregistrées. Une accélération supérieure peut être due à un véhicule moins chargé et ayant donc plus de reprise, mais aussi à des périodes de livraison où le conducteur est plus pressé.

Famille de cycles	Nom	Vitesse moyenne (km/h)	Vitesse maximale (km/h)	Taux d'arrêt (%)	Fréq. des arrêts (ar/km)	É.-type accélé. (m/s²)	Accél. maximale (m/s²)	Longueur (km)	Durée (s)
Inrets PVU commerciale	urbain 1	20,5	66,3	26,1	3,31	0,85	2,61	3,320	583
	urbain 2	28,2	59,8	12,4	1,34	0,95	2,81	3,723	476
	urbain 3	17,8	48,9	11,6	3,22	0,77	2,19	2,481	502
	route	60,1	113,6	4,3	0,30	0,69	2,81	13,513	810
	post route	19,2	64,0			0,71	1,61	0,571	107
	route+post	55,3	113,6			0,69	2,81	14,084	917
	pré autoroute 1	20,3	83,9			0,61	1,75	0,507	90
	autoroute 1	81,4	128,6	1,3	0,11	0,61	2,14	18,732	828
	post autoroute 1	15,9	59,4			1,00	2,33	0,415	94
	pré+autoroute 1+post	69,9	128,6			0,66	2,33	19,654	1012
	pré autoroute 2	35,7	86,7			0,76	1,94	1,882	190
	autoroute 2	114,8	140,5	1,6	0,08	0,43	1,94	24,641	773
	post autoroute 2	13,3	47,5			0,61	1,94	0,440	119
	pré+autoroute 2+post	89,7	140,5			0,52	1,94	26,963	1082
Inrets PVU fourgonnette	urbain 1 vide (110 kg)	12,2	70,4	45,4	6,53	0,77	2,36	2,296	680
	urbain 1 chargé (200 kg)	14,0	80,3	46,8	4,02	0,66	2,58	3,236	832
	urbain 2 vide (110 kg)	20,0	54,5	21,5	2,74	0,60	2,17	2,920	526
	urbain 2 chargé (200 kg)	20,3	56,6	21,7	3,06	0,55	2,17	2,915	516
	route vide (110 kg)	37,4	85,2	10,4	1,00	0,98	2,17	5,017	483
	route chargé (200 kg)	43,4	80,8	9,3	0,86	0,77	3,22	5,811	482
	pré autoroute vide (200 kg)	50,8	88,0			0,89	2,22	2,538	180
	autoroute vide (200 kg)	89,8	118,5	1,4	0,06	0,49	1,61	15,518	622
	pré+autoroute vide (200 kg)	81,1	118,5			0,61	2,22	18,056	802
	pré autoroute chargé (320 kg)	48,8	80,7			0,94	2,22	2,305	170
	autoroute chargé (320 kg)	83,5	111,2	1,4	0,07	0,46	1,22	15,361	662
	pré+autoroute chargé (320 kg)	76,4	111,2			0,60	2,22	17,665	832
Inrets PVU fourgon 2,5 t	urbain 1 vide (230 kg)	17,0	57,4	34,1	4,66	0,79	2,42	2,576	546
	urbain 1 chargé (520 kg)	16,9	59,5	30,7	3,88	0,83	2,83	2,576	548
	urbain 2 vide (230 kg)	26,7	54,3	15,6	1,68	0,49	2,19	4,752	640
	urbain 2 chargé (750 kg)	25,3	70,1	17,9	1,92	0,48	1,58	5,733	817
	livraison 1 (350 kg) ^b	13,3	30,7			0,53	1,69	0,404	109
	livraison 2 (350 kg) ^b	13,9	39,5			0,48	1,47	0,846	219
	livraison 3 (350 kg) ^b	13,8	44,8			0,51	1,72	1,172	305
	livraison (350 kg)	13,8	44,8	12,5	2,89	0,50	1,72	2,422	633
	pré route vide (230 kg)	14,2	36,3			0,70	1,42	0,399	101
	route vide (230 kg)	58,3	93,7	1,0	0,13	0,60	1,42	7,870	486
	post route vide (230 kg)	32,6	61,0			0,68	1,61	1,695	187
	pré+route+post vide (230 kg)	46,3	93,7			0,64	1,61	9,964	774
	pré route chargé (650 kg)	38,6	64,6			0,56	1,61	0,429	40
	route chargé (650 kg)	59,4	102,4	2,5	0,20	0,66	1,81	10,096	612
	pré+route chargé (650 kg)	58,1	102,4			0,66	1,81	10,525	652
	pré autor. vide (230 kg)	48,1	86,4			0,80	2,22	1,150	86
	autoroute vide (230 kg)	97,9	123,4	1,9	0,10	0,40	1,81	20,506	754
	post 2 autor. vide (230 kg)	89,8	98,0			0,49	0,19	0,249	10
	autor.+post 2 vide (230 kg)	97,8	123,4			0,40	1,81	20,756	764
	post autoroute vide (230 kg) ^a	56,1	98,0			0,63	1,19	0,997	64
	pré+autor.+post vide (230 kg) ^a	90,2	123,4			0,49	2,22	22,654	904
	pré 2 autor. chargé (520 kg)	63,5	90,8	6,5	0,74	0,62	2,03	1,358	77
	autoroute chargé (520 kg)	95,2	123,4	2,4	0,04	0,44	2,03	25,244	955
	post 2 autor. chargé (520 kg)	26,1	63,2			0,93	2,22	0,536	74
	autor.+post 2 chargé (520 kg)	90,2	123,4	4,8	0,08	0,49	2,22	25,780	1029
	pré autoroute chargé (520 kg) ^a	34,8	90,8			0,69	2,42	1,741	180
	post autoroute chargé (520 kg) ^a	30,6	63,2			1,01	2,22	0,536	63
	pré+autor.+post chargé (520 kg) ^a	82,7	123,4			0,53	2,42	27,521	1198

^a : cycles, en *petits caractères*, non utilisés par la suite

^b : cycles précédés d'un arrêt, et incluant un démarrage

Tableau 5 (début) : Synthèse des caractéristiques des différentes familles de cycles représentatifs et des cycles réglementaires utilisés.

Famille de cycles	Nom	Vitesse moyenne (km/h)	Vitesse maximale (km/h)	Taux d'arrêt (%)	Fréq. des arrêts (ar/km)	É.-type accélération (m/s ²)	Accélération maximale (m/s ²)	Longueur (km)	Durée (s)
Inrets PVU fourgon 3,5 t	urbain lent	12,1	57,9	49,2	5,02	0,71	2,53	2,190	649
	urbain fluide	22,3	52,5	21,0	3,46	0,73	2,17	2,893	467
	livraison 1 ^b	10,9	27,6	19,2	5,07	0,51	1,39	0,394	130
	livraison 2 ^b	12,4	29,1	8,2	1,71	0,39	0,97	0,584	170
	livraison 3 ^b	9,0	32,3	23,6	8,15	0,52	1,44	0,614	246
	livraison	10,5	32,3	17,8	5,65	0,48	1,44	1,592	546
	pré route	19,0	51,3			0,47	1,19	0,772	146
	route	63,8	86,2	0,7	0,10	0,37	0,97	9,646	544
	post route	29,4	56,5			0,67	1,33	1,054	129
	pré+route+post	50,4	86,2			0,50	1,44	11,471	819
	pré autoroute	39,6	70,3			0,61	1,69	0,594	54
	autoroute	90,3	130,4	2,1	0,10	0,43	1,44	30,736	1226
	pré+autoroute	88,1	130,4			0,44	1,69	31,330	1280
cycles réglement.	ECE 15 (UDC) ^a	18,7	50,0	32,3	2,93	0,47	1,06	4,052	780
	EUDC ^a	62,6	120,0	10,3	0	0,38	0,83	6,955	400
	FTP 72-1 ^a	41,5	91,2	19,4	0,86	0,65	1,50	5,821	505
	FTP 72-2 ^a	26,0	55,2	18,8	2,08	0,61	1,50	6,263	867
	US Highway ^a	77,6	96,4	0,5	0,06	0,30	1,44	16,450	765

^a : cycles, en *petits caractères*, non utilisés par la suite

^b : cycles précédés d'un arrêt, et incluant un démarrage

Tableau 5 (fin) : Synthèse des caractéristiques des différentes familles de cycles représentatifs et des cycles réglementaires utilisés.

Nous indiquons en outre Tableau 4 le poids de chaque cycle dans l'ensemble du kilométrage de chaque catégorie de véhicule. Ces poids nous serviront de coefficient de pondération des facteurs d'émission propres à chaque cycle pour calculer un facteur d'émission agrégé propre à une catégorie de véhicule.

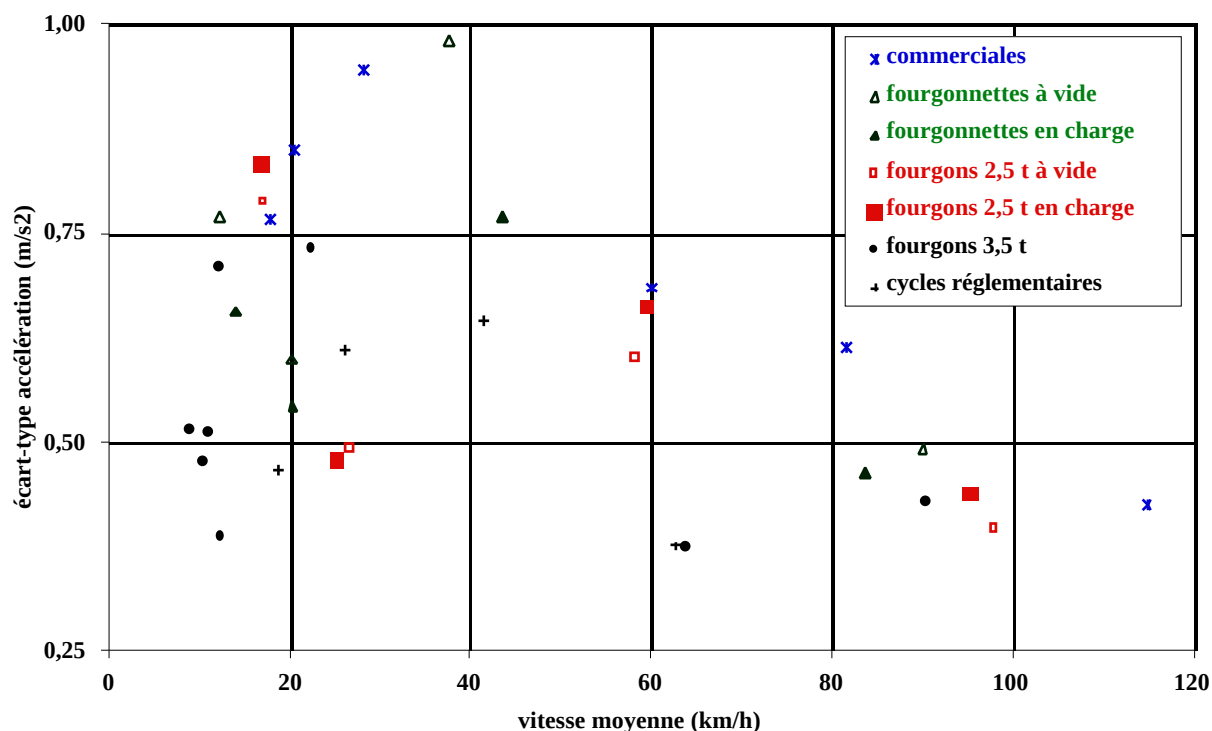


Figure 1: Description des cycles suivis et des cycles réglementaires en termes de vitesse moyenne et écart-type de l'accélération.

type véhi- cule	ordre chro- no- logique	précondition- nement (sans mesure)	cycle	charge	durée (s)	vite- sse (km/h)	sac ou filtre de prélèvement CO, HC, NOx, CO ₂	part.	analyse instant. CO, HC, NOx, CO ₂
com- mer- ciel	1		urbain 1		583	20,5	x	x	x
	2		urbain 2		476	28,2	x	x	x
	3		urbain 3		502	17,8	x	x	x
	4		route		810	60,1	x	x	x
	5		post route		107	19,2			x
	6		pré autoroute 1		90	20,3			x
	7		autoroute 1		828	81,4	x	x	x
	8		post autoroute 1		94	15,9			x
	9		pré autoroute 2		190	35,7			x
	10		autoroute 2		773	114,8	x	x	x
	11		post autoroute 2		119	13,3			x
four- gon- nette	1		urbain 1 vile	110 kg	680	12,2	x	x	x
	2		urbain 2 vile	""	526	20,0	x	x	x
	3		route vile	""	483	37,4	x	x	x
	4		pré autoroute vile	200 kg	180	50,8	x	x	x
	5		autoroute vile	""	622	89,8			x
	6		urbain 1 chargé	""	832	14,0	x	x	x
	7		urbain 2 chargé	""	516	20,3	x	x	x
	8		route chargé	""	482	43,4	x	x	x
	9		pré autoroute chargé	320 kg	170	48,8	x	x	x
	10		autoroute chargé	""	662	83,5			x
four- gon 2,5 t	1		urbain 1 vile	230 kg	546	17,0	x	x	x
	2		urbain 2 vile	""	640	26,7	x	x	x
	3	pré route vile	route vile	""	486	58,3	x	x	x
	4	pré autoroute vile	autoroute vile	""	754	97,9	x	x	x
	5		post 2 autoroute vile	""	10	89,8			x
	6		urbain 1 chargé	520 kg	548	16,9	x	x	x
	7	pré 2 autor. chargé	autoroute chargé	""	955	95,2	x	x	x
	8		post 2 autorout. chargé	""	74	26,1			x
	9	pré route chargé	route chargé	650 kg	612	59,4	x	x	x
	10		urbain 2 chargé	750 kg	817	25,3	x	x	x
	11		livraison 1	350 kg	109	13,3	x		x
	12		livraison 2	""	219	13,9	x	x	x
	13		livraison 3	""	305	13,8	x		x
four- gon 3,5 t	1		urbain fluide	30% cu ^a	467	22,3	x	x	x
	2		livraison 1	""	130	10,9			x
	3		livraison 2	""	170	12,4	x	x	x
	4		livraison 3	""	246	9,0			x
	5		urbain lent	10% cu	649	12,1	x	x	x
	6		pré route	""	146	19,0			x
	7		route	""	544	63,8	x	x	x
	8		post route	""	129	29,4			x
	9		pré autoroute	""	54	39,6	x	x	x
	10		autoroute	""	1226	90,3			x
	11		urbain lent	50% cu ^a	649	12,1	x	x	x
	12		pré route	""	146	19,0			x
	13		route	""	544	63,8	x	x	x
	14		post route	""	129	29,4			x
	15		pré autoroute	""	54	39,6	x	x	x
	16		autoroute	""	1226	90,3			x

^a : cu = charge utile

Tableau 6 : Programme détaillé de tests sur le banc à rouleau, selon les échantillons de véhicules.

2.3. Conditions de tests

L'ensemble des cycles ont été suivis moteur chaud. Pour la plupart des cycles le préconditionnement n'a pas été strictement défini ni suivi, mis à part 4 des cycles suivis par les fourgons de 2,5 t qui ont eu un cycle de préconditionnement bien défini (cf. Tableau 6). Les cycles suivaient cependant un ordre chronologique constant. Le premier cycle a été précédé d'une phase de chauffage afin d'obtenir un moteur chaud. Ensuite, le véhicule tournait au ralenti pendant quelques minutes entre chaque prélèvement par sac (pouvant couvrir plusieurs cycles). Tous les deux prélèvements le véhicule était arrêté pendant une quinzaine de minutes, suivies de quelques minutes de remise en température.

Un total de 209 tests ont été réalisés et sont analysés dans ce rapport, si l'on considère qu'un test correspond à un véhicule et un cycle de conduite. Ces tests ont été effectués entre juillet 1998 et novembre 1999.

Les conditions ambiantes ont été en moyenne de 20°C, 995 hPa et 43 % d'humidité (cf. Tableau 7), avec des écarts types respectivement de 5°C, 6 hPa et 4 %. Ces conditions expérimentales sont donc relativement variables, correspondant aux variations observées dans la région de Lyon.

échantillon	temp. ambiante (°C)		pression (hPa)		humidité (%)	
	moy.	e.t.	moy.	e.t.	moy.	e.t.
commerciale	24,0	1,3	997,0	2,9	45,9	3,7
fourgonnette	21,6	4,2	989,7	4,2	42,3	4,8
fourgon de 2,5 t	19,1	6,5	994,7	3,5	43,0	2,2
fourgon de 3,5 t	13,0	0,6	1005,7	1,5	46,7	4,9
tous	20,4	5,3	995,2	5,9	43,4	4,4

Tableau 7 : Conditions environnementales des essais par échantillon de véhicules.

2.4. Prélèvement et analyse des polluants

Les gaz d'échappement sont prélevés à débit constant à l'aide d'un CVS, en continu et par sac ou filtre. Les polluants sont analysés par des méthodes classiques (absorption infrarouge pour le monoxyde de carbone CO et le gaz carbonique CO₂ ; ionisation de flamme pour les hydrocarbures totaux HC ; chimie luminescence pour les oxydes d'azote NO_x ; pesée pour les particules), ou évalués par calcul (consommation de carburant).

La consommation de carburant est calculée à partir des émissions de CO, CO₂, HC et particules selon la balance des atomes de carbone. On utilise pour cela la formule (1) ci-dessous dans laquelle le rapport hydrogène / carbone $r_{H/C}$ est pris égal à 2,0 pour le gazole.

$$\frac{\text{masse carburant}}{12,011 + 1,008 \cdot r_{H/C}} = \frac{\text{masse CO}_2}{44,011} + \frac{\text{masse CO}}{28,011} + \frac{\text{masse HC}}{16,043} + \frac{\text{masse particules}}{12,011} \quad (1)$$

Les paramètres CO, HC, NO_x, CO₂, consommation et particules sont systématiquement analysés quel que soit le cycle de conduite et l'échantillon de véhicules.

CO, HC, NO_x, CO₂ et consommation sont analysés en continu et par cycle par l'intermédiaire de

sacs de prélèvement. Cependant de nombreux cycles, courts, ne permettent qu'une analyse en continu des émissions. Pour un certain nombre de cycles, ou d'agrégations de cycles, nous avons en parallèle émission en continu et émission par sac (cf. Tableau 6). Lorsque cela est possible nous retenons prioritairement les résultats obtenus à partir des sacs ; sinon les résultats présentés sont obtenus par intégration des valeurs continues. Cependant pour les émissions d'hydrocarbures totaux, nous retenons au contraire prioritairement les émissions mesurées en continu (par ligne chauffée), et par défaut les émissions issues des prélèvements par sac pour lesquels une partie des hydrocarbures ont pu se condenser et donc ne pas être mesurés.

L'ensemble des résultats d'émission et de consommation, intégrés sur un cycle, sont présentés en unité de masse par unité de distance parcourue (g/km). CO, CO₂, consommation et particules sont exprimés en masse réelle émise, tandis que HC et NO_x sont exprimés en masse équivalente de CH₄ et NO₂ respectivement. Les émissions instantanées ne sont pas présentées dans ce rapport.

2.5. Présentation des résultats

Les émissions de polluants étant très variables d'un véhicule de même catégorie à un autre, et pour un même véhicule d'un moment à un autre, aucun résultat individuel (1 véhicule, 1 cycle) n'est présenté : seules les émissions moyennes sur un échantillon de véhicules sont considérées, car cela permet de s'affranchir en grande partie du caractère assez aléatoire des émissions individuelles. Cependant, vu la taille restreinte des échantillons (3 à 10 véhicules) les résultats absolus doivent être pris en compte avec précaution. Nous les analysons essentiellement de manière relative selon les conditions de mesure.

L'un des objectifs de l'étude est cependant d'évaluer l'influence de paramètres comme la vitesse moyenne du cycle ou la charge des véhicules sur les émissions unitaires moyennes. Or les écarts-types sont très importants, de l'ordre du tiers des valeurs moyennes (cf. résultats en Annexe 5 et Annexe 6, et des tracés en Annexe 3). Ainsi on voit Figure 2 dans le cas des NO_x des fourgonnettes que l'écart type, en moyenne de 22 % de la valeur moyenne, ne permettrait pas de différencier les émissions à 12 et à 20 km/h, ni les émissions mesurées à 20, 37 et 90 km/h. Ce raisonnement basé sur les seuls écarts-types est cependant erroné si les variations d'un cycle à un autre sont systématiques quel que soit le véhicule testé, ou en d'autres termes si les valeurs moyennes sont statistiquement différentes. Plutôt que d'utiliser point à point des tests statistiques comme le test t, nous nous contentons de tracer dans quelques cas des courbes de tendance véhicule par véhicule. On trouvera le tracé correspondant à la Figure 2 en Figure 3, ainsi que trois autres exemples en Annexe 3. On voit sur ces différents exemples que les formes de courbes sont très semblables d'un véhicule à un autre et que la tendance générale est bien représentative des tendances particulières. Il est donc justifié de tracer des courbes de tendance à partir des émissions moyennes par cycle, malgré les écarts-types élevés.

Les émissions unitaires sont des fonctions croisées de plusieurs paramètres : classe de véhicule, vitesse moyenne du cycle, charge notamment. Pour synthétiser l'influence d'un seul paramètre pour une classe de véhicule donnée, nous calculons des émissions dites agrégées, en pondérant plusieurs émissions moyennes par le poids de chaque condition de conduite (un cycle, une charge) dans l'ensemble du kilométrage parcouru par cette classe de véhicule (cf. Tableau 4). Nous calculons ainsi (cf. Annexe 11) une émission urbaine par agrégation des émissions mesurées selon différents cycles urbains, chargés ou non. On peut de même calculer une émission routière, ou autoroutière, ainsi qu'une émission à vide ou en charge, et finalement une émission agrégée globale. D'un point de vue méthodologique ces émissions agrégées constituent des synthèses intelligentes

des données de base car elles tiennent compte de la représentativité de chaque condition de mesure. Il n'en n'est pas de même des courbes de tendance tracées à partir des données de base, qui pondèrent également tous les points.

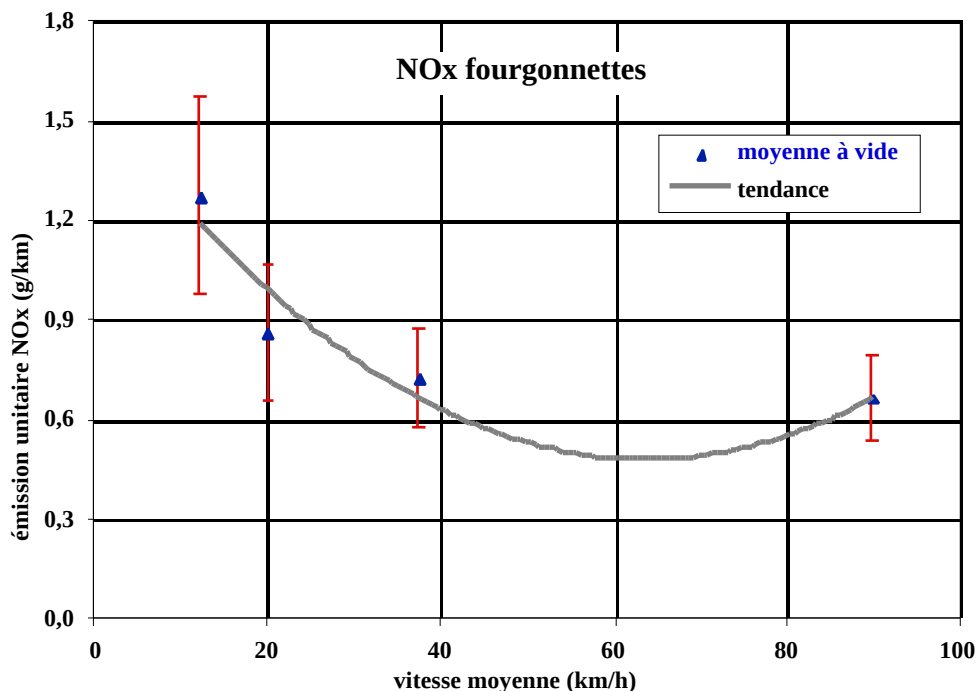


Figure 2 : Moyenne et écart-type des émissions de NOx des fourgonnettes (PTAC < 2,1 t) en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.

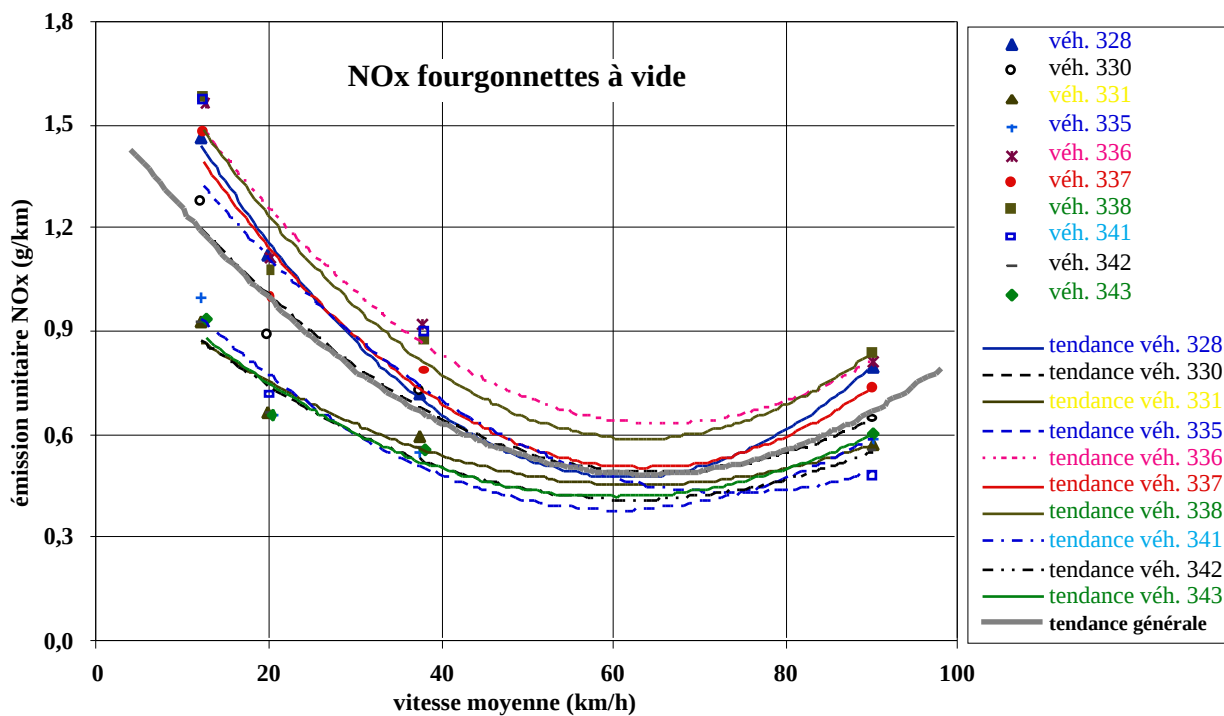


Figure 3 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de NOx des différentes fourgonnettes testées (PTAC < 2,1 t).

Dans quelle mesure la courbe de tendance issue des données de base et la courbe de tendance issue des données agrégées sont-elles comparables, ou en d'autres termes peut-on se contenter de l'une des deux pour évaluer l'influence des conditions de conduite sur les émissions ? Nous avons étudié cette question sur deux cas : les NOx des fourgons de 2,5 t (cf. Annexe 4), ou des fourgons de 3,5 t (cf. Figure 4). On voit sur ces deux exemples que les deux courbes de tendance sont très proches. Par contre l'émission agrégée globale, synthèse de l'ensemble des points de mesure peut être située assez loin des courbes de tendance, lorsque celles-ci sont assez convexes.

Les émissions unitaires agrégées permettent de comparer les émissions moyennes de catégories de véhicule différentes. Dans ce cas on compare à la fois des classes de véhicules différentes et des conditions d'utilisation différentes, qui se traduisent par des cycles de conduite différents, pondérés de manière spécifique à chaque classe de véhicule.

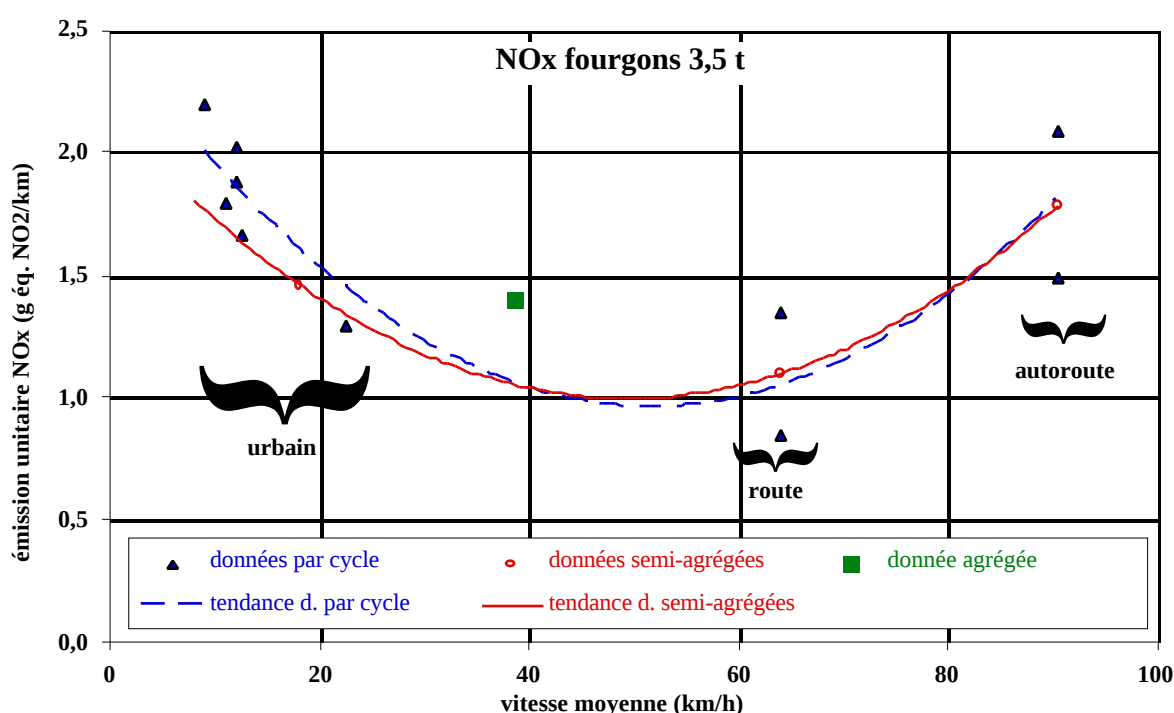


Figure 4 : Comparaison des courbes de tendance tracées à partir des données par cycle, des données agrégées par type de voie et de l'émission agrégée globale. Cas du NOx des fourgons de 3,5 t.

3. Résultats

L'ensemble des résultats, c'est à dire les émissions moyennes pour un échantillon de véhicules et un cycle, sont présentés en Annexe 5 pour les voitures commerciales et fourgonnettes, et en Annexe 6 pour les fourgons de 2,5 et 3,5 t. L'Annexe 7 présente sous forme graphique l'influence de la vitesse moyenne sur les émissions à vide des différents échantillons, tandis que les Annexe 8, Annexe 9, et Annexe 10 présentent l'influence de la charge respectivement pour les camionnettes, fourgons de 2,5 t et fourgons de 3,5 t. Parallèlement les facteurs d'émissions agrégés et différents ratios sont présentés en Annexe 11 pour les quatre types de véhicules.

Nous examinons ci-dessous l'influence des paramètres vitesse moyenne du cycle, charge et type de véhicule, avant de comparer les résultats de mesure sur PVU soit à des mesures antérieures effectuées sur voitures particulières, soit au modèle européen d'émissions.

3.1. Influence de la vitesse moyenne

Les résultats cycle par cycle ainsi que les courbes de tendance sont tracées en Annexe 7. Les émissions unitaires moyennes par échantillon de véhicules évoluent de la manière suivante avec la vitesse moyenne du cycle de conduite :

- CO et HC : fonction décroissante pour toutes les catégories avec un plateau bas entre 70 et 100 km/h,
- NOx : courbes en U, avec un minimum peu marqué à 60 km/h pour les commerciales et fourgonnettes, et très marqué à 50 km/h pour les fourgons de 2,5 et 3,5 t,
- CO₂ et consommation : courbes en U, avec un minimum peu marqué proche de 65 km/h pour les commerciales et fourgonnettes, et très marqué à 60 km/h pour les fourgons de 2,5 et 3,5 t,
- Particules : quasi indépendance pour les fourgonnettes et fourgons de 2,5 t, courbe en U avec un minimum marqué à 50 km/h pour les commerciales et fourgons de 3,5 t.

Les émissions sont donc généralement décroissantes jusqu'à 50-70 km/h et croissantes ensuite, mais cette forme en U est plus ou moins marquée selon les cas.

3.2. Influence de la charge

Seuls les échantillons de fourgonnettes et fourgons de 2,5 t et 3,5 t ont été testés en charge et à vide. Les courbes de tendance en fonction de la vitesse moyenne sont tracées à vide et en charge en Annexe 8, Annexe 9 et Annexe 10, tandis que les rapports des émissions agrégées en charge et à vide sont présentés Figure 5.

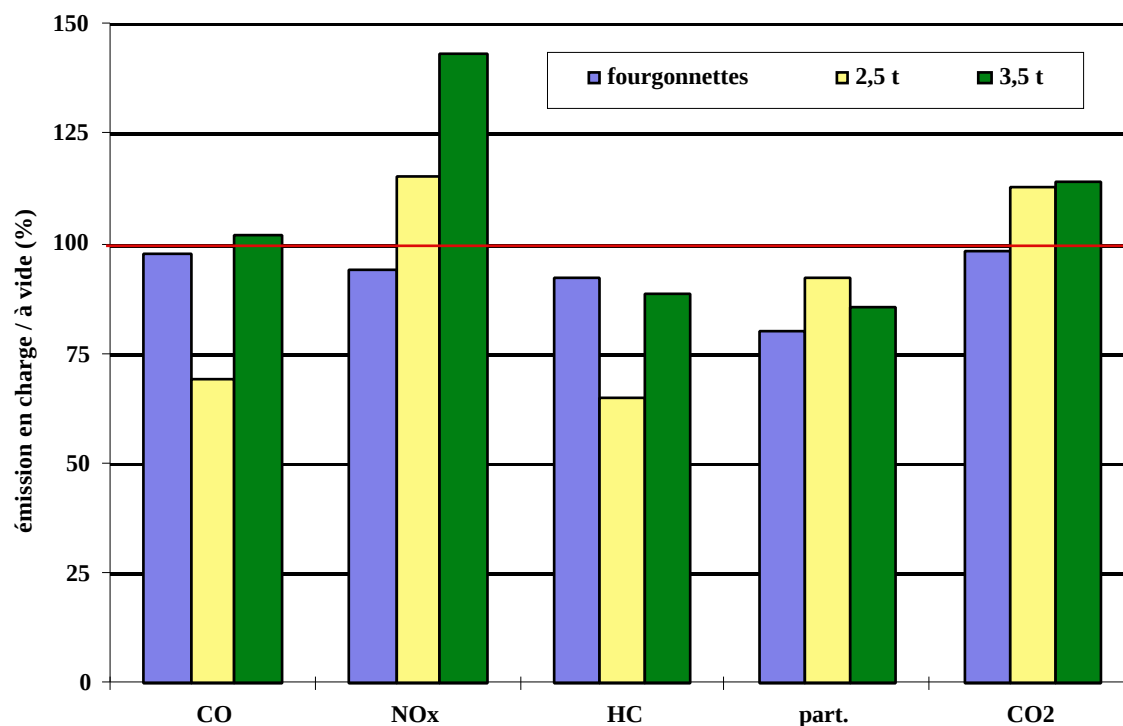


Figure 5 : Rapport des émissions agrégées en charge et à vide (%) ; données en Annexe 11.

Pour les fourgonnettes la charge se traduit globalement par une diminution des émissions. L'influence de la charge reste faible pour les émissions gazeuses (-2 à -7 % selon le polluant), tandis qu'elle est plus marquée pour les particules (-20 %). Si l'on considère les courbes de tendance en fonction de la vitesse moyenne, on voit que la charge peut faire augmenter les émissions gazeuses aux vitesses intermédiaires ou élevées. Pour les fourgons la charge a une influence contradictoire selon le polluant. Pour les fourgons de 2,5 t, la charge a une influence très nette sur les émissions de CO et HC (diminution d'un tiers en moyenne, plus marquée en urbain) et assez faible pour les particules (-8 %). Pour NOx, CO₂ et la consommation, la charge augmente les émissions de 10 à 20 % de manière systématique quelque soit la vitesse.

Pour les fourgons de 3,5 t, la charge diminue de -10 à -15 % les émissions d'HC et de particules, n'a guère d'influence sur les émissions de CO, et augmente notablement les émissions de CO₂ (+14 % indépendamment de la vitesse moyenne) et surtout de NOx (+44 % de manière encore plus prononcée en condition extra-urbaine).

Globalement sur l'ensemble des catégories de véhicules, la charge conduit à une diminution de CO, HC et particules, et à une augmentation des émissions de NOx et CO₂.

3.3. Émission selon la catégorie de véhicule

Nous avons différencié aux § précédents l'influence de la vitesse moyenne et de la charge selon la catégorie de véhicule. Pour synthétiser ces différences entre catégories, nous avons calculé les émissions agrégées globales pour chaque catégorie, représentatives de l'ensemble des conditions de conduite (cf. Figure 6).

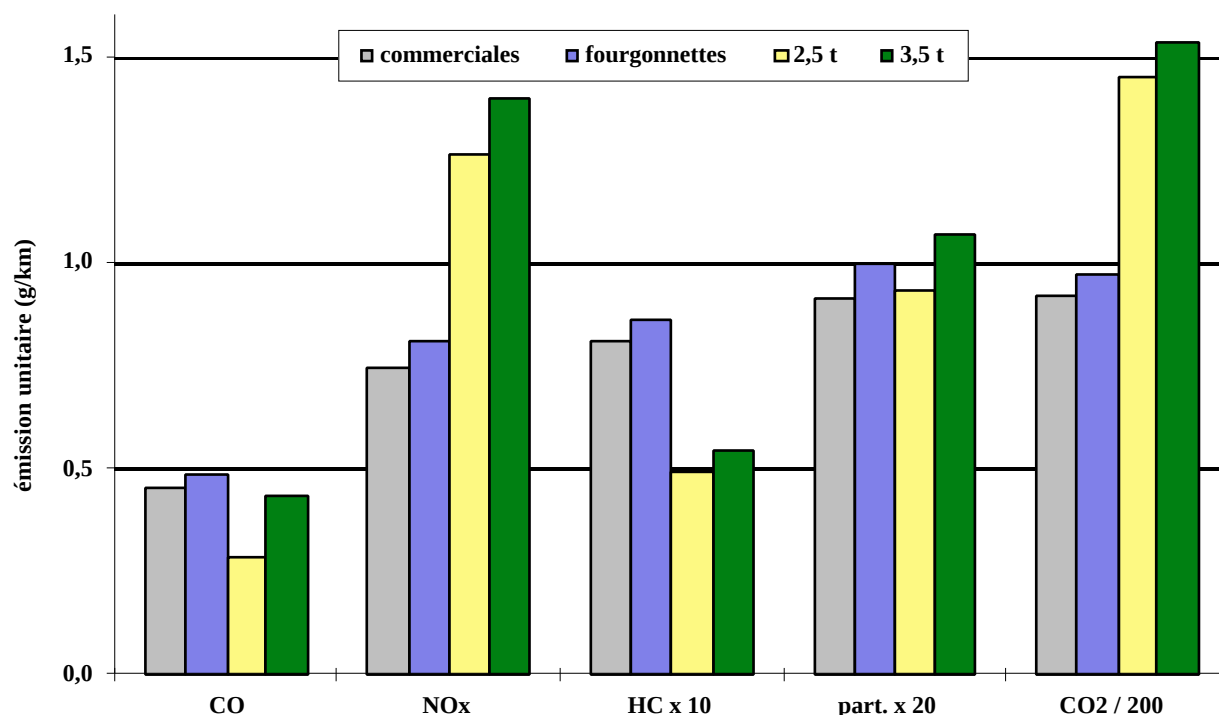


Figure 6 : Émissions unitaires agrégées selon la catégorie de véhicule (g/km) ; données en Annexe 11.

Le CO et les particules sont peu sensibles au type de PVU, mis à part l'émission de CO un tiers plus faible pour les fourgons de 2,5 t que pour les autres catégories.

Pour les HC totaux, commerciales et fourgonnettes d'une part, fourgons de 2,5 et 3,5 t d'autre part ont des émissions très proches, les émissions du second groupe étant un tiers plus faibles.

Pour les NOx et CO₂, ces deux mêmes groupes ont aussi respectivement des émissions très proches, mais les fourgons ont des émissions deux tiers plus élevées que les commerciales et fourgonnettes.

Les différences entre catégories de véhicule sont donc notables. Ce résultat doit cependant être pris avec précaution, au vu des faibles échantillons testés (et surtout pour les fourgons de 3,5 t : 3 véhicules testés seulement).

Les échantillons de véhicules sont en outre hétérogènes en terme de norme d'émissions, les poids des normes 88/436, Euro 1 et Euro 2 étant très différents d'un échantillon à un autre (cf. Tableau 2). Or les limites réglementaires d'émissions de CO, HC+NOx, et particules sont assez différentes d'une norme à la suivante (cf. Annexe 12). Dans quelle mesure les émissions réelles sont-elles décroissantes avec l'évolution de la norme ?

Pour tenter de répondre à cette question, nous avons calculé les émissions agrégées par sous-échantillon (type de PVU, norme), pour les conditions urbaine, routière, et autoroutière, toutes conditions confondues (émission agrégée globale), ainsi qu'à vide et en charge (cf. Annexe 13 et le tracé des émissions globales en Annexe 14). Il en résulte que :

- les émissions de CO sont décroissantes avec l'évolution de la norme,
- les émissions d'HC sont décroissantes pour les voitures commerciales et fourgons de 2,5 t, mais légèrement croissantes pour les fourgons de 3,5 t,

- les émissions de NO_x sont assez stables,
- les émissions de particules sont décroissantes, sauf dans le cas des voitures commerciales sur autoroute,
- les émissions de CO₂ sont assez stables pour les voitures commerciales et croissantes pour les fourgons de 2,5 et 3,5 t,
- la consommation des voitures commerciales est assez stable, tandis que celle des fourgons de 3,5 t est croissante.

Ces évolutions ne sont qu'indicatives car la taille des sous-échantillons est souvent extrêmement faible. On peut cependant en conclure que la sévérisation des normes d'émissions (et l'évolution des véhicules eux-mêmes) s'est apparemment traduite par une diminution des émissions de CO, HC et particules, une stabilité des émissions de NO_x, et plutôt par une augmentation des émissions de CO₂. Ces résultats qualitatifs demandent cependant à être confirmés sur des échantillons de véhicules plus représentatifs.

3.4. Comparaison des PVU et voitures particulières

Les voitures commerciales ne se différencient des voitures que par des usages différents, tandis que les fourgonnettes et fourgons de 2,5 t se différencient aussi par leurs caractéristiques techniques, bien qu'issues des motorisations des voitures particulières. Nous avons voulu évaluer dans quelle mesure ces différences techniques et surtout d'usages se traduisaient par des comportements émissifs différents. Nous comparons pour cela les résultats de mesure présentés ci-dessus à des mesures effectuées précédemment dans le même laboratoire sur un échantillon de 5 voitures particulières diesel catalysées répondant à la norme Euro 2 (cf. Joumard et coll., 1999). Les caractéristiques moyennes des deux échantillons présentés Tableau 8 sont assez proches ; les VP diesel ont cependant une cylindrée et une masse de 10 % inférieures. En termes d'usages, les cycles suivis par l'échantillon de VP diesel sont des cycles pure modem Hyzem dont le mode de construction est très proche de celui des cycles Inrets PVU. En termes de vitesse moyenne et d'accélération, les deux jeux de cycles sont aussi assez proches (cf. Annexe 15).

Pour comparer ces deux campagnes de mesure, on peut soit comparer leurs courbes de tendance (cf. Annexe 7), soit comparer leurs émissions agrégées (cf. Figure 7). Les émissions agrégées des VP sont calculées à partir des valeurs prises par la courbe de tendance VP aux vitesses moyennes des cycles PVU, pondérées par les coefficients de pondération PVU. Cela permet de voir dans quelle mesure une modélisation issue de mesures sur voitures particulières est proche d'une modélisation issue de mesures sur PVU. L'ensemble des conditions de conduite sont prises en compte, à vide et en charge.

échantillon	n	cylindrée (cm ³)	puissance (kW)	masse (kg)	puissance massique (kW/t)	âge (an)	kilomé- trage (1000 km)
PVU	27	2066	53,4	1250	45,4	2,5	49
VP diesel	5	1822	53,6	1150	46,8	1,3	19

Tableau 8 : Moyennes des principales caractéristiques de l'échantillons de PVU issus de motorisation VP testés ici (commerciales, fourgonnettes et fourgons de 2,5 t), et de l'échantillon de VP diesel testés sur cycles modem Hyzem (Joumard et coll., 1999).

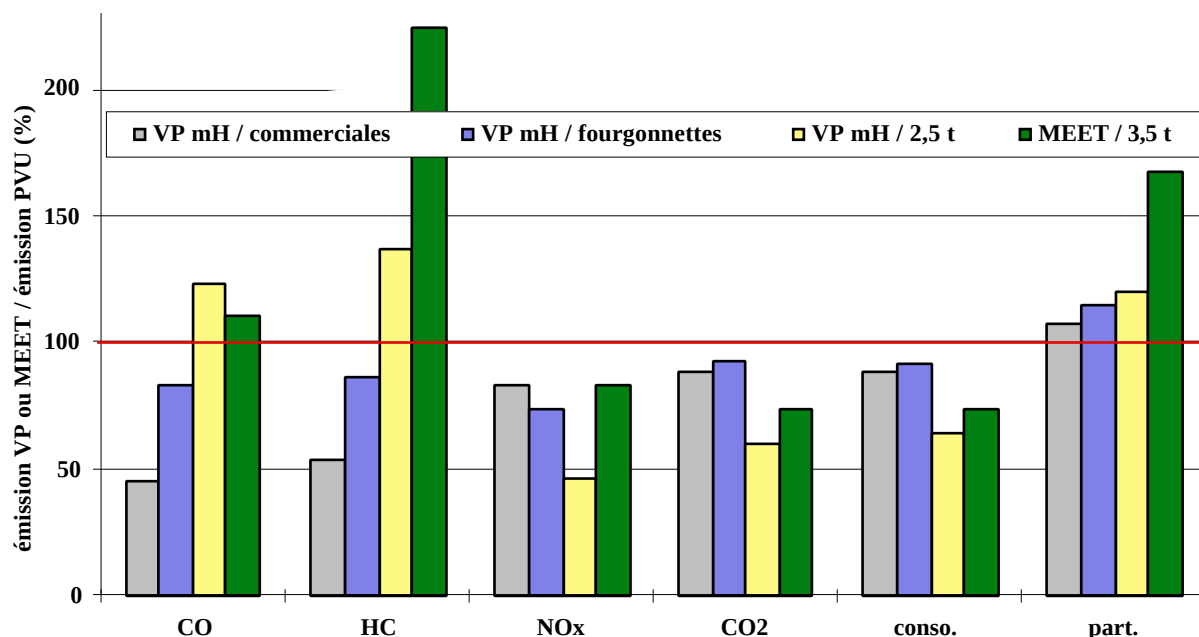


Figure 7 : Rapport des émissions agrégées issues de mesures sur cycles modém Hyzem (mH) pour voitures particulières (VP), ou du modèle MEET pour PVU de 3,5 t, et des émissions agrégées mesurées dans l'étude (%) ; données en Annexe 11.

Globalement les émissions des VP sont inférieures aux émissions des PVU de même technologie, sauf dans le cas des CO et HC des fourgons de 2,5 t et des particules pour les trois catégories de véhicule. Les sous-estimations sont importantes puisqu'elles vont de -55 % à -7 % avec une moyenne proche de -30 %. Les surestimations sont proches de +30 % pour CO et HC des fourgons de 2,5 t, et proche de +15 % pour les particules.

Ces différences sont particulièrement importantes pour les voitures commerciales (CO et HC), et pour les fourgon de 2,5 t (positives pour CO et HC, négatives pour NOx et CO₂). Elles tiennent donc sans doute en premier lieu aux usages différents selon les types des véhicules. Cependant, vu le nombre restreint de véhicules testés, ce résultat demanderait à être confirmé par des tests parallèles sur cycles VP et PVU sur un même échantillon de véhicules.

Nous aurions pu comparer en outre les émissions sur des PVU issus de motorisation VP aux émissions VP du modèle MEET (Joumard, 1999), basé sur un très grand nombre de tests. Nous ne l'avons pas fait car nous avons estimé que les conditions de mesure de ces tests étaient trop disparates et sans aucun doute éloignées des conditions de mesure des tests PVU. En effet Nziachristos et Samaras (1999) ont clairement montré que les conditions de mesure propres à chaque laboratoire étaient prépondérantes. Il nous a donc semblé préférable de comparer des mesures effectuées dans des conditions très proches, en termes de cycle de conduite, système de prélèvement et d'analyse, conditions ambiantes

3.5. Comparaison avec le modèle MEET pour les fourgons de 3,5 t

Pour les fourgons de 3,5 t, il n'est guère intéressant de comparer nos mesures à des mesures effectuées sur VP, car les technologies véhicules sont trop différentes, ces fourgons étant dérivés de la technologie poids lourds.

Nous ne pouvons donc les comparer qu'au modèle européen MEET (Hickman et coll., 1999). Pour les véhicules de 3,5 t ce modèle est basé sur seulement 24 tests, soit un nombre identique de tests que nos propres tests présentés ici (15 tests à vide, 9 en charge). Les 24 tests synthétisés dans MEET concernent 15 véhicules Euro 1 testés sur cycles « représentatifs » (non réglementaires), mais plutôt représentatifs des usages des voitures particulières (cycles US Highway, BAB, modem, Trl..., cf. Samaras et Nziachristos, 1998). Les laboratoires dont ils sont issus ne sont pas indiqués précisément.

Comme pour les comparaisons entre véhicules de technologie VP, nous comparons les courbes de tendance (cf. Annexe 7) et les émissions agrégées (cf. Figure 7). Ces émissions agrégées sont calculées selon la même méthode que précédemment (cf. § 3.3).

Les comparaisons montrent que :

- pour le CO, les émissions de MEET sont légèrement supérieures à nos résultats, de près de 10 %, avec une différence importante aux vitesses élevées,
- pour les HC, les émissions de MEET sont systématiquement supérieures à nos résultats, dans un rapport supérieur à 2,
- pour NOx, les émissions sont assez proches, avec cependant une différence moyenne de MEET par rapport à nos résultats de près de -15 %,
- pour le CO₂ et la consommation, les résultats de MEET sont systématiquement inférieurs aux nôtres de près de -25 %, quelle que soit la vitesse moyenne,
- enfin pour les particules, MEET donne des émissions supérieures de près de 80 % à nos résultats.

Les différences entre MEET et nos mesures sont donc notables. Elles correspondent cependant aux différences habituelles trouvées entre laboratoires, pour des échantillons de véhicules et des conditions de mesure différentes. Cela montre à contrario la fragilité des estimations d'émissions basées sur quelques dizaines de tests.

4. Conclusion

Au cours de 209 tests, nous avons mesuré les émissions de polluants réglementés et la consommation de carburant de 27 petits véhicules utilitaires diesel, allant des voitures de société aux fourgons de 3,5 tonnes de poids total en charge, en distinguant quatre catégories de véhicule. Selon sa catégorie, chaque véhicule a été testé selon six à neuf cycles de conduite. Ces cycles ont été auparavant spécialement mis au point par analyse statistique des comportements cinématiques des véhicules sur route. Ils se distinguent notamment par la charge embarquée du véhicule.

En fonction de la vitesse moyenne du cycle, les émissions évoluent généralement selon une courbe en forme de U, plus ou moins marquée selon la catégorie de véhicule et le polluant. La charge embarquée se traduit généralement par une diminution des émissions de CO, HC et particules, et par une augmentation des émissions de NOx et CO₂. Enfin les catégories de véhicule se différencient nettement en moyenne quant à leurs émissions de HC, NOx et CO₂. L'évolution des véhicules semble avoir eu un impact positif sur les émissions de CO, HC et particules, mais peu d'impact sur les émissions de NOx et un impact négatif sur les émissions de CO₂. Ces résultats sont cependant assez indicatifs étant donné le faible voire très faible nombre de véhicules testés par catégorie (un à dix).

Quand on compare les émissions des petits véhicules utilitaires de moins de 2,5 t aux émissions des voitures particulières mesurées antérieurement dans des conditions semblables, il apparaît que ces dernières émettent près de 30 % de moins, sauf en ce qui concerne les particules, supérieures de 15 %. Ces différences mettent en évidence le rôle des conditions d'usage et du type de véhicule.

Parallèlement quand on compare les émissions mesurées des fourgons de 3,5 t aux résultats du modèle MEET pour cette catégorie de véhicule, il apparaît que les émissions d'HC totaux et de particules issues de MEET sont près de deux fois supérieures à nos mesures, tandis que les émissions de NOx et CO₂ sont inférieures. Ces différences mettent une fois de plus en évidence le rôle essentiel des conditions expérimentales.

D'un point de vue général on note le comportement semblable des polluants CO et HC d'une part, des polluants NOx et CO₂ ainsi que de la consommation d'autre part pour les petits véhicules utilitaires.

L'utilisation de cycles de conduite spécifiques aux différentes catégories de petit véhicule utilitaire permet de tenir compte des usages spécifiques de ces véhicules, différents à la fois de ceux des voitures particulières à usage personnel ou familial et des poids lourds. Elle permet de tenir compte de la charge transportée par le véhicule.

Le relativement petit nombre de véhicules testés exige cependant de considérer ces conclusions avec prudence. C'est néanmoins une contribution importante à la connaissance des émissions des petits véhicules utilitaires en Europe, à côté d'autres campagnes de mesure passées ou en cours dans quelques pays européens. La synthèse en sera faite dans le cadre du projet européen ARTEMIS "Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems", et sera disponible en fin 2002.

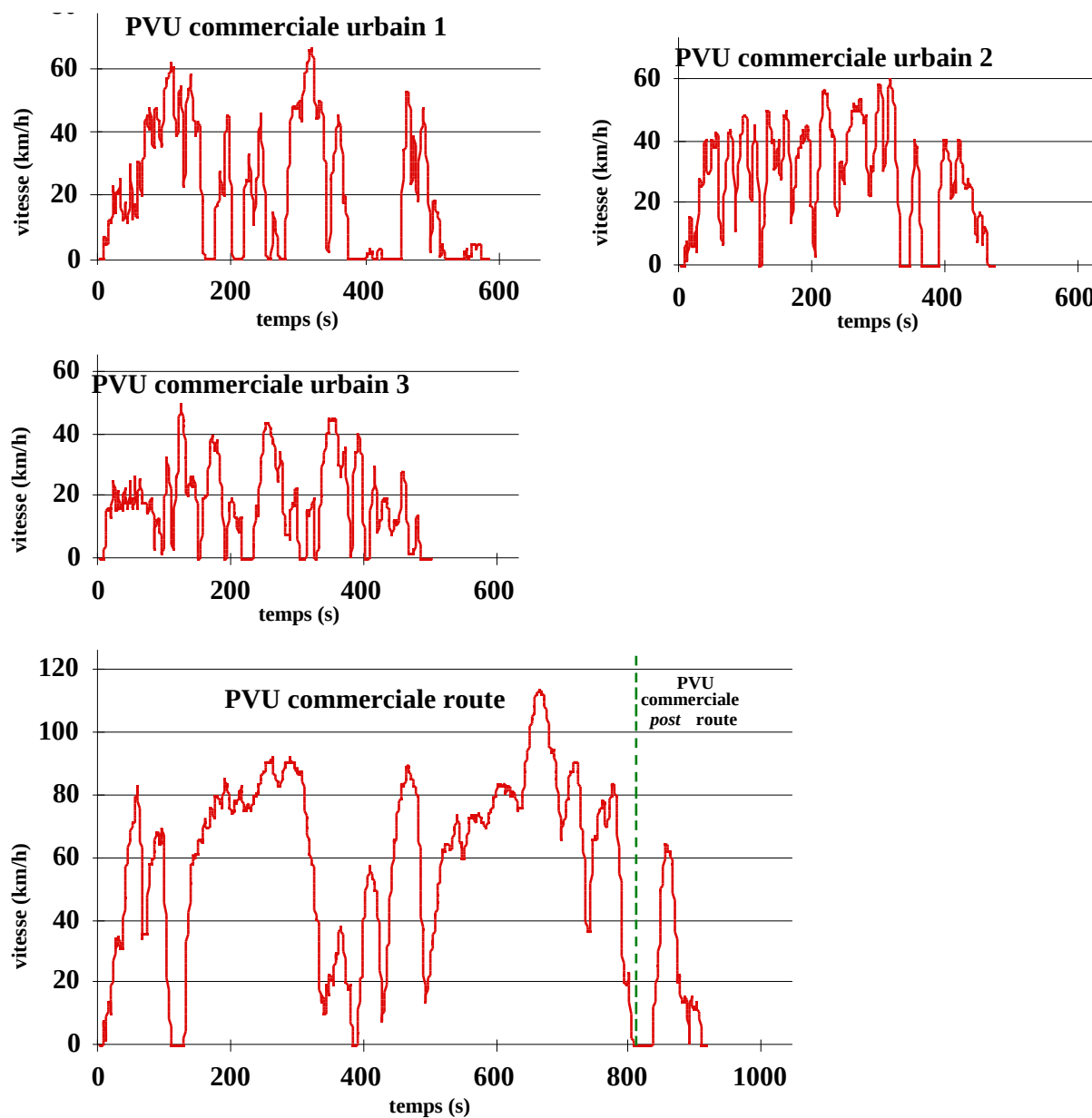
Annexe 1 : Liste des véhicules testés avec leurs principales caractéristiques

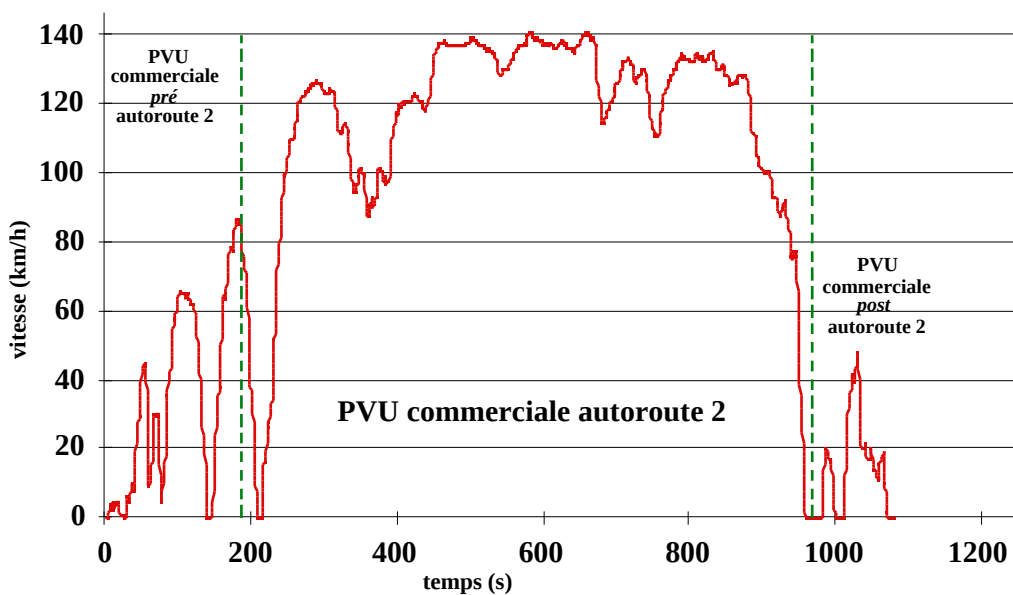
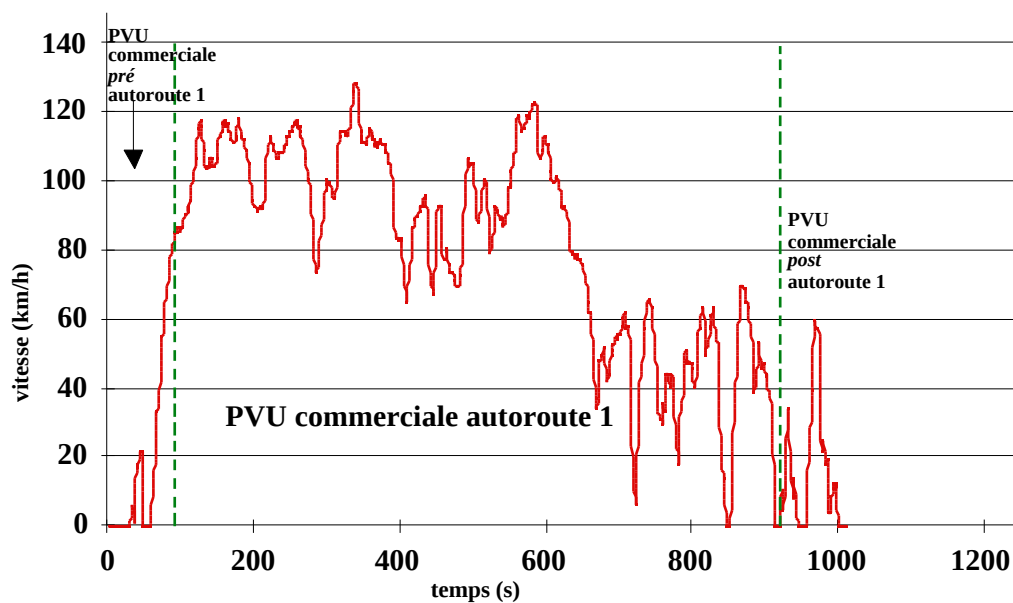
n°	marque type modèle	année modèle	date 1e m. circ.	âge (an)	cyl. (cm³)	règlem. pollution
<i>nbre rapports</i>	<i>puissance (kW)</i>	<i>masse (kg)</i>	<i>type c.g.</i>	<i>kmage (km)</i>	<i>provenance</i>	
voitures commerciales						
350	Renault 19 RN TD	1995	26 12 94	4,4	1870	
5		68	1030	B53K05	75000	particulier
351	Renault 19 GTD	1991	15 2 91	8,3	1870	
5		48	1030	L53405	185000	particulier
355	Citroën ZX 1.9TD Aura	1993	25 2 93	6,3	1905	
5		68	1102	N2F5	100500	particulier
356	Renault 19 1.9D	1995	13 7 94	4,9	1870	
5		48	1030	B53405	120000	particulier
357	Renault 19 1.9D	1993	9 6 93	6,0	1870	
5		48	1030	B53405	115000	particulier
358	Peugeot 306 Symbio	1998	-1 5 98	1,1	1905	
5		51	1080	-1	18000	particulier
359	Peugeot 306 Games	1997	-1 6 97	2,0	1905	
5		51	1080	-1	37000	particulier
fourgonnettes						
328	Renault Express 1.9D	1997	-1 6 97	1,1	1870	
5		48	930	-1	19050	VS entreprise
330	Renault Express 1.9D	1997	-1 5 97	1,3	1870	
5		48	930	-1	24200	VS entreprise
331	Citroën C15 D	1997	-1 3 97	1,4	1769	
5		44	970	-1	24000	VS entreprise
335	Citroën C15 D	1997	-1 4 97	1,9	1769	
5		44	970	-1	48000	VS entreprise
336	Renault Express 1.9D	1997	-1 4 97	1,9	1870	
5		48	930	-1	16500	VS entreprise
337	Renault Express 1.9D	1997	-1 5 97	1,8	1870	
5		48	930	-1	7350	VS entreprise
338	Renault Express 1.9D	1997	-1 1 97	2,2	1870	
5		48	930	-1	-1	VS entreprise
341	Renault Express 1.9D	1997	-1 5 97	1,9	1870	
5		48	930	-1	17000	VS entreprise
342	Citroën C15 D	1997	-1 2 97	2,2	1769	
5		44	970	-1	57000	VS entreprise
343	Citroën C15 D	1997	-1 2 97	2,2	1769	
5		44	970	-1	140000	VS entreprise

n°	marque type modèle	année	date 1e m.	âge (an)	cyl. (cm³)		
nbre rapports	puissance (kW)	modèle masse (kg)	circ. type c.g	kmage (km)	provenance	règlem pollution	
fourgons de 2,5 t							
360	Renault Master 2.5 D	1998	-1 1 98	1,4	2500		
5		58 1750	-1	25500	location	Euro 2	
361	Volkswagen Transporter D	1998	-1 6 98	1,0	1896		
5		50 1505	-1	48950	location	Euro 2	
362	Citroën C25 D turbo	1993	10 6 93	6,1	2500		
5		70 1585	290B92	15000	VS entreprise	Euro 1	
374	Fiat Ducato 2.8 D	2000	19 7 99	0,3	2800		
5		64 2080	M0508	14000	location	Euro 2	
375	Fiat Ducato 2.8 D	2000	19 7 99	0,3	2800		
5		64 2080	M0508	14000	location	Euro 2	
376	Fiat Ducato 2.8 D	2000	19 7 99	0,3	2800		
5		64 2080	M0508	14000	location	Euro 2	
377	Fiat Ducato 2.8 D	2000	19 7 99	0,3	2800		
5		64 2080	M0508	14000	location	Euro 2	
fourgons de 3,5 t							
378	Renault Master 2.5 D	2000	16 8 99	0,3	2500		
5		59 1835	FDBEH5	123000	location	Euro 2	
379	Renault Master 2.5 D	1998	30 4 98	1,6	2500		
5		59 1830	FDCAH5	85000	location	Euro 1	
380	Volkswagen Transporter D	1998	20 3 98	1,7	1896		
5		50 1505	70A2ABLK	59000	location	Euro 1	

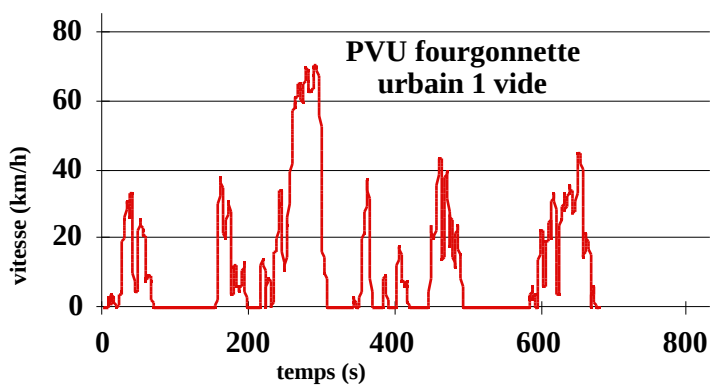
Annexe 2 : Cycles d'essai utilisés

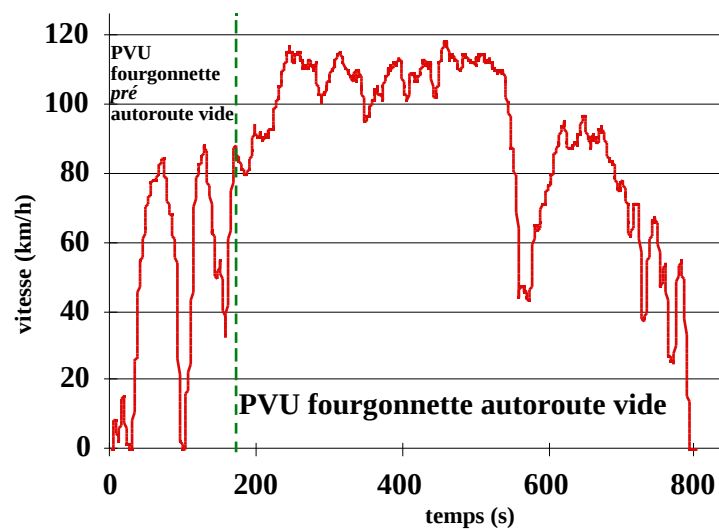
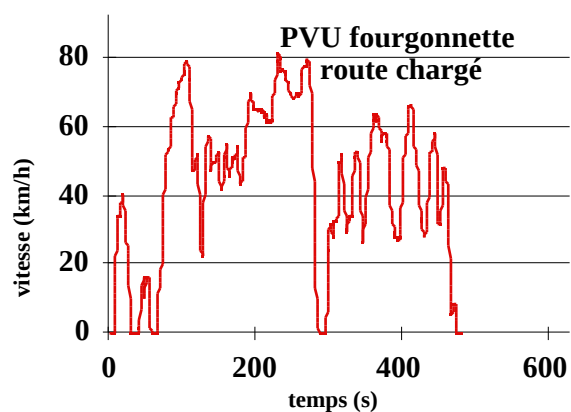
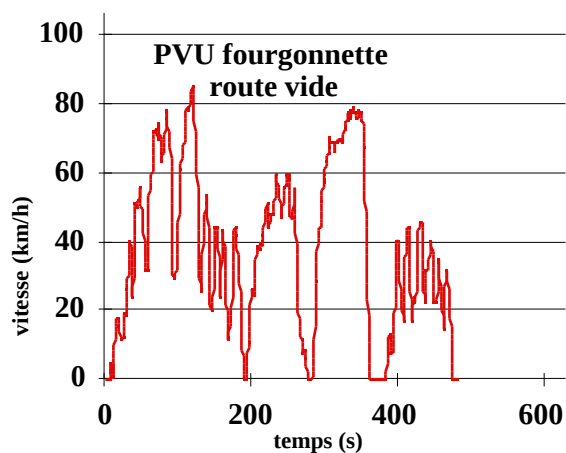
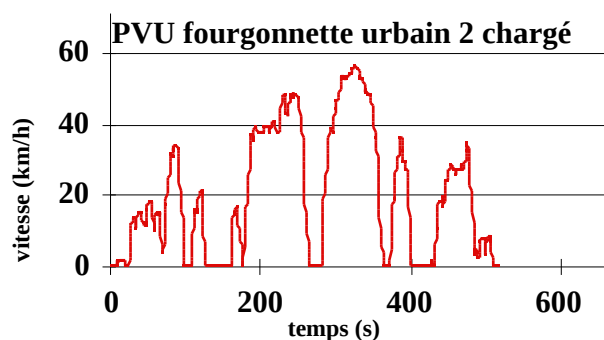
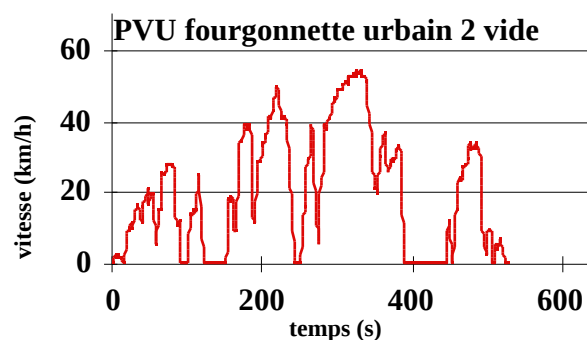
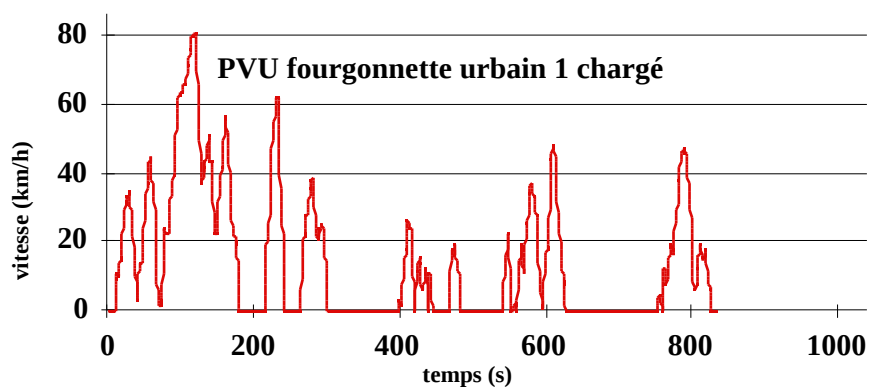
Cycles Inrets PVU voiture commerciale

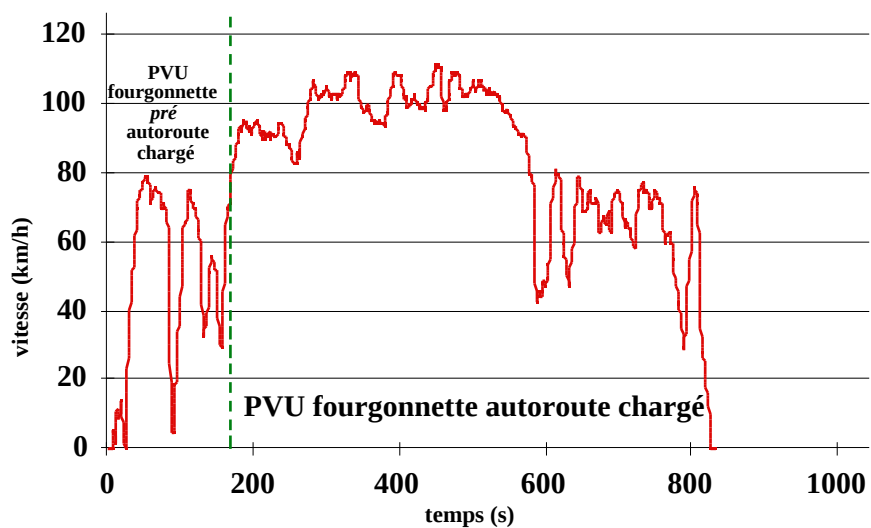




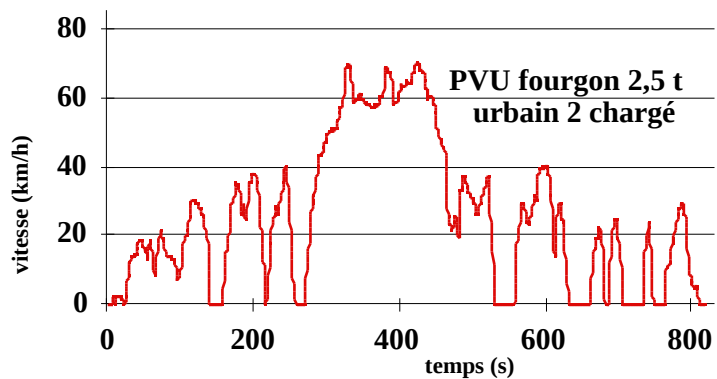
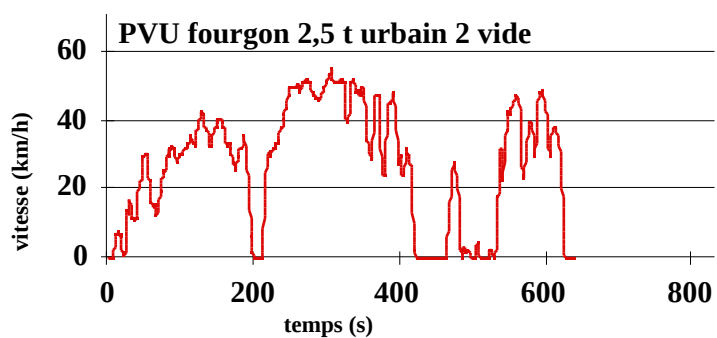
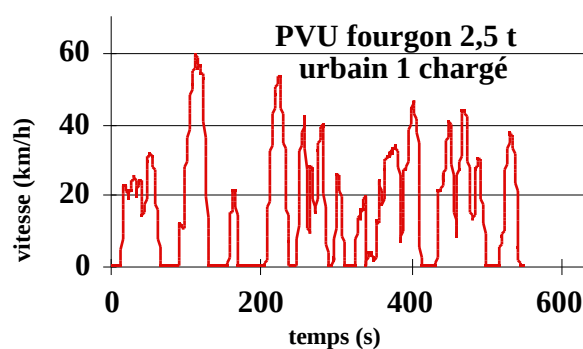
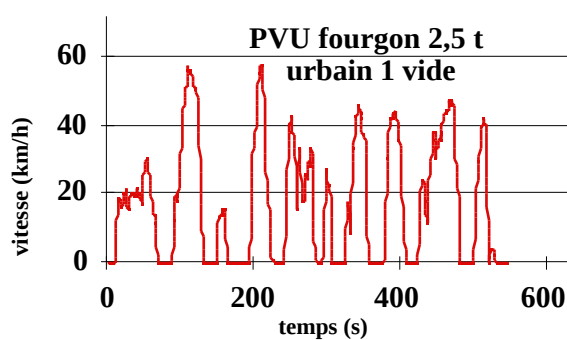
Cycles Inrets PVU fourgonnette

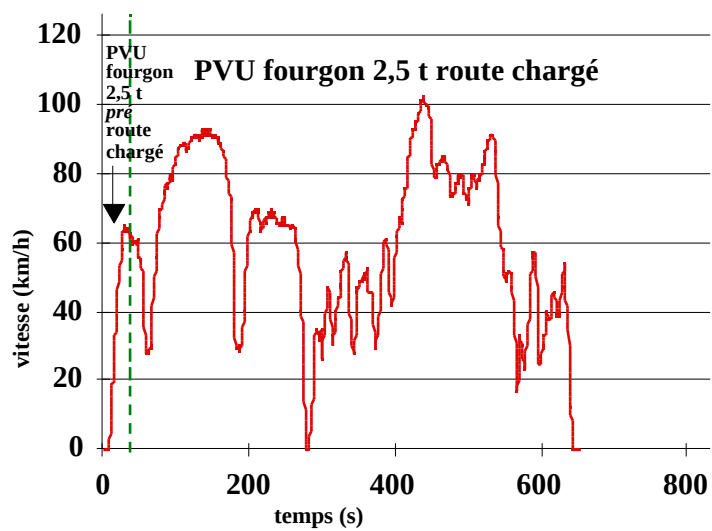
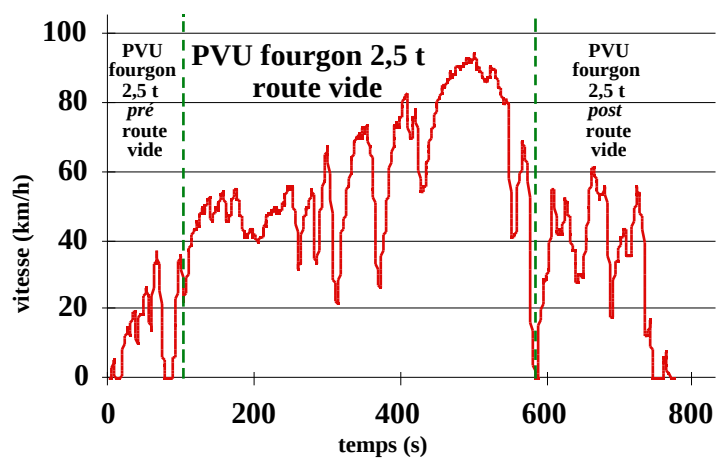
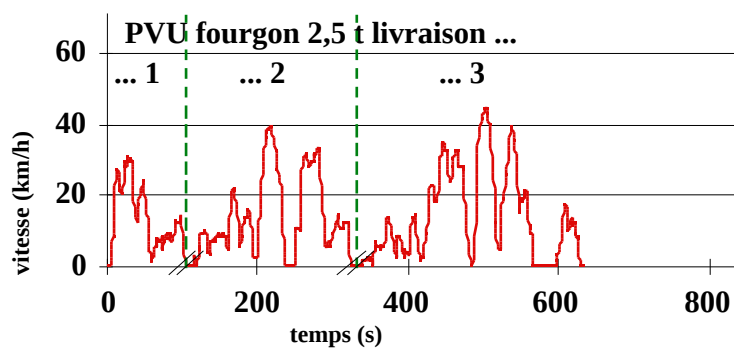


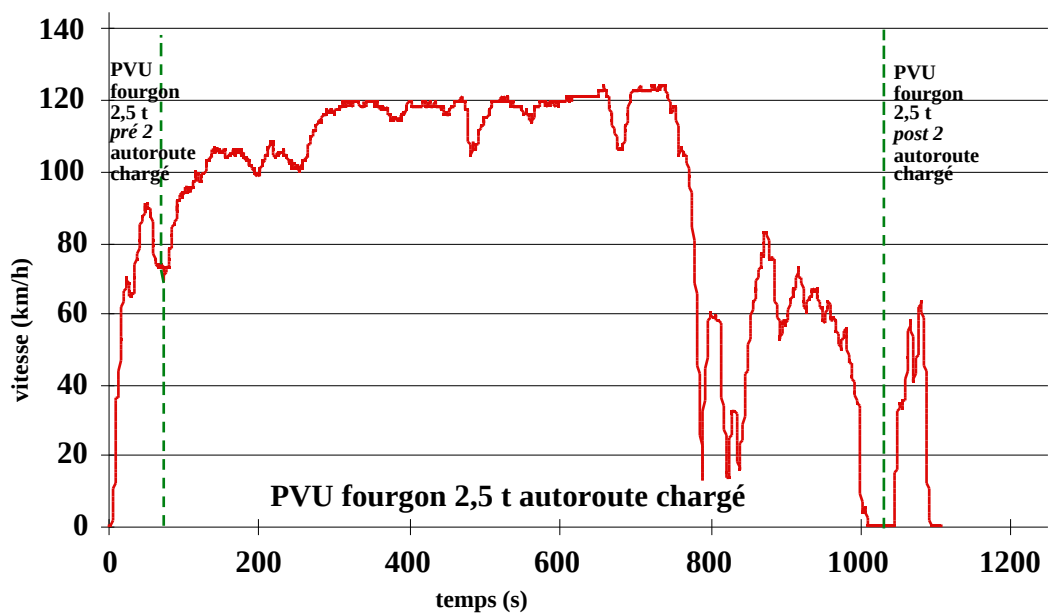
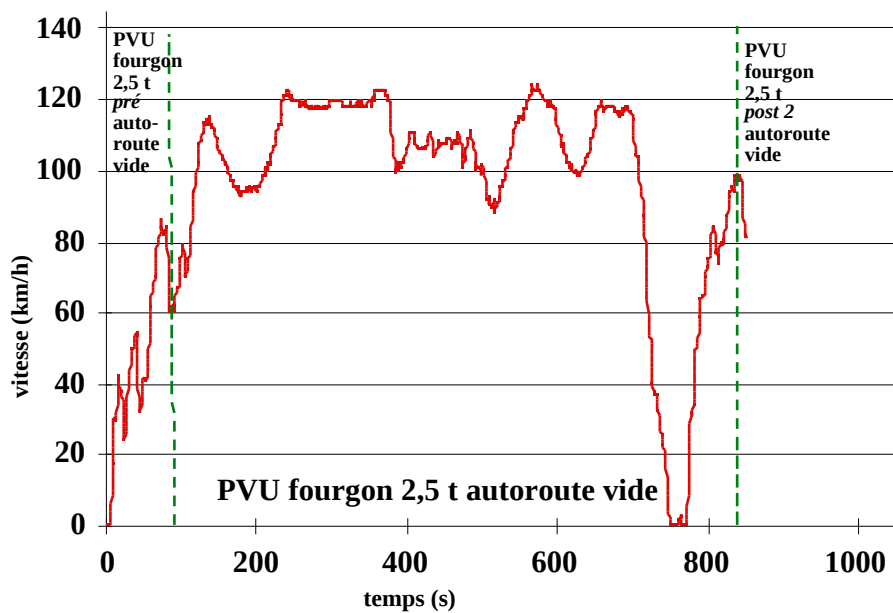




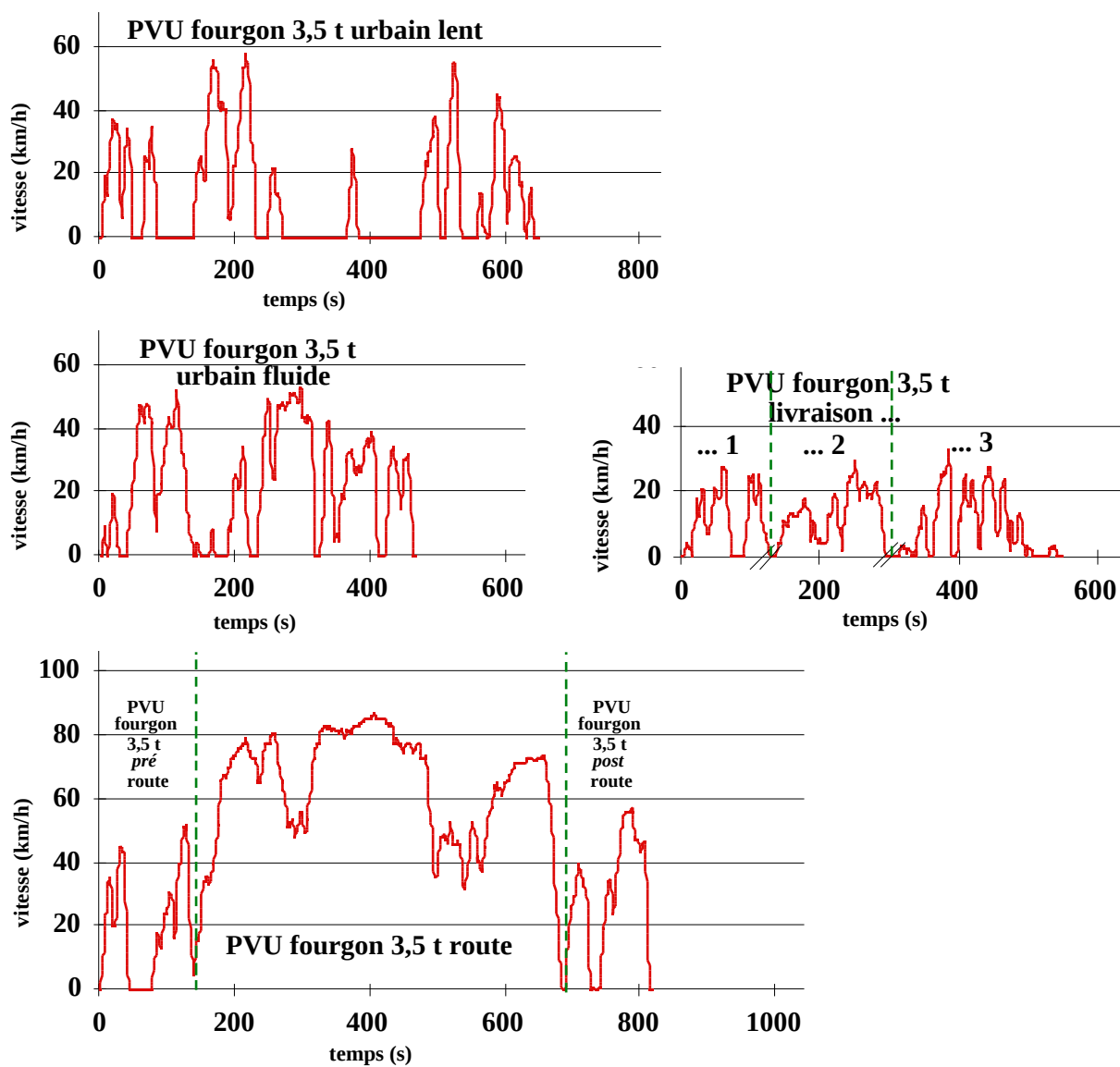
Cycles Inrets PVU fourgon 2,5 t

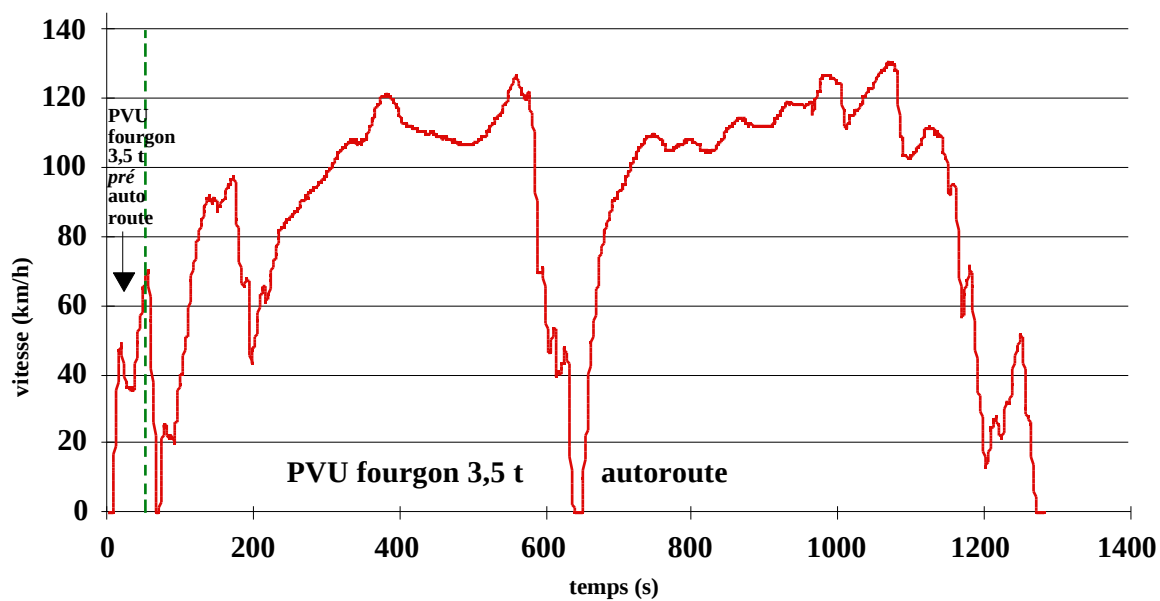




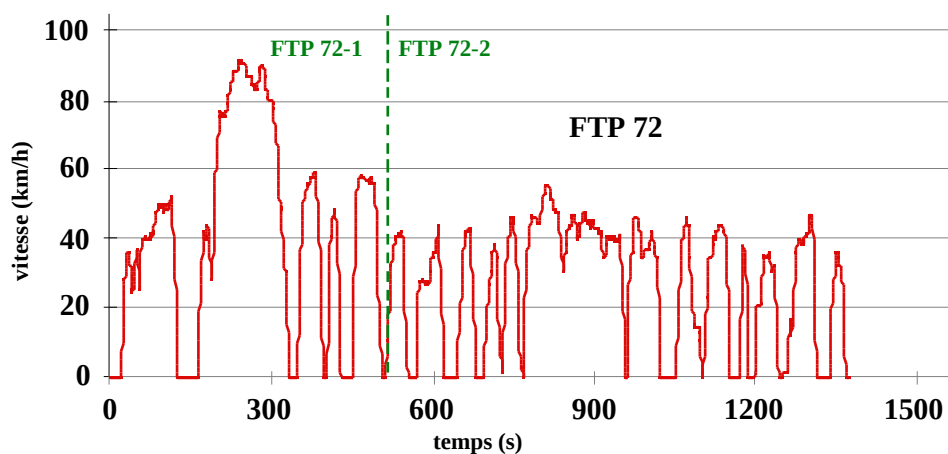
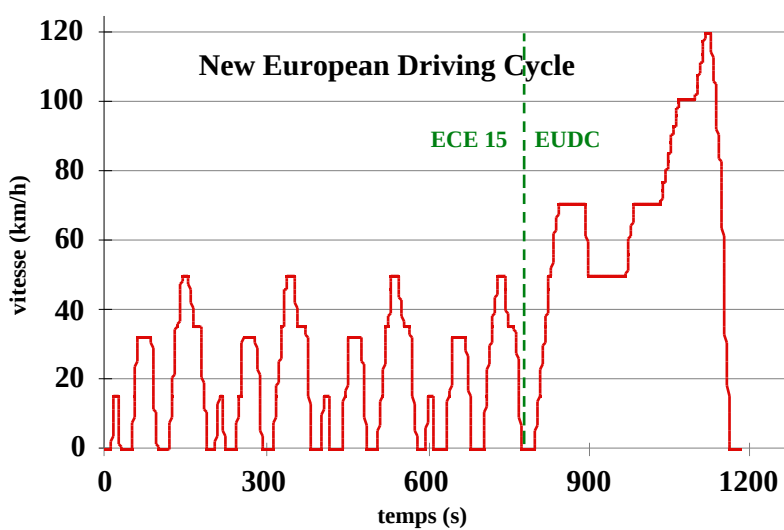


Cycles Inrets PVU fourgon 3,5 t





Cycles réglementaires (pour mémoire)



Annexe 3 : Comparaison des émissions par véhicule et des moyennes

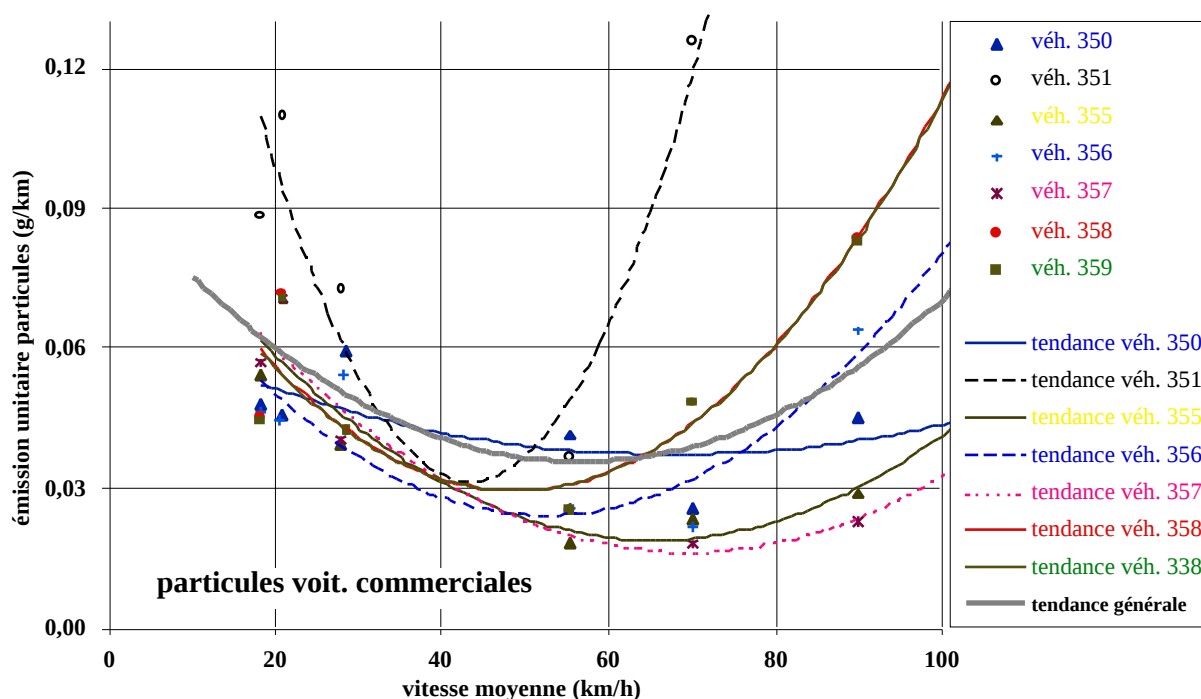


Figure 8 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de particules des différentes voitures commerciales testées.

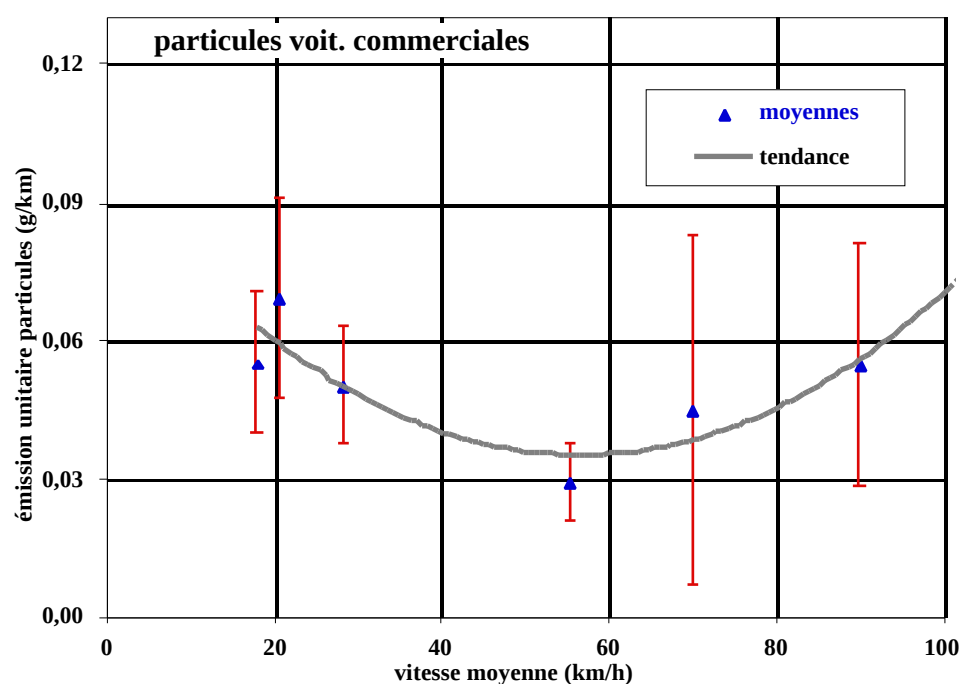


Figure 9 : Moyenne et écart-type des émissions de particules des voitures commerciales en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.

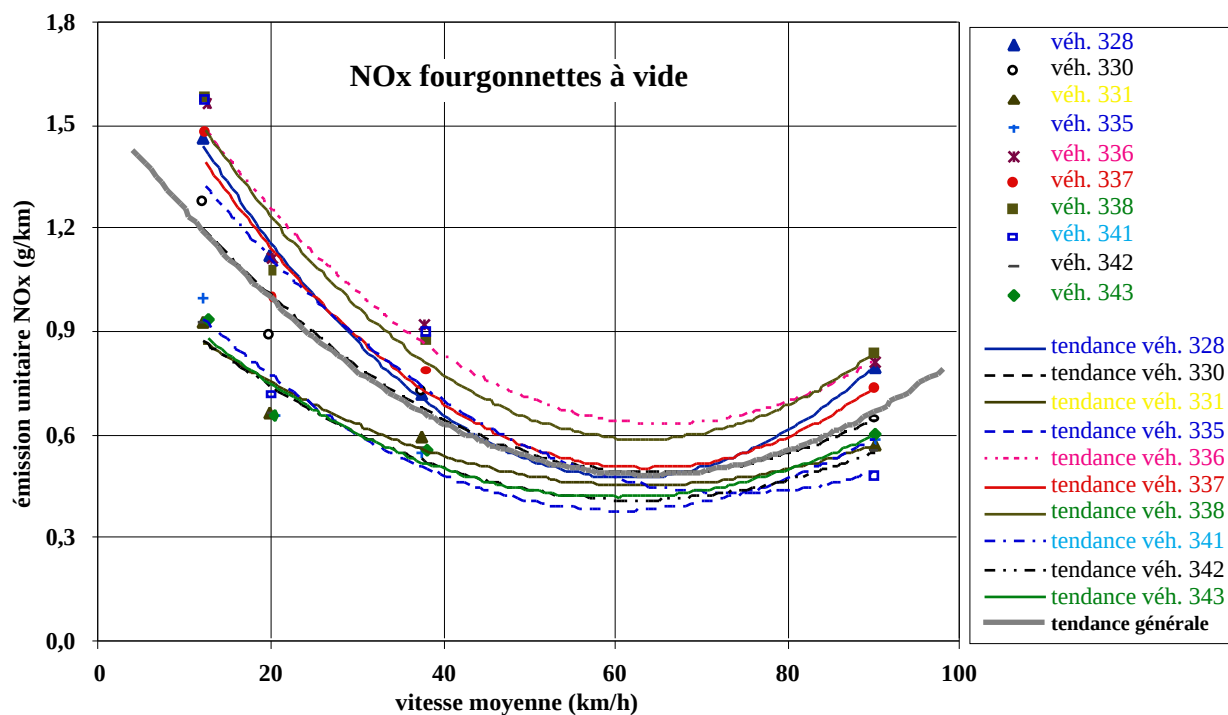


Figure 10 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de NOx des différentes fourgonnettes testées.

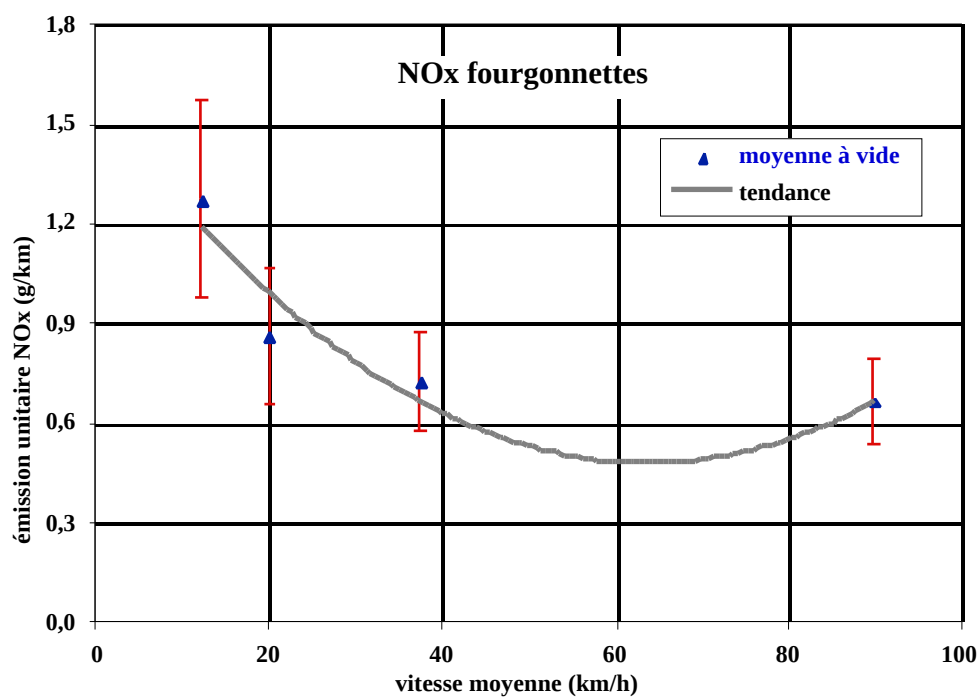


Figure 11 : Moyenne et écart-type des émissions de NOx des fourgonnettes en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.

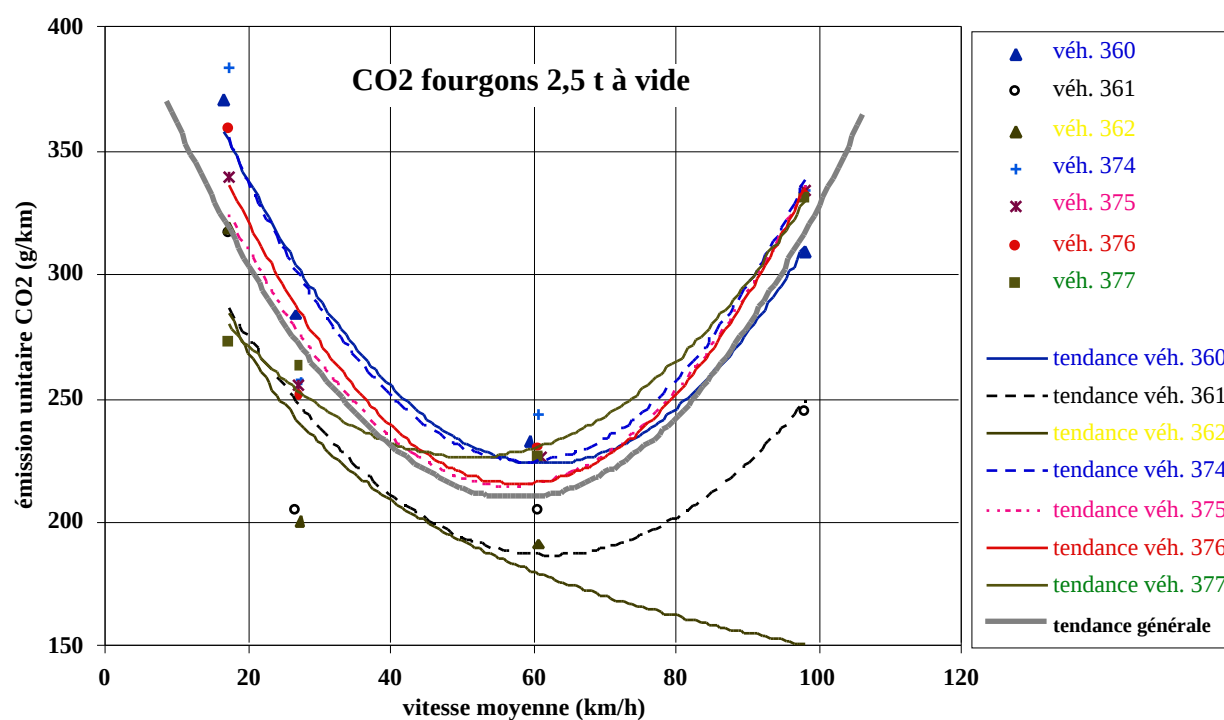


Figure 12 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de CO₂ des différents fourgons de 2,5 t testés.

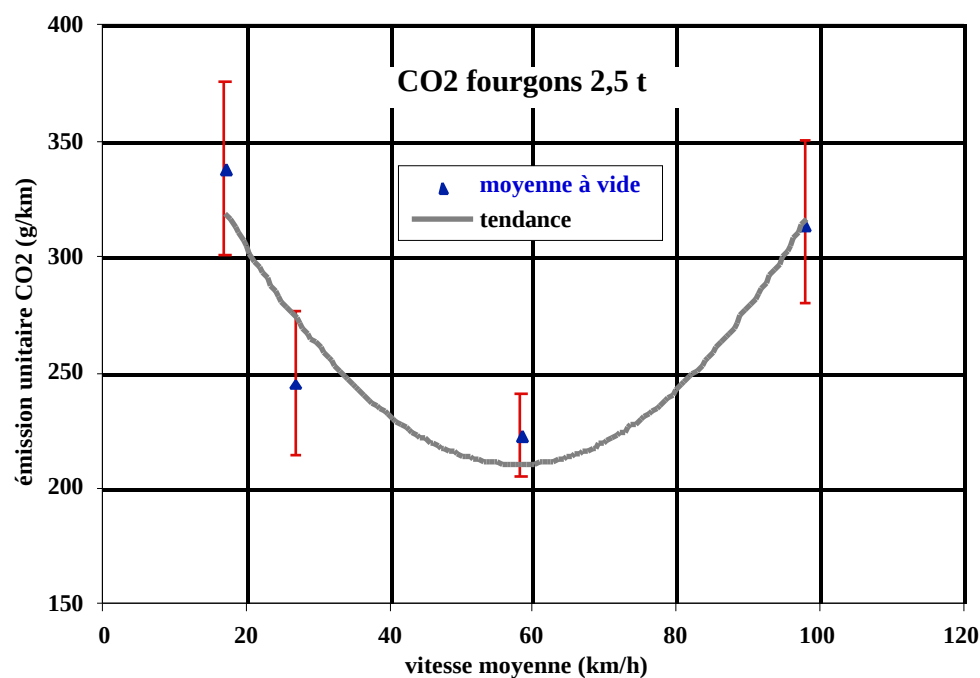


Figure 13 : Moyenne et écart-type des émissions de CO₂ des fourgons de 2,5 t en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.

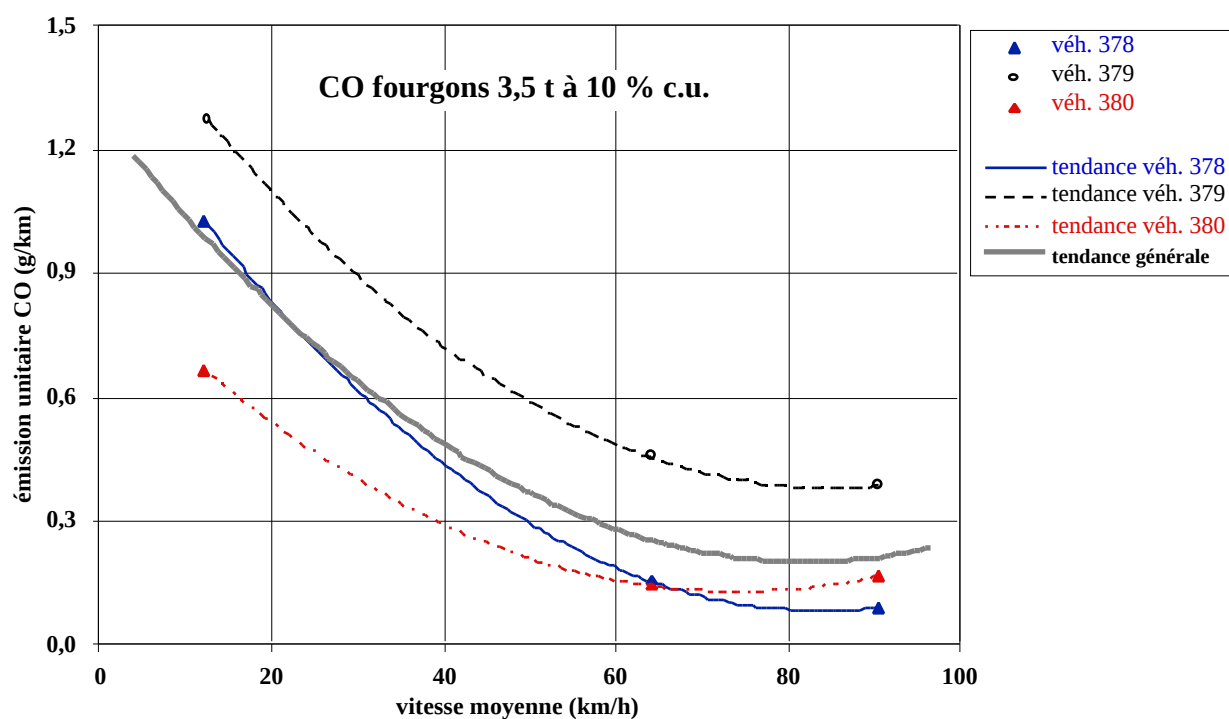


Figure 14 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de CO des différents fourgons de 3,5 t testés.

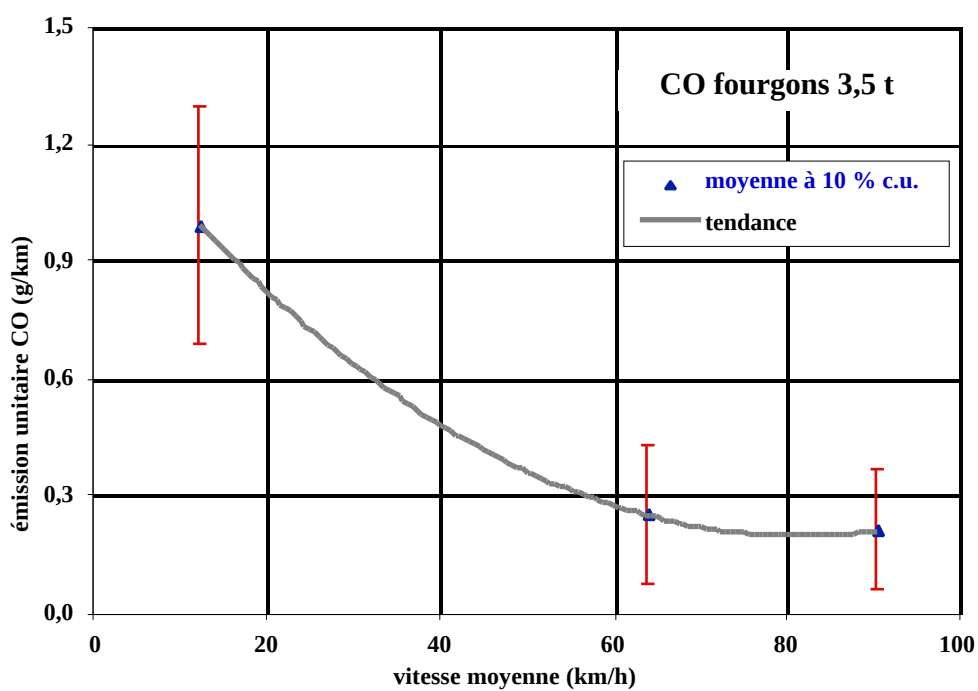


Figure 15 : Moyenne et écart-type des émissions de CO des fourgons de 3,5 t en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.

Annexe 4 : Influence du mode d'agrégation sur les courbes de tendance

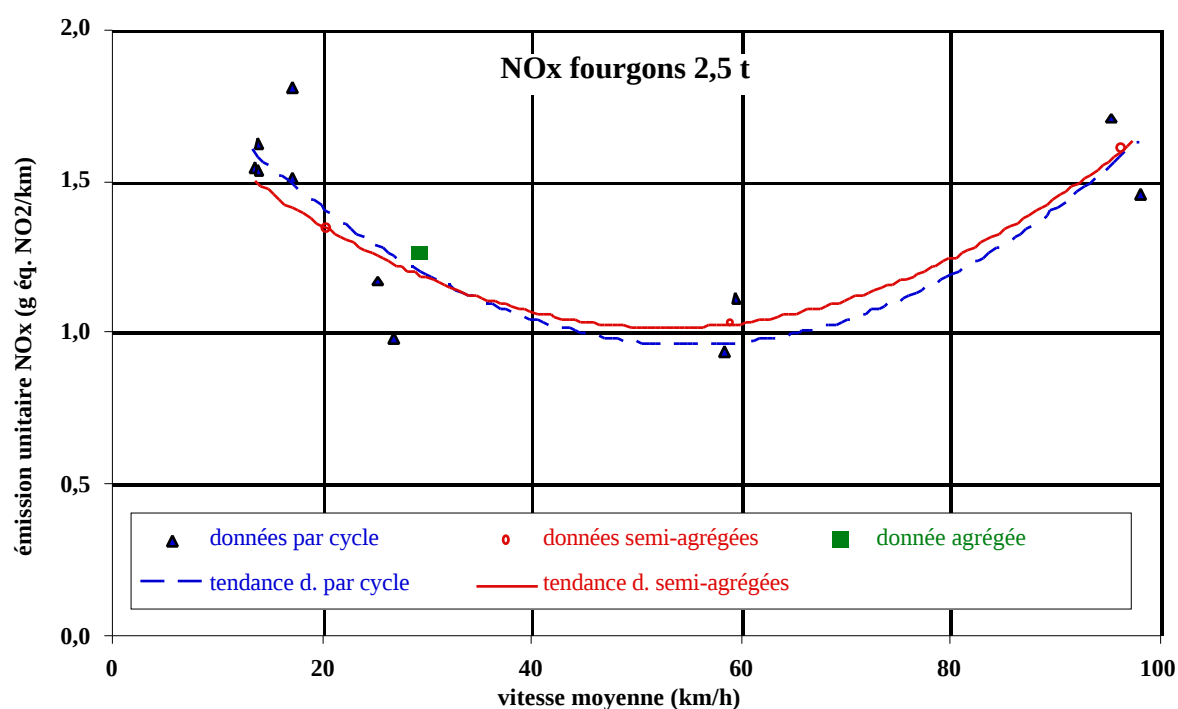


Figure 16 : Comparaison des courbes de tendance tracées à partir des données par cycle, des données agrégées par type de voie et de l'émission agrégée globale. Cas du NOx des fourgons de 2,5 t.

Annexe 5 : Émissions unitaires moyennes pour les voitures commerciales et fourgonnettes

n° chrono- logique	cycle	vitesse (km/h)	CO			HC			NOx		
			n	moy.	e. t.	n	moy.	e. t.	n	moy.	e. t.
				(mg/ km)	(mg/ km)		(mg/ km)	(mg/ km)		(g/ km)	(g/ km)
commerciales											
1	urbain 1	20,5	7	721	348	7	173	94	7	0,87	0,11
2	urbain 2	28,2	7	590	259	7	129	85	7	0,80	0,11
3	urbain 3	17,8	7	791	298	7	168	144	7	0,98	0,15
4	route	60,1	7	355	165	7	55	25	7	0,62	0,10
5	post route	19,2	7	829	291	7	148	52	7	0,95	0,09
4+5	route + post	55,3	7	357	164	7	59	26	7	0,60	0,09
6	pré autoroute 1	20,3	6	672	146	7	82	37	7	1,30	0,13
7	autoroute 1	81,4	6	406	107	7	60	35	7	0,63	0,07
8	post autoroute 1	15,9	6	996	199	7	213	136	7	1,24	0,11
6+7+8	pré+autor. 1 + post	69,9	7	358	171	7	64	37	7	0,64	0,06
9	pré autoroute 2	35,7	6	516	177	7	82	48	7	0,80	0,11
10	autoroute 2	114,8	6	317	86	7	40	17	7	0,91	0,09
11	post autoroute 2	13,3	6	1245	377	7	254	97	7	1,14	0,15
9+10+11	pré + autor. 2 + post	89,7	7	292	142	7	46	26	7	0,87	0,08
fourgonnettes											
1	urbain 1 vide	12,2	10	749	239	9	133	55	10	1,28	0,29
2	urbain 2 vide	20,0	10	519	166	10	90	47	10	0,86	0,21
3	route vide	37,4	10	422	177	9	83	48	10	0,72	0,15
4	pré autoroute vide	50,8	9	504	156	10	71	52	10	0,71	0,12
5	autoroute vide	89,8	9	370	164	10	55	53	10	0,66	0,13
4+5	pré + autoroute vide	81,1	10	360	164	10	57	53	10	0,64	0,12
6	urbain 1 chargé	14,0	10	675	222	10	115	57	10	1,24	0,29
7	urbain 2 chargé	20,3	10	574	211	10	93	66	10	0,90	0,22
8	route chargé	43,4	10	406	182	9	74	52	10	0,65	0,12
9	pré autoroute chargé	48,8	9	441	171	10	66	56	10	0,74	0,13
10	autoroute chargé	83,5	9	337	163	10	50	46	10	0,64	0,11
9+10	pré + autor. chargé	76,4	10	326	158	10	52	46	10	0,64	0,11

n° chrono- logique	cycle	vitesse (km/h)	CO ₂			consommation			particules		
			n	moy.	e.t.	r	moy.	e.t.	r	moy.	e.t.
				(g/ km)	(g/ km)		(g/ km)	(g/ km)		(mg/ km)	(mg/ km)

commerciales

1	urbain 1	20,5	7	228	22	4	74,7	7,6	7	69,4	21,6
2	urbain 2	28,2	7	204	14	€	65,7	4,2	7	50,4	12,6
3	urbain 3	17,8	7	224	18	€	73,1	6,6	7	55,2	15,5
4	route	60,1	7	151	8	7	48,5	2,6			
5	post route	19,2	7	225	22	7	72,1	7,6			
4+5	route + post	55,3	7	154	9		279,5		€	29,2	8,5
6	pré autoroute 1	20,3	7	299	24	€	94,4	7,2			
7	autoroute 1	81,4	7	164	7	€	52,0	2,1			
8	post autoroute 1	15,9	7	297	31	€	93,3	8,8			
6+7+8	pré+autor. 1 + post	69,9	7	169	7		289,2		7	44,8	37,9
9	pré autoroute 2	35,7	7	189	9	€	60,2	3,1			
10	autoroute 2	114,8	7	205	8	€	65,3	2,5			
11	post autoroute 2	13,3	7	254	24	€	82,2	8,4			
9+10+11	pré + autor. 2 + post	89,7	7	203	7		251,3		€	54,7	26,3

fourgonnettes

1	urbain 1 vide	12,2	10	270	16	4	93,4	2,7	1€	69,4	31,5
2	urbain 2 vide	20,0	10	175	21	€	58,8	4,6	7	42,3	23,2
3	route vide	37,4	10	198	16	€	63,4	5,5	€	59,4	27,5
4	pré autoroute vide	50,8	10	201	23	€	64,2	7,7			
5	autoroute vide	89,8	10	180	30	€	57,5	10,1			
4+5	pré + autoroute vide	81,1	10	182	29		58,3		1€	60,3	50,5
6	urbain 1 chargé	14,0	10	258	14	7	81,4	4,2	1€	48,5	15,7
7	urbain 2 chargé	20,3	10	188	10	€	61,0	3,6	1€	39,2	18,1
8	route chargé	43,4	10	186	40	7	57,8	3,8	1€	46,5	16,6
9	pré autoroute chargé	48,8	10	210	5	€	67,2	1,7			
10	autoroute chargé	83,5	10	178	6	€	57,2	2,6			
9+10	pré + autor. chargé	76,4	10	181	6		58,0		1€	34,7	19,7

Annexe 6 : Émissions unitaires moyennes pour les fourgons de 2,5 t et 3,5 t

n° chrono.	cycle	vitesse (km/h)	CO			HC			NOx		
			n	moy.	e. t.	n	moy.	e. t.	n	moy.	e. t.
				(mg/ km)	(mg/ km)		(mg/ km)	(mg/ km)		(g/ km)	(g/ km)
fourgons de 2,5 t											
1	urbain 1 vide	17,0	7	460	424	6	97	64	7	1,51	0,30
2	urbain 2 vide	26,7	7	476	304	7	67	54	7	0,98	0,14
3	route vide	58,3	7	137	148	7	24	26	7	0,94	0,08
4	autoroute vide	97,9	3	51	13	6	11	3	2	1,46	0,16
5	post 2 autoroute vide	89,8	3	43	24	6	8	2	2	0,28	0,13
4+5	autoroute+post 2 vide	97,8	7	72	73	6	11	3	7	1,30	0,23
6	urbain 1 chargé	16,9	7	353	270	6	52	25	7	1,81	0,42
7	autoroute chargé	95,2	3	54	14	6	10	3	5	1,71	0,24
8	post 2 autor. chargé	26,1	3	226	19	6	41	17	5	1,66	0,42
7+8	autor.+ post 2 chargé	90,2	7	83	81	6	11	3	7	1,62	0,36
9	route chargé	59,4	7	121	192	6	23	21	7	1,12	0,09
10	urbain 2 chargé	25,3	7	335	223	7	55	42	7	1,17	0,17
11	livraison 1	13,3	7	1082	524	4	170	98	7	1,55	0,42
12	livraison 2	13,9	7	1079	584	7	121	98	7	1,54	0,33
13	livraison 3	13,8	7	864	624	7	123	104	7	1,63	0,38
11+12+13	livraison	13,8		976	0		130	0		1,58	
fourgons de 3,5 t											
1	urbain fluide 30% cu	22,3	3	843	469	3	110	56	3	1,30	0,41
2	livraison 1	10,9	3	1411	831	3	204	114	3	1,80	0,76
3	livraison 2	12,4	3	1655	964	3	195	101	3	1,66	0,86
4	livraison 3	9,0	3	1655	871	3	262	147	3	2,21	1,09
2+3+4	livraison	10,5	3	1526	862	3	215	115	3	1,79	0,81
5	urbain lent 10% cu	12,1	3	991	304	3	129	56	3	1,89	0,69
6	pré route	19,0	3	801	541	3	100	47	3	1,54	0,68
7	route	63,8	3	252	177	3	35	18	3	0,86	0,24
8	post route	29,4	3	758	426	3	124	83	3	0,93	0,33
6+7+8	pré+rou.+post	50,4	3	322	205	3	48	26	3	0,91	0,29
9	pré autoroute	39,6	3	539	211	3	67	37	3	0,98	0,35
10	autoroute	90,3	3	214	154	3	23	16	3	1,49	0,26
9+10	pré+autoroute	88,1	3	214	155	3	23	16	3	1,48	0,27
11	urbain lent 50% cu	12,1	3	960	294	3	107	59	3	2,03	0,84
12	pré route	19,0	3	776	377	3	77	44	3	2,07	1,32
13	route	63,8	3	263	152	3	32	18	3	1,35	0,76
14	post route	29,4	3	647	273	3	99	76	3	1,49	0,89
12+13+14	pré+rou.+post	50,4	3	323	174	3	41	25	3	1,39	0,82
15	pré autoroute	39,6	3	499	245	3	59	42	3	1,41	1,03
16	autoroute	90,3	3	220	161	3	20	16	3	2,09	1,03
15+16	pré+autoroute	88,1	3	222	160	3	21	16	3	2,07	1,04

n° chrono.	cycle	vitesse (km/h)	CO ₂			consommation			particules		
			n	moy.	e.t.	r	moy.	e.t.	r	moy.	e.t.
				(g/ km)	(g/ km)		(g/ km)	(g/ km)		(mg/ km)	(mg/ km)

fourgons de 2,5 t

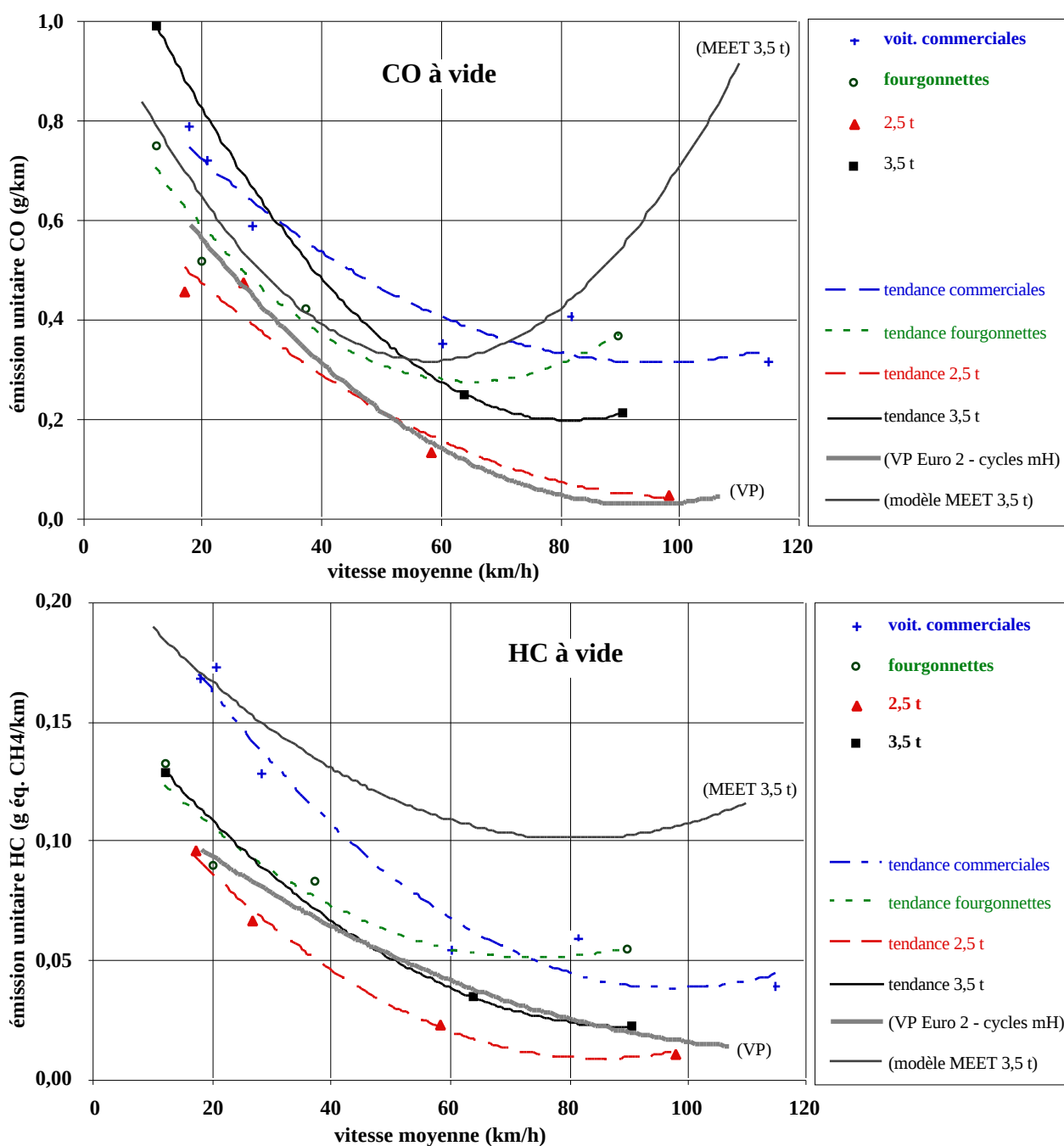
1	urbain 1 vide	17,0	7	338	38		108,1		7	56,3	26,3
2	urbain 2 vide	26,7	7	245	31	4	81,4	11,4	6	33,5	10,7
3	route vide	58,3	7	222	18	2	68,8	10,3	7	52,0	62,2
4	autoroute vide	97,9	6	315	35	3	94,5	14,7			
5	post 2 autoroute vide	89,8	6	107	11	3	34,0	4,4			
4+5	autoroute+post 2 vide	97,8	7	283	55		90,3		7	51,5	4,2
6	urbain 1 chargé	16,9	7	398	68	2	130,9	15,9	7	75,6	22,7
7	autoroute chargé	95,2	6	330	39	3	108,8	3,4			
8	post 2 autor. chargé	26,1	6	398	71	3	134,7	10,1			
7+8	autor.+ post 2 chargé	90,2	7	313	65		99,9		7	40,9	8,5
9	route chargé	59,4	7	270	23	2	86,9	11,5	7	40,8	13,6
10	urbain 2 chargé	25,3	7	281	31	2	83,6	17,3	7	28,5	8,0
11	livraison 1	13,3	7	358	42	2	125,2	23,0			
12	livraison 2	13,9	7	342	27	3	116,8	5,8			
13	livraison 3	13,8	7	349	30	4	116,6	4,9			
11+12+13	livraison	13,8		348			111,7		7	74,5	64,0

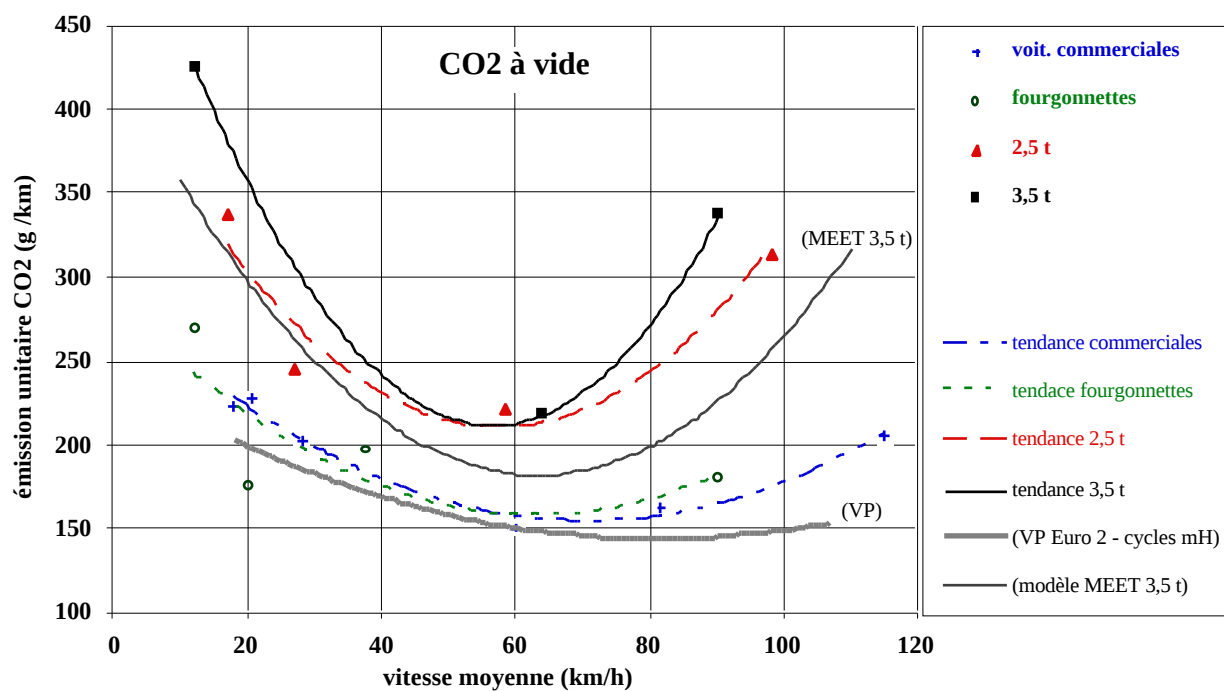
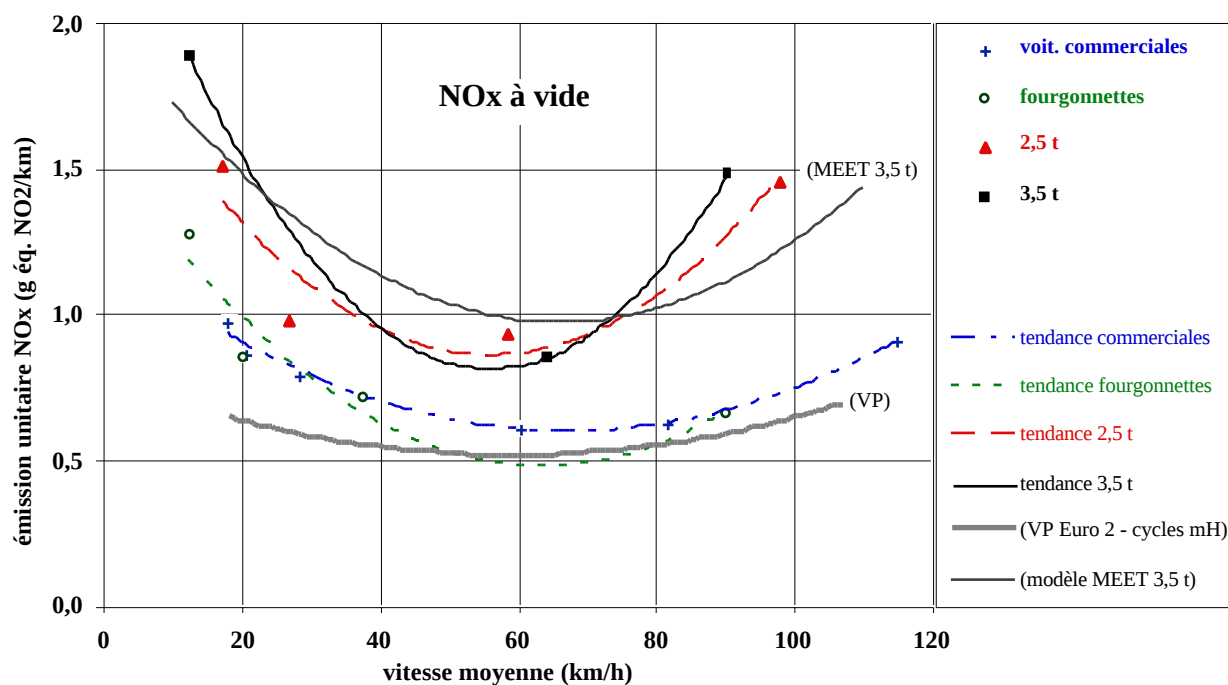
fourgons de 3,5 t

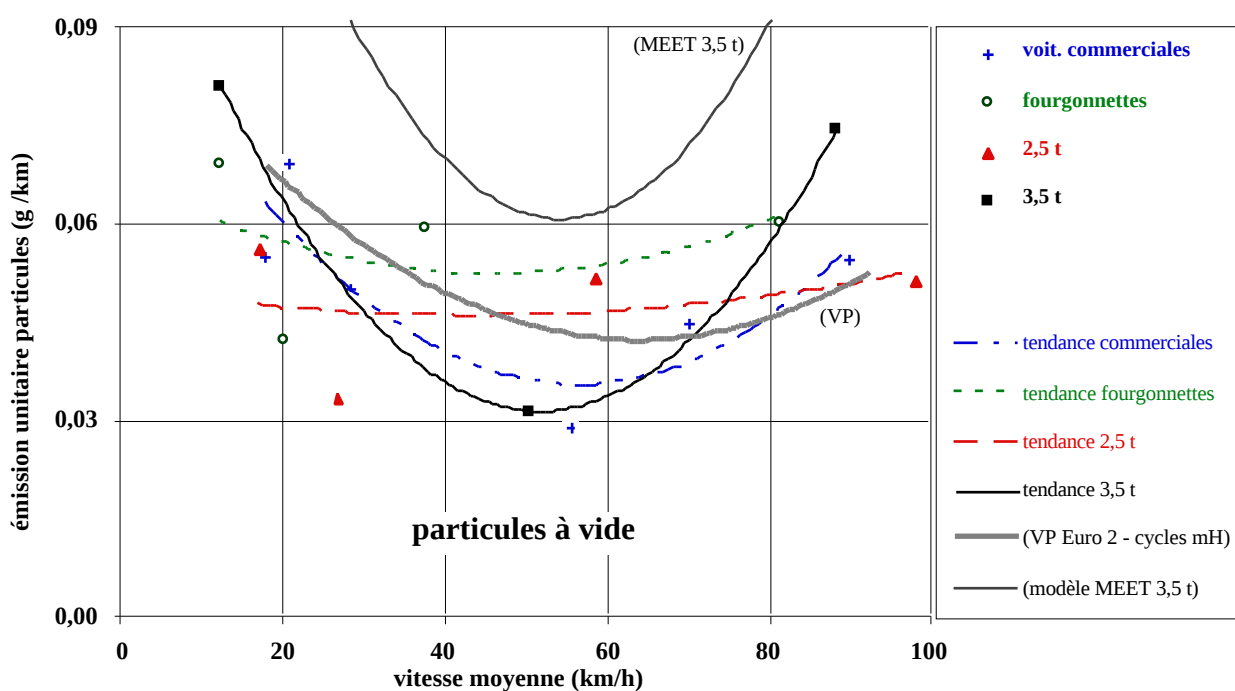
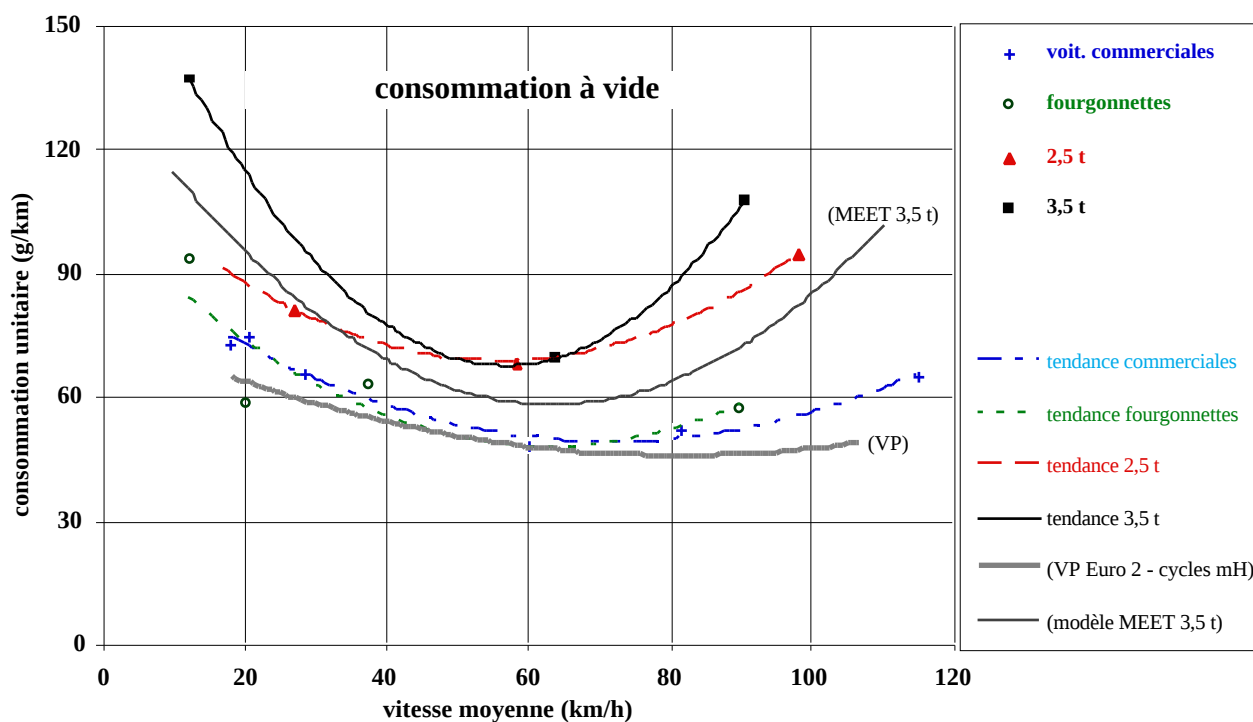
1	urbain fluide	30% cu	22,3	3	337	56	3	108,6	17,7	3	77,4	16,4
2	livraison 1	""	10,9	3	420	97	3	134,7	31,4			
3	livraison 2	""	12,4	3	397	111	3	127,4	35,8			
4	livraison 3	""	9,0	3	493	139	3	158,1	45,0			
2+3+4	livraison	""	10,5	3	418	106	3	135,1	35,2	3	95,0	34,4
5	urbain lent	10% cu	12,1	3	425	81	3	137,2	24,0	3	81,3	56,7
6	pré route	""	19,0	3	351	98	3	112,4	31,5			
7	route	""	63,8	3	218	45	3	69,8	14,5			
8	post route	""	29,4	3	257	64	3	82,4	20,6			
6+7+8	pré+rou.+post	""	50,4	3	227	52		72,7		3	31,7	4,3
9	pré autoroute	""	39,6	3	292	86	3	93,5	27,4			
10	autoroute	""	90,3	3	338	67	3	107,8	21,5			
9+10	pré+autoroute	""	88,1	3	333	67		106,5		3	74,4	47,4
11	urbain lent	50% cu	12,1	3	479	105	3	154,9	34,6	3	131,1	65,2
12	pré route	""	19,0	3	390	55	3	124,8	17,8			
13	route	""	63,8	3	255	32	3	81,5	10,4			
14	post route	""	29,4	3	304	29	3	97,4	9,4			
12+13+14	pré+rou.+post	""	50,4	3	266	33		85,1		3	36,0	8,3
15	pré autoroute	""	39,6	3	348	80	3	111,1	25,6			
16	autoroute	""	90,3	3	379	78	3	121,0	24,7			
15+16	pré+autoroute	""	88,1	3	376	77		120,2		3	39,6	2,4

Annexe 7 : Émissions unitaires des différentes classes de PVU à vide selon la vitesse moyenne des cycles

Seules les émissions mesurées sur cycles à vide sont tracées ici, soient pour les commerciales : urbain 1 à 3, route, autoroute 1 et 2, pour les fourgonnettes : urbain 1 et 2 vides, route et autoroute vides, pour les fourgons de 2,5 t : urbain 1 et 2 vides, route et autoroute vides, et pour les fourgons de 3,5 t : urbain lent, route et autoroute, tous chargés à 10 % de la charge utile. Pour les particules et méthane, certains de ces cycles sont remplacés par les cycles entiers correspondants, comprenant éventuellement des pré et post cycles. Données en Annexe 5 et en Annexe 6.

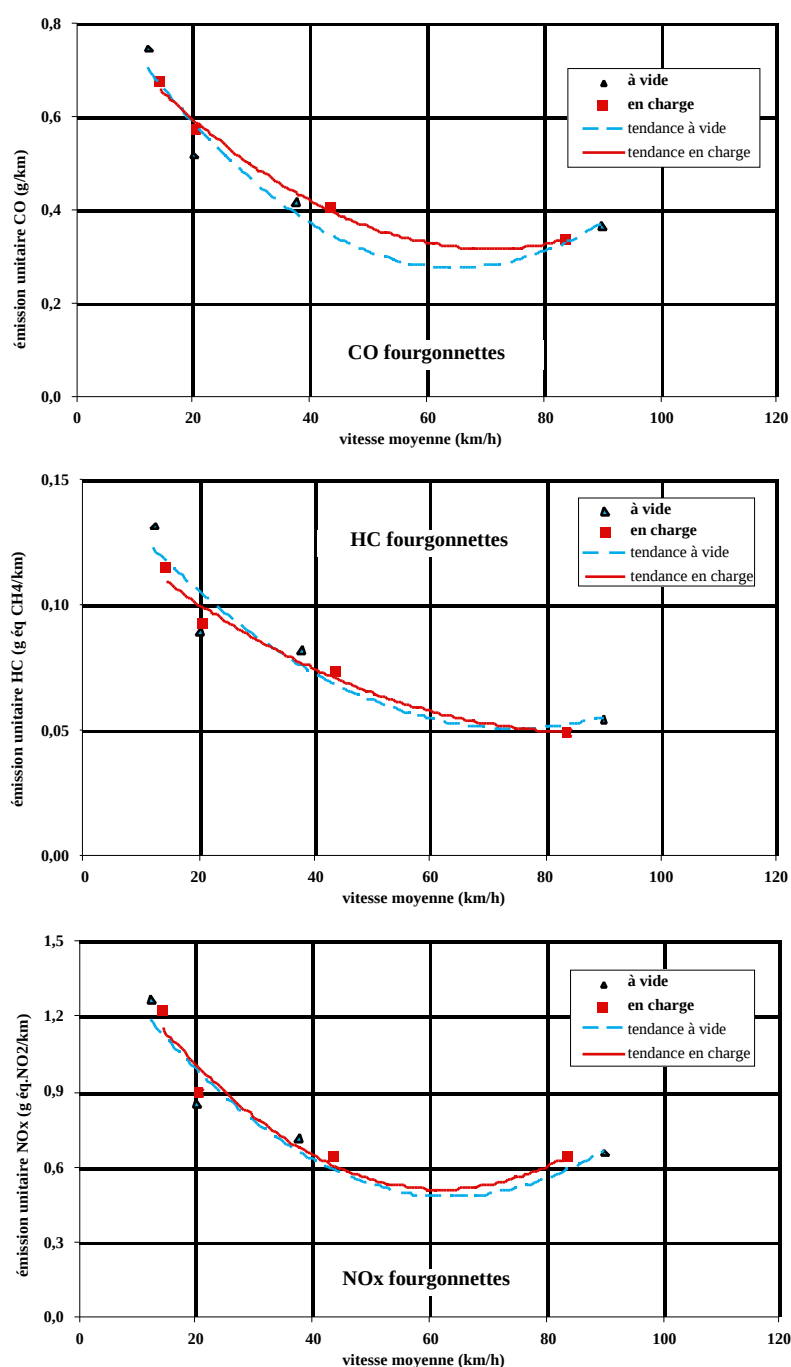


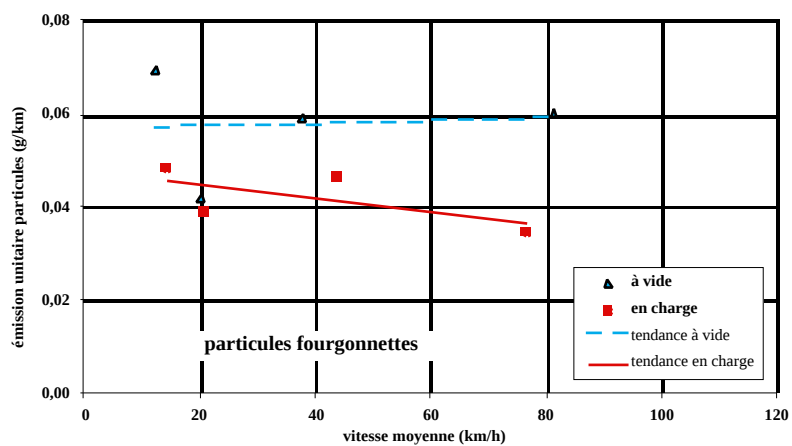
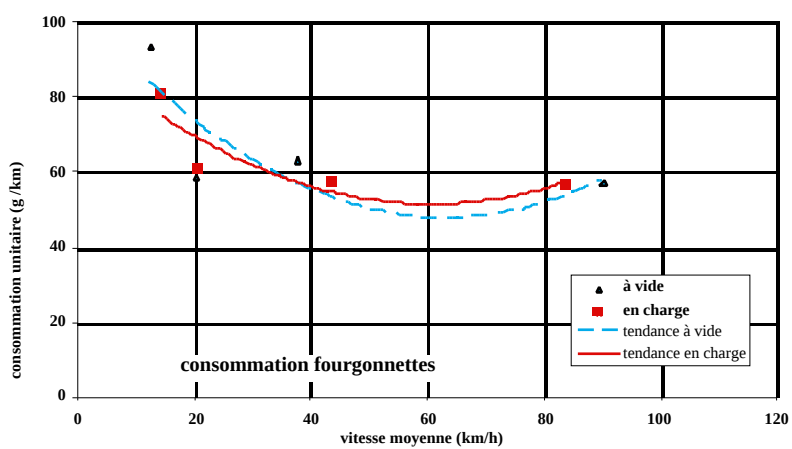
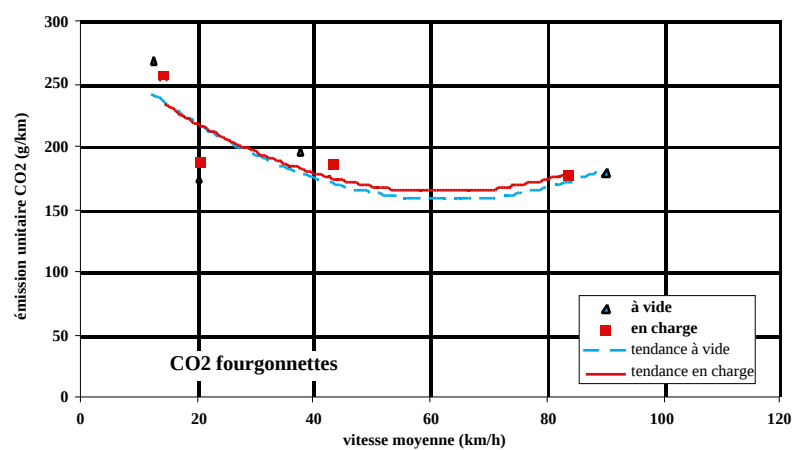




Annexe 8 : Émissions unitaires des fourgonnettes selon la vitesse moyenne des cycles

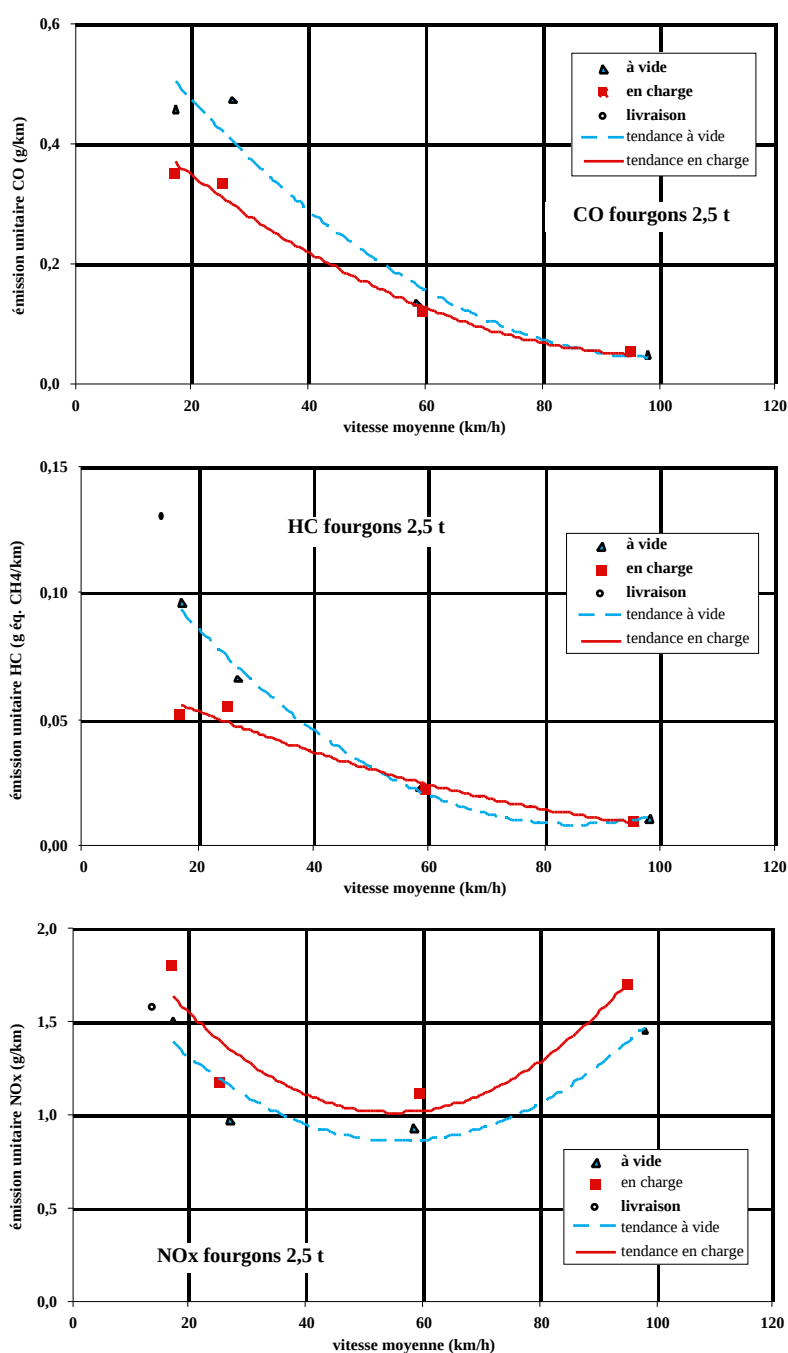
L'ensemble des émissions sont tracées ici, soient les émissions mesurées sur cycles urbain 1, urbain 2, route et autoroute, vides ou chargés. Pour les particules les cycles autoroute vide et chargé sont remplacés par les cycles entiers correspondants, comprenant un pré cycle. Données en Annexe 5.

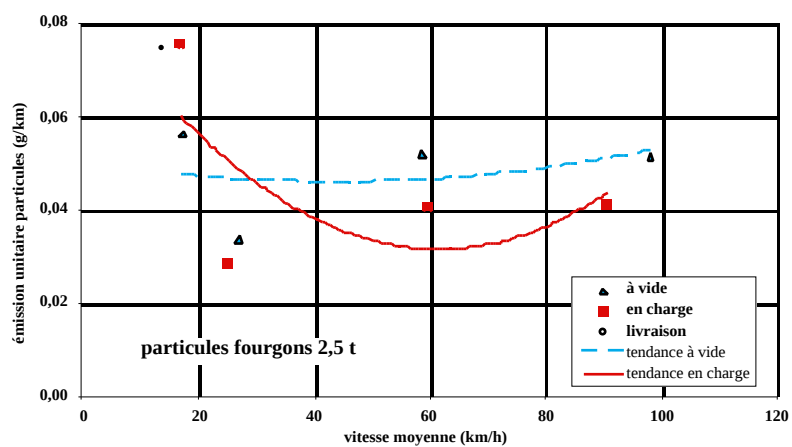
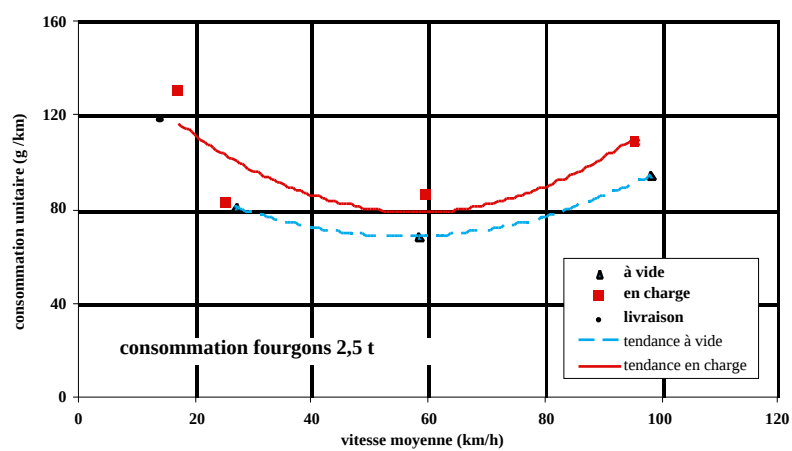
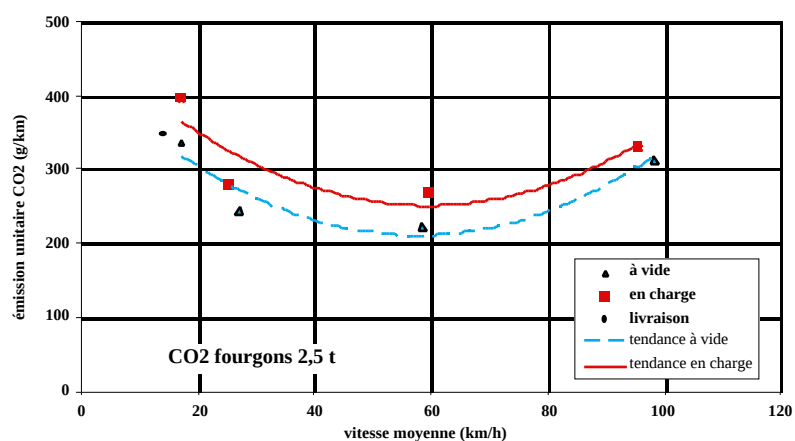




Annexe 9 : Émissions unitaires des fourgons de 2,5 t selon la vitesse moyenne des cycles

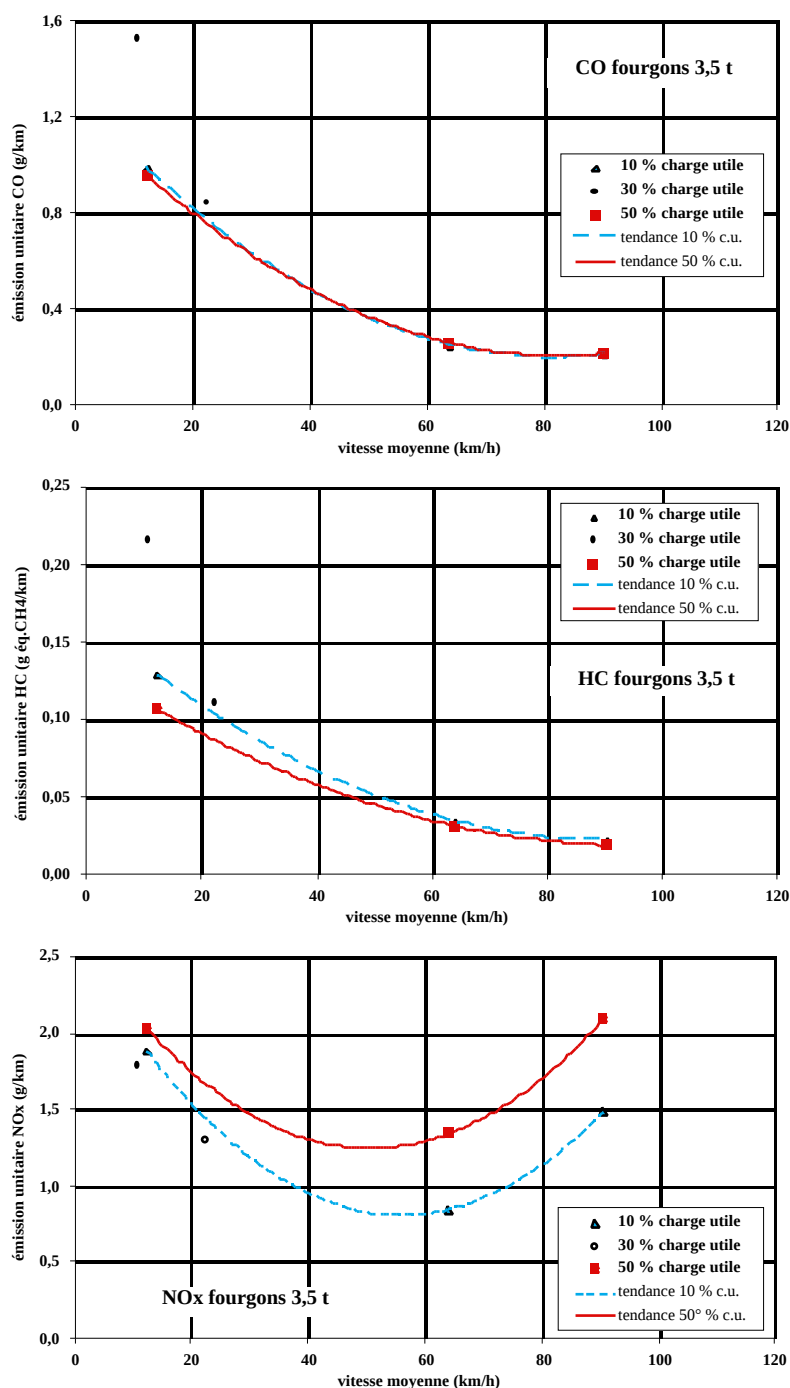
L'ensemble des émissions sont tracées ici, soient les émissions mesurées sur cycles urbain 1, urbain 2, route et autoroute, vides ou chargés, et livraison. Pour les particules et méthane, les cycles autoroute vide et chargé sont remplacés par les cycles entiers correspondants, comprenant un pré cycle. Données en Annexe 6.

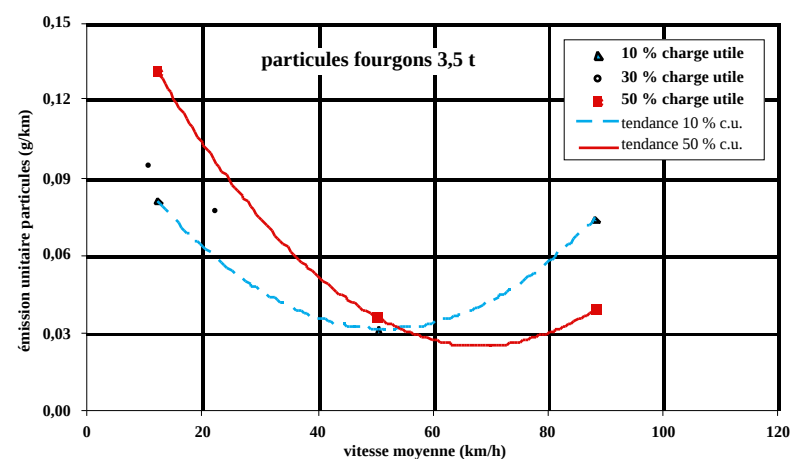
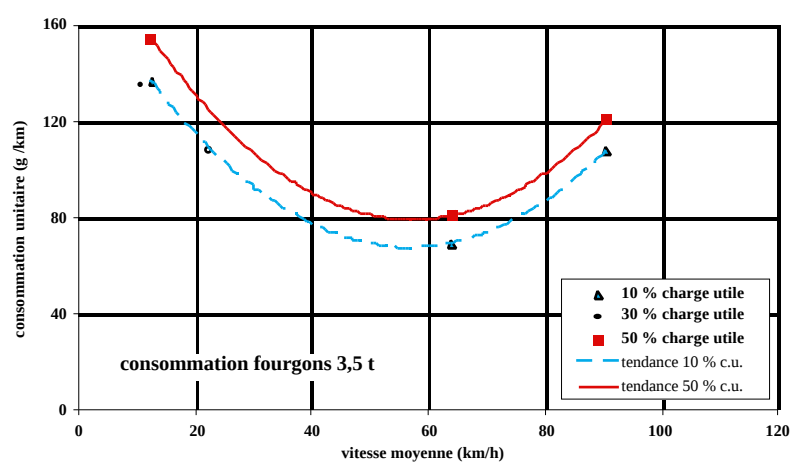
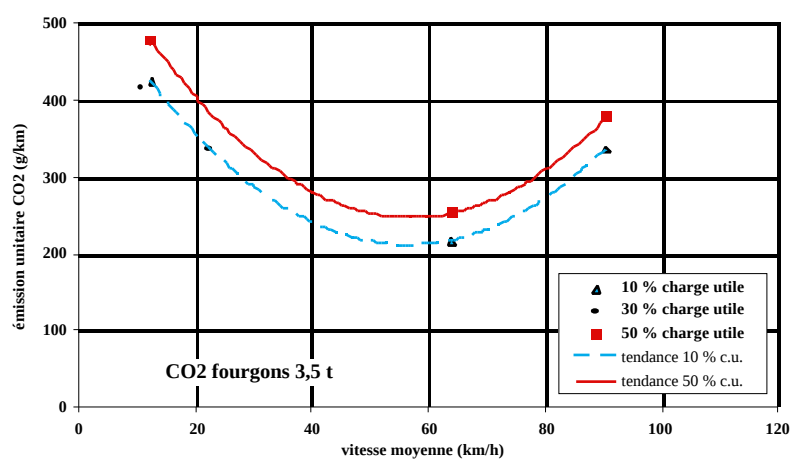




Annexe 10 : Émissions unitaires des fourgons de 3,5 t selon la vitesse moyenne des cycles

L'ensemble des émissions sont tracées ici, soient les émissions mesurées sur cycles urbain lent, route et autoroute, chargés à 10 % ou 50 % de la charge utile, et urbain fluide et livraison, chargés à 30 % de la charge utile. Pour les particules et méthane, les cycles route et autoroute sont remplacés par les cycles entiers correspondants, comprenant des pré- et éventuellement des postcycles. Données en Annexe 6.





Annexe 11 : Émissions unitaires agrégées des différentes classes de PVU

Les facteurs d'émissions présentés en Annexe 5 et en Annexe 6 sont agrégés à l'aide des coefficients de pondération présentés Tableau 4. On obtient ainsi des émissions agrégées pour les conditions urbaine, routière, autoroutière ou globale, ainsi qu'à vide ou en charge.

Par ailleurs les émissions unitaires de voitures particulières Euro 2 mesurées sur cycles pure modém Hyzem (mH) - cf. annexe 15 de Joumard et coll., 1999 - sont agrégées pour l'ensemble des conditions de conduite avec les mêmes coefficients de pondération en utilisant la courbe de tendance de ces données VP. Parallèlement les émissions données par le modèle MEET pour les PVU diesel Euro 1 (cf. Hickman et coll., 1999) sont agrégées de la même manière.

On calcule ensuite les rapports des émissions, en charge / à vide, mesurées sur VP / mesurées sur PVU, et modélisées par MEET / mesurées sur PVU 3,5 t.

véhicule	conditions	uni- té	vit. (km/h)	CO (mg/km)	HC (mg/km)	NOx (g/km)	CO ₂ (g/km)	conso. (g/km)
commerciale	urbain	m/km ^a	23,6	657	147	0,85	213	69,1
	route	""	60,1	355	55	0,62	151	48,5
	autoroute	""	91,6	372	52	0,74	180	57,1
	global	""	46,5	454	81	0,75	184	59,0
VP Euro 2 - c. mH	global	""	46,5	206	44	0,62	164	52,2
VP / commerciale	global	%		45	54	83	89	89
fourgonnettes	urbain	m/km ^a	17,6	587	100	0,98	202	67,0
	route	""	40,2	414	78	0,68	192	60,6
	autoroute	""	87,5	358	53	0,66	180	57,4
	global	""	26,2	487	86	0,81	195	63,2
	à vide	""	24,7	491	89	0,83	197	64,9
	en charge	""	28,2	481	83	0,79	194	61,2
	chargé / vide	%		98	93	94	98	94
VP Euro 2 - c. mH	global	m/km ^a	26,2	408	75	0,60	183	58,5
VP / fourgonnette	global	%		84	87	74	93	92
fourgon 2,5 t	urbain	m/km ^a	20,4	432	72	1,34	310	96,1
	route	""	58,9	129	23	1,03	247	78,2
	autoroute	""	96,2	53	11	1,61	324	103,1
	global	""	29,1	292	49	1,27	291	87,9
	à vide	""	28,5	326	57	1,17	272	77,0
	en charge	""	31,4	226	37	1,35	307	97,7
	chargé / vide	%		69	65	116	113	127
VP Euro 2 - c. mH	global	m/km ^a	29,1	361	68	0,60	177	56,7
VP / 2,5 t	global	%		124	137	48	61	64
fourgon 3,5 t	urbain	m/km ^a	18,0	916	119	1,47	365	117,7
	route	""	63,8	257	34	1,10	237	75,6
	autoroute	""	90,3	217	21	1,79	359	114,4
	global	""	38,6	436	55	1,40	307	98,5
	vide (10% cu)	""	53,0	292	37	1,16	277	88,4
	chargé (50% cu)	""	53,0	298	33	1,67	316	101,1
	chargé / vide	%		102	89	144	114	114
modèle MEET 3,5 t	global	m/km ^a	38,6	482	123	1,17	229	73,2
MEET / 3,5 t	global	%		111	225	83	74	74

^a : masse par unité de distance, soit g/km ou mg/km selon les polluants

Les vitesses moyennes correspondant aux émissions agrégées sont différentes pour les particules et pour les autres polluants, car les émissions unitaires sont mesurées respectivement sur des cycles purs et sur des cycles entiers intégrant éventuellement des petits cycles antérieurs et postérieurs. Les vitesses moyennes de ces cycles sont de ce fait légèrement différentes ainsi que les coefficients de pondération (cf. Tableau 4).

véhicule	conditions	unité	vitesse (km/h)	part. (mg/km)
commerciale	urbain	mg/km	23,6	55,7
	route	""	55,3	29,2
	autoroute	""	76,2	48,5
	global	""	46,2	45,8
VP Euro 2 - c. mH	global	""	46,2	49,2
VP / commerciale	global	%		107
fourgonnettes	urbain	mg/km	17,6	46,1
	route	""	40,2	53,0
	autoroute	""	79,4	51,2
	global	""	26,3	49,8
	à vide	""	24,9	54,7
	en charge	""	28,4	43,8
	chargé / vide	%		80
VP Euro 2 - c. mH	global	mg/km	26,3	57,5
VP / fourgonnette	global	%		115
fourgon 2,5 t	urbain	mg/km	20,4	47,3
	route	""	58,9	46,1
	autoroute	""	93,1	45,1
	global	""	29,1	46,7
	à vide	""	28,5	47,9
	en charge	""	31,4	44,2
	chargé / vide	%		92
VP Euro 2 - c. mH	global	mg/km	29,1	56,4
VP / 2,5 t	global	%		121
fourgon 3,5 t	urbain	mg/km	17,9	84,2
	route	""	50,4	33,8
	autoroute	""	88,1	57,0
	global	""	37,4	53,6
	vide (10% cu)	""	48,3	50,3
	chargé (50% cu)	""	48,3	43,3
	chargé / vide	%		86
modèle MEET 3,5 t	global	mg/km	37,4	90,1
MEET / 3,5 t	global	%		168

Annexe 12 : Limites des émissions selon la norme

Nous donnons ici les limites réglementaires que devaient respecter les véhicules testés lors de leur mise sur le marché, selon la réglementation européenne. Les limites sont des limites série exprimées en g/km, mesurées selon le cycle indiqué, après départ à froid.

			CO	HC + NOx	particules
norme	cycle de mesure	échantillon concerné	(g/km)	(g/km)	(g/km)
PVU < 2,5 t					
88/436	ECE 15	commerciales	19,74	6,32	0,35
Euro 1 : 91/441	NEDC	commerciales, fourgons 2,5 t	3,16	1,13	0,18
Euro 2 : 94/12	NEDC	commerciales, fourgonnettes, fourgons 2,5 t	1,00	0,70	0,08
PVU > 2,5 t					
Euro 1 : 93/59	NEDC	fourgons 3,5 t	3,16	1,13	0,18
Euro 2 : 96/69	NEDC	fourgons 3,5 t	1,50	1,20	0,17

Annexe 13 : Émissions unitaires agrégées moyennes selon la norme d'émission

Émission unitaire en g/km (é.u.) et nombre de véhicules concernés (n) par type de véhicule et norme. Tracés partiels en Annexe 14.

CO (g/km)			urbain	route	autor.	global	vide	chargé
commerciales	88/436	é. u. n	1,026 1	0,593 1	0,558 1	0,705 1		
		Euro 1 n	0,731 4	0,382 4	0,330 4	0,460 4		
		Euro 2 n	0,326 2	0,183 2	0,354 1	0,395 1		
fourgonnettes	Euro 2	é. u. n	0,587 10	0,414 10	0,358 9	0,496 9	0,499 9	0,493 9
fourgons 2,5 t	Euro 1	é. u. n	0,894 1	0,508 1	0 0	0 0	0 0	0 0
		Euro 2 n	0,355 6	0,065 6	0,060 2	0,316 2	0,264 3	0,198 3
fourgons 3,5 t	Euro 1	é. u. n	0,784 2	0,314 2	0,282 2	0,432 2	0,341 2	0,367 2
		Euro 2 n	1,193 1	0,144 1	0,086 1	0,422 1	0,195 1	0,159 1
tous véhicules	88/436	é. u. n	1,026 1	0,593 1	0,558 1	0,705 1		
		Euro 1 n	0,769 7	0,380 7	0,314 6	0,451 6	0,341 2	0,367 2
		Euro 2 n	0,518 19	0,265 19	0,291 13	0,455 13	0,422 13	0,399 13

HC (g/km)			urbain	route	autor.	global	vide	chargé
commerciales	88/436	é. u. n	0,3482 1	0,1037 1	0,1083 1	0,1794 1		
		Euro 1 n	0,1338 4	0,0546 4	0,0465 4	0,0743 4		
		Euro 2 n	0,0711 2	0,0326 2	0,0359 2	0,0458 2		
fourgonnettes	Euro 2	é. u. n	0,0979 9	0,0828 8	0,0529 10	0,0909 8	0,0936 8	0,0823 9
fourgons 2,5 t	Euro 1	é. u. n	0 0	0,0652 1	0 0	0 0	0 0	0 0
		Euro 2 n	0,0825 3	0,0160 5	0,0108 6	0,0537 3	0,0502 5	0,0341 5
fourgons 3,5 t	Euro 1	é. u. n	0,1021 2	0,0332 2	0,0245 2	0,0496 2	0,0370 2	0,0346 2
		Euro 2 n	0,1548 1	0,0342 1	0,0147 1	0,0622 1	0,0379 1	0,0302 1
tous véhicules	88/436	é. u. n	0,3482 1	0,1037 1	0,1083 1	0,1794 1		
		Euro 1 n	0,1232 6	0,0500 7	0,0392 6	0,0661 6	0,0370 2	0,0346 2
		Euro 2 n	0,0950 15	0,0526 16	0,0358 19	0,0744 14	0,0741 14	0,0627 15

NOx (g/km)			urbain	route	autor.	global	vide	chargé
commerciales	88/436	é. u. n	0,773 1	0,555 1	0,777 1	0,732 1		
	Euro 1	é. u. n	0,902 4	0,666 4	0,765 4	0,787 4		
	Euro 2	é. u. n	0,775 2	0,551 2	0,669 2	0,677 2		
fourgonnettes	Euro 2	é. u. n	0,975 10	0,684 10	0,656 10	0,811 10	0,833 10	0,785 10
fourgons 2,5 t	Euro 1	é. u. n	1,334 1	1,090 1	0	0	0	0
	Euro 2	é. u. n	1,347 6	1,023 6	1,550 2	1,254 2	1,162 2	1,328 6
fourgons 3,5 t	Euro 1	é. u. n	1,356 2	1,154 2	1,833 2	1,374 2	1,082 2	1,800 2
	Euro 2	é. u. n	1,708 1	1,000 1	1,711 1	1,374 1	1,320 1	1,404 1
tous véhicules	88/436	é. u. n	0,773 1	0,555 1	0,777 1	0,732 1		
	Euro 1	é. u. n	1,094 7	0,866 7	1,121 6	0,982 6	1,082 2	1,800 2
	Euro 2	é. u. n	1,110 19	0,794 19	0,848 15	0,890 15	0,921 13	1,013 17

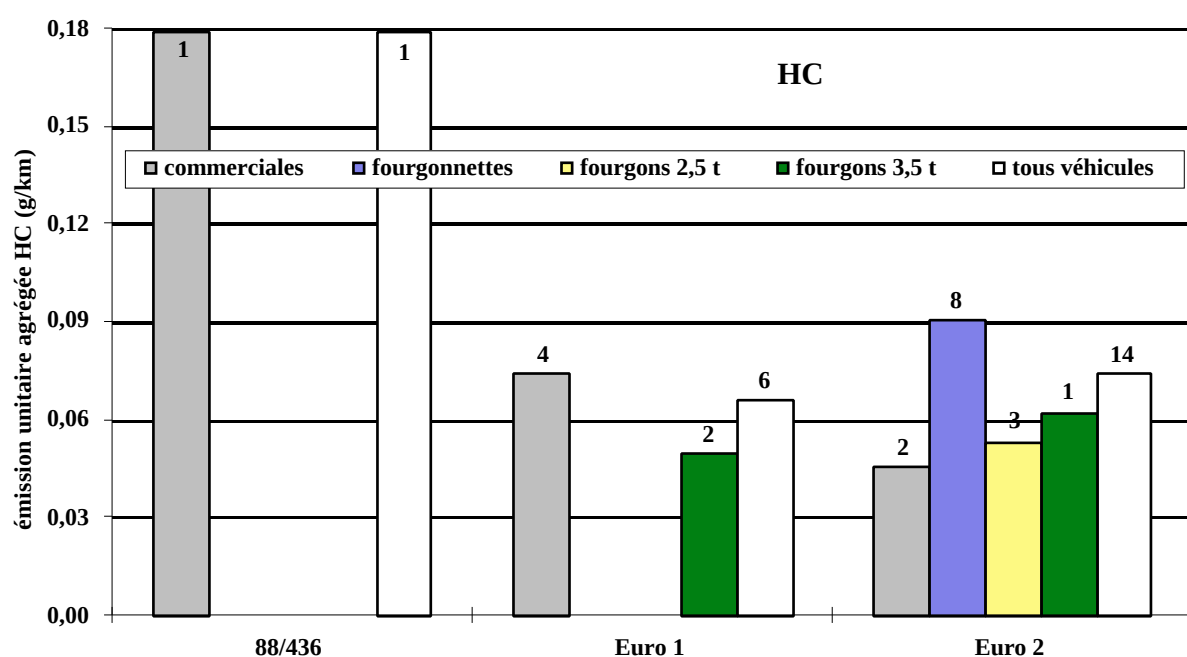
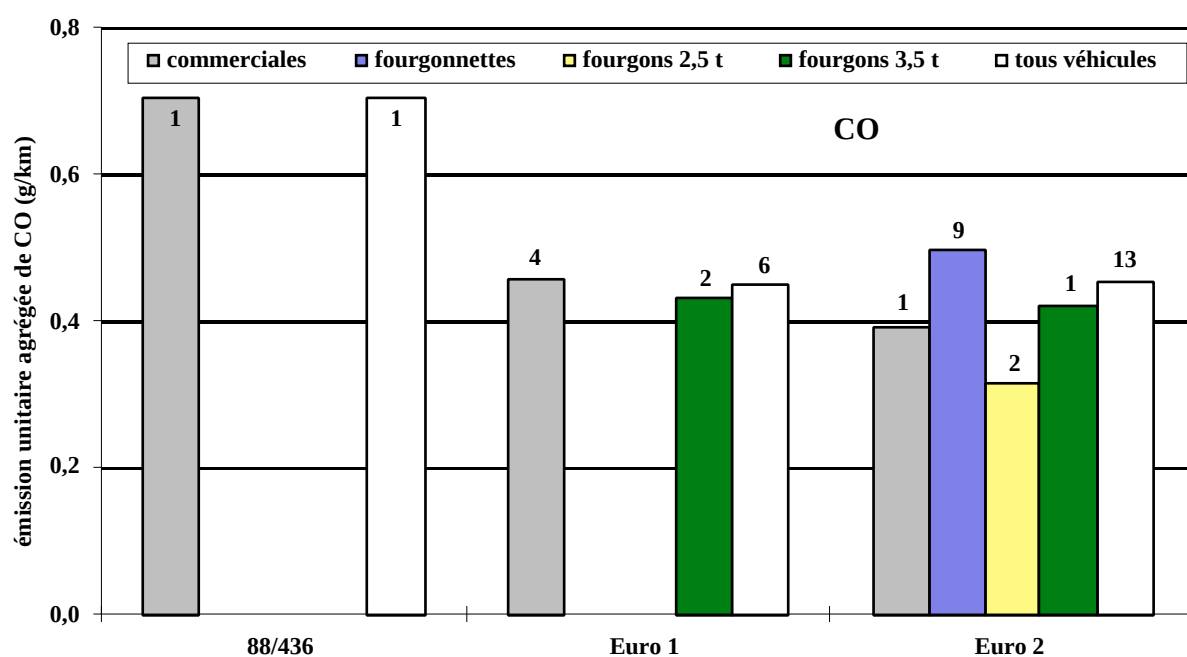
Particules (g/km)			urbain	route	autor.	global	vide	chargé
commerciales	88/436	é. u. n	0,0846 1	0,0369 1	0	0		
	Euro 1	é. u. n	0,0514 4	0,0289 3	0,0292 4	0,0364 3		
	Euro 2	é. u. n	0,0498 2	0,0257 2	0,0614 2	0,0502 2		
fourgonnettes	Euro 2	é. u. n	0,0467 7	0,0526 9	0,0512 10	0,0512 6	0,0560 6	0,0438 10
fourgons 2,5 t	Euro 1	é. u. n	0,0739 1	0,0651 1	0,0495 1	0,0685 1	0,0679 1	0,0680 1
	Euro 2	é. u. n	0,0434 5	0,0430 6	0,0444 6	0,0446 5	0,0474 5	0,0402 6
fourgons 3,5 t	Euro 1	é. u. n	0,0974 2	0,0370 2	0,0670 2	0,0613 2	0,0602 2	0,0479 2
	Euro 2	é. u. n	0,0582 1	0,0275 1	0,0371 1	0,0382 1	0,0304 1	0,0343 1
tous véhicules	88/436	é. u. n	0,0846 1	0,0369 1	0	0		
	Euro 1	é. u. n	0,0678 7	0,0376 6	0,0429 7	0,0500 6	0,0628 3	0,0546 3
	Euro 2	é. u. n	0,0468 15	0,0450 18	0,0494 19	0,0478 14	0,0503 12	0,0420 17

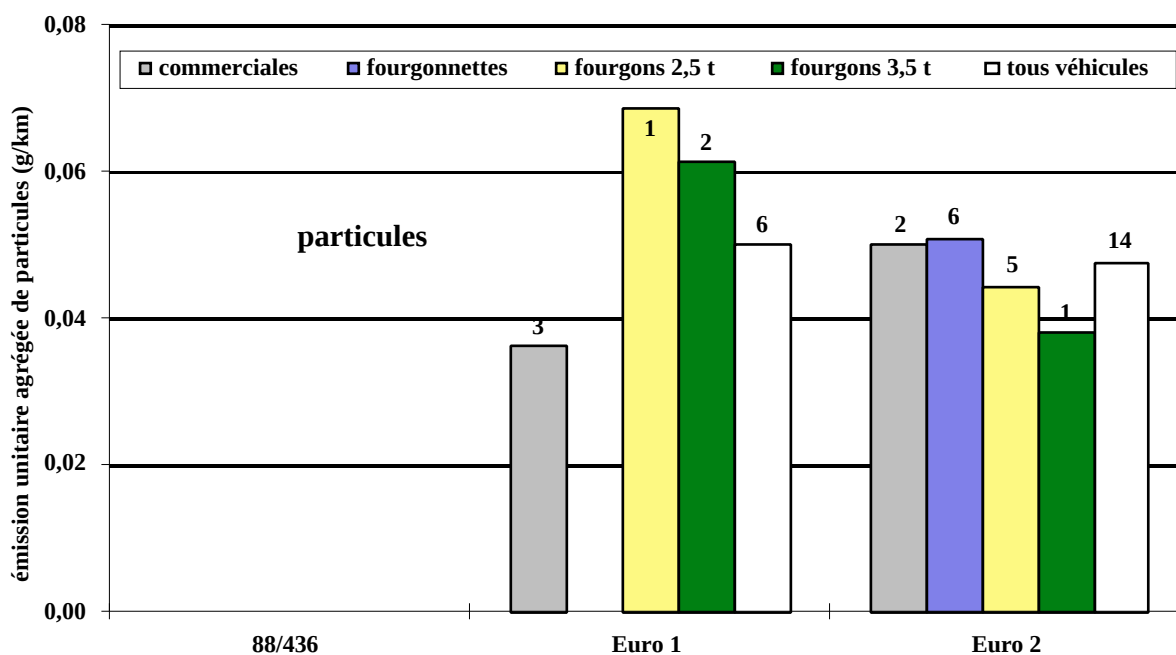
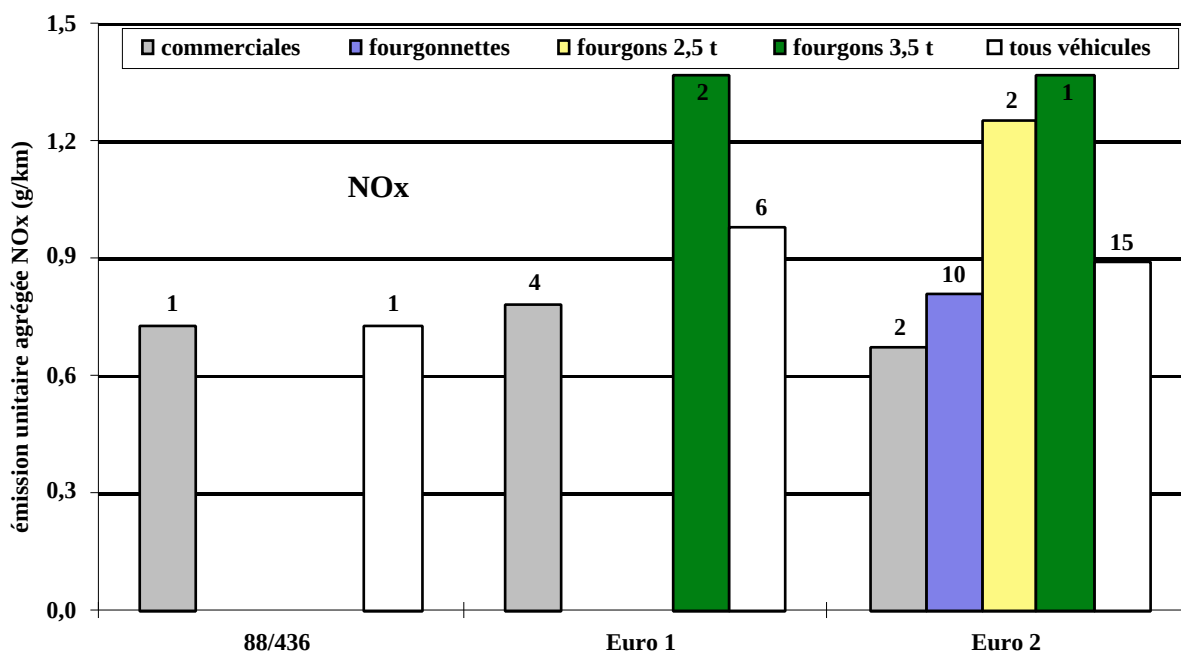
CO ₂ (g/km)			urbain	route	autor.	global	vide	chargé
commerciales	88/436	é. u. n	229,8 1	153,4 1	187,4 1	193,4 1		
	Euro 1	é. u. n	211,4 4	148,6 4	175,6 4	181,0 4		
	Euro 2	é. u. n	208,8 2	156,3 2	183,6 2	185,7 2		
fourgonnettes	Euro 2	é. u. n	201,9 10	191,9 10	179,6 10	195,5 10	196,9 10	193,8 10
fourgons 2,5 t	Euro 1	é. u. n	251,3 1	219,3 1	0	0	0	208,5 1
	Euro 2	é. u. n	320,3 6	251,9 6	324,1 6	297,7 6	276,4 6	316,9 6
fourgons 3,5 t	Euro 1	é. u. n	353,5 2	228,0 2	346,4 2	291,2 2	265,4 2	305,6 2
	Euro 2	é. u. n	391,4 1	253,4 1	381,2 1	322,2 1	297,2 1	337,7 1
tous véhicules	88/436	é. u. n	229,8 1	153,4 1	187,4 1	193,4 1		
	Euro 1	é. u. n	257,7 7	181,4 7	232,6 6	217,8 6	265,4 2	273,2 3
	Euro 2	é. u. n	250,0 19	210,3 19	236,3 19	233,4 19	230,8 17	245,7 17

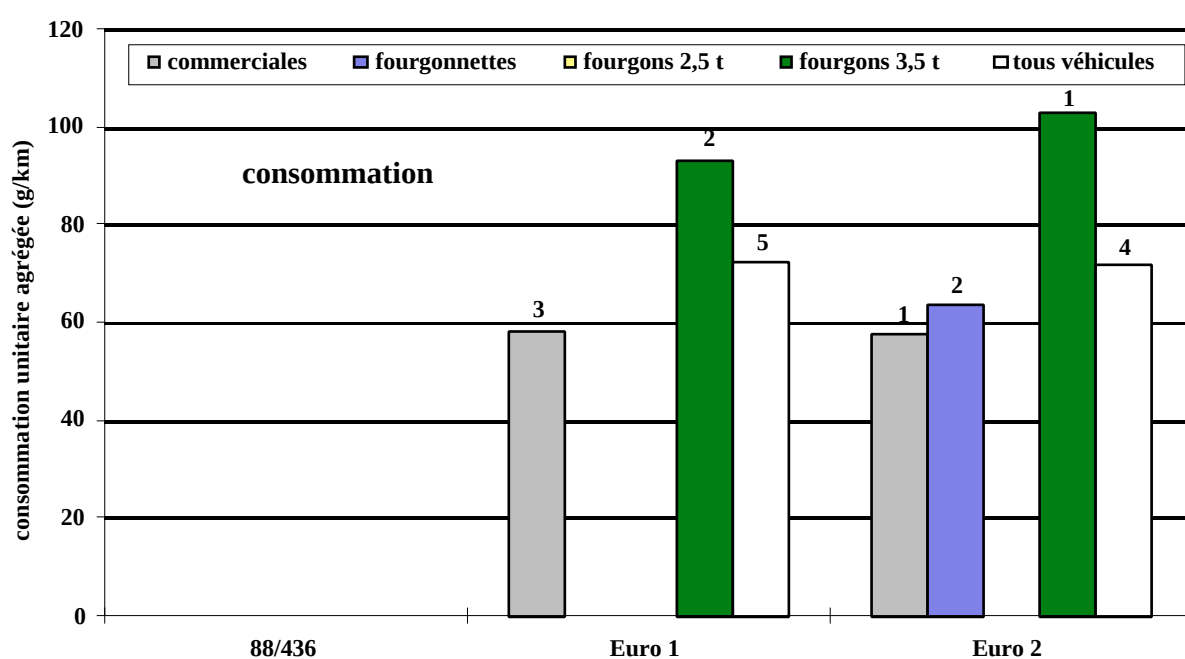
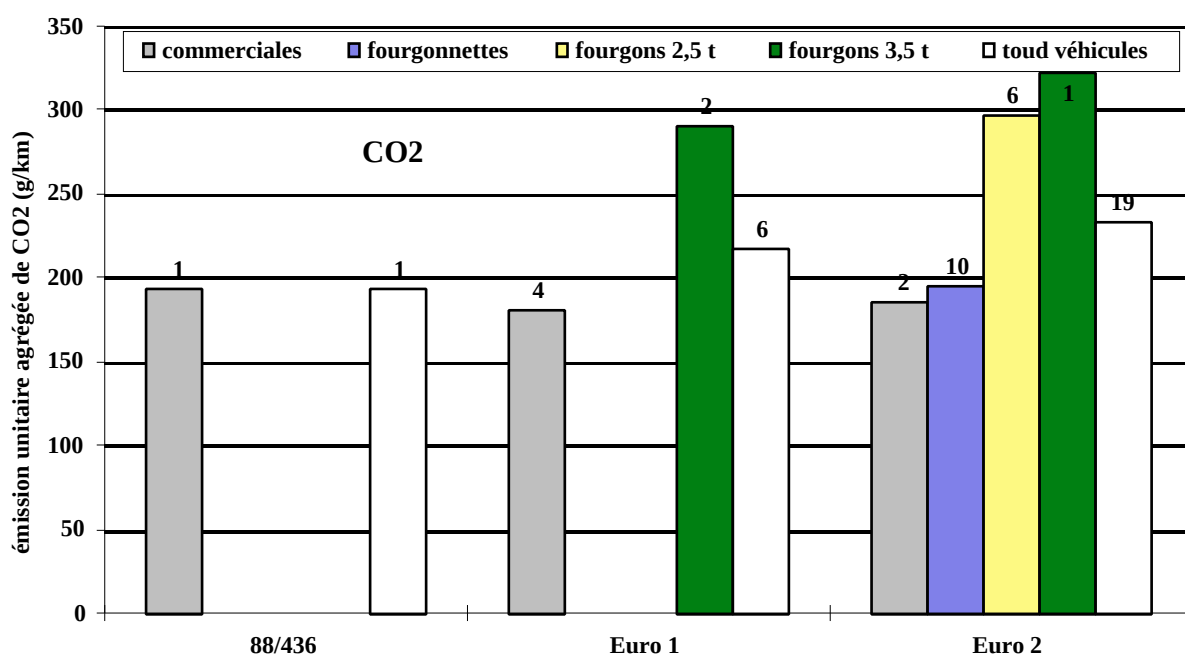
consommation (g/km)			urbain	route	autor.	global	vide	chargé
commerciales	88/436	é. u. n	0	49,3 1	60,1 1	0		
	Euro 1	é. u. n	70,5 3	47,6 4	56,2 4	58,5 3		
	Euro 2	é. u. n	66,1 1	49,9 2	57,5 1	57,9 1		
fourgonnettes	Euro 2	é. u. n	60,2 3	61,8 5	57,4 9	63,6 2	67,0 3	60,3 4
fourgons 2,5 t	Euro 1	é. u. n	0	70,5 1	0	0	0	0
	Euro 2	é. u. n	0	0	102,5 1	0	0	0
fourgons 3,5 t	Euro 1	é. u. n	114,4 2	72,8 2	110,6 2	93,4 2	84,9 2	97,8 2
	Euro 2	é. u. n	125,5 1	80,9 1	121,5 1	103,0 1	94,8 1	107,7 1
tous véhicules	88/436	é. u. n	0	49,3 1	60,1 1	0		
	Euro 1	é. u. n	88,1 5	58,1 7	74,3 6	72,5 5	84,9 2	97,8 2
	Euro 2	é. u. n	74,4 5	61,2 8	66,5 12	72,0 4	73,9 4	69,8 5

Annexe 14 : Influence de la norme sur les émissions agrégées globales

Tracés des émissions agrégées tous usages confondus par catégorie de véhicule et par norme d'émission, avec indication du nombre de véhicules correspondant. Données en Annexe 13.







Annexe 15 : Comparaison des cycles PVU et modem Hyzem

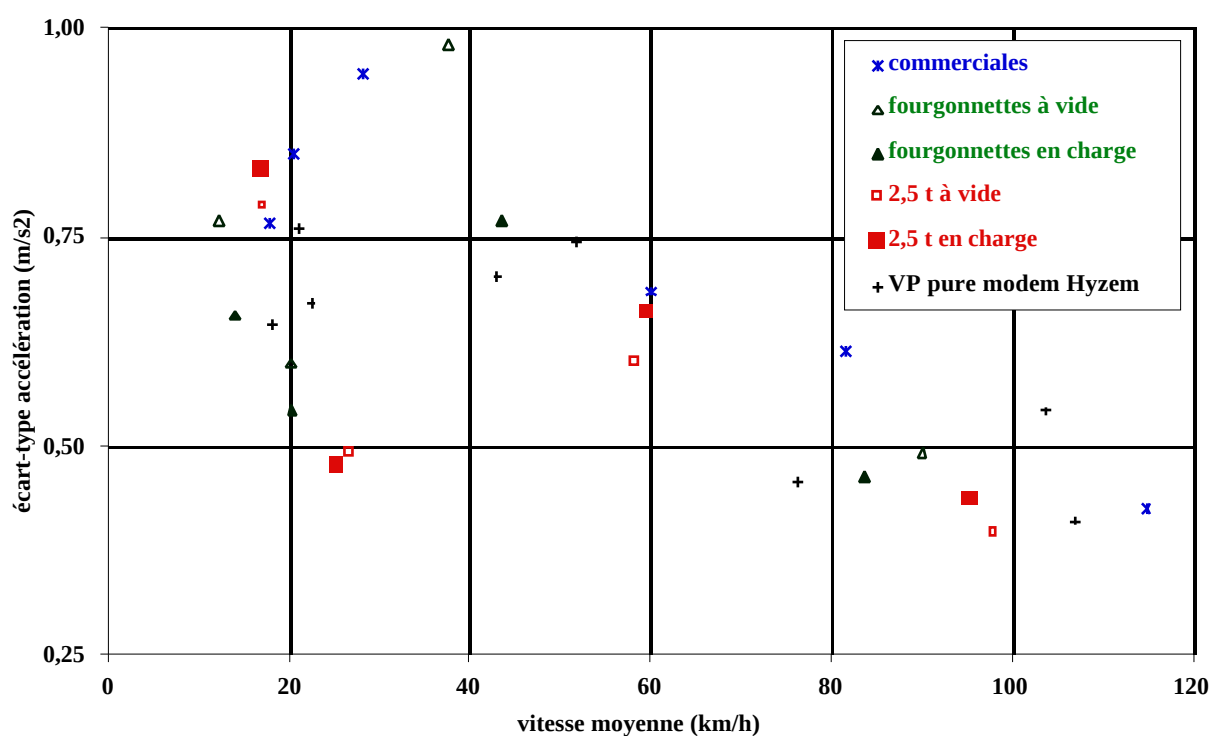


Figure 17: Description des cycles suivis par les PVU et des cycles modem Hyzem pour voitures particulières en termes de vitesse moyenne et écart-type de l'accélération.

Liste des tables et figures

Tableau 1 : Répartitions en % des différentes catégories de petits véhicules utilitaires dans les immatriculations françaises de 1989-91 (André et coll., 1994) et 1999 (Lacour, 2001) et dans l'échantillon de véhicules testés.....	10
Tableau 2 : Distribution des véhicules testés selon la réglementation européenne d'émissions.....	10
Tableau 3 : Moyennes des principales caractéristiques des 4 échantillons de véhicules.....	11
Tableau 4 : Synthèse des principes d'élaboration et de certaines caractéristiques des différentes familles de cycles représentatifs utilisés (André et coll., 2000).....	12
Tableau 5 (début) : Synthèse des caractéristiques des différentes familles de cycles représentatifs et des cycles réglementaires utilisés.....	13
Tableau 6 : Programme détaillé de tests sur le banc à rouleau, selon les échantillons de véhicules....	15
Tableau 7 : Conditions environnementales des essais par échantillon de véhicules.....	16
Tableau 8 : Moyennes des principales caractéristiques de l'échantillons de PVU issus de motorisation VP testés ici (commerciales, fourgonnettes et fourgons de 2,5 t), et de l'échantillon de VP diesel testés sur cycles modém Hyzem (Joumard et coll., 1999).....	24
Figure 1: Description des cycles suivis et des cycles réglementaires en termes de vitesse moyenne et écart-type de l'accélération.....	14
Figure 2 : Moyenne et écart-type des émissions de NO _x des fourgonnettes (PTAC < 2,1 t) en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.....	18
Figure 3 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de NO _x des différentes fourgonnettes testées (PTAC < 2,1 t).....	18
Figure 4 : Comparaison des courbes de tendance tracées à partir des données par cycle, des données agrégées par type de voie et de l'émission agrégée globale. Cas du NO _x des fourgons de 3,5 t.....	19
Figure 5 : Rapport des émissions agrégées en charge et à vide (%) ; données en Annexe 11.....	22
Figure 6 : Émissions unitaires agrégées selon la catégorie de véhicule (g/km) ; données en Annexe 11.....	23
Figure 7 : Rapport des émissions agrégées issues de mesures sur cycles modém Hyzem (mH) pour voitures particulières (VP), ou du modèle MEET pour PVU de 3,5 t, et des émissions agrégées mesurées dans l'étude (%) ; données en Annexe 11.....	25
Figure 8 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de particules des différentes voitures commerciales testées.....	39
Figure 9 : Moyenne et écart-type des émissions de particules des voitures commerciales en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.....	39
Figure 10 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de NO _x des différentes fourgonnettes testées.....	40
Figure 11 : Moyenne et écart-type des émissions de NO _x des fourgonnettes en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.....	40
Figure 12 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de CO ₂ des différents fourgons de 2,5 t testés.....	41
Figure 13 : Moyenne et écart-type des émissions de CO ₂ des fourgons de 2,5 t en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.....	41
Figure 14 : Influence de la vitesse moyenne sur les émissions de CO des différents fourgons de 3,5 t testés.....	42
Figure 15 : Moyenne et écart-type des émissions de CO des fourgons de 3,5 t en fonction de la vitesse moyenne du cycle de conduite.....	42

Figure 16 : Comparaison des courbes de tendance tracées à partir des données par cycle, des données agrégées par type de voie et de l'émission agrégée globale. Cas du NOx des fourgons de 2,5 t.....	43
Figure 17: Description des cycles suivis par les PVU et des cycles modem Hyzem pour voitures particulières en termes de vitesse moyenne et écart-type de l'accélération.....	66

Bibliographie

- André, M., J.P. Roumégoux, R. Vidon, C. Pruvost & P. Tassel (1994) : Usages et conditions de fonctionnement des petits véhicules utilitaires (EUREV-PVU) - Méthodes de mesure au moyen de capteurs embarqués. Rapport Inrets, LEN9408, Bron, France, 51 p.
- André, M., R. Vidon, C. Pruvost & P. Tassel (1997) : Usages et conditions de fonctionnement des petits véhicules utilitaires (EUREV-PVU) - Bilan des expérimentations. Rapport Inrets, LEN9708, Bron, France, 51 p.
- André M., R. Vidon, C. Pruvost & P. Tassel (2000) : Cycles de conduite pour la mesure des émissions de polluants des petits véhicules utilitaires. Rapport INRETS, n° LTE 2014, Bron, France, 87 p.
- Hickman J., D. Hassel, R. Joumard, Z. Samaras & S. Sorenson (1999): Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. TRL report, n°SE/491/98, Crowthorne, U.K., 348 p, and European Commission, DG VII, ISBN 92-828-6785-4, Luxembourg, 362 p.
- Joumard R. & J. Lambert (1991) : Évolution des émissions de polluants par les transports en France de 1970 à 2010. Rapport INRETS, n° 143, Bron, France, 66p.
- Joumard R. (ed.) (1999): COST 319 - Estimation of pollutant emissions from transport: Scientific state-of-the-art and network of European scientists. INRETS report, n° LTE 9901, Bron, France, 158 p, and European Commission, DG Transport, n°EUR 18902, ISBN 92-828-6797-8, Luxembourg, 175 p.
- Joumard R., M. André, R. Vidon, P. Tassel & C. Pruvost (1999) : influence du cycle de conduite sur les émissions unitaires de polluants des voitures particulières. Rapport INRETS, n° LTE 9902, Bron, France, 122 p.
- Lacour S. (2001) : Parc, usages et émissions du transport routier en France de 1970 à 2020. Rapport, INRETS, LTE, à paraître.
- Ntziachristos L. & Z. Samaras (1999): Speed dependent representative emission factors of catalyst passenger cars and influencing parameters. Proc. 8th Intern. Symp. *Transport and Air Pollution*, Graz, Austria, May 31st -June 2nd, p. 159-168.
- Samaras Z. & L. Ntziachristos (1998): Average hot emission factors for passenger cars and light duty trucks. LAT report, n°9811, Thessaloniki, Greece, 112 p.