

Association
mondiale
de la Route

TUNNELS ROUTIERS : ÉMISSIONS DES VÉHICULES ET BESOINS EN AIR POUR LA VENTILATION

World Road
Association

ROAD TUNNELS: VEHICLE EMISSIONS AND AIR DEMAND FOR VENTILATION

Novembre / *November*
2004

Comité technique AIPCR de l'Exploitation des tunnels routiers (C5)
PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation (C5)

SOMMAIRE

PRÉFACE	4
I. INTRODUCTION	6
II. BESOINS EN AIR FRAIS	8
II.1. DONNÉES DE TRAFIC ET DONNÉES RELATIVES AU TUNNEL.....	8
II.2. CONCENTRATIONS ADMISSIBLES.....	12
II.2.1. <i>Monoxyde de carbone CO</i>	12
II.2.2. <i>Visibilité</i>	14
II.2.3. <i>Valeurs limites pour le dimensionnement de la ventilation</i>	14
II.2.4. <i>Concentrations dans l'air ambiant</i>	16
II.2.5. <i>Incendie ou dégagement chimique</i>	16
II.2.6. <i>Renouvellement minimal d'air</i>	16
II.3. EMISSIONS.....	18
II.3.1. <i>Remarques générales</i>	18
II.3.2. <i>Normes d'émission</i>	20
II.3.3. <i>Composition du parc de véhicules</i>	22
II.3.4. <i>Voitures particulières</i>	22
II.3.5. <i>Poids lourds et bus avec moteurs diesel</i>	26
III. FACTEURS D'ÉMISSION DES PARTICULES POUR LA CONCEPTION DE LA VENTILATION DES TUNNELS	30
III.1. EMISSIONS DES PARTICULES EN MASSE	30
III.1.1. <i>Emissions provenant des échappements</i>	30
III.1.2. <i>Emissions ne provenant pas des échappements</i>	30
III.1.3. <i>Coefficients d'émission pour l'usure des pneus</i>	32
III.1.4. <i>Coefficients d'émission pour l'usure des freins</i>	32
III.1.5. <i>Abrasion de la route et poussière remise en suspension</i>	32
III.1.6. <i>Coefficients d'émission pour les particules ne provenant pas des échappements</i>	34
III.2. VISIBILITÉ ET EXTINCTION DE LA LUMIÈRE	34
III.2.1. <i>Généralités</i>	34
III.3. MÉTHODOLOGIE DE CALCUL.....	38
IV. BIBLIOGRAPHIE	42
ANNEXE 1	43
LISTE DES SYMBOLS	43
ANNEXE 2	44
TABLEAUX DES COEFFICIENTS D'ÉMISSION.....	44
<i>Monoxyde de carbone</i>	45
<i>Oxydes d'azote</i>	52
<i>Opacité (Particules provenant des échappements)</i>	59
<i>Opacité due aux particules ne provenant pas des échappements</i>	61
<i>Coefficient d'altitude</i>	62
<i>Monoxyde de carbone</i>	63
<i>Oxydes d'azote</i>	66
<i>Opacité (Particules provenant des échappements)</i>	69
<i>Opacité due aux particules ne provenant pas des échappements</i>	72
<i>Coefficient d'altitude</i>	72

CONTENTS

PREFACE	5
I. INTRODUCTION	7
II. FRESH AIR REQUIREMENT	9
II.1. TRAFFIC AND TUNNEL DATA	9
II.2. ADMISSIBLE CONCENTRATIONS	13
II.2.1. <i>Carbon monoxide CO</i>	13
II.2.2. <i>Visibility</i>	15
II.2.3. <i>Limit values for ventilation sizing</i>	15
II.2.4. <i>Ambient air concentrations (C_{amb})</i>	17
II.2.5. <i>Fire or chemical release</i>	17
II.2.6. <i>Minimum air exchange</i>	17
II.3. EMISSIONS	19
II.3.1. <i>General remarks</i>	19
II.3.2. <i>Emission standards</i>	21
II.3.3. <i>Fleet segmentation</i>	23
II.3.4. <i>Passenger cars</i>	23
II.3.5. <i>Trucks and buses with diesel engines</i>	27
III. ARTICULATE MATTER (PM) EMISSION FACTORS FOR DESIGN OF TUNNEL VENTILATION	31
III.1. PM MASS EMISSION	31
III.1.1. <i>Exhaust emissions</i>	31
III.1.2. <i>Non exhaust emissions</i>	31
III.1.3. <i>Emission factors for tyre wear</i>	33
III.1.4. <i>Emission factors for brake wear</i>	33
III.1.5. <i>Road abrasion and resuspended dust</i>	33
III.1.6. <i>Emission factors for non-exhaust PM</i>	35
III.2. VISIBILITY AND LIGHT EXTINCTION	35
III.2.1. <i>General</i>	35
III.3. CALCULATION METHODOLOGY	39
IV. REFERENCES	42
APPENDIX 1	43
LIST OF SYMBOLS	43
APPENDIX 2	44
TABLES OF EMISSION FACTORS	44
Carbon Monoxide	45
Nitrogen Oxides	52
Turbidity (Exhaust Particles)	59
Turbidity due to Non Exhaust PM	61
Altitude Factor	62
Carbon Monoxide	63
Nitrogen Oxide	66
Turbidity (Exhaust PM)	69
Turbidity due to Non Exhaust PM	72
Altitude Factor	72

PRÉFACE

L'AIPCR a publié en 1990 et 1995 la méthodologie de calcul et les facteurs d'émission pour le dimensionnement de la ventilation des tunnels routiers. Une mise à jour de la méthodologie AIPCR existante était nécessaire, puisque les normes d'émission des véhicules deviennent plus contraignantes et les véhicules plus propres. L'ancienne version décrivait la situation des émissions jusqu'en 1995.

Le monoxyde de carbone (CO) n'est plus le facteur dominant dans la conception de la ventilation dans de nombreux pays, puisque les émissions de CO par véhicule ont sensiblement diminué ; de plus les véhicules diesel sont entrés sur le marché des voitures et sont devenus dans certains pays aussi importants que les voitures à essence. Comme les poids lourds sont en général des véhicules diesel, l'élément visibilité est devenu dans de nombreux pays le facteur dominant dans la conception de la ventilation pour l'exploitation normale.

Comme les quantités émises par véhicule ont diminué pour presque tous les polluants, les émissions de particules ne provenant pas des échappements mais dues à l'usure des pneus et des garnitures de freins ainsi qu'à l'abrasion de la route et à la remise en suspension de la poussière sont devenues un facteur important. Certains pays ont également introduit le dioxyde d'azote comme traceur de la pollution pour le contrôle de l'air en tunnel. Pour tenir compte de cette situation des tableaux d'émission pour le CO et l'opacité, les émissions NOx, et les émissions de particules ne provenant pas des échappements ont été introduites dans le nouveau schéma de calcul AIPCR.

Ce document a été produit par le groupe de travail n° 2 du comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers dans le cadre de ses réunions des années 2001 à 2003.

Darpas Yves (F), animateur
Sturm Peter (A), auteur principal
Zumsteg Franz (CH), co-auteur
Gray William (UK), révision

Les membres de ce Groupe de Travail sont :

Alarcon Alvares Enrique (E)	Henning Jan Eirik (N)
Arditi Roberto (I)	Humphrey Garry (AUS)
Barbetta Carlo (I)	Iwai Katsuhiko (JAP)
Biollay M.H. (F)	Jeanneret Alain (CH)
Carrasco Arias Vicente (E)	Jacques Eddy (B)
Del Rey Ignacio (E)	Kyle Gary W. (USA)
Dix Arnold (AUS)	Lopez Guarga Rafael (E)
Ferro Vincenzo (I)	Moret Claude (F)
Gray William G. (UK)	Tetzner Dieter (D)
Guia Salvatore (I)	Zaparka Jiri (CZ)
Huijben Hans (NL)	

Les auteurs souhaitent remercier pour leurs contributions M. Pierre Carlotti du Centre d'Etude des Tunnels, France, M. Toshinori Mizutani, Japon, et M. Thomas Sandman de la Swedish National Road Administration. Un remerciement spécial à M. Willy De Lathauwer (Belgique) pour la traduction en français de la version anglaise.

PREFACE

In 1990 and 1995 PIARC published the calculation methodology and the emission factors for road tunnel ventilation design. An update of the existing PIARC methodology was necessary, as the emission standards of the vehicles were becoming more stringent and hence the vehicles cleaner. The old version described the emission situation up to the year 1995.

Carbon monoxide (CO) is no longer the dominating factor in ventilation design in many countries, as the CO emissions per vehicle have reduced significantly. In addition diesel-powered vehicles have penetrated the passenger car fleet and become in some countries almost as important as gasoline-fuelled cars. As heavy duty vehicles are mostly powered by diesel engines, the visibility issue has become in many cases the driving force in ventilation design for normal operation.

As the emission quantities per vehicle have decreased for almost all pollutants, the issue of the non-exhaust particulate matter emissions due to tyre and brake wear as well as road abrasion and re-suspended dust have become important factors. Some countries have also introduced nitrogen dioxide as the target pollutant for in-tunnel air monitoring. To reflect this situation updated emission tables for CO and turbidity, NOx emissions, and non-exhaust particles emissions have been introduced in the new PIARC calculation scheme.

This document has been produced by working group 2 of the PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operations in the framework of their meetings in the years 2001 to 2003.

Darpas Yves (F) Animateur
Sturm Peter (A) lead author
Zumsteg Franz (CH) co-author
Gray William (UK) reviewing

Members of this working group are:

Alarcon Alvares Enrique (E)
Arditi Roberto (I)
Barbetta Carlo (I)
Biollay Hervé. (F)
Carrasco Arrias Vicente (E)
Del Rey Ignacio (E)
Dix Arnold (AUS)
Ferro Vincenzo (I)
Gray William G. (UK)
Guia Salvatore (I)
Huijben Hans (NL)

Henning Jan Eirik (N)
Humphrey Garry (AUS)
Iwai Katsuhiko (JAP)
Jeanneret Alain (CH)
Jacques Eddy (B)
Kyle Gary W. (USA)
Lopez Guarga Rafael (E)
Moret Claude (F)
Tetzner Dieter (D)
Zaparka Jiri (CZ)

The authors wish to thank Mr. Pierre Carlotti of the Centre d'Etude des Tunnels, France, Mr. Toshinori Mizutani, Japan, and Mr. Thomas Sandman of the Swedish National Road Administration, for their contributions. A special thank to Mr. Willy De Lathauwer (Belgium) for translating the English version into French.

I. INTRODUCTION

Le choix et la conception d'un système de ventilation dépendent des facteurs principaux suivants :

- longueur du tunnel, nombre de tubes, urbain ou en rase campagne ;
- nombre de véhicules circulant dans le tunnel et composition du parc de véhicules ;
- besoin en air frais en situation de circulation normale et exceptionnelle ;
- pollution admissible de l'air autour des têtes ;
- considérations en matière de sécurité incendie.

Par suite d'une sévérité continuellement accrue des lois visant les émissions des véhicules et des modifications dans l'appréciation des risques d'un incendie en tunnel, certaines données de conception nécessitent une mise à jour constante. La présente publication donne de nouvelles informations pour la conception et certaines références pour le dimensionnement d'un système de ventilation longitudinale et semi-transversale.

I. INTRODUCTION

The choice and design of a ventilation system depends on the following main factors:

- tunnel length, number of bores, urban or rural;
- number of vehicles passing the tunnel and vehicle fleet segmentation;
- fresh air requirement under normal and special traffic situations;
- admissible air pollution around tunnel portals;
- fire safety considerations.

Due to a steady tightening of emission laws for vehicles and changes in the risk assessment of a tunnel fire, some design data need constant updating. In this publication new design information and some references are given for sizing longitudinal and transverse ventilation systems.

II. BESOINS EN AIR FRAIS

La quantité d'air frais, \dot{V} , requise pour une situation de trafic donnée dans un tunnel dépend du nombre de véhicules dans le tunnel, n_{veh} , de l'émission moyenne par véhicule, de la concentration admissible pour cette émission particulière et de la concentration dans l'air ambiant :

$$\dot{V} = n_{veh} \cdot Q \cdot \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}}$$

$$n_{veh} = \frac{M \cdot L}{v} \text{ pour } v > 0 \text{ km/h}$$

$$n_{veh} = D \cdot L \text{ pour } v = 0 \text{ km/h (voir Tableau II.1-2 pour une densité de trafic } D)$$

La liste des symboles utilisés est donnée dans l'annexe 1.

Pour l'opacité due à la fumée diesel, $C_{adm} - C_{amb}$ est remplacé par K_{adm} .

II.1. Données de trafic et données relatives au tunnel

Pour un projet important de tunnel, chaque situation possible de trafic doit être définie à l'avance. Les points principaux à prendre en considération sont:

Densité de trafic : chaque voie de circulation est-elle utilisée à sa capacité, ou peut-on supposer un volume de circulation réduit par suite d'un trafic total faible ou d'un contrôle du trafic, spécialement en cas de congestion? Y a-t-il une congestion quotidienne, ou est-ce exceptionnel?

Tunnel utilisé d'une manière uni- ou bi-directionnelle: Dans certains cas, un tunnel uni-directionnel peut être occasionnellement utilisé en circulation bi-directionnelle ; il faut dans ce cas déterminer le nombre de voies de circulation.

Parc de véhicules: pour le calcul des émissions il est nécessaire de scinder le parc de véhicules : voitures particulières (VP) et poids lourds (PL). Le nombre de poids lourds est très souvent donné en pourcentage du volume total. Il convient de noter que le parc de poids lourds peut varier dans une large mesure en distribution d'âge en fonction du type de trafic. Sur les axes internationaux, des véhicules modernes sont utilisés, alors que le trafic de distribution (zones urbaines) est organisé avec des poids lourds plus anciens.

Vitesse du trafic: la vitesse du trafic en tunnel est en général limitée par une réglementation. En cas de déclivité, les poids lourds en pleine charge ont une vitesse réduite. Des valeurs types sont indiquées au tableau II. 1-1. Les valeurs plus élevées représentent la vitesse des poids lourds plus récents (par exemple Euro 2 et plus récents), les valeurs plus faibles celle des poids lourds plus anciens.

II. FRESH AIR REQUIREMENT

The required amount of fresh air, \dot{V} , for a given traffic situation in the tunnel depends on the number of vehicles in the tunnel, n_{veh} , the average emission per vehicle and the admissible concentration for this particular emission and the ambient air concentration:

$$\dot{V} = n_{veh} \cdot Q \cdot \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}}$$

$$n_{veh} = \frac{M \cdot L}{v} \text{ for } v > 0 \text{ km/h}$$

$$n_{veh} = D \cdot L \text{ for } v = 0 \text{ km/h (see table II.1-2 for traffic density } D)$$

See list of symbols in Appendix 1.

For the turbidity due to diesel smoke and non-exhaust PM, $C_{adm} - C_{amb}$ is replaced by K_{adm} .

II.1. Traffic and tunnel data

With an important tunnel project, each possible traffic situation must be defined by the traffic planner. The main points to be considered are:

Traffic density: Is each traffic lane used to its capacity or may a reduced flow be assumed due to a low traffic density or to traffic control, especially under congested conditions? Does congested traffic occur daily or is it a rare event?

Uni- or bi-directionally operated tunnel: In some cases, a uni-directional tunnel is occasionally also operated bi-directionally. The number of lanes in this case must be determined.

Vehicle fleet: For the emission calculation it is necessary to split the vehicle fleet into the segments passenger cars (PC) and heavy goods vehicles (HGV). Very often the number of HGV is given as a percentage of the total traffic volume. It has to be noted that the heavy duty fleet may vary in its age distribution depending on the type of traffic. On international routes (long haul traffic) modern vehicles are operated, while distribution traffic (urban areas) is managed with older vehicles.

Traffic speed: Usually the traffic speed in the tunnel is restricted by law. On a gradient trucks have a reduced speed. The range is indicated in Table II.1-1 The higher values represent the speed of newer trucks (eg. Euro 2 and newer) the lower values represent those of older trucks.

Tableau II.1-1: Vitesse pour les poids lourds en fonction de la pente de la route

	descente				montée		
i [%]	-6	-4	-2	0	2	4	6
V [km/h]	35-60	40-80	70-100	80-100	70-90	40-70	35-60

Trafic de pointe : le trafic maximum par voie de circulation peut être atteint à des vitesses d'environ 60 km/h, selon qu'il s'agit d'un tunnel de rase campagne ou urbain. Des valeurs de pointe moyennes sont indiquées au tableau II.1-2 ; dans un tunnel urbain fortement circulé, les valeurs de pointe en trafic fluide peuvent être supérieures de 10 à 20% [1]. Comme règle de base, la valeur de pointe du trafic fluide d'une journée se situe aux environs de 10% du volume moyen journalier. En cas de faible trafic journalier, la capacité de la voie ne sera pas atteinte. Dans certains cas les valeurs indiquées au tableau II.1-2 peuvent être dépassées.

Tableau II.1-2: Densité moyenne du trafic de pointe

		Densité moyenne du trafic de pointe (uvp/km) Débit du trafic (uvp/h) par voie			
		TUNNEL EN RASE CAMPAGNE			
		Trafic uni-directionnel		Trafic bi-directionnel	
	V [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Trafic fluide	60	30	1800	23	1400
Congestion	10	70	700	60	600
Arrêt	0	150	0	150	0
		TUNNEL URBAIN			
	V [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Trafic fluide	60	33	2000	25	1500
Congestion	10	100	1000	85	850
Arrêt	0	165	-	165	-

Trafic congestionné et arrêté : dans le calcul de la ventilation pour un trafic congestionné, ce sont normalement les vitesses autour de 10 km/h et les arrêts qui sont décisifs. Le tableau II.1-2 indique les densités moyennes de pointe par voie de circulation pour des tunnels en rase campagne et urbains, utilisés d'une manière uni- ou bi-directionnelle. Dans un tunnel urbain très fortement circulé, ces valeurs peuvent être de 10 à 20% supérieures [1]. Pour éviter un surdimensionnement de la ventilation dans un long tunnel, il est conseillé d'éviter la congestion ou l'arrêt dans l'ensemble du tunnel par un système de contrôle du trafic.

Unités de voitures particulières (uvp): pour convertir les uvp en nombres de véhicules (voitures, poids lourds, bus), un poids lourd ou un bus peut être considéré comme occupant l'espace de 2 voitures en trafic fluide, et jusqu'à 3 voitures en trafic lent et sur les rampes. Avec un pourcentage de bus/poids lourds donné "a", le nombre de voitures est de

$$D_{u\text{vp}} \text{ (uvp / km)} = D_{\text{veh}} \text{ (veh / km)} \cdot \left[\left(1 - \frac{a}{100} \right) + \frac{a}{100} \text{ (2 ou 3)} \right]$$

Table II.1-1 - Speed for trucks as a function of road gradient

	downhill				uphill		
i [%]	-6	-4	-2	0	2	4	6
v [km/h]	35-60	40-80	70-100	80-100	70-90	40-70	35-60

Peak traffic flow: The maximum traffic flow per lane is possible at velocities around 60 km/h, depending whether it is a rural or an urban tunnel-traffic. Average peak values are given in table II.1-2. In a heavily used urban tunnel peak values in fluid traffic may be 10 to 20% higher [1]. The hourly free flowing peak traffic of a day is generally about 10% of the daily average traffic volume. With little daily traffic the capacity of the lane will not be used. Under certain circumstances the numbers given in table II.1-2 can be exceeded.

Table II.1-2 - Average peak traffic density

		Average peak traffic density (pcu/km) traffic flow (pcu/h) per lane			
		RURAL TUNNEL			
		uni-directional traffic		bi-directional traffic	
	v [km/h]	pcu/km	pcu/h	pcu/km	pcu/h
fluid traffic	60	30	1800	23	1400
	10	70	700 - 850	60	600
	0	150	-	150	-
		URBAN TUNNEL			
		uni-directional traffic		bi-directional traffic	
	V [km/h]	pcu/km	pcu/h	pcu/km	pcu/h
fluid traffic	60	33	2000	25	1500
	10	100	1000	85	850
	0	165	-	165	-

Congested traffic and standstill: In ventilation calculations for congested traffic vehicle speeds from 10km/h and standstill normally define the design case. Table II.1-2 gives average peak traffic densities per lane for rural and urban tunnels, operated uni- or bidirectionally. In a heavily used urban tunnel these values may be 10 to 20% higher [1]. To avoid oversizing the ventilation equipment in a long tunnel, it is advisable to prevent congestion or standstill over the full tunnel length by a traffic control system.

Passenger car units (pcu): For converting pcu into number of vehicles (passenger cars, trucks, buses) a truck/bus may be assumed to occupy the space of 2 passenger cars in free flowing traffic and up to 3 passenger cars in slow moving traffic and at upgrades. With a given bus/ truck percentage “a”, the number of cars is

$$D_{pcu} [pcu / km] = D_{veh} [veh / km] \cdot \left[\left(1 - \frac{a}{100} \right) + \frac{a}{100} (2 \text{ or } 3) \right]$$

Poids lourds, bus: pour calculer les émissions, il faut connaître le nombre de poids lourds et de bus, et en particulier ceux avec moteur diesel. Ces données sont souvent fournies sous forme d'un pourcentage moyen du trafic total, mais cette valeur est normalement trop élevée lorsque appliquée au trafic de pointe. Il faut également connaître la masse réelle des poids lourds. Dans le contexte du présent rapport, les bus et les camions sont considérés comme poids lourds (PL). Ces poids lourds peuvent être des camions solo, des combinaisons tracteur-remorque, des poids lourds articulés/semi-remorques ou des bus.

Voitures particulières: les voitures particulières (VP) peuvent être à motorisation essence ou diesel. On peut noter que les petits véhicules commerciaux jusqu'à 3,5 t sont considérés comme des voitures particulières.

Lois d'émission (normes d'émission): les réglementations en matière d'émission du pays doivent être comparées aux coefficients d'émission donnés dans la section II.3.

Année de conception: l'année pour laquelle la ventilation d'un tunnel est conçue est souvent l'année d'ouverture, mais elle peut aussi être jusqu'à 10 ans plus tard, si un accroissement du trafic est attendu. La composition du trafic et son émission moyenne doivent être estimées pour l'année de conception. La conception doit être basée sur le maximum d'air frais nécessaire.

II.2. Concentrations admissibles

Pour la prise en considération de la toxicité des émissions de gaz, le monoxyde de carbone CO est par tradition pris comme le gaz de référence. La concentration de fumées diesel est la référence pour la visibilité et l'odeur dans un tunnel.

Dans un petit nombre de pays le dioxyde d'azote NO₂ est actuellement pris en considération, et des valeurs limites définies par des recommandations nationales et/ou OMS pour l'environnement [2] sont à prendre en considération. En fonction de la situation, soit le NO₂ (ou le NO_x) dans le tunnel ou le NO₂ à l'extérieur peuvent être le paramètre de conception pour le dimensionnement de la ventilation.

II.2.1. Monoxyde de carbone CO

Le tableau II.2-1 indique les valeurs de CO prises en compte pour le dimensionnement en fonction du trafic maximal et des conditions d'exploitation du tunnel. La valeur de 100 ppm correspond à la recommandation OMS pour des expositions de courte durée [2]. Afin d'éviter des demandes excessives d'air frais pour un trafic congestionné qui ne se produit que rarement, une concentration en CO plus élevée peut dans ce cas être admise. Les valeurs limites pour le dimensionnement doivent être calculées comme des moyennes pour la section de ventilation, alors que la valeur seuil pour la fermeture du tunnel est la valeur maximale au point de mesure.

Trucks, buses: For the emission calculation the number of trucks and buses, specially those powered by diesel engines, must be known. Often this data is given as an average percentage of the total traffic flow, but this value is normally too high when applied to the peak traffic flow. The actual average mass of the trucks must also be known. In the context of this report trucks and buses are referred to as heavy goods vehicles (HGV). HGV could be solo trucks, truck – trailer combinations, articulated trucks/semi-trailers or buses.

Passenger cars: Passenger cars (PC) can be powered by gasoline or diesel engines. It has to be noted that light duty commercial vehicles (LDCV) up to 3.5 t are dealt with as passenger cars.

Emission-laws (emission standards): The vehicle emission regulations of the country must be matched to the emission factors, given in section II.3.

Design-year: The design-year of a tunnel ventilation system is often the opening year, but it may be up to 10 or more years later, when traffic development is expected. The traffic composition and its average emission must be estimated for the design year. The design has to be based on the maximum airflow needed.

II.2. Admissible concentrations

Carbon monoxide CO is traditionally taken as reference emission for the assessment of the toxicity of the exhaust gases. The concentration of diesel-smoke is the reference for visibility and odour in the tunnel.

In a few countries nitrogen dioxide NO₂ is now taken into account and threshold values following national and/or WHO-recommendations for the Environment [2] are to be considered. Depending on the situation either NO₂ (or NO_x) inside the tunnel or NO₂ outside can be the design parameter for ventilation sizing.

II.2.1. Carbon monoxide CO

Table II.2-1 gives CO design-values, taken in conjunction with maximum traffic density and tunnel operations. The 100 ppm value corresponds to the WHO recommendation for short term-exposures [2]. In order to avoid excessive fresh air demands for rarely occurring congestion, a higher CO-concentration can be allowed. The limiting values are to be calculated as an average over the ventilation section, while the threshold value for tunnel closure is the maximum allowable value at the measurement location.

II.2.2. Visibilité

Un faisceau lumineux passant au travers d'une masse d'air contenant de la fumée perd progressivement de son intensité. Ce processus peut être décrit par la formule

$$E = E_0 \cdot e^{-KL} \quad (1)$$

Dans le domaine de la ventilation des tunnels, il est devenu habituel d'exprimer la visibilité par le coefficient d'extinction K. L'extinction elle-même est définie comme la perte d'intensité E - E₀ après avoir parcouru la distance L dans l'air du tunnel, par rapport à l'intensité de la source E₀. Conformément à (1) le coefficient d'extinction est exprimé comme:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{E}{E_0}$$

Une autre définition de la visibilité est la transmission s, rapport de l'intensité E du faisceau après avoir parcouru la distance L à l'intensité de la source E₀. Elle est définie sur la base de (1):

$$s (\%) = 100 \cdot e^{-KL}$$

Le tableau II.2-1 indique les coefficients d'extinction admissibles pour diverses situations de trafic :

- K = 0,003 m⁻¹ air du tunnel clair (visibilité de plusieurs centaines de m),
- K = 0,007 m⁻¹ atmosphère légèrement brumeuse du tunnel
- K = 0,009 m⁻¹ impression de brouillard
- K = 0,012 m⁻¹ valeur limite signifiant une atmosphère de tunnel très inconfortable, mais la visibilité est normalement suffisante pour qu'un véhicule puisse s'arrêter à temps devant un obstacle.

De fortes fluctuations de la valeur de K ne peuvent être évitées. Des valeurs de pointe gênantes peuvent se produire lorsque plusieurs poids lourds diesel roulent ensemble, ou lorsque certains véhicules particulièrement polluants se trouvent dans le tunnel, ou lorsque le contrôle de la ventilation réagit trop lentement aux pointes d'émission.

II.2.3. Valeurs limites pour le dimensionnement de la ventilation

Tableau II.2-1 Valeurs limites pour le dimensionnement de la ventilation

Situation de trafic	Concentration en CO		Visibilité	
	Année de conception		Coefficient d'extinction K	Transmission s (longueur de faisceau: 100 m)
	1995	2010		
	ppm	ppm	10 ⁻³ · m ⁻¹	%
Trafic de pointe fluide 50 - 100 km/h	100	70	5	60
Trafic quotidiennement congestionné, arrêt sur toutes les voies	100	70	7	50
Trafic exceptionnellement congestionné, arrêt sur toutes les voies	150	100	9	40
Travaux d'entretien planifiés dans un tunnel en service	30	20	3	75
Fermeture du tunnel*	250	200	12	30

* les valeurs données ici le sont uniquement pour l'exploitation du tunnel, et non pour la conception de la ventilation

II.2.2. Visibility

A light beam decays in intensity as it passes through smoky air. This process can be described by the formula

$$E = E_0 \cdot e^{-KL} \quad (1)$$

In tunnel ventilation, it has become customary to express visibility by the extinction coefficient K. The extinction itself is defined as the loss of intensity E - E₀ after travelling the distance L through the tunnel air relative to the source strength E₀. According to (1) the extinction coefficient is expressed as:

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln \frac{E}{E_0}$$

Another definition of visibility is the transmission s, the beam intensity E after travelling the distance L relative to the source strength E₀. It is defined on the basis of (1):

$$s (\%) = 100 \cdot e^{-KL}$$

Table II.2-1 states admissible extinction coefficients for different traffic situations:

- K = 0.003 m⁻¹ means clear tunnel air (visibility for several hundred meters),
- K = 0.007 m⁻¹ describes a haziness of the tunnel air and
- K = 0.009 m⁻¹ describes a foggy atmosphere.
- K = 0.012 m⁻¹, limiting value which corresponds to a most uncomfortable tunnel atmosphere, however, there is normally enough visibility for a vehicle to stop safely at an obstacle.

Strong fluctuations in the K-value cannot be avoided. Annoying peak values can occur when several diesel-trucks move as a group, when some unusually smoky vehicles are in the tunnel, or when the ventilation control reacts too slowly to emission peaks.

II.2.3. Limit values for ventilation sizing

Table II.2-1 - Limit values for ventilation sizing

Traffic situation	CO-concentration		Visibility	
	Design year		Extinction coefficient K	Transmission s (beam length: 100 m)
	1995	2010		
	ppm	ppm	10 ⁻³ · m ⁻¹	%
Fluid peak traffic 50 - 100 km/h	100	70	5	60
Daily congested traffic, standstill on all lanes	100	70	7	50
Exceptional congested traffic, standstill on all lanes	150	100	9	40
Planned maintenance work in a tunnel under traffic	30	20	3	75
Closing of the tunnel*	250	200	12	30

* The values given here are for tunnel operation only, and not for ventilation design

La France impose 50 ppm de CO et un coefficient d'extinction de 5.10^{-3} m^{-1} comme valeurs limites pour un trafic de pointe fluide et quotidiennement congestionné.

Comme mentionné ci-dessus, certains pays utilisent des valeurs limites pour le NO_x et/ou le NO₂ pour la qualité de l'air dans le tunnel, essentiellement pour répondre à des critères d'environnement pour l'air ambiant autour des têtes/cheminées. Le rapport de l'AIPCR 1999 propose 1ppm NO₂ [4], la France propose 0,4 ppm comme concentration limite à l'intérieur du tunnel (moyenne sur 15 minutes), la Belgique 1000 µg/m³ (0,5 ppm) de NO₂ comme moyenne à court terme (< 20 minutes) et 400 µg/m³ (0,2 ppm) comme moyenne à long terme (> 60 minutes).

La demande en air frais pour la dilution de la fumée diesel est en général nettement plus importante que pour la dilution du CO, mais dans les pays où les limites en NO₂ seront adoptées, la demande en air frais pour la dilution du NO₂ peut être encore supérieure à celle requise pour la dilution de la fumée diesel.

II.2.4. Concentrations dans l'air ambiant

L'air extérieur, considéré comme air frais pour le tunnel, comporte un niveau de départ de CO, de NO₂ et de suie. Ces niveaux ambiants sont normalement assez bas, mais ils sont à vérifier pour un tunnel urbain (CO par exemple de 1 à 5 ppm).

La situation est différente lorsque de l'air vicié recirculé d'une sortie de tunnel voisine devient une partie de l'"air frais". Des dispositifs simples peuvent minimiser ou même éviter la recirculation de l'air du tunnel.

II.2.5. Incendie ou dégagement chimique

Les besoins pour le contrôle de la fumée ou pour la dilution de dégagements chimiques peuvent avoir pour conséquence l'obligation pour le système de ventilation de mettre en oeuvre de plus grands volumes d'air que demandé pour la dilution des gaz d'échappement. Cet aspect doit également être pris en considération. Les besoins du système de ventilation pour le contrôle des fumées sont définies dans les rapports AIPCR sur la maîtrise des incendies et des fumées [16], [17].

II.2.6. Renouvellement minimal d'air

Dans le but de disposer d'une installation de ventilation qui ait suffisamment de capacité de réaction pour un besoin soudain d'air frais, il est recommandé dans certains pays, en tant que critère de conception, d'installer une capacité d'air frais qui permette de renouveler l'air dans l'ensemble du volume du tunnel (espace de trafic) au moins 3 fois par heure, ou une vitesse longitudinale minimale de l'air de 1,5 m/s.

France imposes 50 ppm CO and an extinction coefficient of $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ as limit values for fluid peak flow and daily congested traffic.

As described above, some countries use threshold values for NO_x and/or NO_2 for in-tunnel air quality, mainly to fulfil environmental criteria for the air quality outside the portals/stacks. PIARC 1999 proposes 1ppm NO_2 [4], France proposes 0.4 ppm as the limiting concentration inside a tunnel (average 15 min), Belgium 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.5 ppm) NO_2 as the short term average (<20 min), Belgium and Sweden 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.2 ppm) as 60 min average.

Usually the fresh air demand for diesel-smoke dilution is higher than for the CO-dilution, but in countries where the NO_2 limits will be adopted, the fresh air demand for NO_2 – dilution may be even higher than for diesel smoke dilution.

II.2.4. Ambient air concentrations (C_{amb})

The outside air, taken in as fresh air for the tunnel, has a background level of CO, NO_2 and soot (PM). These ambient levels are normally quite low, but they should be checked for a city tunnel (CO e.g. about 1 to 5 ppm).

The situation is modified further when air from the portal of one bore recirculates and enters the portal of the adjacent bore as “fresh air”. Simple structural design features can minimize or even avoid recirculation of tunnel air.

II.2.5. Fire or chemical release

Demands on smoke control or dilution of chemical releases may mean that the ventilation system has to move larger air volumes than those required for the dilution of exhaust gases. This aspect of design must also be considered. The requirements on the ventilation system for smoke control are defined in the PIARC reports on fire and smoke control [16], [17].

II.2.6. Minimum air exchange

In general the minimum air exchange rate is determined using the threshold values. In order to have a ventilation installation which has sufficient fresh air capacity for a sudden demand, it is recommended in some countries as a design criterion to size the fresh air capacity at least 3 times per hour, or a minimum longitudinal air velocity of 1.5 m/s in the tunnel.

II.3. Emissions

II.3.1. Remarques générales

Dans les sections suivantes, des tableaux sont présentés comportant les valeurs d'émission et les coefficients d'influence. Ces valeurs ont été obtenues à la suite d'efforts de recherche communs aux niveaux à la fois européen et national, en particulier en Autriche, en Allemagne, en Suisse et aux Pays-Bas. Des recherches ont également été faites dans d'autres pays. Les activités les plus récentes en matière d'émissions en Europe – les programmes de recherche de l'Union européenne ARTEMIS [5] et PARTICULATES [6] ainsi que les résultats de COST 346 (émissions et consommation de carburant de véhicules lourds) [7] ont été incorporés dans les bases de données de coefficients d'émission indiquées dans ce rapport. Les tableaux donnés ici représentent donc une nouvelle base de données unique.

En Europe, ainsi que dans de nombreux pays, une phase de transition et d'évolution est en cours actuellement, qui justifie une mise à jour des procédures de calcul indiquées dans les rapports AIPCR précédents [1], [4]. Les réglementations en matière d'émissions ont conduit à des normes d'émissions plus contraignantes tant pour les voitures particulières que pour les poids lourds. Mais comme de nombreuses recherches concernant les émissions réelles le montrent, il y a un large fossé entre les réductions d'émissions indiquées dans les normes d'émission et celles réalisées lors de la conduite réelle. C'est pour cette raison que des coefficients d'émission comme EURO2 et EURO3 poids lourds ne sont pas aussi bas que proposé dans les rapports antérieurs.

Mais il est trop tôt pour apprécier complètement les conséquences de cette évolution technique, car il faut également prendre en considération que des techniques sophistiquées de moteurs peuvent vieillir et se détériorer. Les modifications doivent être introduites prudemment, en gardant à l'esprit les divers calendriers pour faire respecter les lois d'émission, les différents niveaux d'inspection périodique des véhicules et la composition différente du parc automobile dans chaque pays.

Une nouvelle situation s'est présentée concernant la visibilité dans les tunnels. Comme les émissions de moteurs ont continuellement baissé, les particules ne provenant pas des échappements jouent actuellement un rôle de plus en plus important. Bien que cette partie des émissions ne soit pas très bien connue – en particulier l'effet sur l'extinction de la lumière en tunnel – elles doivent être prises en considération dans le calcul de la demande en air frais, sinon une sous-estimation des débits est probable, et des problèmes de visibilité pourraient se produire dans le tunnel.

Comparativement aux véhicules particuliers, seul un petit nombre de résultats d'essais est actuellement disponible pour les poids lourds. Ils ont été obtenus partir de poids lourds de différentes masses totales ; les résultats d'essais au banc moteur et d'essais dynamométriques sur les châssis ont montré que les émissions sont presque proportionnelles à la masse totale du véhicule. Un jeu de données est dès lors fourni pour un véhicule de 10 t et un coefficient de masse dépendant de la vitesse est indiqué pour les poids lourds et les bus.

Pour résumer, il convient d'être prudent si on adopte des valeurs d'émissions plus faibles, car certains coefficients sont difficiles à évaluer : influence des conditions réelles de circulation par rapport aux conditions standardisées de l'essai, niveau d'entretien, vieillissement des moteurs, etc.

II.3. Emissions

II.3.1. General remarks

Tables with emission values and influence factors are given in the following sections. The data have been obtained from joint research efforts on European level as well as on national level e.g. in Austria, Germany, Switzerland, the Netherlands. Additional investigations have also been undertaken in other countries. The most recent emission factor activities in Europe – the EU research framework programmes ARTEMIS [5] and PARTICULATES [6] as well as results from the COST 346 (emissions and fuel consumption for heavy duty vehicles) [7] have been incorporated in the emission factor data bases contained in this report. Thus information contained here represents a unique new data bank.

In Europe and also in many other countries, there is now a transition and evolution phase going on which justifies an updating of the calculation procedures given in the previous PIARC reports ([1], [4]). The emission regulations resulted in much more stringent emission standards for passenger cars (PC) as well as for heavy goods vehicles (HGV). But as many investigations concerning real world traffic emissions show, there is a big gap between emission reductions given in the emission standards and those achieved during real world driving. Therefore, the new emission factors for e.g. EURO2 and EURO3 HGV are much higher than proposed in the former reports.

But it is too early to appreciate fully the consequences of this technical evolution, as it must also be considered that sophisticated techniques of engine design and after treatment systems are subject to ageing and deterioration. Changes should be introduced cautiously bearing in mind the different time schedules for enforcing the emission laws, the different levels of the periodic vehicle inspections and the different composition of traffic in each country.

A new situation has arisen concerning visibility in tunnels. As the tail pipe emissions have decreased progressively, the non-exhaust particulate matter emissions are now playing a more important role. Although this aspect of emissions is not very well understood – especially the effect on light extinction in tunnels – it should be considered in the fresh air calculation, otherwise an underestimation of the required flow is likely, and visibility problems inside the tunnel may occur.

Compared to passenger cars, a much lower number of test results for heavy goods vehicles is available so far. Smoke emission data have been obtained from trucks with different total masses. The results gained from engine test bed and chassis dynamometer tests show that the emissions are almost proportional to the total mass of the vehicle. Consequently a data set for a 10 t vehicle and a speed dependent mass factor is given for heavy vehicles and buses.

In summary, one should be careful in adopting much lower new emission values as some factors are difficult to evaluate: influence of real driving conditions relative to the standardised test conditions, maintenance level, ageing of the vehicles and their engines etc.

Pour un pays sans lois strictes d'émission et sans contrôle périodique des véhicules, il est recommandé d'appliquer les coefficients d'émission indiqués dans le rapport du congrès de l'AIPCR de 1991.

Toutes les données d'émission dans les tableaux suivants s'appliquent aux voitures là où les réglementations d'émission CEE et EURO sont valables. Ces coefficients d'émission correspondent à une conduite habituelle en tunnel. Des valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

II.3.2. Normes d'émission

Comme les coefficients d'émission indiqués dans ce rapport correspondent à la réglementation CEE et EURO, l'utilisateur de ces tableaux doit ajuster la composition de la flotte de véhicules en fonction des années de référence et de la date où la norme d'émission spécifique a été mise en application dans le pays (tunnel) considéré.

La norme CEE a été mise en oeuvre en Europe, dans beaucoup de pays d'Asie (sauf le Japon et la Corée du Sud) et d'Afrique, y compris les pays arabes. Une autre réglementation existe en Amérique du Nord (utilisée aussi en Amérique centrale et du Sud et en Corée du Sud), au Japon et en Australie. L'Australie a récemment repris les réglementations de l'Union européenne pour les nouveaux véhicules. Une information sur les normes d'émission japonaises se trouve en [16]. Avant d'utiliser ces tableaux, l'applicabilité des normes d'émission à la situation locale devrait être examinée.

Tableau II.3-1: Normes d'émission pour les voitures particulières conformes aux réglementations UE, valeurs en [g/km]

Voitures		Essai	CO	HC	NOx	HC+NOx	Particule
CEE 15/04 essence**	1982	R15	16.5			5.1	
Euro 1 essence	1992	NEDC	2.72			0.97	
Euro 1 diesel	1992	NEDC	2.72			0.97	0.14
Euro 2 essence	1997	NEDC	2.0			0.5	
Euro 2 diesel	1997	NEDC	1			0.7	0.08 (IDI) - 0.10 (DI)
Euro 3 essence	2000	NEDC*	2.3	0.2	0.15		
Euro 3 diesel	2000	NEDC*	0.64		0.5	0.56	0.05
Euro 4 essence	2005	NEDC*	1.0	0.1	0.08		
Euro 4 diesel	2005	NEDC*	0.5		0.25	0.30	0.025

* cycle d'essai modifié; ** les valeurs dépendant de la masse sont données pour la classe de masse < 1020 kg

Tableau II.3-2: Normes d'émission pour les poids lourds conformes aux réglementations UE, valeurs en [g/kWh]

Poids lourds		Essai	CO	HC	NOx	Particule
CEE R49	1982	R49	14.0	3.5	18.0	
Pre-Euro*	1991	R49	12.3	2.6	15.8	
CEE R 49/02 (Euro 1)	1992	R49	4.9	1.23	9.0	0.4 (> 85kW) 0.68 (<85 kW)
Euro 2	1997	R49	4.0	1.1	7.0	0.15
Euro 3	2000	EST	2.1	0.66	5.0	0.10
Euro 4	2005	EST/ECT	1.5	0.46	3.5	0.02
Euro 5	2008	EST/ECT	1.5	0.46	2.0	0.02

*88/77/EWG

For a country without strict emission laws and periodic vehicle control it is recommended to apply the emission factors given in the Marrakech report 1991.

All emission data in the following tables apply to vehicles where the ECE and EURO-emission regulations apply. These emission factors correspond to the usual driving pattern in a tunnel. Values between the tabulated values can be obtained by linear interpolation.

II.3.2. Emission standards

As the emission factors given in this report should correspond to the ECE and EURO regulations, the user of these tables has to adjust the vehicle fleet composition according to the model year and the date when the specific emission standard was set in force in the country (tunnel) under consideration.

The ECE standard has been implemented in Europe, in many countries of Asia (except Japan and South-Korea), and Africa including the Arabic countries. A different regulation exists in North America (in use also in Central and South America as well as in South Korea), Japan and Australia. Australia has recently adopted the EU regulations for new vehicles. Information about Japanese Emission Standards can be found in [16]. Before using the tables, the application of the emission standards to the local situation should be checked.

Table II.3-1 - Emission standards for passenger cars according to EU regulations, values in [g/km]

Passenger cars		Test	CO	HC	NOx	HC+NOx	PM
ECE 15/04 gasoline**	1982	R15	16.5			5.1	
EURO 1 gasoline	1992	NEDC	2.72			0.97	
EURO 1 diesel	1992	NEDC	2.72			0.97	0.14
EURO 2 gasoline	1997	NEDC	2.0			0.5	
EURO 2 diesel	1997	NEDC	1			0.7	0.08 (IDI) 0.10 (DI)
EURO 3 gasoline	2000	NEDC*	2.3	0.2	0.15		
EURO 3 diesel	2000	NEDC*	0.64		0.5	0.56	0.05
EURO 4 gasoline	2005	NEDC*	1.0	0.1	0.08		
EURO 4 diesel	2005	NEDC*	0.5		0.25	0.30	0.025

* modified test cycle; ** mass dependent values given are for mass class < 1020 kg

Table II.3-2 - Emission standards for heavy vehicles according to EU regulations. values in [g/kWh]

HGV		Test	CO	HC	NOx	Particel
ECE R49	1982	R49	14.0	3.5	18.0	
pre EURO*	1991	R49	12.3	2.6	15.8	
ECE R 49/02 (EURO 1)	1992	R49	4.9	1.23	9.0	0.4 (> 85kW) 0.68 (<85 kW)
EURO 2	1997	R49	4.0	1.1	7.0	0.15
EURO 3	2000	EST	2.1	0.66	5.0	0.10
EURO 4	2005	EST/ECT	1.5	0.46	3.5	0.02
EURO 5	2008	EST/ECT	1.5	0.46	2.0	0.02

*88/77/EWG

II.3.3. Composition du parc de véhicules

Le calcul des émissions nécessite la connaissance de la composition du parc en fonction de la catégorie de véhicules (c'est à dire poids lourds, voitures, etc.) et leur répartition en ce qui concerne le respect des normes (c'est à dire les normes d'émission) pour chacune des catégories respectives. Ces données sont en général disponibles auprès du bureau national de statistiques (cf. section II.1).

II.3.4. Voitures particulières

Procédure de calcul:

$$Q = q_{ex}(v,i) \cdot fh \cdot fa + q_{ne}(v)$$

- où
- Q émission de CO, de NOx [g/h,veh] et de particules diesel [m²/h,veh]
 - q_{ex} (v,i) coefficient d'émission de base, dépendant de la vitesse moyenne et de la pente [mêmes dimensions que Q]
 - q_{ne} (v) coefficient d'émission pour les émissions de particules ne provenant pas de l'échappement
 - fh coefficient d'altitude [-]
 - fa coefficient de vieillissement pour les catalyseurs [-]

Le tableau II.3-3 donne une indication dans quels tableaux de l'annexe 2, ces émissions et les coefficients d'influence peuvent être trouvés.

Tableau II 3.3 Choix des tableaux de paramètres pour les voitures particulières

Type de moteur	Normes	q _{ex}			q _{ne}	fh	Fa
		COg/h, veh	NOx g/h, veh	Particules dans les échappements diesel m ² /h, veh	Particules ne provenant pas des échappements m ² /h, veh	Altitude	Vieillessement
Moteur à essence	CEE 15/00	II.3.5	II.3.19	-	II.3.38	II.3.39	-
	CEE 15/04	II.3.6	II.3.20	-	II.3.38	II.3.39	-
	Euro 1	II.3.7	II.3.21	-	II.3.38	II.3.39	II.3.8, I.3.22
	Euro 2	II.3.9	II.3.23	-	II.3.38	II.3.39	II.3.10, II.3.24
	Euro 3	II.3.11	II.3.25	-	II.3.38	II.3.39	II.3.12, II.3.26
	Euro 4	II.3.13	II.3.27	-	II.3.38	II.3.39	-
Moteur diesel	CEE 15/04	II.3.14	II.3.28	II.3.33	II.3.38	II.3.39	-
	Euro 1	II.3.15	II.3.29	II.3.34	II.3.38	II.3.39	-
	Euro 2	II.3.16	II.3.30	II.3.35	II.3.38	II.3.39	-
	Euro 3	II.3.17	II.3.31	II.3.36	II.3.38	II.3.39	-
	Euro 4	II.3.18	II.3.32	II.3.37	II.3.38	II.3.39	-
Numéro du tableau							

Coefficient d'émission de base q (v, i):

Les coefficients d'émission de base sont indiqués dans les tableaux comme fonction de la vitesse moyenne dans un tunnel et de la pente de la route.

Les émissions sont indiquées par heure; en divisant la valeur par la vitesse correspondante, on obtient l'émission par km.

Pour convertir l'émission indiquée en grammes g en émission volumétrique, les valeurs de l'émission doivent être divisées par le poids spécifique du gaz concerné. Les valeurs moyennes sont:

$$\rho_{CO} = 1200 \text{ g CO/m}^3 \quad \rho_{NO_2} = 2000 \text{ g NO}_2/\text{m}^3$$

II.3.3. Fleet segmentation

The emission calculation requires the knowledge of the fleet segmentation according to the vehicle category (i.e. HGV, PC-gasoline, PC-diesel, etc.) and the model year segmentation (i.e. emission standards) of each of the respective categories. This data is in general available at the national office of statistics (see section II.1).

II.3.4. Passenger cars

Calculation procedure:

$$Q = q_{ex}(v,i) \cdot fh \cdot fa + q_{ne}(v)$$

where Q emission for CO, NO_x [g/h,veh] and diesel particles [m²/h,veh]
 $q_{ex}(v, i)$ basic emission factor, depending on average speed and road gradient [dimensions as for Q]
 $q_{ne}(v)$ emission factor for non-exhaust particulate emissions
 fh altitude factor [-]
 fa ageing factor for catalysts [-]

Table II.3-3 gives a survey in which tables in Appendix 2 the emissions and influence factors can be found.

Table II.3-3 - Allocation of the parameter tables for passenger cars

Engine type	Emission standard	q_{ex}			q_{ne}	fh	fa	
		CO g/h/veh	NO _x g/h/veh	Diesel particulate m ² /h/ veh	Non exhaust particles m ² /h/veh	Altitude factor	CO	NO _x
Gasoline Engine	ECE 15/00	II.3.5	II.3.19	-	II.3.38	II.3.39	-	-
	ECE 15/04	II.3.6	II.3.20	-	II.3.38	II.3.39	-	-
	EURO 1	II.3.7	II.3.21	-	II.3.38	II.3.39	II.3.8, II.3.22	-
	EURO 2	II.3.9	II.3.23	-	II.3.38	II.3.39	II.3.10, II.3.24	-
	EURO 3	II.3.11	II.3.25	-	II.3.38	II.3.39	II.3.12, II.3.26	-
	EURO 4	II.3.13	II.3.27	-	II.3.38	II.3.39	-	-
Diesel Engine	ECE 15/04	II.3.14	II.3.28	II.3.33	II.3.38	II.3.39	-	-
	EURO 1	II.3.15	II.3.29	II.3.34	II.3.38	II.3.39	-	-
	EURO 2	II.3.16	II.3.30	II.3.35	II.3.38	II.3.39	-	-
	EURO 3	II.3.17	II.3.31	II.3.36	II.3.38	II.3.39	-	-
	EURO 4	II.3.18	II.3.32	II.3.37	II.3.38	II.3.39	-	-

Table number

Basic emission factor $q(v, i)$:

The basic emission factors are given in the tables as a function of the average vehicle velocity in a tunnel, and of the road gradient. The values given for a vehicle speed of 0 km/h represent idling conditions.

The emissions are given per hour. By dividing the value with the corresponding vehicle velocity, the emission per km is obtained.

To convert the emission given in grams g into a volumetric emission, the emission values have to be divided by the specific weight of the particular gas. Average values are:

$$\rho_{CO} = 1200 \text{ g CO/m}^3, \quad \rho_{NO_2} = 2000 \text{ g NO}_2/\text{m}^3$$

L'émission de NO_x dans les gaz produits par le véhicule est en majeure partie constituée de NO, qui a un poids spécifique inférieur au NO₂. Lorsqu'on donne des valeurs d'émission de NO_x en poids, il est convenu d'exprimer le volume de NO_x en NO₂ pour avoir des valeurs d'émission de NO_x comparables.

Le facteur de conversion entre l'émission de particules en masse (grammes) et l'opacité est donné par $1 \text{ g} = 4,7 \text{ m}^2$. Ce facteur est basé sur le facteur de corrélation MIRA de $6,25 \text{ m}^2/\text{g}$ corrigé d'un facteur de réduction de 0,75 pour tenir compte de la réduction d'activité optique due à la forte dilution de la fumée diesel dans l'air du tunnel. Bien que des recherches récentes indiquent un facteur plus élevé pour les particules provenant des échappements, la partie ne provenant pas des échappements est présumée avoir un facteur de conversion plus faible. Comme l'air du tunnel contient toujours un mélange des deux, il est proposé de conserver ce facteur MIRA jusqu'à ce que des données plus récentes soient disponibles (cf. section III).

Les émissions sont indiquées pour les catégories de véhicules suivantes:

- voitures conventionnelles à essence correspondant à la réglementation CEE 15/00,
- voitures conventionnelles à essence correspondant à la réglementation CEE 15/04,
- voitures diesel correspondant à CEE 15/04,
- voitures respectant la réglementation EURO1,
- voitures respectant la réglementation EURO2,
- voitures respectant la réglementation EURO3,
- voitures respectant la réglementation EURO4.

Emission moyenne d'une population donnée de voitures

Le pourcentage de voitures dans chaque période de réglementation peut être établi en combinant les 3 influences suivantes, et donc une valeur moyenne d'émission pour tout le parc automobile peut être obtenue pour l'année de dimensionnement. (Cette procédure de calcul a été indiquée dans le rapport "Pollution et Ventilation" du Congrès de l'AIPCR de 1991) :

- le taux de renouvellement de la flotte de voitures doit être estimé. L'expérience montre que dans un pays industrialisé la catégorie des voitures de 0 à 5 ans d'âge représente pour chacune des 5 premières années 10 % du nombre total de voitures, alors que le nombre relatif de voitures entre 5 et 15 ans d'âge décroît linéairement de 10 % à 0 %. Dans des pays à fort accroissement du nombre de nouvelles voitures, la part de celles-ci peut être prépondérante ;
- le kilométrage annuel tend à être plus grand pour des véhicules plus neufs que pour des modèles plus anciens, en particulier pour les voitures particulières ;
- la date d'introduction d'une réglementation spécifique d'émission doit être connue par rapport à l'année prise en compte pour le dimensionnement.

Le tableau II.3-5 indique les émissions selon la réglementation CEE15/00. Les réglementations ultérieures CEE 15/01, 02 permettent environ 2/3 des émissions de CO de la CEE15/00. La réglementation CEE15/03 a environ les mêmes émissions de CO que CEE15/04, comme indiqué dans le tableau II.3-6. Les émissions de NO_x sont, selon la réglementation CEE 15/01, 02, 03, environ les mêmes que pour la CEE15/00, comme indiqué dans le tableau II.3-19. Le NO_x tel que défini par la CEE15/04 est donné dans le tableau II.3-20.

Nitrogen oxide emissions (NO_x) in the car exhaust consists predominantly of NO, which has a lower specific weight than NO₂. When giving NO_x-emission data by weight, it is the convention to express the NO_x volume as NO₂ in order to have comparable NO_x-emission values.

The conversion factor between particulate matter (PM) emission in mass (gram) to the turbidity effect is given by $1 \text{ g} = 4,7 \text{ m}^2$. This factor is based on the MIRA-correlation factor $6,25 \text{ m}^2/\text{g}$ and a reduction factor of 0,75 for the reduction in optical activity due to the strong dilution of the Diesel smoke in the tunnel air. Although recent investigations indicate a higher factor for exhaust PM the non-exhaust part is assumed to have a lower conversion factor. As the tunnel air always contains a mixture of exhaust and non-exhaust PM it is proposed to keep this MIRA factor until newer data is available (see section III).

The emissions are given for the following vehicle categories:

- gasoline conventional cars corresponding to the regulation ECE 15/00
- gasoline conventional cars corresponding to the regulation ECE 15/04
- passenger cars with diesel engines to corresponding to ECE 15/04
- cars following the EURO1 regulation
- cars following the EURO2 regulation
- cars following the EURO3 regulation
- cars following the EURO4 regulation

Average emission of a given car population

In combining the following 3 influences the percentage of cars in each regulation period can be established and thus an average emission value for the whole car park in the design year obtained. (This calculation procedure has been given in the "Pollution and Ventilation" report of the PIARC 1991 Congress.):

- the rate of renewal of the car fleet has to be assumed. Experience shows that in a industrialized nation the category of new to 5 year old cars represents in each of the first 5 years 10 % of the total car population, whereas the relative number of cars between 5 and 15 years decreases linearly from 10 % to 0 %. In countries with a large increase in new cars, the new car population may be more dominant;
- the annual mileage tends to be greater for newer vehicles than for older models, especially in the case of passenger cars;
- the date of the introduction of a particular emission regulation relative to the design year has to be known.

Table II.3-5 gives the emissions according to the ECE15/00 regulation. The later regulations ECE 15/01, 02 allow about 2/3 of the CO-emissions according to ECE15/00. Regulation ECE15/03 has about the same CO-emissions as ECE15/04 as given in table II.3-6. The NO_x-emissions according to ECE regulation 15/01, 02, 03 are about the same as for ECE15/00 as given in table II.3-19. NO_x according to ECE15/04 is given in table II.3-20.

Coefficient d'altitude fh:

Au niveau de la mer, le coefficient d'altitude est toujours de 1 pour chaque composant. L'influence de l'altitude sur les différentes composantes des gaz d'échappement varie avec le type de moteur. Bien que la base de données soit très pauvre, le coefficient d'altitude sera pris en compte de façon à être du côté de la sécurité dans le dimensionnement de la ventilation. Le coefficient doit être interprété comme un facteur multiplicatif des valeurs d'émission de base indiquées dans les tableaux ; un coefficient pour une altitude de 2000 m signifie donc que les valeurs d'émission de base des tableaux doivent être multipliées par le coefficient correspondant. On peut considérer que, jusqu'à une altitude de 700 m, il n'y a pas de modification du comportement d'émission pour des voitures à moteurs à essence avec un pot catalytique à 3 composants.

Influence du vieillissement fa:

Pour des voitures à essence avec pot catalytique, le vieillissement thermique du catalyseur a une influence. Cet effet est pris en compte en appliquant les coefficients de vieillissement appropriés. Il convient de considérer que les coefficients de vieillissement donnés doivent être appréciés en relation avec l'année de mise en oeuvre et les normes d'émission en vigueur à ce moment. Les paramètres d'influence du vieillissement indiqués dans les divers tableaux incluent déjà un profil moyen de vieillissement des véhicules dans une des classes d'émission. L'année de mise en oeuvre de la norme d'émission doit bien entendu être utilisée. Aucun effet de vieillissement n'est prévu pour les catalyseurs par oxydation des voitures diesel, puisqu'il n'existe à ce jour aucune donnée à ce sujet. De plus, aucune donnée n'est disponible pour des effets de vieillissement des filtres à particules pour les voitures particulières. Ceci concerne les normes EURO 4 et EURO 5.

II.3.5. Poids lourds et bus avec moteurs diesel

Procédure de calcul:

$$Q = q_{ex}(v,i) \cdot f_m \cdot f_h + q_{ne}(v)$$

- où
 Q émission pour le CO, NOx [g/h,veh.] et les particules diesel [m²/h,veh]
 q_{ex}(v,i) coefficient d'émission de base, dépendant de la vitesse moyenne et de la pente de la route, pour un poids lourd avec une masse totale de 10 t, conforme à la norme d'émission "pre-EURO" (1988 et plus ancien) [m²/h,veh]
 q_{ne}(v,pm) coefficient d'émission pour les particules ne provenant pas de l'échappement [m²/h,veh]
 f_m coefficient de masse [-]
 f_h coefficient d'altitude [-]

Tableau II.3-4 Choix des tableaux de paramètres pour les poids lourds

Poids lourds, bus avec moteur diesel								
Norme d'émission	CO	NOx	Particules dans les échappements diesel	Particules ne provenant pas des échappements	f _m			f _h
	g/h, véh	g/h, véh			m ² /h, véh	m ² /h, véh	CO	NO _x
Pré-Euro	II.3.40	II.3.46	II.3.52	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 1	II.3.41	II.3.47	II.3.53	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 2	II.3.42	II.3.48	II.3.54	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 3	II.3.43	II.3.49	II.3.55	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 4	II.3.44	II.3.50	II.3.56	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59

Numéro du tableau

Altitude factor fh:

At sea level, the altitude factor is always 1 for each component. The altitude influence on the different exhaust components varies with the type of engine. Although the data base is poor, the altitude factor should be taken into account to be on the safe side in ventilation design. The factor has to be interpreted as a relation to the basic emission values given in the tables, i.e. a factor for the height 2,000m means that the basic emission values of the tables have to be multiplied by the respective factor. Up to a height of 700m it is assumed there is no change in the emission behaviour of gasoline cars with three-way catalytic converters.

Ageing influence fa:

For gasoline cars with catalytic converters, thermal ageing of the catalyst affects its performance. This effect is taken into account by applying the appropriate ageing factors. Consideration should be given to the ageing factors in relation to the year of implementation and the emission standards those where current at that time. The ageing influence parameters given in the appropriate tables include already an average age profile of the vehicles within one emission standard class. Hence, the year of implementation of the emission standard has to be used. No ageing effect is foreseen for oxidation catalysts in passenger cars powered by diesel engines as there exists up to now no data about this effect. In addition no data is available for ageing effects of particulate matter traps for passenger cars. This concerns EURO 4 and EURO 5 standards.

II.3.5. Trucks and buses with diesel engines

Calculation procedure:

$$Q = q_{\text{ex}}(v, i) \cdot f_m \cdot f_h + q_{\text{ne}}(v)$$

where

Q emission for CO, NO_x [g/h,veh.] and diesel particles [m²/h,veh]

q_{ex}(v, i) basic emission factor, depending on average speed, and road gradient, for a heavy duty vehicle with a total mass of 10t and an emission standard "pre EURO" (1988 and older) [m²/h,veh]

q_{ne}(v) emission factor for non exhaust particulate matter

f_m mass factor [-]

f_h altitude factor [-]

Table II.3-4 - Allocation of the parameter tables for HGV

Trucks, buses with Diesel-motor								
emission standard	CO	NO _x	Diesel particles	Non exhaust Particles	f _m			f _h
	g/h/veh	g/h/veh	m ² /h/veh	m ² /h/veh	CO	NO _x	Part.	-
pre Euro	II.3.40	II.3.46	II.3.52	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 1	II.3.41	II.3.47	II.3.53	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 2	II.3.42	II.3.48	II.3.54	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 3	II.3.43	II.3.49	II.3.55	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Euro 4	II.3.44	II.3.50	II.3.56	II.3.58	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.45, II.3.51, II.3.57	II.3.59
Table number								

Coefficient d'émission de base q (v, i):

Le comportement de conduite d'un poids lourd en tunnel est le même que celui d'une voiture, sauf que la vitesse est limitée, en particulier dans les rampes (voir tableau II.1-1). Dans le cas où il n'y a qu'une voie par sens la vitesse du poids lourd est la vitesse limite pour l'ensemble du trafic.

Les valeurs d'émission se rapportent à une masse totale du véhicule de 10 t, indépendamment de la catégorie du véhicule et de son chargement.

Dans des pays avec peu d'entretien des véhicules et pas de contrôle gouvernemental de ceux-ci, l'émission moyenne de fumée peut être nettement plus élevée que la norme "pre-EURO" donnée ici.

Comme pour les véhicules particuliers, le facteur de conversion entre l'émission de particules en g et l'opacité est donné par $1 \text{ g} = 4,7 \text{ m}^2$. Ce coefficient est basé sur le coefficient de corrélation MIRA $6,25 \text{ m}^2/\text{g}$ corrigé d'un coefficient de réduction de 0,75 pour la réduction d'activité optique due à la forte dilution de la fumée diesel dans l'air du tunnel. Bien que des recherches récentes indiquent un coefficient plus élevé pour les particules, la part ne provenant pas de l'échappement est présumée avoir un coefficient de conversion plus faible. Comme l'air du tunnel contient toujours un mélange de particules provenant et non de l'échappement, il est proposé de conserver ce coefficient MIRA jusqu'à ce que de nouvelles données soient disponibles (cf. section III).

Coefficient de masse fm:

La masse est définie comme le poids total moyen du poids lourd dans le tunnel (indépendamment du type de véhicule et de son chargement) et est donnée pour 20 t et 30 t par rapport à 10 t. Les valeurs sont indiquées aux tableaux II.3-45, II.3-51 et II.3-57. Les valeurs intermédiaires peuvent être interpolées linéairement, les valeurs inférieures jusqu'à 7 t et supérieures jusqu'à 40 t peuvent être extrapolées.

Avec l'accroissement du transport de marchandises par la route, les différences peuvent être importantes dans les masses typiques des véhicules pour un tunnel donné. Des fourchettes de masses typiques sont:

- tunnels urbains avec un grand pourcentage de petits poids lourds et de camionnettes de livraison et de bus : $m = 10$ à 15 t
- tunnels sur le réseau autoroutier normal: $m = 15$ à 25 t
- tunnels sur les réseaux de transport principaux avec un pourcentage élevé de poids lourds à pleine charge, dépendant également de la limite de charge nationale: $m = 25$ à 35 t .

Emission moyenne d'une population donnée de poids lourds, de bus:

Comme pour les voitures particulières, le taux de renouvellement de la flotte de poids lourds et de bus doit être évalué, et la date d'introduction des diverses réglementations par rapport à l'année de dimensionnement doit être connue.

Coefficient d'altitude fh:

Les coefficients d'altitude indiqués ici pour le CO et pour les particules sont plus significatifs que pour les voitures particulières à moteur diesel (voir Tableau II.3-59). Le coefficient doit être considéré comme un facteur multiplicatif des coefficients d'émission de base indiqués dans les tableaux ; un coefficient pour l'altitude de 2000 m signifie donc que les valeurs d'émission de base des tableaux doivent être multipliés par le coefficient correspondant. On peut considérer qu'il n'y a pas de changement dans les émissions jusqu'à une altitude de 700 m.

Basic emission factor q (v, i):

The manner in which a truck is driven in the tunnel is similar to that of passenger cars, except that the speed is limited, especially in the upgrade (see table II.1-1). In the case of having only one lane per direction the truck speed can be the limiting speed for the whole fleet.

The emission values refer to a total vehicle mass of 10 t, independent of the vehicle category and how full it is loaded.

In countries with little car-maintenance and no governmental car control, the average smoke emission may be higher than the “pre EURO”-standard here given.

As for passenger cars the conversion factor between particulate matter mass emission (gram) to the turbidity effect is given by $1 \text{ g} = 4.7 \text{ m}^2$. This factor is based on the MIRA-correlation factor $6.25 \text{ m}^2/\text{g}$ and a reduction factor of 0.75 for the reduction in optical activity due to the strong dilution of the diesel smoke in the tunnel air. Although recent investigations indicate a higher factor for exhaust PM, the non-exhaust part is assumed to have a lower conversion factor. As the tunnel air always contains a mixture of exhaust and non-exhaust PM, it is proposed to keep this MIRA factor until newer data is available (see section III).

Mass influence fm:

Mass is defined as the average total vehicle weight (independent of the vehicle type and its loading) of the HGV inside the tunnel and is given for 20 t and 30 t relative to 10 t. The values are shown in II.3-45, II.3-51 and II.3-57. Values in between can be interpolated linearly, values down to 7 t and up to 40 t can be extrapolated.

With increases in transportation of goods by road, greater differentiation between typical vehicle weights for a given tunnel becomes important. Typical ranges of average vehicle weights are:

- city tunnels with a large percentage of light weight trucks, delivery vans and buses: $m = 10 - 15 \text{ t}$
- highway tunnels in the normal national highway network: $m = 15 - 25 \text{ t}$
- tunnels on major transport networks with a high percentage of fully loaded trucks, also dependent on the national legal load limit: $m = 25 - 35 \text{ t}$.

Average emission of a given truck, bus population:

As with passenger vehicles, the rate of renewal of truck/bus fleets has to be assumed and the date of the introduction of the different regulations relative to the design year has to be known.

Altitude factor fh:

The altitude factors given here for CO and particulate matter are more significant than for passenger cars with diesel engines (see table II.3-59). The factor has to be interpreted as a relation to the basic emission values given in the tables, i.e. a factor for the height 2000m means that the basic emission values of the tables have to be multiplied by the respective factor. Up to a height of 700m, it is assumed there is no change in the emission behaviour.

III. FACTEURS D'ÉMISSION DES PARTICULES POUR LA CONCEPTION DE LA VENTILATION DES TUNNELS

Lorsque l'on traite des émissions de particules, deux sources doivent être prises en considération. La première est l'émission par l'échappement, c'est à dire l'émission produite dans le moteur. La seconde est l'émission ne provenant pas de l'échappement, c'est à dire l'émission provenant des pneus et des freins, de l'abrasion de la route et de la poussière remise en suspension. Alors que la qualité des données relatives au premier groupe est bonne, celle relative au deuxième groupe est faible. L'extinction de la lumière est importante pour la ventilation des tunnels : une corrélation doit donc être établie entre l'émission de particules exprimée en masse et l'extinction de la lumière. De tels facteurs de corrélation sont disponibles pour la partie provenant de l'échappement (quoiqu'ils soient relativement anciens), mais ils n'existent pas pour la partie qui ne provient pas de l'échappement. Les résultats des considérations de cette section sont incorporés dans les tableaux d'émission Tableau II.3-38 et Tableau II.3-58.

Il convient d'insister sur le peu de résultats expérimentaux solides dans ce domaine, et donc sur les grandes incertitudes qui s'appliquent aux chiffres donnés dans cette section (ainsi que dans les tableaux II.3-38 et II.3-58). Ces chiffres sont donnés à titre purement indicatif, dans l'attente de nouvelles données.

III.1. Emissions des particules en masse

III.1.1. Emissions provenant des échappements

Les émissions des échappements sont les émissions "classiques" qui sont mesurées lors de chaque essai de moteur et/ou de véhicule. Le taux d'émission est donné sur base d'une masse, par exemple en g/km pour chaque catégorie de véhicule et chaque norme d'émission. Ces données sont actualisées d'une manière plus ou moins régulière.

III.1.2. Emissions ne provenant pas des échappements

Les sources d'émissions ne provenant pas des échappements sont multiples. Il s'agit de :

- l'usure des pneus et des freins,
- l'abrasion de la surface de la route,
- les poussières remises en suspension.

Une grande partie des émissions ne provenant pas de l'échappement se situe dans la gamme $> 10 \mu\text{m}$ ($> \text{PM}_{10}$). Comme mentionné ci-dessus, ce sont les particules qui sont dans la gamme de longueurs d'onde de la lumière visible qui sont importantes. Pour cette raison les facteurs suivants concernent les émissions PM_{10} , et si disponibles $\text{PM}_{2,5}$.

III. ARTICULATE MATTER (PM) EMISSION FACTORS FOR DESIGN OF TUNNEL VENTILATION

When considering PM emissions, two different sources have to be tackled. The first is the so called exhaust emission, i.e. the PM emission produced in the engine. The second one is the so called non-exhaust emission, i. e. PM emission from tyre and brake wear, road abrasion and resuspended dust. While the quality of the emission data for the first group is good, that for the second group is poor. For tunnel ventilation the light extinction is of importance. Therefore a correlation between PM mass emission and light extinction is needed. Such correlation factors are available for the exhaust part (although they are relatively old), but for the non-exhaust part such factors are missing. The results of the considerations in this section are incorporated in the emission tables II.3-38 and II.3-58.

It must be emphasized that few reliable experimental results are available in this field. Consequently large uncertainties apply to the figures given in this section (and in tables II.3-38 and II.3-58). These figures are given for information only, as long as new data are not available.

III.1. PM mass emission

III.1.1. Exhaust emissions

Exhaust emissions are the “classical” PM emissions which are measured during each engine and/or vehicle test. The emission rate is given on a mass basis e.g. g/km for each vehicle category and emission standard. These data are updated on a more or less regularly bases.

III.1.2. Non exhaust emissions

The sources for non-exhaust emissions are manifold. These are:

- tyre and brake wear,
- abrasion of road surface,
- resuspended dust.

A big part of emitted non-tailpipe PM emissions is in the range $> 10 \mu\text{m}$ ($> \text{PM}_{10}$). As mentioned above those particles are important which are in the wavelength range of visible light. Therefore the following factors concern PM_{10} and if available $\text{PM}_{2.5}$ emissions.

III.1.3. Coefficients d'émission pour l'usure des pneus

On peut adopter pour l'usure des pneus les coefficients d'émission PM 10 suivants:

Tableau III.1-1: Coefficients d'émission PM 10 pour l'usure des pneus

Type de véhicule	Dimension	Coefficient d'émission	Source
Voitures	PM10	6,1 mg/km	[14]
Poids lourds	PM10	31 mg/km	[14]

Aucun coefficient d'émission PM2,5 n'est actuellement disponible.

III.1.4. Coefficients d'émission pour l'usure des freins:

Comme pour l'usure des pneus, la majeure partie des particules provenant de l'usure des freins se trouve dans la gamme > 10 µm.

Tableau III.1-2: Coefficients d'émission pour les l'usure des freins

Type de véhicule	Dimension	Coefficient d'émission	Source
Voitures	PM10	2,9 – 7,5 mg/km	[11]
Voitures	PM10	11 ± 3,6 mg/km	[7]
Voitures	PM2.5	1 ± 0,3 mg/km	[7]
Poids lourds	PM10	160 ± 52 mg/km	[7]
Poids lourds	PM2.5	3 ± 0,8 mg/km	[7]
Bus	PM10	15 ± 4,3 mg/km	[7]
Bus	PM2.5	2,6 ± 0,7 mg/km	[7]

III.1.5. Abrasion de la route et poussière remise en suspension

Cette source d'émission présente le plus d'incertitude, car elle dépend de nombreux facteurs. Il n'est pas possible de distinguer aisément l'abrasion de la route de la poussière remise en suspension. Indépendamment de cela, ce type de particules résulte de la remise en suspension de la poussière de la route, qui a son origine dans un matériau qui a été déposé sur la route par abrasion, dans des objets perdus, dans la poussière, etc. Le volume de la source est en fait une fonction de la propreté du tunnel, de l'humidité, de la turbulence inhérente au trafic, etc.

Des mesures en tunnel montrent une forte influence du type de véhicule, par exemple dans les cas où la proportion de poids lourds est faible, la quantité de particules remises en suspension est faible.

Des mesures en tunnel aux USA ont conduit aux coefficients suivants:

Tableau III.1-3: Coefficients d'émission pour la poussière de la route

Type de véhicule	Dimension	Coefficient d'émission	Source
Voitures	PM10	220 ± 17 mg/km	[7]
Voitures	PM2,5	12 ± 1,9 mg/km	[7]
Poids lourds	PM10	1400 ± 120 mg/km	[7]
Poids lourds	PM2,5	63 ± 12 mg/km	[7]
Bus	PM10	550 ± 49 mg/km	[7]
Bus	PM2,5	24 ± 3,1 mg/km	[7]

III.1.3. Emission factors for tyre wear

The following PM 10 emission factors will be assumed for tyre wear:

Table III.1-1 - PM 10 Emission factors for tyre wear

Vehicle type	Size	Emission factor	Source
Cars	PM10	6,1 mg/km	[15]
HGV	PM10	31 mg/km	[15]

No PM2.5 emission factors are available at the moment.

III.1.4. Emission factors for brake wear

As for tyre wear the bigger part of brake wear particles is in the range > 10 µm.

Table III.1-2 - Emission factors for brake wear

Vehicle type	Size	Emission factor	Source
Cars	PM10	2.9 to 7.5 mg/km	[12]
Cars	PM10	11 ± 3.6 mg/km	[8]
Cars	PM2.5	1 ± 0.3 mg/km	[8]
HGV	PM10	160 ± 52 mg/km	[8]
HGV	PM2.5	3 ± 0.8 mg/km	[8]
Buses	PM10	15 ± 4.3 mg/km	[8]
Buses	PM2.5	2.6 ± 0.7 mg/km	[8]

III.1.5. Road abrasion and resuspended dust

This emission source is the most uncertain one, as it depends on many factors. It is not possible to distinguish easily between road abrasion and resuspended dust. Irrespective that type of PM results from resuspension of road dust which has its origin in material which has been deposited on the road surface from abrasion, lost goods, dirt, etc. The source strength is now a function of the cleanness of the tunnel, the humidity, the traffic included turbulence, etc.

Measurements in the road tunnels show a strong influence of the vehicle type, e.g. during situations with a low HGV share the re-suspended PM quantity was small.

Tunnel measurements in the USA led to the following factors:

Table III.1-3 - Emission factors for road dust

Vehicle type	Size	Emission factor	Source
Cars	PM10	220 ± 17 mg/km	[8]
Cars	PM2.5	12 ± 1.9 mg/km	[8]
HGV	PM10	1400 ± 120 mg/km	[8]
HGV	PM2.5	63 ± 12 mg/km	[8]
Buses	PM10	550 ± 49 mg/km	[8]
Buses	PM2.5	24 ± 3.1 mg/km	[8]

III.1.6. Coefficients d'émission pour les particules ne provenant pas des échappements

En conséquence des chiffres indiqués ci-dessus, l'émission de PM10 et PM2,5 ne provenant pas des échappements pourrait être quantifiée comme suit

Table III.1-4: Coefficients d'émission pour les particules ne provenant pas des échappements (mg/km)

Source	Voiture PM2,5	Voiture PM10	Poids lourd PM2,5	Poids lourd PM10
Pneus	6*	6	31*	31
Freins	1 ± 0,3	11 ± 3,6	3 ± 0,8	160 ± 52
Abrasion de la route	12 ± 1,9	220 ± 17	63 ± 12	1400 ± 120
Total	19 ± 2,4	237 ± 21	97 ± 12	1591 ± 172

* Valeur PM 10, pas de valeur PM 2,5 disponible

Ces chiffres sont une indication des émissions PM10 et PM2,5 des sources hors échappement. Il est à noter qu'en particulier la partie abrasion de la route et resuspension est très faible. Pour la prise en considération de l'extinction de la lumière, les coefficients d'émission PM 2,5 devraient être utilisés puisque l'extinction de la lumière atteint son maximum dans la gamme de la lumière visible, c'est à dire que la partie dominante est déjà couverte à l'intérieur de la fraction PM 2,5 (cf. section suivante).

III.2. Visibilité et extinction de la lumière

III.2.1. Généralités

La raison de l'extinction de la lumière est la diffusion et l'absorption du rayonnement dans la gamme des longueurs d'ondes visibles. En général les sulfates, les nitrates, les matériaux organiques, la suie et le sol sont les composants majeurs qui diffusent et absorbent la lumière dans l'atmosphère. A l'exception du sol, la plupart de ces composants sont abondants dans la gamme de 0,3 à 0,7 µm qui est environ la longueur d'onde de la lumière visible, où ils ont leur plus grand effet sur la réduction de la visibilité [10]. Dans les tunnels routiers les deux types de sources d'émission, "échappement" et "non-échappement", sont importants. Le problème est que chacun a un comportement différent vis-à-vis de l'extinction et devrait donc être traité différemment.

Le coefficient d'extinction (k) est défini comme un coefficient décrivant le rapport entre la réduction du flux de rayonnement (φ) et une épaisseur de couche (dl).

$$d\phi = -k \cdot \phi \cdot dl \quad (1)$$

Une intégration de l'équation (1) conduit à la loi de Beer-Lambert.

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-kl}$$

φ	Intensité à la sortie
φ ₀	Intensité à l'entrée
k	Coefficient d'extinction (log.)
l	Longueur du chemin

Le coefficient d'extinction est la somme des coefficients de diffusion (σ) et d'absorption (α).

$$k = \alpha + \sigma \quad (2)$$

III.1.6. Emission factors for non-exhaust PM

According to the figures given in the sections above, the non-exhaust PM10 and PM2.5 emission could be quantified as follows

Table III.1-4 - Emission factors for non exhaust particles [mg/km]

Source\Size	Passenger cars		Heavy goods vehicles	
	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
Tyre wear	6*	6	31*	31
Brake wear	1 ± 0.3	11 ± 3.6	3 ± 0.8	160 ± 52
Road abrasion	12 ± 1.9	220 ± 17	63 ± 12	1400 ± 120
Total	19 ± 2.4	237 ± 21	97 ± 12	1591 ± 172

* PM 10 value, no PM 2.5 value available

These figures are an indication of the PM10 and PM2.5 emissions from non-exhaust sources. It has to be noted that especially the road abrasion and resuspension part is very weak. For the consideration of light extinction the PM 2.5 emission factors should be taken, as the light extinction has its maximum in the visible light range, i.e. the dominating part is already covered within the PM 2.5 fraction (see next section).

III.2. Visibility and light extinction

III.2.1. General

The reason for light extinction is the scattering and absorption of radiation in the visible wave length range. In general sulphates, nitrates, organic compounds, soot and soil are the major components that scatter and absorb light in the atmosphere. Except for the soil, most of these components are abundant in the 0.3 to 0.7 µm size range that approximates to the wave length of visible light where they have their greatest effect on visibility impairment [10]. In road tunnels the two source types of emission, “exhaust” and “non-exhaust”, are relevant. The problem is that each has a different extinction behaviour and therefore should to be treated differently.

The extinction coefficient (k) is defined as a factor describing the proportion between reduction in radiation flux (φ) and a layer thickness (dl).

$$d\phi = -k \cdot \phi \cdot dl \quad (1)$$

An integration of equation (1) yields the Beer-Lambert law.

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-kl}$$

φ Intensity exit side
 φ₀ Intensity inlet side
 k Extinction coefficient (log.)
 l Path length

The extinction coefficient is the sum of the scattering coefficient (σ) and the absorption coefficient (α)

$$k = \alpha + \sigma \quad (2)$$

La relation entre la diffusion et l'absorption varie, mais en général la diffusion domine.

Il y a une corrélation entre la concentration gravimétrique et le coefficient d'extinction :

$$k = p \cdot (\rho \cdot d)^{-1} \quad (3)$$

p coefficient de proportionnalité
ρ masse volumique de la particule
d diamètre de la particule

Malheureusement la masse volumique et le diamètre des particules ne sont pas connus en situation réelle en tunnel. Les différentes relations entre les particules provenant de l'échappement (tuyau d'échappement) et les particules ne provenant pas de l'échappement dans l'atmosphère du tunnel provoquent différentes situations optiques. Ceci est montré dans la figure III-1 où des résultats de mesures en tunnel et en laboratoire sont décrits ([9][13][14]). Ceci montre qu'une corrélation claire entre l'extinction et la concentration de masse n'est pas encore disponible. Si on considère uniquement les particules de moteurs diesel, des recherches montrent que la corrélation entre la concentration massique (μ) et l'extinction se présente comme suit:

Gaz d'échappement concentré (tuyau d'échappement): $K = 6 \mu$

Gaz d'échappement dilué (tunnel): $K = 4.64 \mu$

Le coefficient 6 avait déjà été défini en 1964 [11]. Le coefficient 4,64 résulte de gaz d'échappements dilués. Des recherches récentes montrent que la corrélation entre la masse des particules et l'extinction de la lumière pour les voitures modernes se situe dans la gamme de 1 à 9 au lieu de 1 à 6 [13]. Ceci signifie que les particules émises par des voitures modernes ont un taux d'absorption plus élevé qu'auparavant. D'un autre côté, les particules provenant des échappements ont été réduites en tunnel par rapport aux particules ne provenant pas des échappements. Comme les particules ne provenant pas des échappements ont un coefficient de corrélation beaucoup plus faible (car les particules sont plus grandes et donc la diffusion de la lumière n'est pas aussi forte), le coefficient de corrélation pour l'air du tunnel doit se trouver entre les coefficients pour la suie et pour la poussière. La figure III-1 montre l'étendue des corrélations entre la masse et l'extinction trouvées dans les diverses mesures en tunnel mentionnées ci-dessus. Il semble que le coefficient 4,7 est toujours un nombre qui peut être utilisé pour une estimation de l'extinction de la lumière due au mélange des particules provenant de l'échappement et de celles qui n'en proviennent pas.

The relation between scattering and absorption is likely to vary, but mostly scattering dominates.

There is a correlation between gravimetric concentration and extinction coefficient.

$$k = p \cdot (\rho \cdot d)^{-1} \quad (3)$$

p proportionality factor
ρ density of the particle
d diameter of the particle

Unfortunately the density and the diameter of the PM is not known in real tunnel situations. The different relations between exhaust (tail pipe) and non exhaust PM in the tunnel atmosphere result in different optical situations. This is shown in Figure III-1 where results from tunnel and laboratory measurements are depicted ([9], [13], [14]), This shows that a clear correlation between extinction and mass concentration is not yet given. If only PM from diesel engines is considered, investigations show that the correlation between mass concentration (μ) and extinction is as follows:

Concentrated exhaust gas (exhaust pipe): $K = 6 \mu$

Diluted exhaust gas (tunnel): $K = 4.64 \mu$

The factor 6 was already defined in 1964 [11]. The factor of 4,64 has been derived for diluted exhaust. Recent investigations suggest that the correlation between PM mass and light extinction of modern cars is in the range of 1 to 9 instead 1 to 6 [13]. This means that PM emitted from modern cars has a higher absorption ratio than in former years. On the other hand exhaust PM has been reduced in tunnels in relation to the non-exhaust PM. As non-exhaust PM has a much smaller correlation factor (as the particles are larger and hence the light scattering is not so effective) the overall correlation factor for tunnel air lies between the individual factors for soot and dust. Figure III-1 shows the range of mass and extinction correlations found in the various tunnel measurements mentioned above. It seems that the factor 4.7 is still a figure which can be used for an estimation of the light extinction caused by the mixture of exhaust and non-exhaust particle matter.

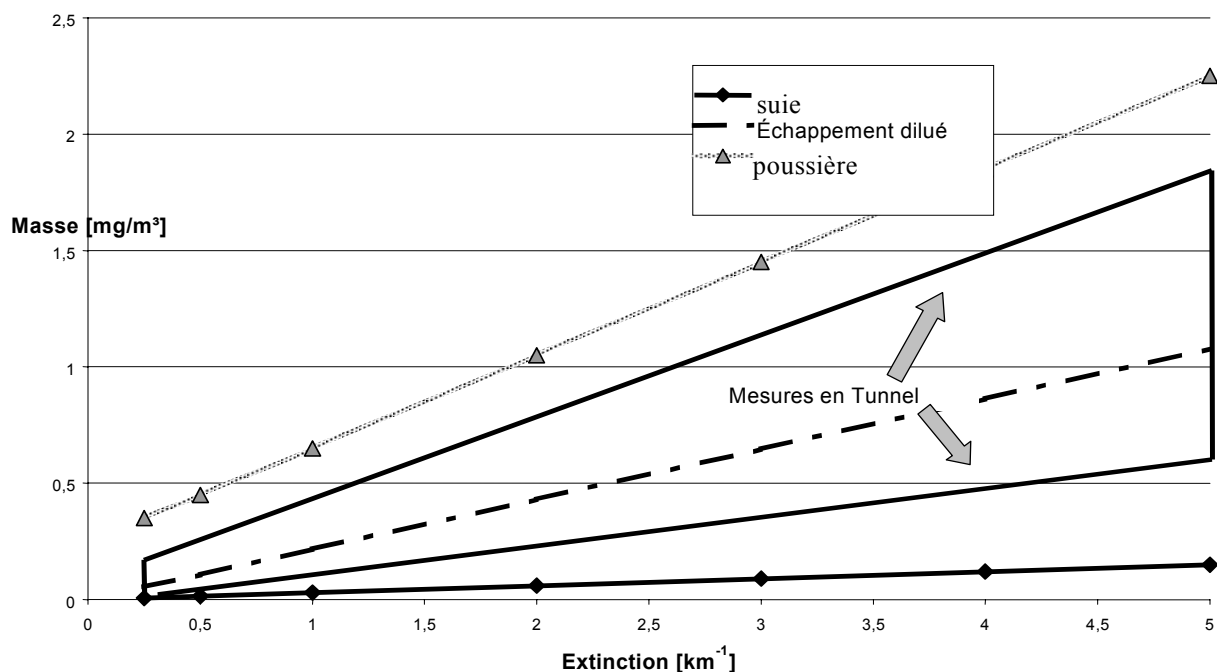


Figure III-1 - Corrélation entre la concentration massique des particules (mg/m³) et l'extinction (km⁻¹)

III.3. Méthodologie de calcul

Certains pays ont proposé des solutions pour l'estimation des taux d'extinction. Ces solutions ne sont pas basées sur des données expérimentales ou d'essais, mais elles reflètent la prise de conscience du problème et le fait qu'une solution doit être trouvée dans le but d'éviter une conception de la ventilation qui pourrait ne pas être à même de fournir assez d'air.

La directive suisse "Ventilation des Tunnels routiers" inclut une instruction détaillée pour le calcul de l'extinction. Elle utilise un terme additionnel pour les émissions qui ne proviennent pas de l'échappement. Nous suivons cette procédure .

Conformément aux facteurs d'émission donnés au tableau III.3-1 et en appliquant le facteur de corrélation standard entre la masse PM 2,5 et l'extinction de la lumière (4,7 m²/g), les coefficients d'opacité pour les particules ne provenant pas des échappements seraient :

Tableau III.3-1 - Coefficients d'émission d'opacité pour particules PM 2,5 ne provenant pas des échappements

Source	Voiture (mg/km)	Voiture (m ² /km)	Poids lourd (mg/km)	Poids lourd (m ² /km)
Particules ne provenant pas des échappements	19 ± 2,4	0,089 ± 0,011	97 ± 12	0,456 ± 0,056

Les coefficients dépendant de la vitesse indiqués au tableau III.3-2 supposent que la relation entre la vitesse des véhicules et l'émission est linéaire, c'est à dire que l'émission en m²/km est constante. Cette hypothèse peut être controversée car peu de voitures à grande vitesse peuvent conduire à la même remise en suspension de particules que beaucoup de voitures à faible vitesse. Comme la plupart des mesures en tunnel ont été faites pour des vitesses de véhicules comprises entre 60 et 90 km/h, la corrélation masse – visibilité s'applique le mieux pour cette gamme de vitesse. Un fait supplémentaire est que le coefficient de corrélation appliqué est le même pour les voitures et pour les poids lourds. Mais il n'y a actuellement pas de données permettant d'affiner la méthodologie proposée.

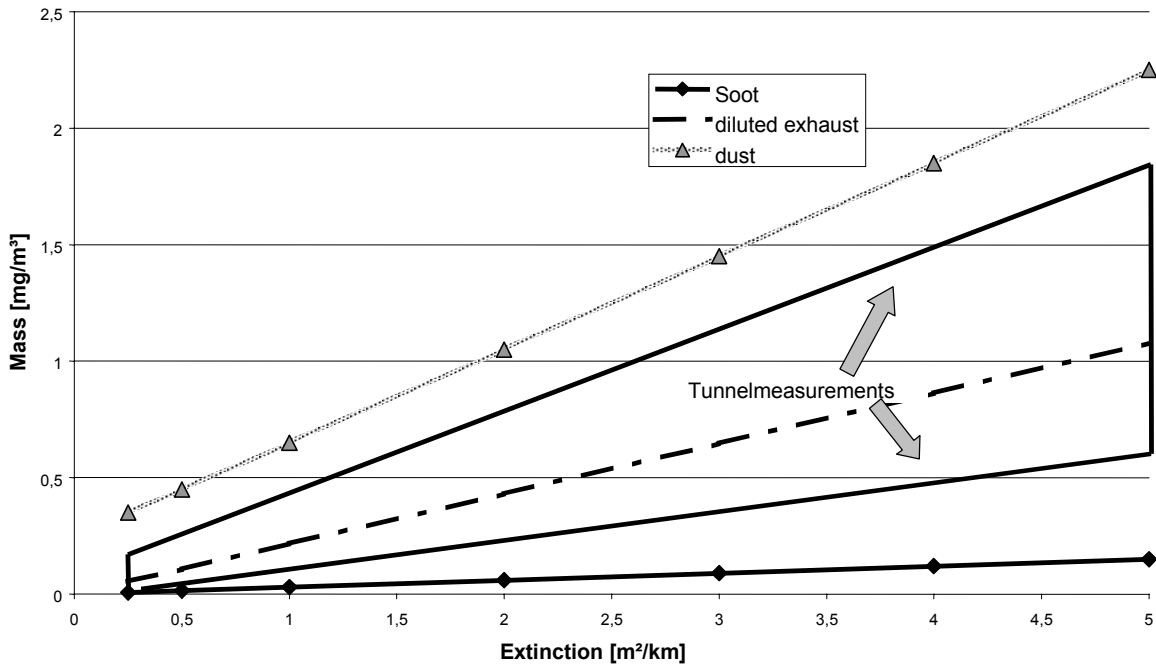


Figure III-1 - Correlation between PM mass concentration [mg/m³] and extinction [km⁻¹]

III.3. Calculation methodology

Some countries have proposed solutions for the estimation of extinction rates. These solutions are not based on experimental or field data, but they reflect the awareness of the problem and that a solution has to be taken in order to prevent a ventilation design which may not be able to provide enough air.

The guideline “Ventilation of Road Tunnels” of the Swiss Road Authority includes a detailed instruction for calculating extinction. It uses an additional term for non exhaust PM emissions. This procedure will be followed.

According to the emission factors given in table III.3-1 and applying the standard correlation factor between PM 2,5 mass and light extinction (4.7 m²/g) the turbidity factors for non exhaust PM are:

Table III.3-1 - Turbidity emission factors for non exhaust PM 2.5

Source	PC [mg/km]	PC [m ² /km]	HGV [mg/km]	HGV [m ² /km]
Non-exhaust PM	19 ± 2.4	0,089 ± 0.011	97 ± 12	0,456 ± 0.056

The speed dependent factors given in table III.3-2, assume that the relationship between vehicle speed and emission is linear, i.e. the emission rate in m²/km is constant. This assumption can be discussed controversial since few cars with a high speed can lead to the same resuspended PM emission as many cars at low speeds. As most of the tunnel measurements were undertaken at vehicle speeds between 60 and 90 km/h, the mass – visibility correlation fits best for this speed range. A further fact is that the applied correlation factor is the same for passenger cars and heavy duty vehicles. At the moment there is no data available to refine the proposed methodology.

Tableau III.3-2: Coefficients d'émission d'opacité en fonction de la vitesse pour les PM 2,5 ne provenant pas des échappements, pour les voitures particulières et les poids lourds

v (km/h)	Voiture (m ² /h)	Poids lourd (m ² /h)
0	0	0
10	0,9	4,5
20	1,8	4,5
30	2,6	13,7
40	3,6	18,2
50	4,4	22,8
60	5,4	27,3
70	6,2	31,9
80	7,2	36,5
90	8,0	41,0
100	9,0	45,6
110	9,8	
120	10,7	
130	11,6	

Table III.3-2 - Speed dependent turbidity emission factors for non exhaust particle matter PM2.5 for PC and HGV

v [km/h]	PC [m ² /h]	HGV [m ² /h]
0	0	0
10	0.9.	4.5.
20	1.8.	9.1.
30	2.6.	13.7.
40	3.6.	18.2.
50	4.4.	22.8.
60	5.4.	27.3.
70	6.2.	31.9.
80	7.2.	36.5.
90	8.0.	41.0.
100	9.0.	45.6.
110	9.8.	
120	10.7.	
130	11.6.	

IV. BIBLIOGRAPHIE / REFERENCES

- [1] Congrès mondial AIPCR Bruxelles 1987, Comité des Tunnels Routiers, GT Circulation. / PIARC World Congress Bruxelles 1987, TC Road Tunnels, WG Traffic.
- [2] Air Quality Guidelines for Europe, World Health Organization, WHO Regional Publications, European Series 1988 No. 23.
- [3] Publications, European Series 1988 No. 23.
- [4] Rapport AIPCR 05-09-B 2000 : Pollution par le dioxyde d'azote dans les tunnels routiers
- [5] <http://www.trl.co.uk/artemis/>
- [6] <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/particulates/>
- [7] <http://www.cordis.lu/cost-transport/home.html>
- [8] Abu-Allaban M., Gilles J.A., Gertler A.W., Clayton R., Proffitt D., (2002). Determination of on-road PM10 and PM2.5 Emission rates using roadside measurements. In: Proceedings of the 11th International Symposium Transport and Air Pollution, June 2002 Graz, Austria, ISBN 3-901351-59-0, pp 377 – 384
- [9] Basel (2000): *Lufthygieneamt beider Basel, Vergleich von CO- und ST-Messungen im Arisdorftunnel der A2, 2000.*
- [10] J.C. Chow (2002): Introduction to the A&WMA 2002 Critical Review Visibility-Science and Regulation; Journal of the Air and Waste Management Association Vol. 52, June 2002, pp 626-627
- [11] Dodd, A.E., Reed L.E. (1964): The relationship between subjective assessment and objective measurement of exhaust smoke from diesel road vehicles, MIRA report 1964/12, April 1964
- [12] Garg B., Cadle S.H., Mulawa P.A., Groblicki P.J., (2000). Brake wear particulate matter emissions. Environmental Science and Technology 34 (21), pp 4463-4469
- [13] Leeb R. (2003): Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Partikelemissionen und Lichtabschwächung in einem Straßentunnel, Diploma Theses, Graz University of Technology, Austria.
- [14] Pischinger R. (1977): Sichtweitenbestimmung in Straßentunneln, Heft 75 Straßenforschung, BMwA, Wien, 1977
- [15] Rauterberg-Wulff (1999): Determination of Emission factors for tyre wear particles up to 10 µg by tunnel measurements; Proceedings 8th Intern. Conf. Transport and Air Pollution June 1999
- [16] <http://www.env.go.jp/en/lar/alaw/alch3.html>
- [17] Rapport AIPCR 05.05.B 1999 : Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers
- [18] Rapport AIPCR 2004 : Systèmes et équipements pour la maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers

ANNEXE 1 / APPENDIX 1

Liste des symboles / List of symbols

	Emissions et quantités d'air frais		Emissions and fresh air quantities	
\dot{V}	Débit d'air	m^3/h	Volume flow	\dot{V}
Q	Emission par véhicule	$g/h, veh$ $m^2/h, veh$	Emission per vehicle	Q
Q	Emission de base par véhicule	$g/h, veh$ $m^2/h, veh$	Basic emission per vehicle	q
fh	Coefficient d'altitude	-	Altitude factor	fh
fa	Coefficient de vieillissement	-	Ageing factor	fa
fm	Coefficient de masse	-	Mass factor	fm
i	Déclivité de la chaussée	%	Road gradient	i
M	Trafic horaire	veh/h	Traffic flow per hour	M
L	Longueur	km	Length	L
u _{vp}	Unité de voiture particulière	veh	Passenger car unit	u _{vp}
v	Vitesse des véhicules	km/h	Vehicle velocity	v
VP	Voiture particulière	veh	Passenger car	PC
PL	Poids lourd	veh	Heavy goods vehicle	HGV
D	Densité de circulation	veh/km	Traffic density	D
a	Taux de PL	%	Percentage of HGV	a
C _{adm}	Concentration admissible	g/m^3	Admissible concentration	C _{adm}
C _{amb}	Concentration ambiante	g/m^3	Ambient concentration	C _{amb}
ppm	Parties par million	cm^3/m^3	Parts per million	ppm
E ₀	Intensité de la lumière à la source	-	Light intensity at the light source	E ₀
L	Distance entre source de lumière et récepteur	m	Length of light beam between emission and reception	L
E	Intensité de la lumière après la distance L	-	Light intensity after travelling the distance L	E
K	Coefficient d'extinction	1/m	Extinction coefficient (base e)	K
K _{adm}	Coefficient d'extinction admissible	1/m	Admissible extinction coefficient	K _{adm}
s	Transmission	%	Transmission	s

Procédure de calcul <i>Calculation procedure</i>	$Q = q_{ex}(v,i) \cdot fa \cdot fh \cdot fm + q_{ne}(v,pm)$	
q _{ex} (v,i)	coefficient d'émission de base, dépendant de la vitesse et de la pente * pour voitures à essence sans catalyseur * pour voitures à essence avec catalyseur * pour voitures diesel * pour poids lourds diesel	<i>basic emission factor, depending on speed and road gradient</i> * for PC with gasoline-motors without catalyst * for PC with gasoline-motors with catalyst * for PC with diesel-motors * for trucks with diesel-motors
q _{ne} (v)	coefficient d'émission de base pour les particules ne provenant pas des échappements * pour voitures * pour poids lourds et bus	<i>emission factor for non exhaust particulate matter</i> * for PC * for trucks and buses
fa	coefficient de vieillissement pour les catalyseurs	<i>ageing factor for catalysts</i>
fh	coefficient d'altitude	<i>altitude factor</i>
fm	coefficient de masse pour poids lourds et bus	<i>mass factor for trucks and buses</i>

ANNEXE 2 / APPENDIX 2

Tableaux des coefficients d'émission / *Tables of emission factors*

Les coefficients d'émission et les valeurs indiquées dans les tableaux ont été établis pour satisfaire les besoins du dimensionnement de la ventilation des tunnels. De plus, il a été tenté de simplifier autant que possible les analyses ultérieures. Les simplifications et les hypothèses faites accroissent les incertitudes. Dans le but de maintenir néanmoins une marge de sécurité, les valeurs données aux paramètres sont parmi les plus élevées de ce qui peut être relevé dans la pratique.

The emission factors and values given in the tables below have been derived to meet the requirements for tunnel ventilation design. In addition, attempts have been made to simplify the subsequent analyses as far as much as possible. The simplifications and assumptions made increase the uncertainty. Nevertheless, in order to maintain a safety margin, the values given to the parameters are at the higher end of what may be expected in practice.

MONOXYDE DE CARBONE / CARBON MONOXIDE

Tableau / Table II.3-5

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission CEE 15/00

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard ECE 15/00*

		Voiture essence, CEE 15/00, CO / PC-gasoline, ECE 15/00, CO					
[g/h]	Pente/ Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	290	290	290	290	290	290	290
5	269	319	370	420	420	441	462
10	352	418	484	549	549	591	604
15	435	516	598	679	713	747	815
20	517	614	712	809	881	930	1051
30	615	730	845	960	1056	1200	1661
40	643	764	884	1005	1226	1597	2260
50	671	797	923	1049	1364	1993	2879
60	726	862	998	1134	1735	2875	3952
70	780	926	1073	1219	2426	4145	5388
80	835	991	1148	1304	3273	5425	6859
90	1235	1467	1698	1930	5732	9554	11648
100	1477	1789	2499	2840	8747	14385	18176
110	1344	1728	3379	3840	10560	16512	22464
115	1347	1796	3951	4490	11225	17062	23797

Tableau / Table II.3-6

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission pré-Euro (CEE 15/04)

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard pre-Euro (ECE 15/04)*

		Voiture essence, pré-Euro, CO / PC-gasoline, pre-Euro, CO					
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3
5	97.3	115.5	133.8	152.0	152.0	159.6	167.2
10	129.7	154.0	178.4	202.7	202.7	217.9	223.0
15	162.2	192.6	223.0	253.4	272.4	278.7	304.1
20	194.6	231.1	267.6	304.1	331.4	349.7	395.1
30	223.6	265.6	307.5	349.4	384.4	436.8	604.5
40	216.8	257.5	298.2	338.8	413.4	538.7	762.4
50	210.1	249.4	288.8	328.2	426.7	623.6	900.9
60	217.9	258.8	299.6	340.5	520.9	863.1	1186.5
70	225.8	268.1	310.4	352.7	701.9	1199.3	1559.1
80	236.8	281.2	325.6	370.0	928.7	1539.2	1946.2
90	322.9	383.4	443.9	504.5	1498.3	2497.2	3044.6
100	391.8	474.6	663.0	753.4	2320.5	3816.0	4821.8
110	359.7	462.5	904.5	1027.8	2826.4	4419.5	6012.6
115	364.5	486.0	1069.1	1214.9	3037.2	4616.5	6438.9

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-7

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 1

***Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard Euro 1***

Voiture essence, Euro 1, CO / PC-gasoline, Euro 1, CO							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
5	33.7	49.3	64.9	64.9	71.4	72.0	79.8
10	28.7	42.0	55.2	55.2	66.3	67.4	80.6
15	26.0	38.0	50.0	50.0	60.0	66.5	84.8
20	26.5	38.8	51.0	51.0	61.2	73.4	98.4
30	27.6	40.3	53.0	53.0	63.6	85,9	125,1
40	28.6	41.8	55.0	55.0	66.0	106.2	159.5
50	29.6	43.3	57.0	57.0	68.4	125.1	202.4
60	30.7	44.8	59.0	59.0	88.5	173.8	277.9
70	31.7	46.4	61.0	61.0	122.0	244.0	366.0
80	32.8	47.9	63.0	63.0	173.3	308.7	491.4
90	35.5	51.9	68.3	68.3	228.8	404.7	686.4
100	42.7	62.5	82.2	82.2	295.9	581.6	959.3
110	98.0	143.2	188.4	188.4	678.2	1413.0	2110.1
115	131.1	191.6	252.1	252.1	907.6	1789.9	2571.4

Tableau / Table II.3-8

Correction des coefficients d'émission de base

pour le monoxyde de carbone pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 1

***Correction of the carbon monoxide basic emission factors
for passenger cars with gasoline engines to emission standard Euro 1***

	Coefficient de correction fa pour voiture essence, Euro 1, CO Correction factor fa for PC-gasoline, Euro 1, CO					
	0 (1992)	2 (1994)	6 (1998)	10 (2002)	14 (2006)	18 (2010)
Année après mise en œuvre Year after implementation						
fa	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8

Les années entre parenthèses ne sont valables que pour les pays UE.

The years given in brackets are valid for the EU countries only

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-9

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 2

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard Euro 2*

	Voiture essence, Euro 2, CO / PC-gasoline, Euro 2, CO						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
5	22.4	29.0	36.7	44.4	53.4	62.5	71.5
10	22.0	28.3	35.5	42.5	50.8	60.4	70.6
20	21.0	26.7	32.8	38.1	44.5	58.6	76.5
30	20.8	26.4	32.3	37.2	43.2	63.4	90.9
40	21.0	26.7	32.9	38.1	46.2	70.1	104.8
50	21.3	27.1	33.5	39.2	55.0	82.6	127.8
60	21.5	27.5	34.2	40.3	65.0	128.4	190.6
70	21.6	27.7	34.6	41.0	100.9	206.1	290.9
80	22.4	29.0	36.6	44.4	165.1	293.3	420.7
90	25.8	34.7	46.1	60.2	239.4	418.5	668.6
100	32.6	45.9	64.9	91.4	378.6	732.3	1274.5
110	44.7	66.2	98.6	147.7	623.7	1225.4	2208.6
120	68.0	105.0	163.3	255.5	1042.2	1763.1	3219.2
130	94.0	148.4	235.7	376.1	1504.1	2479.9	4535.5

Tableau / Table II.3-10

Correction des coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 2

*Correction of the carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard Euro 2*

	Coefficient de correction fa pour voiture essence, Euro 2, CO Correction factor fa for PC-gasoline, Euro 2, CO					
Année après mise en œuvre / Year after implementation	3 (2000)	5 (2002)	7 (2004)	9 (2006)	11 (2008)	13 (2010)
fa	1.00	1.14	1.28	1.42	1.56	1.70

Les années entre parenthèses ne sont valables que pour les pays UE

The years given in brackets are valid for the EU countries only

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-11

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 3

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard Euro 3*

Voiture essence, Euro 3, CO / PC-gasoline, Euro 3, CO							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
5	14.3	18.8	24.7	31.2	37.7	44.2	50.7
10	14.0	18.4	24.0	29.9	35.9	42.5	49.8
20	13.3	17.2	22.0	26.6	31.2	39.6	51.6
30	13.1	16.8	21.4	25.6	29.7	41.4	59.7
40	13.2	17.1	21.8	26.3	31.7	48.2	72.2
50	13.4	17.4	22.3	27.1	36.6	58.7	90.4
60	13.6	17.6	22.7	27.8	42.1	91.6	135.5
70	13.7	17.9	23.1	28.5	68.3	146.3	206.2
80	14.6	19.3	25.4	32.4	120.3	214.7	309.4
90	18.1	25.1	35.2	48.6	193.2	337.8	542.6
100	24.5	35.9	53.1	78.5	325.3	571.1	964.6
110	35.6	54.3	83.9	129.8	548.3	1022.5	1821.4
120	56.2	88.7	141.1	225.2	918.7	1544.3	2817.3
130	79.2	126.9	204.9	331.5	1326.0	2185.8	3999.2

Tableau / Table II.3-12

Correction des coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 3

*Correction of the carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard Euro 3*

	Coefficient de correction fa pour voiture essence, Euro 3, CO					
	Correction factor fa for PC-gasoline, Euro 3, CO					
Année après mise en œuvre / Year after implementation	1 (2001)	2 (2002)	4 (2004)	6 (2006)	8 (2008)	10 (2010)
fa	1.00	1.10	1.21	1.42	1.62	1.83

Les années entre parenthèses ne sont valables que pour les pays de l'UE

The years given in brackets are valid for the EU countries only

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-13

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 4

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard Euro 4*

Voiture essence, Euro 4, CO / PC-gasoline, Euro 4, CO							
[g/h]	Pente / Gradient[%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
5	9.9	13.2	16.9	21.5	26.0	30.5	35.0
10	9.7	12.9	16.5	20.8	24.9	29.6	34.6
20	9.2	12.1	15.1	18.5	21.8	27.6	35.9
30	9.1	11.8	14.6	17.6	20.5	28.5	41.0
40	9.1	11.9	14.9	18.1	21.7	33.1	49.5
50	9.3	12.1	15.2	18.6	25.0	40.2	61.9
60	9.4	12.3	15.5	19.1	28.7	63.5	93.9
70	9.5	12.5	15.9	19.8	47.4	102.5	144.5
80	10.0	13.4	17.3	22.2	82.5	147.4	211.7
90	12.0	16.6	22.6	31.1	123.4	215.7	345.1
100	15.6	22.7	32.8	48.0	198.5	345.5	583.4
110	22.1	33.5	50.8	78.0	329.2	612.7	1091.3
120	34.4	53.9	84.9	134.8	550.1	925.1	1687.3
130	48.1	76.8	123.0	198.4	793.7	1308.8	2394.3

Pour les coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone pour voitures essence conformes à la norme d'émission Euro 4 aucune correction pour effet de vieillissement n'est appliquée (il n'y a pas encore de données correspondantes disponibles).

For the carbon monoxide basic emission factors for passenger cars with gasoline engines to emission standard Euro 4 no ageing correction is applied (no appropriate data available yet).

Tableau / Table II.3-14

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission pré-Euro (CEE 15/04)

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard pre -Euro (ECE 15/04)*

Voiture diesel, pré-Euro, CO / PC-diesel, pre-Euro, CO							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
5	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.9	22.7
10	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	25.1	32.5
15	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	33.3	45.3
20	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	42.7	60.8
30	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	59.4	80.0
40	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	63.0	83.2
50	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	66.3	83.2
60	52.0	52.0	52.0	52.0	57.9	69.2	83.2
70	52.0	52.0	52.0	52.0	62.4	71.8	83.2
80	52.0	52.0	52.0	52.0	66.6	73.8	83.2
90	54.7	54.7	54.7	54.7	70.0	81.5	87.5
100	68.3	68.3	68.3	68.3	82.2	101.0	109.3
110	85.5	85.5	85.5	85.5	91.0	109.0	119.7
115	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	112.0	124.0

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-15

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 1

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 1*

		Voiture diesel, Euro 1, CO / PC-diesel, Euro 1, CO					
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	8.0	10.8
10	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	11.3	14.6
15	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13.8	18.7
20	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	18.0	25.6
30	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	23.8	32.0
40	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	24.2	32.0
50	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.5	32.0
60	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	26.6	32.0
70	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	27.6	32.0
80	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	28.4	32.0
90	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	32.8	35.2
100	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	34.6	37.4
110	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	36.9	40.5
115	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	37.8	41.6

Tableau / Table II.3-16

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 2

*Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 2*

		Voiture diesel, Euro 2, CO / PC-diesel, Euro 2, CO					
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
5	5.5	5.7	6.0	6.3	7.3	8.5	10.6
10	7.7	8.0	8.5	8.9	10.3	11.9	14.8
20	11.1	11.5	12.1	12.8	14.8	17.1	21.3
30	13.7	14.2	15.0	15.8	18.2	21.1	26.3
40	14.4	15.0	15.8	16.6	19.2	22.3	27.8
50	14.0	14.6	15.4	16.2	18.7	21.6	28.0
60	13.1	13.6	14.4	15.1	17.5	20.2	28.2
70	12.4	13.0	13.6	14.4	16.6	20.4	29.0
80	12.5	13.0	13.7	14.4	16.6	21.7	31.0
90	14.2	14.8	15.5	16.4	18.9	25.6	36.3
100	16.7	17.4	18.3	19.3	22.3	30.8	43.1
110	19.9	20.7	21.8	22.9	26.5	36.9	51.2
120	23.9	24.9	26.2	27.6	31.9	44.4	61.0
130	28.2	29.3	30.9	32.5	37.6	52.2	71.2

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-17

**Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 3**

***Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 3***

Voiture diesel, Euro 3, CO / PC-diesel, Euro 3, CO							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
5	4.4	4.6	4.9	5.1	5.8	6.7	8.1
10	6.2	6.5	6.9	7.2	8.2	9.5	11.4
20	9.0	9.4	9.9	10.4	11.8	13.7	16.5
30	11.2	11.6	12.3	12.9	14.7	17.0	20.5
40	11.8	12.3	12.9	13.6	15.5	17.9	21.6
50	11.4	11.9	12.5	13.2	15.0	17.4	21.9
60	10.7	11.1	11.7	12.3	14.0	16.2	22.5
70	10.1	10.5	11.1	11.7	13.3	16.6	23.5
80	10.1	10.6	11.1	11.7	13.3	17.9	25.5
90	11.5	12.0	12.6	13.3	15.1	21.2	30.1
100	13.6	14.1	14.9	15.6	17.8	25.6	35.8
110	16.1	16.8	17.7	18.6	21.2	30.7	42.5
120	19.4	20.2	21.3	22.4	25.5	37.0	50.5
130	22.9	23.8	25.1	26.4	30.0	43.5	58.9

Tableau / Table II.3-18

**Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 4**

***Carbon monoxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 4***

Voiture diesel, Euro 4, CO / PC-diesel, Euro 4, CO							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
5	4.1	4.2	4.5	4.7	5.5	6.3	7.6
10	5.8	6.0	6.3	6.7	7.7	9.0	10.7
20	8.3	8.7	9.1	9.6	11.1	12.9	15.4
30	10.3	10.7	11.3	11.9	13.8	16.0	19.1
40	10.9	11.3	11.9	12.5	14.5	16.9	20.1
50	10.5	11.0	11.6	12.2	14.1	16.4	20.5
60	9.8	10.2	10.8	11.3	13.2	15.2	21.2
70	9.3	9.7	10.2	10.8	12.5	15.6	22.3
80	9.4	9.7	10.3	10.8	12.5	16.9	24.3
90	10.6	11.1	11.6	12.3	14.2	20.1	28.7
100	12.5	13.0	13.7	14.4	16.7	24.3	34.2
110	14.8	15.5	16.3	17.1	19.9	29.2	40.5
120	17.9	18.6	19.6	20.6	23.9	35.1	48.1
130	21.1	22.0	23.1	24.3	28.2	41.3	56.1

OXYDES D'AZOTE / NITROGEN OXIDES

Tableau / Table II.3-19

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission CEE 15/00

*Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard ECE 15/00*

Voitures essence, CEE 15/00, NO _x / PC-gasoline, CEE 15/00, NO _x							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1.0	1.9	3.3	4.9	5.8	5.8	7.4
10	3.2	6.1	10.6	15.8	21.1	21.1	29.1
15	5.3	10.4	17.8	26.6	37.7	41.7	57.8
20	7.5	14.6	25.1	37.5	56.2	67.4	93.7
30	11.6	22.7	39.0	58.2	87.3	104.8	145.5
40	17.6	34.3	58.9	87.9	131.8	158.2	219.7
50	20.4	39.8	68.3	102.0	153.0	183.6	255.0
60	25.8	50.2	86.3	128.8	187.1	222.4	305.1
70	31.0	60.5	103.9	155.0	204.9	246.6	326.6
80	35.0	68.3	117.3	175.0	215.0	252.6	332.2
90	39.8	77.6	133.3	199.0	227.4	260.9	337.9
100	45.0	87.6	150.8	225.0	247.5	274.6	341.2
110	50.0	97.5	167.5	250.0	262.5	291.4	332.9
115	52.6	102.6	176.2	263.0	263.0	299.8	323.5

Tableau / Table II.3-20

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission pré-Euro (ECE 15/04)

*Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard pre-Euro (ECE 15/04)*

Voiture essence, pré-Euro, NO _x / PC-gasoline, pre-Euro							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1.0	2.0	3.4	5.0	6.0	6.0	7.6
10	2.4	4.7	8.1	12.0	16.1	16.1	22.3
15	3.8	7.4	12.7	19.0	27.0	29.9	41.4
20	5.2	10.1	17.4	26.0	39.0	46.8	65.0
30	7.6	14.8	25.5	38.0	57.1	68.5	95.1
40	11.2	21.8	37.5	56.0	84.0	100.8	140.0
50	13.2	25.6	44.1	65.8	98.6	118.4	164.4
60	18.2	35.5	61.0	91.0	132.3	157.2	215.7
70	23.2	45.3	77.9	116.2	153.6	184.9	244.8
80	30.0	58.6	100.6	150.2	184.5	216.8	285.1
90	41.0	79.9	137.2	204.8	234.0	268.5	347.7
100	52.6	102.5	176.2	262.9	289.2	320.9	398.8
110	65.0	126.7	217.7	325.0	341.2	378.8	432.7
115	72.2	140.8	241.9	361.0	361.0	411.5	444.0

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-21

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 1

Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars emission standard Euro 1

Voiture essence, Euro 1, NOx / PC-gasoline, Euro 1, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	0.2	0.6	0.9	1.2	1.2	1.5	4.0
10	0.5	1.2	1.9	2.6	2.6	3.5	9.7
15	0.8	1.8	2.9	3.9	3.9	5.8	12.6
20	1.0	2.5	3.9	5.2	5.2	8.4	14.1
30	1.6	3.8	6.0	8.1	8.1	13.6	21.8
40	2.1	4.9	7.7	10.4	10.4	18.1	27.9
50	2.3	5.5	8.6	11.6	11.6	21.5	31.2
60	2.7	6.4	10.1	13.6	15.2	27.2	36.6
70	3.1	7.4	11.6	15.7	22.0	31.5	42.3
80	3.8	9.0	14.2	19.2	28.8	38.4	51.6
90	5.0	11.5	18.4	24.9	37.4	49.8	67.0
100	7.3	15.4	26.9	36.3	52.1	72.6	90.6
110	10.3	20.6	38.1	51.5	66.2	92.7	108.2
115	11.7	23.5	43.4	58.7	70.4	93.9	111.5

Tableau / Table II.3-22

Correction des coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 1

Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars emission standard Euro 1

Coefficient de correction fa pour voiture essence, Euro 1, NOx Correction factor fa for PC-gasoline, Euro 1, NOx						
Année après mise en œuvre : Year after implementation	0 (1992)	2 (1994)	6 (1998)	10 (2002)	14 (2006)	18 (2010)
fa	1.0	1.2	1.7	2.1	2.5	3.0

Les années entre parenthèses ne sont valables que pour les pays de l'UE

The years given in brackets are valid for the EU countries only

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-23

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 2

Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars emission standard Euro 2

Voiture essence, Euro 2, NOx / PC-gasoline, Euro 2, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
5	0.37	0.47	0.50	0.57	0.64	0.70	0.76
10	0.42	0.52	0.62	0.80	0.95	1.10	1.26
20	0.61	0.94	1.35	1.91	2.49	3.07	3.70
30	0.84	1.43	2.19	3.12	4.19	5.27	6.48
40	1.10	1.99	2.75	3.91	5.46	7.01	8.97
50	1.29	2.41	3.29	4.69	6.84	8.99	11.78
60	1.56	2.74	3.86	5.49	8.46	11.44	15.97
70	1.75	3.15	4.56	6.50	10.38	14.26	21.44
80	2.06	3.82	5.72	8.15	12.98	17.81	27.00
90	2.49	5.20	8.10	11.56	17.90	24.24	32.91
100	2.95	7.06	11.65	16.63	24.64	32.66	40.21
110	3.81	9.56	16.67	23.80	33.08	42.35	48.81
120	5.70	13.29	24.19	34.54	43.71	52.88	58.68
130	7.84	17.32	32.32	46.16	56.47	66.77	73.66

Tableau / Table II.3-24

**Correction des coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 2**

*Correction of the Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars
with gasoline engines to emission standard Euro 2*

	Coefficient de correction pour voiture essence, Euro 2, NOx Correction factor fa for PC-gasoline, Euro 2, NOx					
	3 (2000)	5 (2002)	7 (2004)	9 (2006)	11 (2008)	13 (2010)
Année après mise en œuvre / Year after implementation						
fa	1.00	1.16	1.33	1.49	1.65	1.82

Les années entre parenthèses ne sont valables que pour les pays UE

The years given in brackets are valid for the EU countries only

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-25

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 3

Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars emission standard Euro 3

Voiture essence, Euro 3, NOx / PC-gasoline, Euro 3, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
5	0.32	0.36	0.32	0.31	0.35	0.38	0.42
10	0.35	0.37	0.36	0.43	0.47	0.60	0.69
20	0.42	0.58	0.73	1.03	1.07	1.66	2.00
30	0.46	0.85	1.18	1.67	1.73	2.83	3.48
40	0.53	1.08	1.48	2.10	2.27	3.77	4.83
50	0.68	1.33	1.77	2.52	3.08	4.86	6.39
60	0.87	1.65	2.07	2.95	3.98	6.22	8.72
70	1.04	1.94	2.48	3.52	5.23	7.81	11.76
80	1.20	2.32	3.14	4.48	7.06	9.79	14.84
90	1.37	3.07	4.46	6.36	9.85	13.34	18.11
100	1.62	3.89	6.42	9.15	13.41	17.98	22.13
110	2.12	5.29	9.18	13.10	17.97	23.32	26.87
120	3.26	7.46	13.32	19.02	24.41	29.12	32.32
130	4.56	9.83	17.81	25.42	31.32	36.78	40.57

Tableau / Table II.3-26

Correction des coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 3

Correction of the Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars with gasoline engines to emission standard Euro 3

	Coefficient de correction fa pour voiture essence, Euro 3, NOx Correction factor fa for PC-gasoline, Euro 3, NOx					
	0 (2001)	1 (2002)	4 (2004)	6 (2006)	8 (2008)	10 (2010)
Année après mise en œuvre / Year after implementation						
fa	1.00	1.11	1.33	1.56	1.78	2.00

Les années entre parenthèses ne concernent que les pays de l'UE

The years given in brackets are valid for the EU countries only

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-27

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 4

Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars emission standard Euro 4

Voiture essence, Euro 4, NOx / PC-gasoline, Euro 4, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
5	0.15	0.17	0.19	0.21	0.24	0.26	0.28
10	0.15	0.19	0.23	0.29	0.35	0.41	0.47
20	0.20	0.35	0.50	0.69	0.90	1.11	1.34
30	0.27	0.56	0.79	1.12	1.51	1.89	2.33
40	0.34	0.69	0.99	1.40	1.96	2.51	3.22
50	0.45	0.83	1.18	1.67	2.45	3.23	4.25
60	0.57	0.96	1.38	1.95	3.06	4.17	5.86
70	0.69	1.13	1.67	2.37	3.84	5.31	8.01
80	0.81	1.35	2.15	3.06	4.82	6.70	10.17
90	0.93	1.85	3.05	4.34	6.72	9.10	12.36
100	1.10	2.64	4.36	6.22	9.11	12.22	15.05
110	1.43	3.59	6.23	8.89	12.19	15.81	18.23
120	2.19	5.08	9.03	12.89	16.54	19.73	21.89
130	3.06	6.70	12.07	17.23	21.22	24.90	27.47

Pour les coefficients de base concernant les oxydes d'azote pour les voitures à essence conformes à la norme d'émission Euro 4, aucune correction de vieillissement n'est encore disponible. Afin d'être du côté de la sécurité, la correction de vieillissement Euro 3 devrait être appliquée.

For the nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars with gasoline engines to emission standard Euro 4 no ageing correction data is available yet. In order to be on the safe side the Euro 3 aging correction should be applied.

Tableau / Table II.3-28

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission pré-Euro (CEE 15/04)

Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars emission standard pre-Euro (CEE 15/04)

Voiture diesel, pré-Euro, NOx / PC-diesel, pre-Euro, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
5	3.5	4.1	4.7	5.9	6.4	7.0	9.3
10	6.2	7.5	8.5	10.7	12.0	12.9	18.4
15	7.6	10.8	12.4	15.5	17.6	21.1	29.8
20	8.1	14.2	16.2	20.3	23.3	30.8	43.1
30	10.9	21.7	24.8	31.0	36.6	55.8	72.9
40	10.2	22.6	25.8	32.2	39.0	58.0	75.8
50	10.4	24.6	30.3	37.9	46.6	68.2	89.0
60	11.1	22.1	35.4	44.3	55.9	79.7	104.0
70	12.5	19.9	34.9	49.8	64.4	89.7	117.1
80	14.4	23.0	40.2	57.4	75.6	103.3	134.9
90	18.1	29.0	50.7	72.5	97.3	130.4	170.3
100	21.9	35.1	61.5	87.8	120.3	158.0	206.3
110	26.0	41.7	72.9	104.2	145.9	203.2	263.1
115	28.4	45.4	79.5	113.6	161.3	238.5	306.6

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-29

**Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 1**

***Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 1***

Voiture-diesel, Euro 1, NOx / PC-diesel, Euro 1, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
5	3.3	3.8	4.4	5.5	5.9	6.4	8.6
10	5.0	6.1	6.9	8.6	9.7	10.5	14.9
15	5.8	8.3	9.5	11.8	13.4	16.2	22.8
20	6.0	10.5	12.0	15.0	17.3	22.8	32.0
30	7.3	14.6	16.7	20.9	24.7	37.6	49.1
40	6.9	15.3	17.5	21.8	26.4	39.3	51.3
50	6.6	15.6	19.2	24.0	29.5	43.2	56.4
60	6.5	12.9	20.7	25.8	32.7	46.5	60.7
70	7.2	11.5	20.1	28.7	37.0	51.6	67.4
80	8.6	13.7	24.0	34.2	45.1	61.6	80.4
90	11.2	17.9	31.3	44.7	60.0	80.4	104.9
100	13.5	21.6	37.9	54.1	74.1	97.3	127.1
110	16.0	25.6	44.9	64.1	89.7	124.9	161.8
115	17.4	27.9	48.7	69.6	98.9	146.2	188.0

Tableau / Table II.3-30

**Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 2**

***Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 2***

Voiture diesel, Euro 2, NOx / PC-diesel, Euro 2, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
5	3.8	4.0	4.1	4.7	6.2	6.8	8.7
10	4.3	4.6	4.9	6.3	8.4	9.7	12.8
20	4.5	6.0	7.6	10.5	14.0	16.7	22.4
30	4.7	7.4	10.1	14.1	18.7	22.9	31.1
40	4.8	8.3	11.7	16.3	21.7	27.4	37.8
50	5.0	8.7	12.5	17.3	23.1	30.3	42.7
60	5.3	9.3	13.3	18.5	24.6	33.5	47.7
70	6.3	10.7	15.1	21.0	27.9	38.3	54.8
80	7.4	12.9	18.3	25.5	33.9	45.7	64.9
90	8.2	15.7	23.2	32.2	42.9	55.9	78.3
100	9.2	18.8	28.5	39.6	52.6	66.9	92.7
110	11.0	22.2	33.5	46.5	65.6	94.0	123.1
120	14.0	25.6	37.3	51.8	80.1	119.1	151.0
130	17.3	29.0	40.8	56.6	94.1	143.6	178.3

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-31

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 3

*Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 3*

	Voiture diesel, Euro 3, NOx / PC-diesel, Euro 3, NOx						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
5	3.3	3.4	3.6	4.0	5.3	5.9	6.9
10	3.7	4.0	4.3	5.4	7.2	8.5	10.3
20	3.9	5.2	6.5	9.0	12.0	14.8	18.4
30	4.0	6.4	8.7	12.1	16.1	20.4	25.7
40	4.2	7.1	10.1	14.0	18.7	24.5	31.6
50	4.3	7.5	10.8	14.9	19.9	27.3	36.1
60	4.6	8.0	11.5	16.0	21.2	30.3	40.8
70	5.4	9.2	12.9	17.9	23.9	34.5	46.7
80	6.2	10.8	15.4	21.4	28.5	40.6	54.5
90	6.9	13.2	19.5	27.1	36.1	49.4	65.3
100	7.8	15.9	24.1	33.4	44.4	59.1	76.8
110	9.3	18.9	28.4	39.5	56.2	81.4	104.6
120	12.0	21.9	31.9	44.3	70.1	102.2	130.9
130	15.0	25.0	35.1	48.7	83.6	122.5	156.7

Tableau / Table II.3-32

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 4

*Nitrogen oxide basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 4*

	Voiture diesel, Euro 4, NOx / PC-diesel, Euro 4, NOx						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	3.5	4.3
10	2.0	2.1	2.1	2.7	3.6	4.8	6.0
20	2.0	2.6	3.2	4.5	6.0	8.2	10.4
30	2.0	3.2	4.3	6.0	8.0	11.1	14.2
40	2.1	3.6	5.0	7.0	9.3	13.2	17.0
50	2.1	3.7	5.4	7.4	9.9	14.4	18.9
60	2.3	4.0	5.7	8.0	10.6	15.7	20.8
70	2.7	4.6	6.5	9.0	11.9	17.8	23.7
80	3.1	5.5	7.8	10.8	14.3	21.2	28.1
90	3.5	6.6	9.8	13.6	18.1	25.0	31.9
100	3.9	8.0	12.1	16.8	22.3	29.7	37.0
110	4.7	9.5	14.2	19.8	28.0	39.1	50.1
120	6.0	11.0	15.9	22.1	34.6	48.6	62.6
130	7.5	12.5	17.5	24.3	41.0	57.6	74.2

OPACITÉ (PARTICULES PROVENANT DES ÉCHAPPEMENTS) /
TURBIDITY (EXHAUST PARTICLES)

Tableau / Table II.3-33

Coefficients d'émission de base pour l'opacité

pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission pré-Euro (CEE 15/04 et antérieur)

*Turbidity basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard pre -Euro (ECE 15/04 and before)*

	Voiture diesel, pré-Euro, opacité / PC-diesel, pre-Euro, turbidity						
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	18.3	18.3	18.3	18.3	19.4	20.7	23.2
10	18.3	19.7	20.3	20.5	22.8	25.9	31.0
15	19.8	20.6	21.4	22.8	28.5	31.4	40.9
20	20.1	21.3	22.6	25.1	30.4	38.4	52.2
30	23.2	24.6	26.1	29.0	36.8	49.6	71.0
40	30.9	32.8	34.8	38.6	50.4	69.5	102.6
50	34.1	36.2	38.3	42.6	56.6	79.9	119.3
60	29.9	36.3	38.4	42.7	58.1	82.8	125.1
70	29.3	35.8	37.9	42.1	58.1	84.2	128.5
80	28.7	34.8	36.9	43.0	57.1	83.6	128.6
90	31.6	38.6	40.7	45.2	63.5	93.8	145.3
100	46.7	56.7	60.0	66.7	94.3	140.0	217.3
110	72.2	87.7	92.8	100.1	146.4	219.1	341.9
115	84.9	103.1	109.2	121.3	172.3	259.0	406.4

Tableau / Table II.3-34

Coefficient de base d'émission pour l'opacité

pour les voiture diesel conformes à la norme d'émission Euro 1

*Turbidity basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 1*

	Voiture-diesel, Euro 1, opacité / PC-diesel, Euro 1, turbidity						
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.5	5.8	6.5
10	5.5	5.6	5.8	5.9	6.5	7.4	8.9
20	6.5	6.9	7.3	8.1	9.8	12.4	16.9
30	9.4	10.0	10.6	11.7	14.9	20.1	28.8
40	11.1	11.8	12.5	13.9	18.7	25.1	36.9
50	15.6	16.5	17.5	19.5	25.9	36.5	54.5
60	16.2	19.7	20.8	23.1	31.5	44.9	67.8
70	14.4	17.5	18.5	20.6	28.4	41.2	62.8
80	11.3	13.7	14.6	16.2	22.6	32.9	50.8
90	13.4	16.3	17.2	19.1	26.9	39.7	61.5
100	20.8	25.3	26.8	29.8	42.1	62.5	97.0
110	32.1	39.0	41.3	45.9	65.2	97.5	152.1
115	37.8	45.9	48.6	54.0	76.7	115.6	180.9

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-35

**Coefficients de base d'émission pour l'opacité
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 2**

***Turbidity basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 2***

Voiture diesel, Euro 2, opacité / PC-diesel, Euro 2, turbidity							
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
5	2.90	3.00	3.09	3.09	3.35	3.76	4.45
10	3.31	3.39	3.48	3.57	4.12	4.93	6.31
20	4.05	4.19	4.35	4.50	5.52	7.05	9.67
30	5.17	5.42	5.67	5.94	7.55	10.11	14.49
40	7.23	7.61	8.01	8.44	11.04	15.59	22.96
50	8.99	9.57	10.18	10.83	14.50	22.45	33.64
60	10.39	11.23	12.14	13.13	17.86	24.40	36.90
70	9.39	10.32	11.34	12.46	17.13	21.24	32.38
80	7.21	8.19	9.31	10.58	14.73	21.03	32.42
90	10.66	12.12	13.77	15.65	22.01	32.63	50.67
100	15.92	18.09	20.56	23.36	33.05	49.12	76.48
110	21.93	24.93	28.32	32.19	45.75	69.35	108.01
120	28.51	32.40	36.82	41.84	59.66	90.29	140.52
130	35.24	40.04	45.50	51.71	73.88	111.68	173.74

Tableau / Table II.3-36

**Coefficients de base d'émission pour l'opacité
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 3**

***Turbidity basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 3***

Voiture diesel, Euro 3, opacité / PC-diesel, Euro 3, turbidity							
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
5	1.64	1.68	1.73	1.77	1.94	2.18	2.57
10	1.88	1.93	1.98	2.03	2.38	2.84	3.63
20	2.31	2.39	2.48	2.57	3.16	4.03	5.53
30	2.96	3.10	3.25	3.40	4.32	5.78	8.29
40	4.14	4.36	4.59	4.83	6.33	8.94	13.16
50	5.16	5.49	5.84	6.22	8.33	12.91	19.34
60	5.98	6.46	6.98	7.55	10.28	14.03	21.21
70	5.39	5.93	6.51	7.16	9.84	12.16	18.54
80	4.11	4.67	5.30	6.03	8.39	11.97	18.45
90	6.05	6.87	7.81	8.87	12.48	18.50	28.73
100	9.01	10.24	11.63	13.22	18.70	27.80	43.28
110	12.40	14.09	16.01	18.19	25.86	39.19	61.04
120	16.10	18.30	20.80	23.63	33.69	50.99	79.35
130	19.89	22.60	25.68	29.19	41.70	63.04	98.07

VOITURES PARTICULIÈRES / PASSENGER CARS

Tableau / Table II.3-37

**Coefficients de base d'émission pour l'opacité
pour les voitures diesel conformes à la norme d'émission Euro 4**

***Turbidity basic emission factors for passenger cars
with diesel engines to emission standard Euro 4***

Voiture diesel, Euro 4, opacité / PC-diesel, Euro 4, turbidity							
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
5	0.61	0.63	0.65	0.66	0.72	0.81	0.96
10	0.71	0.73	0.75	0.77	0.89	1.06	1.36
20	0.89	0.92	0.96	0.99	1.21	1.56	2.15
30	1.11	1.17	1.22	1.28	1.63	2.18	3.13
40	1.55	1.63	1.72	1.81	2.37	3.34	4.92
50	1.93	2.05	2.18	2.32	3.11	4.82	7.23
60	2.23	2.41	2.61	2.82	3.84	5.25	7.93
70	2.02	2.22	2.44	2.68	3.68	4.55	6.94
80	1.54	1.75	1.99	2.26	3.15	4.49	6.93
90	2.27	2.58	2.94	3.34	4.69	6.96	10.80
100	3.39	3.85	4.38	4.97	7.04	10.46	16.28
110	4.67	5.30	6.03	6.85	9.73	14.75	22.98
120	6.06	6.89	7.83	8.90	12.68	19.20	29.90
130	7.49	8.51	9.67	10.99	15.70	23.74	36.97

**OPACITÉ DUE AUX PARTICULES NE PROVENANT PAS DES ÉCHAPPEMENTS/
TURBIDITY DUE TO NON EXHAUST PM**

Tableau / Table II.3-38

**Coefficients de base d'émission pour voitures
pour l'opacité due aux particules ne provenant pas des échappements (PM 2.5)**

***Turbidity basic emission factors for non exhaust particles (PM 2.5)
of all passenger cars (linear relation assumed)***

Opacité hors échappement voiture particulière diesel / PC-diesel, non exhaust PM			
v [km/h]	Opacity / PM [m ² /h]	v [km/h]	Opacity / PM [m ² /h]
0	0	70	6.2
10	0.9	80	7.2
20	1.8	90	8.0
30	2.6	100	9.0
40	3.6	110	9.8
50	4.4	120	10.7
60	5.4	130	11.6

L'attention du lecteur est attirée sur les fortes incertitudes qui existent sur les valeurs du tableau ci-dessus, en l'absence de résultats expérimentaux suffisamment nombreux (voir chapitre III).

The attention of the reader is drawn on the large uncertainties which concern the figures in the above table, in the absence of numerous enough experimental results (see section III).

COEFFICIENT D'ALTITUDE / ALTITUDE FACTOR

Tableau / Table II.3-39:

Coefficient d'altitude

Altitude factor

Type de moteur/ <i>Engine type</i>	Substance / <i>Substance</i>	Altitude / <i>Altitude</i> [m]				
		0	700	1000	2000	3000
Essence catalysé.*/ <i>gasoline cat.</i>	CO	1	1	2.6	11.4	13.0
	NOx	1	1	1	1	1
Essence conventionnel**/ <i>asoline conventional</i>	CO	1	1	1.8	2.5	3.2
	NOx	1	1	0.7	0.5	0.5
Diesel*** / <i>Diesel</i>	CO	1	1	1.2	1.5	1.8
	NOx	1	1	1	1	1
	Particules / <i>Particles</i>	1	1	1	1.25	1.5

* Euro 1 et plus récent ** pré-Euro *** toutes années
 * Euro 1 and more recent ** preEuro *** all years

MONOXYDE DE CARBONE / CARBON MONOXIDE

Tableau / Table II.3-40

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission ; pré-Euro (CEE 15/04)

*Carbon monoxide basic emission factors**for trucks and buses to emission standard pre-Euro (ECE 15/04)*

	Poids lourd, pré-Euro, CO / Trucks, pre-Euro, CO						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0
5	60.0	63.0	63.0	126.0	129.3	135.4	143.2
10	63.0	68.8	68.8	137.7	145.1	157.7	173.6
20	74.7	79.7	79.7	159.4	177.0	203.4	235.7
30	85.3	90.9	90.9	181.9	210.9	252.0	300.7
40	95.9	101.6	101.6	203.2	247.2	304.4	370.5
50	105.8	109.9	109.9	219.8	281.4	356.3	439.9
60	115.8	122.0	122.0	244.0	323.3	415.7	516.9
70	128.3	134.9	134.9	269.8	368.4	479.4	
80	140.9	147.3	147.3	294.6	417.9	549.9	

Tableau / Table II.3-41

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 1

*Carbon monoxide basic emission factors**for trucks and buses to emission standard Euro 1*

	Poids lourd, Euro 1, CO / Trucks, Euro 1, CO						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8
5	24.2	25.2	25.2	50.4	51.7	54.2	57.3
10	25.2	27.5	27.5	55.1	58.0	63.1	69.4
20	29.9	31.9	31.9	63.8	70.8	81.4	94.3
30	34.1	36.4	36.4	72.8	84.4	100.8	120.3
40	38.4	40.6	40.6	81.3	98.9	121.8	148.2
50	42.3	44.0	44.0	87.9	112.6	142.5	176.0
60	46.3	48.8	48.8	97.6	129.3	166.3	206.8
70	51.3	54.0	54.0	107.9	147.4	191.8	
80	56.4	58.9	58.9	117.8	167.2	220.0	

Tableau / Table II.3-42

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 2

Carbon monoxide basic emission factors for trucks and buses to emission standard Euro 2

	Poids lourd, Euro 2, CO / HGV, 10t, Euro 2, CO						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2
5	17.4	18.6	19.8	20.9	22.4	23.9	25.3
10	19.3	20.4	21.4	22.5	25.6	29.5	34.2
20	23.2	24.2	25.2	26.2	32.5	40.4	49.8
30	25.5	27.4	29.2	31.1	40.2	51.4	65.0
40	27.3	29.8	32.4	34.9	46.4	60.7	77.9
50	28.6	31.6	34.7	37.7	51.9	69.7	91.0
60	29.9	33.4	37.0	40.6	57.8	79.3	105.1
70	33.1	36.4	39.8	43.1	63.5	89.1	
80	39.7	43.4	47.2	50.9	76.8	109.2	
90		53.7	59.4	65.5	102.7		
100		68.3	76.6	83.5			

Tableau / Table II.3-43

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 3

Carbon monoxide basic emission factors for trucks and buses to emission standard Euro 3

	Poids lourd, Euro 3, CO / HGV, 10t, Euro 3, CO						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
5	12.8	13.8	14.8	15.8	16.6	17.4	18.3
10	14.1	14.9	15.7	16.5	18.5	20.5	24.3
20	16.8	17.3	17.9	18.5	22.9	27.3	35.3
30	18.3	19.5	20.8	22.1	28.2	34.4	45.8
40	19.4	21.2	23.0	24.9	32.7	40.5	54.9
50	20.0	22.4	24.7	27.0	36.7	46.3	64.1
60	20.4	23.4	26.3	29.2	40.9	52.6	74.3
70	21.1	24.4	27.8	31.2	45.2	59.1	
80	22.0	26.8	31.7	36.5	54.3	72.2	
90		31.7	39.1	46.1	71.8		
100		41.3	50.3	57.8			

Tableau / Table II.3-44

Coefficients d'émission de base pour le monoxyde de carbone pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 4

Carbon monoxide basic emission factors for trucks and buses to emission standard Euro 4

Poids lourd, Euro 4, CO / HGV, 10t, Euro 4, CO							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
5	9.7	9.7	9.7	9.7	10.9	12.1	13.4
10	10.6	10.7	10.8	10.8	12.6	14.8	17.5
20	12.6	12.9	13.1	13.4	16.5	20.5	25.2
30	13.7	14.5	15.3	16.1	20.4	25.8	32.4
40	14.4	15.7	16.9	18.2	23.6	30.4	38.5
50	14.8	16.5	18.2	19.9	26.5	34.7	44.6
60	15.2	17.3	19.5	21.6	29.5	39.4	51.3
70	16.6	18.8	21.0	23.2	32.5	44.3	
80	19.6	22.0	24.5	26.9	38.4	52.9	
90		26.7	30.0	33.4	49.0		
100		33.3	37.7	41.4			

Tableau / Table II.3-45

Coefficient de masse fm pour le CO en fonction de la vitesse

Velocity dependent mass factor fm for CO

Coefficient de masse fm pour le CO / Mass factor fm for CO						
Coefficient par rapport à un poids lourd de 10 t / proportion to a 10t-truck						
v [km/h]	pré-Euro & Euro 1			Euro 2, Euro 3 & Euro 4		
	10 t	20 t	30 t	10 t	20 t	30 t
0	1.0	1.8	2.5	1.0	1.4	1.4
5	1.0	1.8	2.5	1.0	1.4	1.7
10	1.0	1.8	2.6	1.0	1.4	2.1
20	1.0	1.8	2.6	1.0	1.4	2.6
30	1.0	1.8	2.6	1.0	1.4	2.6
40	1.0	1.8	2.5	1.0	1.4	2.7
50	1.0	1.7	2.4	1.0	1.3	2.7
60	1.0	1.6	2.3	1.0	1.3	2.7
70	1.0	1.6	2.1	1.0	1.3	2.7
80	1.0	1.5	2.0	1.0	1.3	2.7
90	1.0	1.5	2.0	1.0	1.3	2.8
100	1.0	1.5	2.0	1.0	1.3	2.8

OXYDES D'AZOTE / NITROGEN OXIDE

Tableau / Table II.3-46

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission pré-Euro (CEE 15/04)

*Nitrogen oxide basic emission factors**for trucks and buses to emission standard pre-Euro (ECE 15/04)*

	Poids lourd, pré-Euro, NOx / HGV, 10t, pre-Euro, NOx						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0	73.0
10	81.6	99.6	99.6	199.3	222.4	261.3	310.5
20	117.9	133.2	133.2	266.5	321.0	402.7	502.6
30	150.6	168.1	168.1	336.1	426.0	552.7	703.9
40	183.5	201.1	201.1	402.2	538.4	715.5	919.8
50	214.1	226.8	226.8	453.5	644.2	875.8	1134.6
60	245.0	264.3	264.3	528.5	773.7	1059.8	1373.1
70	283.8	304.2	304.2	608.3	913.5	1256.8	
80	322.7	342.5	342.5	685.0	1066.4	1475.1	

Tableau / Table II.3-47

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 1

*Nitrogen oxide basic emission factors**for trucks and buses to emission standard Euro 1*

	Poids lourd, Euro 1, NOx / HGV, 10t, Euro 1, NOx						
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3	61.3
5	64.5	68.5	68.5	137.1	145.7	161.4	181.9
10	68.5	83.7	83.7	167.4	186.8	219.5	260.8
20	99.0	111.9	111.9	223.9	269.6	338.3	422.2
30	126.5	141.2	141.2	282.3	357.8	464.3	591.3
40	154.1	168.9	168.9	337.8	452.3	601.0	772.6
50	179.8	190.5	190.5	380.9	541.1	735.7	953.1
60	205.8	222.0	222.0	443.9	649.9	890.2	1153.4
70	238.4	255.5	255.5	511.0	767.3	1055.7	
80	271.1	287.7	287.7	575.4	895.8	1239.1	

POIDS LOURDS ET BUS / TRUCKS AND BUSES

Tableau / Table II.3-48

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 2

*Nitrogen oxide basic emission factors
for trucks and buses to emission standard Euro 2*

Poids lourd, Euro 2, NOx / HG V, 10t, Euro 2, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
5	43.6	47.9	53.1	64.8	72.0	80.0	88.8
10	46.7	52.7	60.2	76.6	95.0	117.3	148.6
20	53.5	63.6	76.2	103.9	145.8	194.5	275.5
30	61.2	76.4	95.4	137.1	203.5	286.0	429.7
40	70.1	89.8	114.4	168.5	266.5	399.5	614.8
50	80.2	103.9	133.6	198.8	335.0	531.3	836.9
60	91.9	119.6	154.3	230.6	417.8	681.4	1109.6
70	105.2	137.9	178.7	268.6	513.4	867.1	
80	120.4	160.3	210.1	319.7	630.0	1135.3	
90		186.5	247.3	381.0	779.4		
100		215.3	287.0	445.0			

Tableau / Table II.3-49

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 3

*Nitrogen oxide basic emission factors
for trucks and buses to emission standard Euro 3*

Poids lourd, Euro 3, Nox / HG V, 10t, Euro 3, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
5	29.9	31.3	34.3	43.6	48.4	53.8	59.8
10	32.6	34.5	38.7	51.6	63.9	78.9	100.0
20	38.8	41.9	48.7	69.8	97.9	130.6	185.3
30	46.1	50.7	60.8	92.1	136.7	192.1	287.3
40	54.7	60.6	73.5	113.3	179.1	268.5	402.6
50	65.0	71.9	87.0	133.7	225.2	357.2	533.7
60	77.3	85.1	102.2	155.1	280.8	457.9	692.6
70	91.8	100.7	120.3	180.7	344.9	582.4	
80	109.1	119.7	143.0	215.1	423.2	762.1	
90		142.3	170.2	256.4	523.6		
100		168.5	200.5	299.5			

POIDS LOURDS ET BUS / TRUCKS AND BUSES

Tableau / Table II.3-50

Coefficients d'émission de base pour les oxydes d'azote
pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 4

*Nitrogen oxide basic emission factors
for trucks and buses to emission standard Euro 4*

Poids lourds, Euro 4, Nox / HGV, 10t, Euro 4, NOx							
[g/h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
5	18.9	19.6	21.2	25.4	28.3	31.4	34.9
10	19.9	20.8	23.1	29.1	35.9	44.0	52.9
20	21.9	23.5	27.4	37.5	52.2	69.3	88.3
30	24.1	26.5	32.3	47.4	69.4	93.9	122.3
40	26.6	29.5	36.8	55.7	86.1	118.9	156.7
50	29.3	32.7	41.1	62.8	102.4	144.8	193.8
60	32.3	36.1	45.6	70.1	120.0	171.8	238.2
70	35.7	40.0	50.7	78.8	138.1	201.8	
80	39.3	44.4	57.3	90.7	159.7	243.0	
90		49.5	65.0	105.3	187.9		
100		55.1	73.4	120.8			

Tableau / Table II.3-51

Coefficient de masse fm pour NOx en fonction de la vitesse

Velocity dependent mass factor fm for NOx

Coefficient de masse pour NOx en fonction de la vitesse / Mass factor fm for NOx Coefficient par rapport à un poids lourd de 10 t / proportion to a 10 t truck						
v [km/h]	Pré-Euro & Euro 1			Euro 2, Euro 3 & Euro 4		
	10 t	20 t	30 t	10 t	20 t	30 t
0-50	1.0	1.8	2.5	1.0	2.0	2.5
60-100	1.0	1.6	2.1	1.0	2.1	2.7

OPACITÉ (PARTICULES PROVENANT DES ÉCHAPPEMENTS) / TURBIDITY (EXHAUST PM)

Tableau / Table II.3-52

Coefficients d'émission de base pour l'opacité

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission pré-Euro (CEE 15/04)

Turbidity basic emission factors for trucks and buses to emission standard pre-Euro (ECE 15/04)

	Poids lourd, pré-Euro, opacité / HG V, 10t, pre-Euro, turbidity						
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
5	42.1	44.3	44.3	88.6	90.5	94.0	98.6
10	44.3	47.7	47.7	95.3	99.7	106.9	116.0
20	51.1	53.9	53.9	107.8	118.0	133.2	151.8
30	57.1	60.4	60.4	120.8	137.5	161.1	189.2
40	63.3	66.5	66.5	133.1	158.4	191.4	229.4
50	69.0	71.3	71.3	142.6	178.1	221.2	269.3
60	74.7	78.3	78.3	156.6	202.2	255.4	313.7
70	81.9	85.7	85.7	171.4	228.2	292.0	
80	89.2	92.9	92.9	185.7	256.6	332.7	

Tableau / Table II.3-53

Coefficients d'émission de base pour l'opacité

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 1

Turbidity basic emission factors for trucks and buses to emission standard Euro 1

	Poids lourd, Euro 1, opacité / HG V, Euro 1, turbidity						
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
5	23.1	24.4	24.4	48.7	49.8	51.7	54.2
10	24.4	26.2	26.2	52.4	54.8	58.8	63.8
20	28.1	29.6	29.6	59.3	64.9	73.3	83.5
30	31.4	33.2	33.2	66.4	75.6	88.6	104.1
40	34.8	36.6	36.6	73.2	87.1	105.3	126.2
50	38.0	39.2	39.2	78.4	98.0	121.7	148.1
60	41.1	43.1	43.1	86.1	111.2	140.5	172.5
70	45.0	47.1	47.1	94.3	125.5	160.6	
80	49.1	51.1	51.1	102.1	141.1	183.0	

Tableau / Table II.3-54

Coefficients d'émission de base pour l'opacité

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 2

Turbidity basic emission factors for trucks and buses to emission standard Euro 2

Poids lourds, Euro 2, opacité / HGV, Euro 1, turbidity							
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
5	16.5	9.3	9.4	9.5	10.4	11.6	13.0
10	9.9	10.1	10.2	10.3	12.2	14.5	17.2
20	11.4	11.7	12.0	12.3	15.8	20.2	25.4
30	12.3	13.1	13.9	14.7	19.7	25.8	33.2
40	13.0	14.3	15.7	17.1	23.3	31.1	40.4
50	13.3	15.3	17.3	19.2	26.8	36.2	47.5
60	13.6	16.2	18.8	21.3	30.4	41.8	55.5
70	14.8	17.7	20.5	23.4	34.2	47.7	
80	17.2	20.6	23.9	27.3	41.1	58.5	
90		24.8	29.1	33.3	53.0		
100		30.8	36.0	40.5			

Tableau / Table II.3-55

Coefficients d'émission de base pour l'opacité

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 3

Turbidity basic emission factors for trucks and buses to emission standard Euro 3

Poids lourd, Euro 3, opacité / HGV, Euro 3, turbidity							
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
5	6.1	6.2	6.2	6.3	6.9	7.7	8.7
10	6.6	6.7	6.8	6.9	8.1	9.6	11.5
20	7.6	7.8	8.0	8.2	10.5	13.5	17.0
30	8.3	8.8	9.3	9.8	13.1	17.3	22.2
40	8.7	9.6	10.5	11.4	15.6	20.9	27.2
50	9.0	10.3	11.5	12.8	18.0	24.5	32.3
60	9.2	10.9	12.6	14.2	20.6	28.5	38.1
70	10.0	11.9	13.8	15.6	23.2	32.8	
80	11.7	13.9	16.0	18.2	28.1	40.4	
90		16.7	19.5	22.3	36.3		
100		20.7	24.1	27.0			

Tableau / Table II.3-56

Coefficients d'émission de base pour l'opacité

pour les poids lourds et bus conformes à la norme d'émission Euro 4

Turbidity basic emission factors for trucks and buses to emission standard Euro 4

Poids lourd, Euro 4, opacité / HGV, Euro 4, turbidity							
[m ² /h]	Pente / Gradient [%]						
v [km/h]	-6	-4	-2	0	2	4	6
0	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
5	3.1	3.1	3.1	3.2	3.5	3.9	4.3
10	3.3	3.4	3.4	3.4	4.1	4.8	5.7
20	3.8	3.9	4.0	4.1	5.3	6.7	8.5
30	4.1	4.4	4.7	4.9	6.6	8.6	11.1
40	4.3	4.8	5.3	5.7	7.8	10.4	13.6
50	4.5	5.1	5.8	6.4	9.0	12.3	16.1
60	4.6	5.5	6.3	7.1	10.3	14.3	19.0
70	5.0	6.0	6.9	7.8	11.6	16.4	
80	5.9	6.9	8.0	9.1	14.0	20.2	
90		8.4	9.7	11.1	18.2		
100		10.4	12.1	13.5			

Tableau / Table II.3-57

Coefficient de masse fm pour l'opacité en fonction de la vitesse

Velocity dependent mass factor fm for turbidity

Coefficient de masse fm pour l'opacité Coefficient par rapport à un poids lourd de 10 t * / <i>Mass factor fm for turbidity proportion to a 10t-truck *</i>						
v [km/h]	pré-Euro et Euro 1			Euro 2, Euro 3 et Euro 4		
	10 t	20 t	30 t	10 t	20 t	30 t
0-50	1.0	1.8	2.6	1.0	1.9	2.3
60-100	1.0	1.6	2.1	1.0	1.9	2.6

* Emissions de l'échappement uniquement ; pas de coefficient de masse disponible pour les autres émissions

* Tail pipe emissions only; no mass dependent emission factor for non-exhaust emissions available

OPACITÉ DUE AUX PARTICULES NE PROVENANT PAS DES ÉCHAPPEMENTS/
TURBIDITY DUE TO NON EXHAUST PM

Tableau / Table II.3-58

Coefficients de base d'émission pour l'opacité due aux particules (PM 2.5)
ne provenant pas des échappements pour les poids lourds et les bus (une relation linéaire est supposée)
*Turbidity basic emission factors for non exhaust particles (PM 2.5)
of trucks and buses (linear relation assumed)*

Opacité due aux particules des poids lourds ne provenant pas des échappements	
v [km/h]	Opacité [m ² /h]
0	0.0
10	4.5
20	9.1
30	13.7
40	18.2
50	22.8
60	27.3
70	31.9
80	36.5
90	41.0
100	45.6

L'attention du lecteur est attirée sur les fortes incertitudes qui existent sur les valeurs du tableau ci-dessus, en l'absence de résultats expérimentaux suffisamment nombreux (voir chapitre III).

The attention of the reader is drawn on the large uncertainties which concern the figures in the above table, in the absence of numerous enough experimental results (see section III).

COEFFICIENT D'ALTITUDE / ALTITUDE FACTOR

Tableau / Table II.3-59

Coefficient d'altitude pour les poids lourds et les bus

Altitude factor for trucks and buses

Type de moteur/ Engine type	Substance	Altitude / Altitude [m]				
		0	700	1000	2000	3000
	CO	1	1	1.4	2.8	4.0
Diesel / Diesel	NOx	1	1	1	1	1
	Particules / Particles	1	1	1.1	1.7	2.3

L'AIPCR a publié en 1990 et 1995 la méthodologie de calcul et les facteurs d'émission pour le dimensionnement de la ventilation des tunnels routiers. Une mise à jour de la méthodologie AIPCR existante était nécessaire, puisque les normes d'émission des véhicules deviennent plus contraignantes et les véhicules plus propres. L'ancienne version décrivait la situation des émissions jusqu'en 1995. Ce document a été produit par le groupe de travail n° 2 du comité technique AIPCR de l'Exploitation des Tunnels routiers dans le cadre de ses activités entre 2001 et 2003. Par suite d'une sévérité continuellement accrue des lois visant les émissions des véhicules et des modifications dans l'appréciation des risques d'un incendie en tunnel, certaines données de conception nécessitent une mise à jour constante. Le présent rapport donne de nouvelles informations pour la conception et certaines références pour le dimensionnement d'un système de ventilation longitudinale et semi-transversale.

In 1990 and 1995 PIARC published the calculation methodology and the emission factors for road tunnel ventilation design. An update of the existing PIARC methodology was necessary, as the emission standards of the vehicles were becoming more stringent and hence the vehicles cleaner. The old version described the emission situation up to the year 1995. This document has been produced by working group 2 of the PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operations in the framework of its activities between 2001 and 2003. Due to a steady tightening of emission laws for vehicles and changes in the risk assessment of a tunnel fire, some design data need constant updating. In this publication new design information and some references are given for sizing longitudinal and transverse ventilation systems.

AIPCR - ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE

La Grande Arche - Paroi Nord

92055 LA DEFENSE Cedex - FRANCE

Fax : +33 1 49 00 02 02

E-mail : piarc@wanadoo.fr

<http://www.piarc.org>

PIARC - WORLD ROAD ASSOCIATION

ISBN : 2-84060-177-X