



PREMIER MINISTRE

**Commissariat général
à la stratégie
et à la prospective**

**Département
Développement durable**

**RAPPORTS
& DOCUMENTS**

Février 2014

Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique

**Contribution
Géraldine Ducos**

Tome 2

Rapport

« *L'évaluation socioéconomique en période de transition* »

Groupe de travail
présidé par Émile Quinet

Sommaire

1	Introduction.....	5
2	Multiplicité des polluants dus au transport et de leurs effets sur l’homme et l’environnement	6
3	Le rapport Boiteux II : internalisation des effets sanitaires des émissions de particules.....	7
3.1	Des valeurs tutélaires calculées par une approche « <i>top-down</i> »	7
3.2	Rappel des valeurs tutélaires Boiteux II	8
3.3	Rappel des recommandations en matière d’évolution dans le temps des valeurs tutélaires.....	9
4	Des évolutions significatives depuis le rapport Boiteux II.....	9
4.1	Au niveau des connaissances techniques	10
4.2	Au niveau de la valeur de la vie humaine	10
4.3	Au niveau de la composition du parc roulant et de ses émissions	10
4.4	Au niveau de la réglementation	11
5	Le « <i>Handbook</i> » (2008) : une référence européenne basée sur les principaux résultats de recherche en Europe	11
5.1	Un cadre méthodologique développé à partir de l’approche « <i>Impact Pathway Approach</i> »	12
5.2	Les valeurs de référence proposées pour internaliser les émissions atmosphériques	13
5.3	Autres valeurs issues de rapports plus récents	14
6	Application de la méthodologie européenne pour évaluer le coût de la pollution atmosphérique due au transport en France.....	15
6.1	Une méthodologie générale semblable à celle des rapports européens.....	15
6.2	Modulation du coût des impacts sanitaires en fonction de la valeur de la vie humaine et de la densité de population à proximité de l’infrastructure	16
6.3	Spécificités de calcul pour le transport routier.....	17
6.4	Spécificités de calcul pour le transport ferroviaire et fluvial	18
6.5	Cas particulier du transport aérien	19
7	Recommandations.....	20
8	Comparaison des valeurs tutélaires Quinet avec les valeurs Boiteux II, du rapport CE Delft/INFRAS et du <i>Handbook</i>	24
9	Bibliographie	27
10	ANNEXES	31

1 Introduction

Les effets sanitaires de la pollution atmosphérique sont intégrés dans le calcul socioéconomique depuis le rapport Boiteux II. Ce rapport fait une mise à jour des valeurs tutélaires du rapport Boiteux II qui tient compte de quatre évolutions majeures :

- Au niveau de la méthode de calcul : le rapport Boiteux II utilise une méthode dite « *top-down* », alors que la méthode la plus reconnue et employée aujourd'hui en Europe est la méthode « *bottom-up* ». La première utilise le coût sanitaire de la pollution atmosphérique pour le traduire en €/véh.km selon une clé de répartition basée sur la composition du parc circulant. La seconde part des émissions du parc circulant pour en déduire des concentrations au sol (à l'aide d'un modèle de dispersion atmosphérique) et des impacts sur la santé et l'environnement (à l'aide de fonctions concentration-réponse).
- Au niveau des polluants et des effets de ces polluants : le rapport Boiteux II se concentre sur les émissions de particules et leurs effets sur la santé, alors que les derniers rapports produits pour la Commission européenne proposent des valeurs intégrant un plus grand nombre de polluants et d'effets (notamment particules, NO_x, SO₂ et COVNM et leurs effets sur la santé, les cultures, les bâtiments et sur l'environnement- eutrophisation et acidification des milieux).
- Au niveau du zonage : le rapport Boiteux II ne tient compte que de trois zones de densité de population : « rase campagne » (< 37 hab/km²), « urbain diffus » (entre 37 et 450 hab/km²) et « urbain dense » (> 450 hab/km²). Les émissions du secteur des transports ayant une part de responsabilité dans les alertes répétées de pollution atmosphérique ces dernières années, deux zones supplémentaires ont été créées afin de mieux représenter les coûts de la pollution atmosphérique dans les zones urbaines (entre 1 500 et 4 500 hab/km² et > 4 500 hab/km²). Le coût des émissions est ainsi modulé en fonction, d'une part, de la densité de population des zones traversées et, d'autre part, de la vitesse des véhicules, y compris pour les zones de très forte densité.
- Au niveau de la valeur de la vie humaine : la valeur de la vie humaine a augmentée de 50 % depuis le rapport Boiteux II.

Le présent rapport fait d'abord un rappel des polluants atmosphériques émis par une infrastructure et de leurs effets sur l'homme et l'environnement, ainsi que de la méthode générale et des valeurs recommandées dans le rapport Boiteux II. Il présente ensuite les principales évolutions réglementaires, scientifiques et de « structure » (composition du parc) depuis Boiteux II et expose la méthode et les résultats du *Handbook of external costs in the transport sector* de 2008. Enfin, il présente la méthode de calcul des valeurs tutélaires de la pollution en France et propose plusieurs recommandations. En guise de conclusion, une comparaison est effectuée entre les valeurs tutélaires recommandées ici et celles des principaux rapports français et européens.

Il est rappelé que ce rapport se concentre sur les effets sanitaires et environnementaux des émissions de polluants atmosphériques (particules et gaz) de la circulation routière, ferroviaire, aérienne et fluviale. Les émissions de CO₂ sont traitées dans un rapport indépendant. Les effets de la construction d'une infrastructure sur l'environnement sont traités dans le chapitre dédié à la biodiversité. Enfin, les effets

externes amont et aval d'un projet d'infrastructure (effets tout au long du cycle de vie d'une infrastructure) sont traités dans le rapport dédié aux « autres externalités ».

2 Multiplicité des polluants dus au transport et de leurs effets sur l'homme et l'environnement

Avant de décrire les effets de la pollution atmosphérique due au transport, il est important de faire la distinction entre les polluants primaires et les polluants secondaires :

- les polluants primaires sont émis directement par la source et ont un impact relativement local (inhalation de particules, gaz (ex : NO₂, COV), odeurs, etc.) ;
- les polluants secondaires sont formés par réaction chimique et/ou photochimique des polluants primaires présents dans l'atmosphère. Ils peuvent transiter sur des distances plus ou moins grandes en fonction des vents et de la circulation atmosphérique générale. Les effets se manifestent ici à une échelle plus large (pluie acide, intoxication à l'ozone, etc.).

On voit ainsi que la pollution de l'air est une notion complexe qui doit s'envisager à la fois dans ses dimensions locales (pollutions locales et urbaines) et globales (pollutions à longues distance).

Le tableau suivant détaille les effets de chaque catégorie de polluants émis par la circulation des véhicules.

Tableau 1 : Effets des polluants émis par le secteur des transports (SETRA, 2010)

Polluants	Origine du polluant	Effets sur la santé (sous certaines concentrations)	Effets sur les bâtiments et les écosystèmes
Oxydes d'azote NO ₂		Irritant pour les bronches Augmente la fréquence et la gravité des crises d'asthme Favorise les infections pulmonaires chez les enfants	Acidification Formation d'ozone Altération de la couche d'ozone
Particules fines PM	Combustion incomplète. Abrasion des pneus et des disques de frein	Irritant et altération des voies respiratoires Propriétés mutagènes et cancérogènes en fonction de la composition	Salissure des bâtiments
Dioxyde de soufre SO ₂	Oxydation du soufre contenu dans les combustibles fossiles	Troubles respiratoires	Acidification Dégradation des bâtiments
Composés organiques volatils (COV)	Combustion incomplète des combustibles fossiles	Toxicité (dépendante du produit) Cancers pour certains (benzène par exemple)	Formation d'ozone
Monoxyde de carbone CO	Combustion incomplète des combustibles fossiles	Se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang Exposition prolongée peut conduire au coma et à la mort	Formation d'ozone

Source : SETRA

Concernant les effets sanitaires plus particulièrement, les polluants sont usuellement classés en deux grandes catégories :

- les particules (Particules totales en suspension-TSP, PM10, PM2,5, PM1,0) dont les effets sur l'individu peuvent être déterminés selon leurs caractéristiques physiques (le diamètre aérodynamique détermine la capacité de pénétration dans l'arbre broncho-pulmonaire). Notons que la composition des particules est variable selon la localisation géographique car elles se combinent à d'autres éléments chimiques et notamment les métaux lourds ;
- les molécules gazeuses (NOx, SOx, Hexachlorobenzène-HCB, etc.) dont les effets sur l'individu sont liés aux réactions biochimiques (ex : le NO₂ pénètre dans les voies respiratoires profondes où il fragilise la muqueuse pulmonaire, ce qui rend certaines catégories de la population, enfants en particulier, plus vulnérables face aux agressions infectieuses ; le NO₂ provoque également une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.

3 Le rapport Boiteux II : internalisation des effets sanitaires des émissions de particules

3.1 Des valeurs tutélaires calculées par une approche « top-down »

Le rapport Boiteux II¹ propose de calculer les valeurs tutélaires de la pollution par les particules (PM10) en deux étapes, selon une démarche « top-down » :

- 1 : calcul du coût global annuel de la pollution atmosphérique due au transport en France ;
- 2 : répartition du coût global par type de véhicule et type de zone de circulation.

Le calcul du coût global repose sur une formule du type suivant :

$$C = n . (\alpha H + \alpha \beta H)$$

C : Coût global pour la France.

n : Nombre de décès dus à une augmentation de la concentration de particules fines PM10 (base forfaitaire de 10 600 cas annuels de décès prématurés attribuables en France à la pollution PM10, équivalente à la borne inférieure de l'intervalle de confiance ressortant de l'étude OMS de 2000²).

H : Valeur d'une vie statistique (1,5 million d'€ 2000) obtenue par méthode des préférences déclarées.

(1) Le rapport Boiteux II (2001) est basé sur 4 études : l'étude dite tri-alpine réalisée sous l'égide de l'OMS et présentée à la Conférence mondiale de Londres en juin 1999 ; le rapport remis à l'UIC par IWW-IFRAS (mars 2000) ; le rapport CADAS (1999) ; l'étude ExternE (1994).

(2) Étude basée sur les résultats du programme PRIMEQUAL/PREDIT en France, Suisse et Autriche. Cette étude propose un accroissement du risque de mortalité de +4,3 % pour une augmentation de 10 µg/m³ de PM10. En appliquant ce taux à l'ensemble de la population à risque, c'est-à-dire à l'ensemble de la population française, le nombre de décès imputables à la pollution aux PM10 due au transport routier est de l'ordre de 17 600 (intervalle de confiance à 95 % = [10 600 ; 24 600]).

α : Coefficient de dépréciation de la mort due à la pollution chronique, soit 0,35¹.

β : Coefficient de dépréciation de la morbidité due à la pollution chronique, soit 0,30 (Coefficient s'inspirant des résultats de l'étude OMS de 2000²).

Ce coût global est ensuite réparti entre les différentes catégories de véhicules au prorata des parts modales et en pondérant ces catégories par les consommations unitaires de carburant des différents véhicules (ou leur niveau d'émission lorsqu'il est disponible).

Le coût par catégorie de véhicules est enfin différencié selon la densité de la zone traversée afin de tenir compte de l'exposition des populations. Trois zones de densité de population différentes sont considérées :

- urbain dense : densité supérieure à 420 hab/km² ;
- urbain diffus : densité entre 37 et 420 hab/km² ;
- rase campagne : densité inférieure à 37 hab/km².

3.2 Rappel des valeurs tutélaires Boiteux II

Les trois tableaux ci-dessous indiquent les valeurs recommandées par le rapport Boiteux II et l'Instruction-cadre de 2005.

Tableau 2 : Valeurs de référence pour le transport routier non collectif (€2000/100 véh.km)

	Urbain dense	Urbain diffus	Rase campagne	Moyenne
VP	2,9	1,0	0,1	0,9
PL	28,2	9,9	0,6	6,2

Source : Rapport Boiteux II

Tableau 3 : Valeurs pour les bus et les cars (€2000/100 véh.km)

	Urbain dense	Urbain diffus	Rase campagne
Bus	24,9	8,7	0,6

Source : Rapport Boiteux II

(1) Ce coefficient recouvre deux effets : i) l'écart de l'impact sur l'espérance de vie (réduction de 10 ans au lieu de 40 ans en moyenne) justifie un facteur correctif évalué à 0,56 si on applique un taux d'actualisation réel à 8 % ; (ii) relativement aux âges moyens, application d'un coefficient de 0,6 à la valeur des années de vie aux âges élevés.

(2) Selon cette étude, les coûts sociaux liés aux décès causés par la pollution représentent plus de 70 % du coût total imputable à la pollution atmosphérique issue du secteur des transports. Le reste se répartit principalement entre la valorisation des bronchites chroniques (20 %) et celle des activités perdues (6 %).

Tableau 4 : Valeurs pour les trains (€2000/100 train.km)

	Urbain dense	Urbain diffus	Rase campagne
Train diesel (fret)	457,6	160,4	10,5
Train diesel (voyageurs)	163,8	57,4	3,8

Source : Rapport Boiteux II

Pour les véhicules empruntant des itinéraires de vallée de montagne présentant des pentes importantes propices à un effet de confinement des polluants (vallées alpines par exemple), le rapport recommande de moduler les valeurs ci-dessus en fonction des coefficients suivants :

Tableau 5 : Coefficients de correction pour les véhicules empruntant des itinéraires de vallée de montagne

Coefficients de correction	Interurbain ou vallée de montagne, accidenté (pente assez faible : 2 à 4 %)	Interurbain ou vallées de montagne, très accidenté (pente assez forte : 4 à 6 %)
VL	1,1	1,1
PL	1,5	2,1

Source : Rapport Boiteux II

Enfin, le rapport Boiteux II recommande d'effectuer un test de sensibilité à +/- 70 % des valeurs de référence ci-dessus.

3.3 Rappel des recommandations en matière d'évolution dans le temps des valeurs tutélaires

Le rapport Boiteux II propose de faire évoluer les valeurs tutélaires ci-dessus selon deux critères :

- évolution de la valeur de la mort : « cette valeur doit augmenter comme la dépense de consommation des ménages par tête » ;
- évolution des émissions due au progrès technique : « en admettant que le coût de la pollution évolue comme la concentration des polluants, ces valeurs devraient être réduites de 9,8 % par an sur la période 2000-2020 pour les véhicules légers et de 6,5 % pour les poids lourds »

Remarque : L'instruction-cadre prend des valeurs différentes pour l'évolution des émissions : les taux d'évolution annuels des émissions sur la période 2000-2020 sont en baisse de 5,5 % pour les VL ; 6,5 % pour les PL, bus et cars.

4 Des évolutions significatives depuis le rapport Boiteux II

On observe au moins quatre évolutions significatives dans le domaine de la pollution atmosphérique depuis le rapport Boiteux II :

4.1 Au niveau des connaissances techniques

- des travaux de recherche nationaux et européens (notamment ExternE, CAFE, HEATCO, NEEDS) ont fortement contribué à la modélisation des mécanismes de dispersion atmosphérique, de concentration, d'effets sur la santé et l'environnement et de monétarisation des émissions atmosphériques. Ils ont également cherché à intégrer chacune de ces briques dans des chaînes de modèles suivant l'approche *Impact Pathway Approach* (IPA) ou approche « *bottom-up* », initialement développée dans le cadre du projet ExternE (1995, 1999, 2005). Cette approche est aujourd'hui largement acceptée et reconnue dans les milieux académiques et opérationnels ;
- les progrès de la toxicologie et de l'écotoxicologie ont par ailleurs permis la production de fonctions dose-réponse plus robustes et de prendre en compte plus de polluants (PM10 ; PM2,5 ; COVNM ; NOx ; SO₂) et plus d'effets (santé, productivité agricole, environnement, détérioration des matériaux) dans les exercices de modélisation.

4.2 Au niveau de la valeur de la vie humaine

Les derniers travaux de l'OCDE montrent une augmentation significative de la valeur de la vie humaine (+ 50 %, soit 3 millions d'€2010) (cf. Rapport sur la valeur de la vie humaine).

4.3 Au niveau de la composition du parc roulant et de ses émissions

- la composition du parc automobile a fortement évolué depuis les années 1990 pour laisser une part de plus en plus élevée aux moteurs diesel.
- même si elles dominent très largement les autres modes de transport (pour plus de 80 % du secteur du transport), les émissions du secteur du transport routier ont baissé entre 2000 et 2010 : les particules ont par exemple diminué de 23 % et les NOx de 36 % (Citepa, 2012¹). Pour les NOx, les progrès effectués correspondent au renouvellement du parc de véhicules et à l'introduction des pots catalytiques sur les véhicules particuliers essence. Ceux réalisés sur les particules s'expliquent par la réduction des émissions dues à l'échappement ainsi que par l'équipement progressif des véhicules diesel de filtres à particules (l'effet ne sera toutefois notable que dans les années à venir) ;
- les concentrations moyennes annuelles de particules (PM10 et PM2,5) et de NO₂ mesurées à proximité des axes routiers n'ont, en revanche, pas ou peu évolué ces 10 dernières années. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce phénomène, notamment la pollution de fond provenant des activités industrielles et domestiques (chauffage au bois), des entreprises, des commerces et de l'artisanat ; l'évolution à la hausse des émissions de NO₂ du trafic en lien avec la progression de la part des véhicules diesel équipés de filtres à particules au sein du parc automobile. Il est à noter que l'usage des modèles de dispersion atmosphérique dans l'approche « *bottom-up* » permet précisément de distinguer l'effet d'une variation des émissions due au trafic (routier, ferroviaire ou autre mode) des autres sources d'émissions sur la concentration des polluants au sol.

(1) CITEPA (2012), Rapport SECTEN, 336p.

4.4 Au niveau de la réglementation

- les normes d'émission des véhicules neufs EURO (véhicules lourds) et Euro (véhicules légers) sont de plus en plus restrictives. Le seuil réglementaire des émissions de NOx des véhicules légers de 2009 (Euro 5) est par exemple 7 fois inférieur au seuil de 1990 (Euro 0). Celui des émissions de particules de 2009 est 18 fois inférieur à celui de 1993 ;
- la directive Eurovignette III (2011/76/UE) marque une étape dans la taxation des poids lourds en instaurant la possibilité pour les États membres d'appliquer une redevance pour coûts externes, en complément de la redevance d'infrastructure existante (communiqué du Conseil de l'UE du 12 septembre 2011) ;
- Enfin, des objectifs réglementaires de qualité de l'air ambiant sont également fixés au niveau européen (Directive qualité de l'air 2008/50/CE) et national (notamment deux décrets sur les ZAPA : Décret n° 2012-238 du 28 février 2012 relatif aux véhicules autorisés à circuler au sein des zones d'action prioritaires pour l'air ; décret n° 2012-237 du 20 février 2012 relatif à la classification des véhicules et aux sanctions applicables en cas d'infraction à une mesure d'interdiction ou de restriction de la circulation dans les zones d'actions prioritaires pour l'air).

L'ensemble de ces points est détaillé dans l'annexe 7.

5 Le « *Handbook* » (2008) : une référence européenne basée sur les principaux résultats de recherche en Europe

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, de nombreux travaux européens ont été conduits depuis le rapport Boiteux II pour évaluer au plus près les effets physiques et les coûts de la pollution atmosphérique due au transport. Des progrès significatifs ont été réalisés pour prendre en compte les émissions des particules ainsi que des gaz (NOx, SO₂, COVNM, etc.) et leurs effets sur la santé (mortalité et morbidité) et l'environnement. On peut citer parmi eux les projets ExternE (2005¹), CAFE (2005²) et HEATCO (2006) (qui reprend les valeurs de ExternE, 2005 et UNITE, 2003³). Ces travaux produisent des données pouvant servir de référence au calcul des coûts de la pollution atmosphérique (taux de mortalité/morbidité, VOLY, facteurs d'émission des véhicules, etc.).

Les valeurs proposées dans le *Handbook on estimation of external costs in the transport sector* (2008) et présentées plus bas sont calculées sur la base des résultats de ces études européennes.

(1) ExternE : Externalities of Energy : Methodology 2005 Update. European Commission.

(2) CAFE (*Clean Air For Europe*), *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA), (2005) CAFE CBA : Baseline Analysis 2000 to 2020.

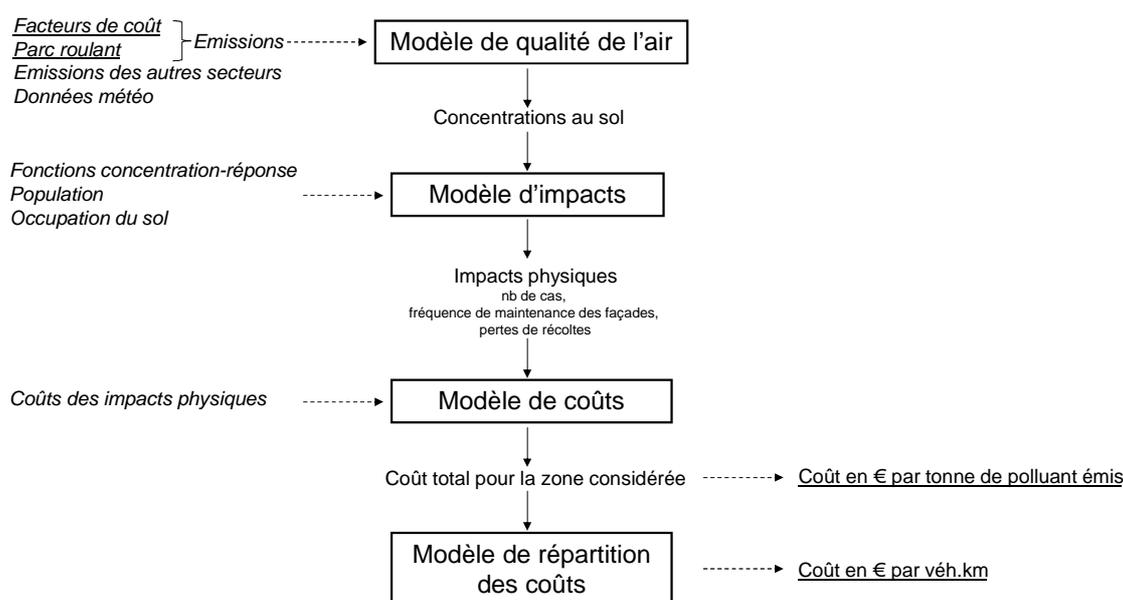
(3) UNITE (2003): *Final report for publication. Project funded by the European Commission* November 2003.

5.1 Un cadre méthodologique développé à partir de l'approche « *Impact Pathway Approach* »

Les études citées plus haut ainsi que le *Handbook* appliquent une même méthodologie globale appelée *Impact Pathway Approach* (IPA), initialement développée dans le projet ExterneE financé par la DG Recherche.

Les valeurs de référence produites par le *Handbook* sont le résultat de la démarche illustrée par le diagramme suivant.

Figure 1 : Démarche *Impact Pathway Approach* (IPA)



Les émissions de polluants atmosphériques prises en compte sont :

- les particules : PM10, PM2,5 ;
- les gaz : NOx, SO₂ et COVNM.

Les impacts considérés sont :

- pour les particules : la mortalité et la morbidité ;
- pour les gaz : les pertes de récolte, la détérioration des matériaux (notamment dans le bâtiment), et également sanitaires (mortalité et morbidité) par les sulfates, nitrates et O3.

Les valeurs de référence proposées dans le *Handbook* sont calculées à partir des données d'entrées suivantes :

- le coût de la pollution est évalué à partir de coûts marginaux par tonne de polluant émis provenant des projets HEATCO (pour les émissions de PM2,5 et PM10) et CAFE-CBA (pour émissions de NOx, SO₂ et COVNM) qui hébergent des modèles de dispersion atmosphérique et de concentration au sol ;

- le projet HEATCO utilise les valeurs suivantes pour une année de vie supplémentaire espérée (VOLY) : 60 500 €2002 en aigüe et 40 300 €2002 en chronique¹. Le projet CAFE-CBA utilise une VOLY de 52 000 €2002² ;
- le coût de l'accroissement de la morbidité est estimé dans le rapport HEATCO à partir, notamment, des coûts d'hospitalisation et de perte de productivité ;
- le coût des dommages en € par véh.km est calculé à partir d'un modèle de répartition des coûts appliqué au cas de l'Allemagne. Il repose sur des données d'émissions et de trafic différenciées par zone (urbain dense, urbain diffus, rase campagne), par type de véhicule et par type de moteur (essence, diesel, électrique). Ces données sont produites par le modèle REMOVE.

5.2 Les valeurs de référence proposées pour internaliser les émissions atmosphériques

Le tableau suivant indique quelques une des valeurs de référence du *Handbook*.

Tableau 6 : Coûts des émissions directes de polluants atmosphériques dues à la circulation selon le *Handbook* (2008)

Valeurs en €2000/100 véh.km ALLEMAGNE	Coûts annuels des émissions dues à la circulation de PM10, PM2,5, NOx, SO ₂ et COVNM (mortalité-morbidité ; bâtiments-matériel ; pertes de culture)		
	Métropole	Urbain	Interurbain
VP Essence Euro 3 (1,4-2L)	0,3	0,2	0,1
VP Essence Euro 4 (1,4-2L)	0,3-0,2 (> 2 l)	0,1	0,1
VP Diesel 4 Euro 3 (1,4-2L)	3,1	1,5	0,9
VP Diesel 4 Euro 4 (1,4-2L)	1,7	0,8	0,5
Camion (< 7,5 t-> 32t) Euro 3	7,5-14,6	4,8-10,6	4,0-8,5
Camion (< 7,5 t-> 32t) Euro 4	3,2-7,4	2,5-6,1	2,3-5,1
	Métropole	Urbain	Non urbain
Train Pass. Elec. : trains tractés	0,0	0,0	0,0
Train Pass. Elec. : automoteurs	0,0	0,0	
Train Pass. Elec. : TGV			0,0
Train Pass. Diesel : trains tractés	204,7	108,8	90,7
Train Pass. Diesel : automoteurs	171,0	144,8	
Train Fret Elec.	0,0	0,0	0,0
Train Fret Diesel	690,0	366,8	305,8

Source : *Handbook* (2008)

Ces valeurs sont applicables en fonction de la population de la zone traversée par l'infrastructure selon la classification suivante:

- métropole : > 500 000 habitants ;
- urbain et interurbain < 500 000 habitants.

(1) VOLY chronique calculée à partir de la VVS de 1 052 000 €2002.

(2) VOLY estimée par Consentement à Payer pour un gain d'espérance de vie de 10 ans.

5.3 Autres valeurs issues de rapports plus récents

Le rapport CE Delft-Infras Update 2008 (2011) reprend la démarche du *Handbook* de 2008 pour calculer des valeurs de référence de coût des dommages par passager.km (et non par véh.km) en actualisant certaines données :

- utilisation des valeurs de coût marginal des impacts sur les cultures et les matériaux des émissions de gaz (NOx, SO₂ et COVNM) du projet NEEDS de 2007¹ ;
- utilisation des valeurs de coût marginal des impacts sur l'environnement (eutrophisation et acidification des milieux) de l'étude NEEDS de 2006² ;
- utilisation des valeurs de coût marginal sur la santé des émissions de particules (PM_{2,5} et PM₁₀) du projet HEATCO qui se base sur une valeur de la vie humaine de 60 500 €2002 par année de vie perdue (mortalité « aigüe ») et de 40 300 €2002 par année de vie perdue (mortalité « chronique »³) ;
- utilisation des données de trafic (nombre de passager.km) du modèle TREMOVE harmonisées avec les données de trafic d'Eurostat.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs pour la France.

Tableau 7 : Coûts des émissions de polluants atmosphérique due à la circulation selon une communication des auteurs du rapport CE Delft-Infras Update 2008 (2011)

Valeurs en €2008 FRANCE	Coûts annuels des émissions directes de PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO _x , SO ₂ et COVNM (Mortalité-morbidité ; Bâtiments-matériel ; Pertes de culture)	Coûts annuels des émissions directes de NO _x , SO ₂ et COVNM (Environnement)
Voiture	7,5 €/1 000 pass.km	0,2
Bus	7,1 €/1 000 pass.km	0,3
Deux roues motorisées	11,6 €/1 000 pass.km	0,1
VUL	17,3 €/1 000 t.km	0,4
PL	8,1 €/1 000 t.km	0,3
Train passager	1,7 €/1 000 pass.km	0
Train fret	1,5 €/1 000 t.km	0
Avion	1,4 €/1 000 pass.km	0,1
Fluvial	5,0 €/1 000 t.km	0,2

Source : Annexe non publique du rapport CE Delft-Infras (2011)

(1) NEEDS (2007), B. Desaignes et al., *New energy externalities development for sustainability* (NEEDS), Deliverable D6.7: *Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution*, Paris : University of Paris, 2007.

(2) NEEDS, 2006 (p. 40). *Values for 2004. Adjustment to 2008 is done using GDP/cap development for each country*. Cette étude est la plus récente appliquant l'approche *bottom-up* avec le modèle EcoSense.

(3) VOLY chronique calculée à partir de la VVS de 1 052 000 €2002.

6 Application de la méthodologie européenne pour évaluer le coût de la pollution atmosphérique due au transport en France

Les valeurs tutélaires du rapport Boiteux II ont l'avantage d'être basées sur des données d'émission et de mortalité spécifiques à la France mais présentent plusieurs lacunes :

- elles sont partielles : ces valeurs correspondent aux effets des PM10 sur la mortalité et la morbidité uniquement alors que d'autres polluants et d'autres effets significatifs peuvent être pris en compte ;
- elles sont basées sur une méthode de calcul qui n'est pas la plus robuste aujourd'hui : l'approche *top-down* n'est plus, ou rarement, utilisée pour produire ce type de résultats, les spécialistes du domaine privilégiant l'approche « *bottom-up* » ;
- elles sont obsolètes : les données d'émission, de trafic et la valeur de la vie humaine prises en compte dans le calcul des valeurs Boiteux ne sont plus conformes au contexte actuel (cf. rapport sur la valeur de la vie humaine).

Nous prendrons donc les valeurs du *Handbook* de 2008 mais en les adaptant. En effet, bien que ces valeurs soient considérées comme robustes, quelques critiques peuvent être émises à leur égard :

- elles ne tiennent pas compte de l'augmentation de la valeur de la vie humaine observée au cours de ces 10 dernières années, notamment, dans le récent rapport de l'OCDE de 2012 (environ + 50 %) ;
- elles sont calculées à partir de données allemandes de trafic, d'occupation du sol et de population. Or, il existe des écarts significatifs de densité de population entre des zones urbaines et non urbaines en France et en Allemagne, de même, la composition du parc automobile allemand n'est pas comparable au parc français, etc.

Il apparaît par conséquent préférable de calculer de nouvelles valeurs tutélaires pour les modes de transport français afin de satisfaire au mieux l'ensemble de ces points.

La méthode de calcul proposée, et présentée ci-dessous, est calquée sur celle du *Handbook* et du rapport CE Delft-Infras Update 2008 (2011). Cette méthode est appliquée aux émissions directes associées à la circulation. Les émissions associées à la construction de l'infrastructure, à la production d'énergie (carburant, électricité) ainsi que les émissions des nouvelles activités induites par la création de l'infrastructure ne sont pas prises en compte.

6.1 Une méthodologie générale semblable à celle des rapports européens

La méthode de calcul développée pour ce rapport est la même que dans le *Handbook* ou le rapport CE Delft-Infras.

Elle est appliquée aux émissions atmosphériques associées à la circulation française pour tous les modes de transport (routier, ferroviaire, aérien et fluvial). Elle peut être résumée comme suit :

- 1) Calcul du coût annuel des impacts du polluant p émis par la catégorie de véhicule v , $Coût_{vp}$ (en €/véh.km) :

$$Coût_{vp} = F_{vp} \cdot C_p$$

F_{vp} : Facteur d'émission du polluant p par la catégorie de véhicule v (en g/veh.km) ;

C_p : Coût marginal des impacts sanitaires et environnementaux des émissions du polluant p (en €/g).

- 2) Calcul de la valeur tutélaire des émissions de polluants de la catégorie de véhicule v (en €/véh.km):

$$Valeur\ tutélaire_v = \sum_{p=1}^n Coût_{vp}$$

6.2 Modulation du coût des impacts sanitaires en fonction de la valeur de la vie humaine et de la densité de population à proximité de l'infrastructure

Dans un souci de cohérence avec les recommandations sur la valeur de la vie humaine du présent rapport, la part mortalité des coûts marginaux est corrigée d'un facteur 2,5. Ce facteur correspond au rapport entre la VOLY utilisée dans les rapports HEATCO et CE Delft-INFRAS, à savoir 46 000 € 2010, et celle du présent rapport, soit 115 000 € 2010.

Pour être le plus complet possible, le coût des impacts sanitaires des polluants primaires émis par la circulation devrait être modulé en fonction de l'exposition de la population située à proximité de l'infrastructure. L'idéal serait pour cela de disposer d'un modèle de dispersion atmosphérique défini à une échelle locale pour calculer les concentrations qui résulteraient des émissions de la circulation induite par le projet. À défaut d'un tel outil, le coût des impacts sanitaires est, en première approximation, modulé en fonction de la densité de population située à proximité de l'infrastructure en appliquant les facteurs indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Facteurs multiplicatifs de densité de population pour le calcul des coûts sanitaires lorsque l'infrastructure passe d'une zone à l'autre

Interurbain à Urbain diffus	Urbain diffus à Urbain	Urbain à Urbain dense	Urbain dense à Urbain très dense
*10	*3	*3	*3

Source : CGSP

Ces facteurs sont déduits à partir des écarts de densité moyenne entre zones (cf. tableau 9).

Tableau 9 : Densité de population des zones traversées par l'infrastructure

<i>hab/km²</i>	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette	< 37	37-450	450-1 500	1 500-4 500	> 4 500
Densité moyenne	25	250	750	2 250	6 750

Source : CGSP

Ces coefficients entre zones mériteraient néanmoins d'être révisés de manière à prendre en compte la dispersion atmosphérique des polluants émis selon les conditions météorologiques locales pour en déduire les concentrations de polluants auxquelles la population est exposée.

L'annexe 3 présente le calcul détaillé des coûts marginaux en fonction de la densité de population de la zone traversée par l'infrastructure.

6.3 Spécificités de calcul pour le transport routier

La procédure générale de calcul exposée plus haut est effectuée pour les émissions de particules et de gaz (NO_x, SO₂ et COVNM) de la circulation routière. Les émissions de particules proviennent de la combustion moteur et de l'usure des matériaux (revêtement de sol, pneus, plaquettes de frein) alors que celles de gaz de la combustion moteur uniquement.

Les valeurs de coût marginal sont issues du rapport HEATCO (2006) et correspondent aux impacts suivants¹ :

- Particules (PM_{2,5}) : effets sanitaires (mortalité et morbidité) ;
- NO_x : effets sur la santé (via nitrates et O₃), eutrophisation des milieux et effet fertilisation des sols agricoles (via nitrates), pertes de cultures (via O₃) ;
- SO₂ : santé (via sulfates), acidification des milieux, pertes de cultures ;
- COVNM : effets sanitaires (via O₃), pertes de cultures (via O₃).

Les facteurs d'émission utilisés sont calculés à partir des émissions du parc roulant de 2010 du rapport SECTEN du CITEPA (2012).

Dans la mesure où les émissions de polluants à l'échappement dépendent de la vitesse de circulation du véhicule, les facteurs d'émissions sont modulés par un coefficient comme indiqué dans tableau suivant. Dans l'état des connaissances actuelles, seules les émissions de NO_x et de PM_{2,5} sont renseignées.

(1) À partir l'annexe D du livrable 5 du rapport HEATCO (pp14-21).

Tableau 10 : Coefficients de vitesse pour le calcul des facteurs d'émission lorsque l'infrastructure passe d'une zone à l'autre

	Interurbain à urbain diffus	Urbain diffus à urbain	Urbain à urbain dense	Urbain dense à urbain très dense
VL NOx	/1,5	/1,3	*1	*1,5
VL PM2,5	/1,5	/1,7	*1	*1,3
PL NOx	*1,1	*1,2	*1	*1,6
PL PM2,5	*1	*1,2	*1	*2

Source : CGSP

NB : les facteurs des VP sont également appliqués aux deux roues et VUL ; de même, les facteurs PL sont appliqués aux bus également.

Ces coefficients sont calculés à partir des facteurs d'émissions déterminés par le modèle COPERT en fonction de la vitesse du véhicule (cf. tableau ci-dessous).

Tableau 11 : Vitesse et facteurs d'émission des zones traversées par l'infrastructure

Km/h	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Véhicules légers					
Vitesse (km/h)	130	110	40-80	40-80	20
Facteur d'émission NOx (g/veh.km)	1,2	0,8	0,6	0,6	0,9
Facteur d'émission PM2,5 (g/veh.km)	0,09	0,06	0,035	0,035	0,045
Poids lourds					
Vitesse (km/h)	90	80	40-80	40-80	20
Facteur d'émission NOx (g/veh.km)	5,5	6	7	7	11
Facteur d'émission PM2,5 (g/veh.km)	0,125	0,125	0,15	0,15	0,3

Source : CGSP, à partir de SETRA (2009), émissions routières de polluants atmosphériques : courbes et facteurs d'influence.

Les annexes 1 et 2 présentent le détail du calcul des facteurs d'émission pour les véhicules légers et lourds respectivement.

L'annexe 4 montre ensuite le calcul des valeurs tutélaires du mode routier.

6.4 Spécificités de calcul pour le transport ferroviaire et fluvial

À défaut de données pour calculer les coûts des transports ferroviaire et fluvial, les valeurs de référence du rapport CE Delft-INFRAS sont reprises pour déterminer les valeurs tutélaires françaises.

Les valeurs de référence CE Delft-INFRAS sont en €/veh.km et couvrent les effets sanitaires (mortalité et morbidité) et environnementaux (eutrophisation des milieux et pertes de cultures) des émissions de particules et de NOx des transports ferroviaire et fluvial, à l'exception du train électrique pour lequel les émissions de ces polluants sont considérées comme négligeables.

Afin d'intégrer l'évolution de la valeur de la vie humaine, et étant donné que le rapport de CE Delft/INFRAS se base sur les données de coût du rapport HEATCO pour les émissions de particules, la part « mortalité » des coûts marginaux des particules est également multipliée par 2,5. Sachant que, selon une communication du bureau d'étude CE Delft, la part des particules représente environ 85 % des valeurs R_t proposées dans le rapport CE Delft/INFRAS pour le type de train t , les valeurs tutélaires sont calculées de la manière suivante :

$$\text{Valeur tutélaire}_t = 2,5 * 0,5(0,85R_t) + (1 - 0,5) * (0,85R_t) + (1 - 0,85)R_t$$

Cette formule cherche à extraire la part des particules (effets sanitaires) dans la valeur de référence ($0,85R_t$), puis à appliquer le coefficient correcteur de la valeur de la vie humaine (2,5) à la sous-part « mortalité » de la part des particules ($0,5(0,85R_t)$).

L'annexe 5 détaille le calcul de ces valeurs tutélaires.

6.5 Cas particulier du transport aérien

On calcule ici :

- d'une part, le coût des émissions de NOx par mouvement, un mouvement étant un décollage ou un atterrissage ;
- d'autre part, le coût des émissions moyennes de NOx au cours d'un vol moyen (entre 500 et 1 000 km) en France et en Europe. Un vol correspond à un décollage, une phase croisière et un atterrissage.

Des exemples de coûts pour quelques aéroports français sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Exemples de coûts des émissions de NOx pour des aéroports en zone « urbain » et « urbain diffus »

<i>Ex d'aéroports en zone</i>	<i>« Urbain »</i>			<i>« Urbain diffus »</i>	
	Roissy	Orly	Toulouse	Nice	Lyon
Coût des émissions en phase LTO pour 100 mouvements (€2010/100mouv)	17203	11850	8754	2878	3035
Coût total des émissions pour 100 vols (€2010/100vols)	53038	26311	13579	11809	13148
Coût total moyen pour 100 vols.km (€2010/100 vols.km)	16,02	14,30	16,42	12,34	13,32

Source : CGSP à partir du rapport DGEC (2010), *Les émissions gazeuses liées au trafic aérien en France en 2009*

NB : Les émissions en phase LTO agrègent les émissions associées à l'atterrissage et au décollage. Un « mouvement » est un atterrissage ou un décollage.

L'annexe 6 détaille le calcul de ces coûts.

7 Recommandations

Recommandation 1

Prendre en compte la valeur de la pollution atmosphérique due à la circulation dans les analyses socioéconomiques *via* l'utilisation des valeurs tutélaires présentées dans les tableaux ci-dessous.

– Transport routier :

Tableau 13 : Valeurs tutélaires pour le transport routier (émissions dues à la combustion et à l'usure pour les PM)

€2010/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP	15,8	4,3	1,7	1,3	0,9
VP diesel	20,4	5,5	2,2	1,6	1,1
VP essence	4,5	1,3	0,6	0,5	0,5
VP gpl	3,6	1,0	0,4	0,3	0,2
VUL	32,3	8,7	3,4	2,4	1,6
VU diesel	33,7	9,1	3,5	2,5	1,6
VU essence	6,3	1,9	0,9	0,8	0,8
PL Diesel	186,6	37,0	17,7	9,4	6,4
Deux roues	8,7	2,5	1,0	0,8	0,5
Bus	125,4	24,8	11,9	6,3	4,2

Source : CGSP

Tableau 14 : Composition du parc roulant VP diesel et essence

Parc 2010 VP Diesel			Parc 2010 VP Essence		
	Md véh.km	%		Md véh.km	%
Pre-Euro (... -1989/1992)	6	2 %	ECE 15/04 (1987-1989/1992)	6,6	5 %
Euro 1 (1993-1996)	21,3	7 %	Euro 1 (1993-1996)	15	12 %
Euro 2 (1997-2000)	43,9	15 %	Euro 2 (1997-2000)	28,5	23 %
Euro 3 (2001-2005)	81,2	27 %	Euro 3 (2001-2005)	30,5	25 %
Euro 4 (2006-2010)	145,8	49 %	Euro 4 (2006-2010)	40,9	34 %
Total	298,2	100 %	Total	121,5	100 %

Source : CGSP à partir du rapport OMINEA, 2012

Le tableau ci-après présente une déclinaison Norme Euro du coût des émissions de NO_x, SO₂, COVNM et PM_{2,5} des véhicules VP et VUL. Ici, les émissions ne sont dues qu'à la combustion moteur :

Tableau 15 : Déclinaison par Norme Euro des coûts des émissions de NOx, SO₂, COVNM et PM_{2,5} dues à la combustion des VP et VUL

€2010/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP Diesel					
Euro 1	32,3	8,6	3,2	2,1	1,15
Euro 2	18,8	5,1	2,0	1,5	1,05
Euro 3	11,6	3,1	1,2	0,8	0,53
Euro 4	5,81	1,56	0,60	0,42	0,27
Euro 5	1,3	0,4	0,2	0,2	0,17
Euro 6	1,1	0,3	0,1	0,1	0,08
VP Essence					
Euro 1					
Euro 2					
Euro 3	0,97	0,33	0,20	0,19	0,20
Euro 4	0,92	0,30	0,16	0,14	0,13
Euro 5	0,91	0,29	0,16	0,13	0,12
Euro 6	0,91	0,29	0,16	0,13	0,12
Euro 5*	1,23	0,37	0,18	0,15	0,12
Euro 6*	1,11	0,35	0,17	0,14	0,12
VUL Diesel					
Euro 1	43,9	11,7	4,4	3,0	1,70
Euro 2	28,1	7,7	3,0	2,2	1,59
Euro 3	16,2	4,4	1,7	1,2	0,70
Euro 4	9,3	2,5	0,9	0,6	0,37
Euro 5	1,3	0,4	0,2	0,2	0,23
Euro 6	1,1	0,3	0,1	0,1	0,11
VUL Essence					
Euro 1					
Euro 2					
Euro 3	1,13	0,41	0,25	0,24	0,26
Euro 4	1,07	0,37	0,21	0,19	0,19
Euro 5	1,06	0,36	0,20	0,18	0,16
Euro 6	1,06	0,36	0,20	0,18	0,16
Euro 5*	1,27	0,41	0,22	0,19	0,17
Euro 6*	1,16	0,39	0,21	0,18	0,16

Source : CGSP

*Uniquement pour les véhicules à injection directe.¹

NB : Ces valeurs sont calculées en tenant compte :

- Pour les émissions de NOx : des facteurs d'émission préconisées par les Normes Euro, à l'exception des Normes Euro 1 et 2 des véhicules diesel qui correspondent aux émissions moyennes de NOx du parc roulant de 2010, et, des Normes Euro 3 et 4 des véhicules essence qui correspondent aux émissions moyennes de PM_{2,5} du parc roulant de 2010.

(1) En effet, selon le RÈGLEMENT (UE) N o 459/2012 DE LA COMMISSION modifiant le règlement (CE) n o 715/2007 du Parlement européen et du Conseil ainsi que le règlement (CE) n o 692/2008 de la Commission en ce qui concerne les émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 6), « sur la base des connaissances actuelles, il apparaît que le niveau des émissions de particules par les moteurs à injection indirecte, qui injectent le carburant dans les collecteurs ou orifices d'admission plutôt que directement dans la chambre de combustion, est faible. Il paraît donc justifié de limiter pour l'instant l'action réglementaire aux véhicules équipés de moteurs à injection directe ».

- Pour les émissions de PM_{2,5} : des facteurs d'émission préconisées par les Normes Euro, à l'exception des Normes Euro 1 et 2 des véhicules diesel qui correspondent aux émissions moyennes de NO_x du parc roulant de 2010, et, des Normes Euro 3, 4, 5 et 6 des véhicules essence à injection indirecte qui correspondent aux émissions moyennes de PM_{2,5} du parc roulant de 2010.
- Pour les émissions de COVNM et de SO₂ : des facteurs d'émissions moyens obtenus à partir des émissions totales du parc circulant de 2010 ainsi que des distances parcourues.
- Transport ferroviaire :

Les chiffres du tableau qui suit sont valables pour des trains de grandes lignes. Ils ne sont pas adaptés au cas des trams et métros pour lesquels des études doivent être faites.

Tableau 16 : Valeurs tutélaires pour le transport ferroviaire

€2010/100 trains.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
Train passager Diesel	881,5	293,8	97,9	32,6	3,3
Train passager Elec	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables
Train fret Diesel	750,5	250,2	83,4	27,8	2,8
Train fret Elec	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables	négligeables

Source : CGSP

Les trains électriques et diesel émettent des particules du fait de l'abrasion mécanique des rails, roues, caténaires et freins. Dans la mesure où ces particules ne résultent pas d'une combustion, leurs effets sur la santé sont supposés moindres que dans le cas des particules contenues dans les gaz d'échappement¹. Ces coûts ne sont toutefois pas assez référencés pour donner lieu à un chiffrage précis et ont été considérés comme proches de zéro.

Il est par ailleurs à noter que, tout comme les trains électriques, les rames de métro émettent des particules par abrasion mécanique des rails, roues, caténaires et freins qui peuvent générer des concentrations non négligeables de particules dans les tunnels. Ce point devrait faire l'objet de campagnes de mesures dans le métro parisien prochainement. De même, la nocivité de ces particules devrait donner lieu à des travaux complémentaires afin que des valeurs de coûts puissent être retenues².

- Transport fluvial :

Tableau 17 : Valeurs tutélaires pour le transport fluvial

€2010/100 bateaux.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
Fluvial	18900	6350	2150	750	140

Source : CGSP

(1) En appliquant le coût des PM_{2,5} issues de la combustion aux PM_{2,5} issues de l'abrasion mécanique, on obtiendrait un coût des trains électriques d'environ 40 € 2010/100 trains.km (passagers) et 60 € 2010/100 trains.km (fret) en zone « urbain diffus ».

(2) Des travaux de ce type ont été réalisés par Ari Rabl dans son ouvrage à paraître au Cambridge University Press,

- Transport aérien :

Tableau 18 : Valeurs tutélaires pour le transport aérien

	Urbain	Urbain diffus
Mouvement : (€2010/100 mouv)	Entre 8700 et 17200	Entre 2900 et 3050
Vol : (€2010/100 vols.km)	Entre 14,3 et 16,5	Entre 12,3 et 13,3

Source : CGSP

Ces valeurs tutélaires (tableaux 13, 16, 17 et 18) doivent être appliquées aux tronçons de réseau lorsqu'ils correspondent aux densités de population indiquées dans le tableau 9 du chapitre VI.b.

Recommandation 2

Faire évoluer les valeurs de la pollution atmosphérique en tenant compte, d'une part, de l'évolution du PIB par tête et d'autre part, de l'évolution du parc circulant et de l'évolution des émissions individuelles (ces dernières sont estimées à – 6 % par an sur la période 2010-2020 pour le mode routier). Au-delà, établir le coefficient à partir de scénarios d'émissions du parc circulant sur le moyen et long terme.

Les valeurs de la pollution doivent représenter au mieux les évolutions à venir dans deux domaines en particulier :

- l'évolution des valeurs de la vie humaine, de la morbidité, des récoltes, des dommages sur les bâtiments et l'environnement : il est supposé que ces valeurs augmentent comme le PIB par tête;
- l'évolution des émissions de PM10, NOx, COVNM et SO₂ due au progrès technique et à la réglementation. Par exemple, pour le transport routier, en admettant que le coût de la pollution évolue comme les émissions des polluants, ces valeurs devraient être réduites de 6 % par an sur la période 2010-2020¹. Puis, à supposer que la nouvelle directive sur les plafonds nationaux d'émission actuellement en préparation instaure des plafonds inférieurs à ceux de la directive 2001/81CE, ces valeurs devraient être réduites en conséquence tout au long de la période de référence de la future directive. Au-delà, il est recommandé de les maintenir au niveau des émissions plafonds de la nouvelle directive. Pour les modes aérien, ferré diesel et fluvial, il est recommandé de faire évoluer les émissions dues à la combustion moteur de la même manière que l'évolution de la consommation de combustible/combustible. Cette règle d'évolution des émissions ne tient toutefois pas compte de la réduction possible des émissions par le progrès technique. Celle-ci pourra être intégrée dans les dossiers sous réserve de justifications précises.

(1) Le taux de réduction des émissions françaises de 6 % est calculé sur la base du scénario « CP » modélisé par l'IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*) dans lequel les émissions sont simulées pour 2020 sous hypothèse que :

- la réglementation en vigueur actuellement est mise en œuvre, y compris la norme EURO VI pour les poids lourds ;
- les plafonds d'émissions nationaux réglementaires pour 2010 sont respectés en 2020.

Afin de tenir compte de ces évolutions, il est recommandé de faire évoluer les valeurs tutélaires ci-dessus par :

- ($\alpha\%+x\%$) par an sur la période 2010-2020, α étant l'évolution annuelle du PIB par tête attendue sur la période 2010-2020, x étant l'évolution annuelle des émissions de polluants des véhicules ;
- puis par ($\alpha\%+x\%$) par an sur la période de référence de la future Directive sur les plafonds nationaux d'émission, x devant être déterminé en fonction du nouveau plafond réglementaire pour la France ;
- au-delà, par + α % par an.

Recommandation de plus long terme

Poursuivre les recherches afin de pouvoir disposer de valeurs de la pollution atmosphérique plus adaptées à la densité de population et aux conditions météorologiques françaises.

L'attribution d'une valeur économique aux émissions de polluants atmosphériques fait appel à de nombreux domaines scientifiques (modélisation météo et atmosphérique, toxicologie, écotoxicologie, etc.) en constante évolution. Une mise à jour régulière des valeurs ci-dessus en fonction des avancées de la recherche est fortement recommandée. Il est particulièrement encouragé de développer, en France, une chaîne de modèles visant à quantifier et à monétariser les effets de la pollution atmosphérique et cela, à l'échelle la plus fine possible. Cette chaîne de modèles devra permettre de distinguer la part des grands secteurs de l'économie, et en particulier celle du secteur du transport et de ses différents modes, dans le coût des émissions atmosphériques. Il est nécessaire en tout cas qu'une veille soit assurée concernant les études et recherches en cours, de façon que leurs résultats soient traduits de façon adéquate dans la mise en œuvre des calculs de rentabilité.

8 Comparaison des valeurs tutélaires Quinet avec les valeurs Boiteux II, du rapport CE Delft/INFRAS et du *Handbook*

Le tableau suivant montre que les valeurs tutélaires Quinet pour le transport routier sont globalement plus élevées que les valeurs recommandées dans le rapport Boiteux II :

- en zone « interurbain », les valeurs Quinet tiennent compte, en plus des coûts sanitaires des PM_{2,5}, les coûts sanitaires et environnementaux des NO_x, COVNM et SO₂. De plus, la part mortalité des coûts sanitaires est multipliée par 2,5 (pour prendre en compte une valeur de la vie humaine à 3 millions d'€2010). Le rapport Boiteux II ne prenait en compte que les coûts sanitaires des particules pour une valeur de la vie humaine de 3 millions d'€2010) (équivalents à une VOLY de 115 000 €2010) ;
- les écarts observés pour les zones « urbain diffus » et « urbain » s'expliquent, pour les valeurs Quinet, par la modulation des coûts des polluants primaires (particules) en fonction de la densité de population (plus la densité augmente, plus le coût augmente) alors que les coûts des polluants secondaires (NO_x, SO₂ et COVNM) restent constants d'une zone à l'autre. Dans les valeurs Boiteux II, seul l'effet « polluant primaire » est pris en compte ;

- la forte hausse des valeurs en zones « urbain dense » et « urbain très dense » s'explique par la prise en compte de la densité élevée de population dans ces zones combinée à des facteurs d'émission qui augmentent par rapport à la zone « urbain diffus » du fait des vitesses moyennes de circulation inférieures.

Les écarts de valeur entre type de véhicules diesel (VP, VUL, PL) s'expliquent en grande partie par la consommation de carburant qui est très variable d'un type de véhicule à l'autre (entre 5 et 10 l/100km pour un véhicule léger ; entre 35 et 40 l/100km pour un véhicule lourd vide).

Pour les modes de transport ferroviaire et fluvial, il est rappelé que les valeurs Quinet sont calculées à partir des valeurs du rapport CE Delft-INFRA (2011). Les écarts proviennent de :

- la hausse de la valeur de la vie humaine ;
- la modulation de la part sanitaire du coût des polluants en fonction de la densité de population.

Enfin, pour le mode aérien, qui ne tient compte que des émissions de NO_x, les valeurs Quinet sont également plus élevées que le rapport CE Delft-INFRA du fait de la hausse de la valeur de la vie humaine prise en compte dans la part sanitaire du coût des émissions de NO_x.

Tableau 19 : Valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique due à la circulation

€2010/100véh.km €2010/100trains.km €2010/100avions.km €2010/100bateaux.km	Quinet (2013)					Boiteux II (2001)			CE Delft/INFRAS (2011)	Handbook (2008)		
	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain	Urbain dense	Urbain diffus	Campagne	Toutes zones	Métropole	Urbain	Interurbain
Transport routier												
VP	15,8	4,3	1,7	1,3	0,9	2,4 (e)	0,8 (e)	0,08 (e)	1,3			
VP Diesel	20,4	5,5	2,2	1,6	1,1					2 ; 3,7	0,9 ; 1,8	0,6 ; 1,1
VP Essence	4,5	1,3	0,6	0,5	0,5					0,2 ; 0,4	0,1 ; 0,2	0,1
VP GPL	3,6	1,0	0,4	0,3	0,2							
Bus	125,4	24,8	11,9	6,3	4,2	2,9	1,0	0,1	7,5			
2 roues	8,7	2,5	1,0	0,8	0,5	-	-	-	1,3			
PL**	186,6	37,0	17,7	9,4	6,4	23,3(e)	8,2 (e)	0,5 (e)	8,2	8,7 ; 17,3	7,2 ; 12,5	6 ; 10
VUL	32,3	8,7	3,4	2,4	1,6				1,4	3,8 ; 8,9	3 ; 5,7	2,7 ; 4,7
VUL Diesel	33,7	9,1	3,5	2,5	1,6							
VUL Essence	6,3	1,9	0,9	0,8	0,8							
Autres modes de transport												
Train pass Diesel	881,5	293,8	97,9	32,6	3,3	193,5	67,8	4,5	37,6	242 ; 320	129 ; 171	107
Train pass Elec	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
Train fret Diesel	750,5	250,2	83,4	27,8	2,8	540,7	89,5	12,4	57,3	815	433	361
Train fret Elec	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
Avion €2010/100vols.km			14,3- 16,5	12,3- 13,3					10,9	3 ; 19 (selon la distance parcourue par l'avion)		
Fluvial	18900	6350	2150	750	140				452,9	105 ; 860		

Source : CGSP

*estimation en tenant compte de la réduction des émissions de PM10 sur la période 2000-2010, soit 30 %.

** PL diesel uniquement

9 Bibliographie

AFSSE (2004) « Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Rapport 1 : Estimation de l'impact lié à l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité par cancer du poumon et par maladies cardio-vasculaires en 2002 avec projections d'ici 2020 », 72p.

AFSSET (2009) « Émissions de dioxyde d'azote de véhicules diesel : impact des technologies de post-traitement sur les émissions de dioxyde d'azote de véhicules diesel et aspects sanitaires associés », 250p.

Boiteux M. et L. Baumstark (2001) « Transports : choix des investissements et coût des nuisances »; chapitre VI « La valeur de la vie humaine ».

CAFÉ (2005) “Damages per tonne of PM_{2,5}, NH₃, SO₂, NO_x and VOC's of Eu25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas” authors: Mike Holland (EMRC), Steve Pye, Paul Watkiss (AEA Technology), Bert Droste-Franke, Peter Bickel (IER), Service Contract for carrying out cost-benefit analysis of airquality related issues, in particular in the clean air for Europe(CAFE) programme.

CE Delft/INFRAS (2011), “External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008”.

CE Delft/INFRAS (2008) “Handbook on estimation of external costs in the transport sector”.

CE/INFRAS/ISI (2008) H.P. van Essen, B.H. Boon, A. Schroten, M. Otten (CE Delft), M. Maibach and C. Schreyer (INFRAS), C. Doll (Fraunhofer Gesellschaft - ISI), P. Jochem (IWW), M. Bak and B. Pawlowska (University of Gdansk), Internalisation measures and policies for the external cost of transport, Produced within the study Internalisation Measures and Policies for all external cost of Transport (IMPACT) – Deliverable 3, Delft; CE Delft, 2008.

CGDD (2011) Bilan énergétique de la France pour 2010, 74p.

CITEPA (2012) « Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France Séries sectorielles et analyse étendues », Format Secten, 336p.

CITEPA-MEEDDTL (2012) « Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France », 9^e édition, OMINEA, 1242p.

Declercq C, Pascal M, Chanel O, Corso M, Ung A et al. (2012) « Impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans neuf villes françaises. Résultats du projet Aphekom », Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire, 33 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>

DGEC (2010), Les émissions gazeuses liées au trafic aérien en France en 2009, 31p.

Ecoplan/INFRAS (2008) Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz – Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten, Zürich/Bern : INFRAS und Ecoplan im Auftrags der Bundesämter für Raumentwicklung (ARE) und Umwelt (BAFU).

EMEP (2009) EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook 2009: Methodology for the calculation of non-exhaust PM emissions, 1.A.3.b.vi Road vehicle tyre and brake wear, European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), Copenhagen ; European Environment Agency.

European Commission (2005) "ExternE - Externalities of Energy – Methodology 2005 Update" Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

ExternE (2005) "Externalities of Energy: Methodology 2005 Update" European Commission.

HEATCO (2006) "Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines", Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment.

HEATCO (2006) "General Issues in Costing Analysis: Units of account, Base years, and Currency conversion Annex B to HEATCO Deliverable 5", Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment.

HEATCO (2006) "Derivation of fall-back values for impact and cost factors for airborne pollutants", Annex D to HEATCO Deliverable, Peter Bickel, Bert Droste-Franke, 25p.

INERIS, 2009. Modélisation des futurs plafonds d'émission dans la Directive NEC : résultats pour le scénario central, Rapport commandé par le MEEDDAT, 163p.

« Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT) » Version 1.1, 336p.

NEEDS (2007), B. Desaignes et al., New energy externalities development for sustainability (NEEDS), Deliverable D6.7: Final report on the monetary valuation of mortality and morbidity risks from air pollution, Paris: University of Paris, 2007.

NEEDS (2008) "New energy externalities development for sustainability (NEEDS)", Authors: P. Preiss, R. Friedrich, V. Klotz; Stuttgart : IER, University of Stuttgart, 2008.

NEEDS (2006), Values for 2004. Adjustment to 2008 is done using GDP/cap development for each country. Cette étude est la plus récente appliquant l'approche bottom-up avec le modèle EcoSense.

NewExt (2004).

OMS (1999) "Health Costs Due to Road Traffic-Related Air Pollution", Conférence mondiale de Londres en juin 1999.

OMS (2000) "Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution; European Assessment", The Lancet, Vol. 356.

OMS, 2004. "Transport-related health impacts and their costs and benefits with a particular focus on children" Contribution française au programme Pan European Program for Transport.

Rapport DGEC (2012) « Bilan de la qualité de l'air en France en 2011 », 52p.

SESP/MTETM (2006) « Politique de lutte contre le bruit dans les transports routiers », 14p.

SETRA (2009), Emissions routières de polluants atmosphériques : Courbes et facteurs d'influence, 16p.

SETRA (2010) « Monétarisation des externalités environnementales », Rapport d'études, Service d'études sur les transports, les routes et leur aménagements.

Silverman et al. (2012) "The Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case–Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust", du Journal of the National Cancer Institute Advance Access, 104 (11), 14p.

TREMOVE (2010) TREMOVE database, version 2.7b, Leuven: Transport & Mobility.

UNITE (2003): Final report for publication. Project funded by the European Commission November 2003.

UIC (2009) Carbon Footprint of High-Speed railway infrastructure, pre-study, Paris: International Union of Railways.

URF (2011). « Faits et chiffres : statistiques des transports en France et en Europe »

10 ANNEXES

ANNEXE 1 : Calcul des facteurs d'émission des véhicules légers

ANNEXE 2 : Calcul des facteurs d'émission des véhicules lourds

ANNEXE 3 : Calcul des coûts marginaux

ANNEXE 4 : Calcul des valeurs tutélaires du transport routier

ANNEXE 5 : Calcul des valeurs tutélaires du ferroviaire et du fluvial

ANNEXE 6 : Calcul des valeurs tutélaires de l'aérien

ANNEXE 7 : Évolutions depuis le rapport Boiteux II

ANNEXE 1 : CALCUL DES FACTEURS D'ÉMISSION DES VÉHICULES LÉGERS

Pour le calcul des valeurs tutélaires

- 1) Calcul des facteurs d'émission dues à la combustion à partir des émissions du parc roulant de 2010 (valeurs supposées correspondre à une vitesse en zone « urbain diffus », soit 110 km/h pour les VP) :

SO2 - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission « parc 2010 »
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/véh.km</i>
VP diesel	0,334	298,1	0,0011
VP essence	0,142	121,5	0,0012
VP gpl	0,046	1,95	0,0236
VU diesel	0,145	90,8	0,0016
VU essence	0,006	5,0	0,0012
Deux roues	0,011	18,6	0,0006
Source	CITEPA (SECTEN, 2012)	CITEPA (SECTEN, 2012)	Calcul CGSP (1)

(1) : Emissions 2010/Parc roulant 2010

NOx - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission « parc 2010 »
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/véh.km</i>
VP diesel	206,672	298,1	0,6932
VP essence	37,564	121,5	0,3091
VP gpl	0,214	1,95	0,1096
VU diesel	94,799	90,8	1,0437
VU essence	2,698	5,0	0,5362
Deux roues	3,724	18,6	0,2007
Source	CITEPA(SECTEN, 2012)	CITEPA (SECTEN, 2012)	Calcul CGSP (1)

COVNM - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission « parc 2010 »
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/véh.km</i>
VP diesel	8,050	298,1	0,0270
VP essence	52,919	121,5	0,4355
VP gpl	0,110	1,95	0,0563
VU diesel	9,357	90,8	0,1030
VU essence	3,432	5,0	0,6820
Deux roues	28,528	18,6	1,5376
Source	CITEPA (SECTEN, 2012)	CITEPA (SECTEN, 2012)	Calcul CGSP (1)

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

PM2,5 - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission « parc 2010 » : combustion	Facteur d'émission « parc 2010 » : combustion + usure
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP diesel	17,345	298,1	0,0582	0,052
VP essence	1,478	121,5	0,0122	0,0024
VP gpl	0,020	1,95	0,0101	-
VU diesel	8,768	90,8	0,0965	0,090
VU essence	0,085	5,0	0,0169	0,0027
Deux roues	0,452	18,6	0,0244	0,029
<i>Source</i>	<i>CITEPA (SECTEN, 2012)</i>	<i>CITEPA (SECTEN, 2012)</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>	<i>OMINEA (2013)</i>

1) Calcul des facteurs d'émission de type « parc 2010 » de manière à prendre en compte la vitesse des véhicules selon la zone traversée :

- Pour les **NOx** :

Catégorie de véhicule	Facteur d'émission « parc 2010 »	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
<i>Unité</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP Diesel	0,6932	0,7999	0,5333	0,5333	0,6932	1,0399
VP Essence	0,3091	0,3567	0,2378	0,2378	0,3091	0,4637
VP GPL	0,1096	0,0843	0,0562	0,0562	0,0731	0,1096
VU Diesel	1,0437	1,2043	0,8029	0,8029	1,0437	1,5656
VU Essence	0,5362	0,6186	0,4124	0,4124	0,5362	0,8042
Deux roues	0,2316	0,1544	0,1544	0,2007	0,3010	0,2316
<i>Source</i>	<i>Norme Euro</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>	<i>Calcul CGSP (2)</i>	<i>Calcul CGSP (3)</i>	<i>Calcul CGSP (4)</i>	<i>Calcul CGSP (5)</i>

(1) = Facteur d'émission $\times (1/1,3) \times 1 \times 1,5$

(2) = Facteur d'émission $\times (1/1,3) \times 1$

(3) = Facteur d'émission $\times (1/1,3)$

(4) = Facteur d'émission

(5) = Facteur d'émission $\times 1,5$

- Pour les PM2,5 (émissions dues à la combustion et à l'usure) :

Catégorie de véhicule	Facteur d'émission « parc 2010 »	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
Unité	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP Diesel	0,0582	0,0445	0,0342	0,0342	0,0582	0,0873
VP Essence	0,0122	0,0093	0,0072	0,0072	0,0122	0,0182
VP GPL	0,0101	0,0078	0,0060	0,0060	0,0101	0,0152
VUL Diesel	0,0965	0,0738	0,0568	0,0568	0,0965	0,1448
VUL Essence	0,0169	0,0129	0,0099	0,0099	0,0169	0,0253
Deux roues	0,0244	0,0187	0,0143	0,0143	0,0244	0,0366
Source	Calcul CGSP	Calcul CGSP (1)	Calcul CGSP (2)	Calcul CGSP (3)	Calcul CGSP (4)	Calcul CGSP (5)

- Pour les PM2,5 (émissions dues à la combustion uniquement) :

Catégorie de véhicule	Facteur d'émission « parc 2010 »	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
Unité	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP Diesel	0,052	0,0265	0,0204	0,0204	0,0347	0,0520
VP Essence	0,0024	0,0018	0,0014	0,0014	0,0024	0,0036
VP GPL	0,0101	0,0078	0,0060	0,0060	0,0101	0,0152
VUL Diesel	0,090	0,0459	0,0353	0,0353	0,0600	0,0900
VUL Essence	0,0027	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027	0,0041
Deux roues	0,0290	0,0222	0,0171	0,0171	0,0290	0,0435
Source	OMINEA (2013)	Calcul CGSP (1)	Calcul CGSP (2)	Calcul CGSP (3)	Calcul CGSP (4)	Calcul CGSP (5)

(1) = Facteur d'émission *(1/1,7)*1*1,3

(2) = Facteur d'émission *(1/1,7)*1

(3) = Facteur d'émission *(1/1,7)

(4) = Facteur d'émission

(5) = Facteur d'émission *1,5

- Pour les émissions de SO₂, par manque de données, l'effet vitesse n'est pas pris en compte :

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

Catégorie de véhicule	Facteur d'émission « parc 2010 »	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
<i>Unité</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP diesel	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011
VP essence	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
VP gpl	0,0236	0,0236	0,0236	0,0236	0,0236	0,0236
VU diesel	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016
VU essence	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
Deux roues	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
Source	Calcul CGSP	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte

- Pour les émissions les COVNM, également par manque de données, l'effet vitesse n'est pas pris en compte :

Catégorie de véhicule	Facteur d'émission « parc 2010 »	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
<i>Unité</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP diesel	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270
VP essence	0,4355	0,4355	0,4355	0,4355	0,4355	0,4355
VP gpl	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563
VU diesel	0,1030	0,1030	0,1030	0,1030	0,1030	0,1030
VU essence	0,6820	0,6820	0,6820	0,6820	0,6820	0,6820
Deux roues	1,5376	1,5376	1,5376	1,5376	1,5376	1,5376
Source	Calcul CGSP	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte	Effet vitesse non pris en compte

Pour le calcul des valeurs déclinées par norme Euro (cas des VP et VUL) :

1) Rappel des facteurs d'émissions Normes Euro¹ :

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteur d'émission de NOx Normes Euro (g/veh.km)	Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteur d'émission de Particules Normes Euro (g/veh.km)
VP diesel	Euro 1	-	VP diesel	Euro 1	0,14
	Euro 2	-		Euro 2	0,08
	Euro 3	0,5		Euro 3	0,05
	Euro 4	0,25		Euro 4	0,025
	Euro 5	0,18		Euro 5	0,005
	Euro 6	0,08		Euro 6	0,0045
VP essence et GPL	Euro 1	-	VP essence et GPL	Euro 1	-
	Euro 2	-		Euro 2	-
	Euro 3	0,15		Euro 3	-
	Euro 4	0,08		Euro 4	-
	Euro 5	0,06		Euro 5	- / 0,005*
	Euro 6	0,06		Euro 6	- / 0,0045*
VU diesel (> 1 305-1 760 kg)	Euro 1	-	VU diesel (> 1 305-1 760 kg)	Euro 1	0,19
	Euro 2	-		Euro 2	0,12
	Euro 3	0,65		Euro 3	0,07
	Euro 4	0,33		Euro 4	0,04
	Euro 5	0,235		Euro 5	0,005
	Euro 6	0,105		Euro 6	0,0045
VU essence (< 1305-1 760 kg)	Euro 1	-	VU essence (< 1305-1 760 kg)	Euro 1	-
	Euro 2	-		Euro 2	-
	Euro 3	0,18		Euro 3	-
	Euro 4	0,1		Euro 4	-
	Euro 5	0,075		Euro 5	- / 0,005*
	Euro 6	0,075		Euro 6	- / 0,0045*

Source : CGSP

* Les normes sur la masse des particules pour l'allumage commandé s'appliquent uniquement aux véhicules équipés de moteur à injection directe.

(1) D'après : IFP (2008) Perspectives des évolutions réglementaires au-delà d'Euro 4 pour les véhicules légers et utilitaires légers (Euro 5, Euro 5+, Euro 6), Panorama 2008, 6p.

Règlement (CE) No 715/2007 du parlement européen et du Conseil relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules.

Hypothèses pour l'utilisation des facteurs d'émission Normes Euro dans le calcul des valeurs tutélaires :

- les facteurs d'émission sont des « valeurs limites » à respecter. Ils correspondent aux émissions mesurées lors d'un cycle de type *New European Driving Cycle (NEDC)*. Le principe de ce cycle est un « scénario » constitué d'accélération, de décélération et de paliers à vitesse constante sur une durée de 20 minutes. La vitesse à tout moment du test doit être maintenue dans un certain écart de tolérance autour de la consigne. La vitesse maximale est de 120 km/h pendant 10 secondes sur l'ensemble du test, la vitesse moyenne est de 33 km/h. La température de test à 20 °C.
- les facteurs d'émission Euro sont donc des moyennes sur une gamme de vitesses allant de 0 à 120 km/h. Étant donné que ce sont des valeurs maximales, il est, par approximation, supposé que les facteurs d'émission Euro peuvent correspondre aux émissions d'un véhicule circulant en zone « Interurbain » à une vitesse de 130 km/h ;
- la Norme sur les émissions de « particules » est indifférenciée sur la granulométrie. Par simplification, il est alors considéré qu'elles correspondent aux émissions de PM_{2,5}.

2) Calcul des facteurs d'émission de manière à prendre en compte la vitesse des véhicules selon la zone traversée :

– Pour les NOx

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteurs d'émission	Facteur d'émission recalculé Urbain très dense	Facteur d'émission recalculé Urbain dense	Facteur d'émission recalculé Urbain	Facteur d'émission recalculé Urbain diffus	Facteur d'émission recalculé Interurbain
<i>Unité</i>		<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP Diesel	Euro 1	-					
	Euro 2	-					
	Euro 3	0,5	0,3846	0,2564	0,2564	0,3333	0,5000
	Euro 4	0,25	0,1923	0,1282	0,1282	0,1667	0,2500
	Euro 5	0,18	0,1385	0,0923	0,0923	0,1200	0,1800
	Euro 6	0,08	0,0615	0,0410	0,0410	0,0533	0,0800
VP Essence	Euro 1	-					
	Euro 2	-					
	Euro 3	0,15	0,1154	0,0769	0,0769	0,1000	0,1500
	Euro 4	0,08	0,0615	0,0410	0,0410	0,0533	0,0800
	Euro 5	0,06	0,0462	0,0308	0,0308	0,0400	0,0600
	Euro 6	0,06	0,0462	0,0308	0,0308	0,0400	0,0600
VU Diesel (1 305- 1 760 kg)	Euro 1	-					
	Euro 2	-					
	Euro 3	0,65	0,5000	0,3333	0,3333	0,4333	0,6500
	Euro 4	0,33	0,2538	0,1692	0,1692	0,2200	0,3300
	Euro 5	0,235	0,1808	0,1205	0,1205	0,1567	0,2350
	Euro 6	0,105	0,0808	0,0538	0,0538	0,0700	0,1050
VU Essence (1 305- 1 760 kg)	Euro 1	-					
	Euro 2	-					
	Euro 3	0,18	0,1385	0,0923	0,0923	0,1200	0,1800
	Euro 4	0,1	0,0769	0,0513	0,0513	0,0667	0,1000
	Euro 5	0,075	0,0577	0,0385	0,0385	0,0500	0,0750
	Euro 6	0,075	0,0577	0,0385	0,0385	0,0500	0,0750
Deux roues		-					
<i>Source</i>		<i>Norme Euro</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>	<i>Calcul CGSP (2)</i>	<i>Calcul CGSP (3)</i>	<i>Calcul CGSP (4)</i>	<i>Calcul CGSP (5)</i>

(1) = Facteur d'émission $\ast(1/1,5)\ast(1/1,3)\ast1,5$

(2) = Facteur d'émission $\ast(1/1,5)\ast(1/1,3)\ast1$

(3) = Facteur d'émission $\ast(1/1,5)\ast(1/1,3)$

(4) = Facteur d'émission $\ast(1/1,5)$

(5) = Facteur d'émission

Les coefficients en gras sont les coefficients de vitesse présentés dans le tableau 10 dans le corps du rapport.

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

- Pour les particules (PM2,5) :

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteurs d'émission	Facteur d'émission recalculé Urbain très dense	Facteur d'émission recalculé Urbain dense	Facteur d'émission recalculé Urbain	Facteur d'émission recalculé Urbain diffus	Facteur d'émission recalculé Interurbain
Unité		<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
VP Diesel	Euro 1	0,14	0,0714	0,0549	0,0549	0,0933	0,1400
	Euro 2	0,08	0,0408	0,0314	0,0314	0,0533	0,0800
	Euro 3	0,05	0,0255	0,0196	0,0196	0,0333	0,0500
	Euro 4	0,025	0,0127	0,0098	0,0098	0,0167	0,0250
	Euro 5	0,005	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050
	Euro 6	0,0045	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045
VP Essence	Euro 1	-					
	Euro 2	-					
	Euro 3	-					
	Euro 4	-					
	Euro 5*	0,005	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050
	Euro 6*	0,0045	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045
VUL Diesel (1 305- 1 760 kg)	Euro 1	0,19	0,0969	0,0745	0,0745	0,1267	0,1900
	Euro 2	0,12	0,0612	0,0471	0,0471	0,0800	0,1200
	Euro 3	0,07	0,0357	0,0275	0,0275	0,0467	0,0700
	Euro 4	0,04	0,0204	0,0157	0,0157	0,0267	0,0400
	Euro 5	0,005	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050
	Euro 6	0,0045	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045
VUL Essence (1 305- 1 760 kg)	Euro 1	-					
	Euro 2	-					
	Euro 3	-					
	Euro 4	-					
	Euro 5*	0,005	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050
	Euro 6*	0,0045	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045
Deux roues		-					
Source		Norme Euro	Calcul CGSP (1)	Calcul CGSP (2)	Calcul CGSP (3)	Calcul CGSP (4)	Calcul CGSP (5)

*Ne s'applique qu'aux véhicules à injection directe

(1) = Facteur d'émission $\times (1/1,5) \times (1/1,7) \times 1,3$

(2) = Facteur d'émission $\times (1/1,5) \times (1/1,7) \times 1$

(3) = Facteur d'émission $\times (1/1,5) \times (1/1,7)$

(4) = Facteur d'émission $\times (1/1,5)$

(5) = Facteur d'émission

ANNEXE 2 : FACTEURS D'ÉMISSION DES VEHICULES LOURDS

Calcul des facteurs d'émission à partir des émissions du parc roulant de 2010 (valeurs supposées correspondre à une vitesse en zone « urbain diffus », soit 80 km/h pour les PL) :

SO₂ - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/véh.km</i>
PL diesel	0,193	32,5	0,0059
BUS	na	na	na
<i>Source</i>	<i>CITEPA</i>	<i>CITEPA</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>

(1) : Emissions 2010 / Parc roulant 2010

NO_x - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/véh.km</i>
PL diesel	247,586	32,5	7,6285
BUS	na	na	5,08*
<i>Source</i>	<i>CITEPA</i>	<i>CITEPA</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>

*Facteur d'émission utilisé dans le rapport CE Delft-INFRAS

COVNM - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/véh.km</i>
PL diesel	8,079	32,5	0,2489
BUS	na	na	na
<i>Source</i>	<i>CITEPA</i>	<i>CITEPA</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>

PM_{2,5} - France	Emissions 2010	Parc roulant 2010	Facteur d'émission
<i>Unité</i>	<i>Milliard g</i>	<i>Milliard veh.km</i>	<i>g/véh.km</i>
PL diesel	5,308	32,5	0,1635
BUS	na	na	0,11*
<i>Source</i>	<i>CITEPA</i>	<i>CITEPA</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>

*Facteur d'émission utilisé dans le rapport CE Delft-INFRAS

Calcul des facteurs d'émission de type « parc 2010 » de manière à prendre en compte la vitesse des véhicules selon la zone traversée :

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

- Pour les NOx :

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteur d'émission	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
Unité		<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
PL Diesel		7,6285	14,6467	9,1542	9,1542	7,6285	6,9350
BUS		5,0800	9,7536	6,0960	6,0960	5,0800	4,6182
Source		<i>Calcul CGSP</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>	<i>Calcul CGSP (2)</i>	<i>Calcul CGSP (3)</i>	<i>Calcul CGSP (4)</i>	<i>Calcul CGSP (5)</i>

(1) = Facteur d'émission *1,2*1*1,6

(2) = Facteur d'émission *1,2*1

(3) = Facteur d'émission *1,2

(4) = Facteur d'émission

(5) = Facteur d'émission *(1/1,1)

Les coefficients en gras sont les coefficients de vitesse présentés dans le tableau 10 dans le corps du rapport.

- Pour les PM2,5 :

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteur d'émission	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
Unité		<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
PL Diesel		0,1635	0,3925	0,1963	0,1963	0,1635	0,1635
BUS		0,1100	0,2640	0,1320	0,1320	0,1100	0,1100
Source		<i>Calcul CGSP</i>	<i>Calcul CGSP (1)</i>	<i>Calcul CGSP (2)</i>	<i>Calcul CGSP (3)</i>	<i>Calcul CGSP (4)</i>	<i>Calcul CGSP (5)</i>

(1) = Facteur d'émission *1,2*1*2

(2) = Facteur d'émission *1,2*1

(3) = Facteur d'émission *1,2

(4) = Facteur d'émission

(5) = Facteur d'émission *1

Pour les émissions de **SO₂** et **COVNM**, par manque de données, l'effet vitesse n'est pas pris en compte :

- Pour le **SO₂** :

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteur d'émission	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
Unité		<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
PL Diesel		0,2489	0,2489	0,2489	0,2489	0,2489	0,2489
BUS		na					
Source		<i>Calcul CGSP</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>

- Pour le **COVNM** :

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Facteur d'émission	Facteur d'émission recalculé « Urbain très dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain dense »	Facteur d'émission recalculé « Urbain »	Facteur d'émission recalculé « Urbain diffus »	Facteur d'émission recalculé « Interurbain »
Unité		<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>	<i>g/veh.km</i>
PL Diesel		0,0059	0,0059	0,0059	0,0059	0,0059	0,0059
BUS		na					
Source		<i>Calcul CGSP</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>	<i>Effet vitesse non pris en compte</i>

ANNEXE 3 : CALCUL DES COÛTS MARGINAUX

Hypothèse :

Le rapport HEATCO propose des valeurs de coût marginal pour les émissions de SO₂, NO_x, COVNM et PM_{2,5} qui correspondent, selon leurs termes, aux zones « *outside built-up areas* ». Selon HEATCO, ces zones ont une population inférieure à 500 000 habitants mais l'échelle n'est pas précisée. Sachant que HEATCO modélise les concentrations de polluants à une échelle de 50*50 km, il est supposé que les 500 000 habitants se rapportent à une surface de 2 500 km² (50*50). Il est alors fait l'hypothèse que les zones « *outside built-up areas* » du rapport HEATCO ont une densité de population de 500 000/2500 = 200 hab/km², ce qui correspond à la densité moyenne des zones « urbains diffus » du présent rapport.

	A	B	C	D					
	Coût marginal de référence en zone « urbain diffus »	Part des effets sanitaires dans le coût marginal	Part des effets sur la mortalité dans les effets sanitaires	Coefficient de transfert entre VOLY HEATCO et VOLY QUINET	Coût marginal recalculé « interurbain »	Coût marginal recalculé « urbain diffus »	Coût marginal recalculé « urbain »	Coût marginal recalculé « urbain dense »	Coût marginal recalculé « urbain très dense »
Unité	€2002/g				€2002/g	€2002/g	€2002/g	€2002/g	€2002/g
SO ₂	0,0043	90 %	50 %	2,5	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072
NO _x	0,0046	90 %	50 %	2,5	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077
COVNM	0,0008	60 %	50 %	2,5	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
PM _{2,5}	0,082	100 %	50 %	2,5	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144
Source	HEATCO, 2006	CGSP	CGSP	CGSP	Calcul CGSP (1)	Calcul CGSP (2)	Calcul CGSP (3)	Calcul CGSP (4)	Calcul CGSP (5)

- (1) = $(1/10) * A * B * C * D + (1/10) * A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$ (pour les polluants locaux : PM)
 = $A * B * C * D + A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$ (pour les polluants non locaux : NO_x, SO₂, COVNM)
- (2) = $A * B * C * D + A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$ (pour les PM)
 = $A * B * C * D + A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$ (pour les NO_x, SO₂, COVNM)
- (3) = $(3) * A * B * C * D + (3) * A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$ (pour les PM)
 = $A * B * C * D + A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$ (pour les NO_x, SO₂, COVNM)
- (4) = $(3 * 3) * A * B * C * D + (3 * 3) * A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$ (pour les PM)

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

$$\begin{aligned} &= A*B*C*D + A*B*(1-C) + A*(1-B) \text{ (pour les NOx, SO}_2\text{, COVNM)} \\ (5) \quad &= \mathbf{(3*3*3)*A*B*C*D} + \mathbf{(3*3*3)*A*B*(1-C)} + A*(1-B) \text{ (pour les PM)} \\ &= A*B*C*D + A*B*(1-C) + A*(1-B) \text{ (pour les NOx, SO}_2\text{, COVNM)} \end{aligned}$$

Le coût marginal de référence est un coût qui englobe les coûts sanitaires (mortalité et morbidité) et environnementaux. Nous cherchons donc ici à extraire la part des coûts liés à la mortalité dans ce coût global afin de pouvoir lui affecter le coefficient d'équivalence Boiteux-Quinet de la valeur de la vie humaine.

Les coefficients en gras soulignés sont les coefficients de densité présentés dans le tableau 8 dans le corps du rapport. Ces coefficients de densité devraient normalement s'appliquer aux coûts sanitaires et environnementaux de tous les polluants primaires. Les NOx, SO₂ et COVNM n'étant pas des polluants primaires (ou locaux), leurs effets ont une faible variabilité en fonction de la densité de population. Les coefficients de densité ne sont donc appliqués qu'aux PM.

ANNEXE 4 : CALCUL DES VALEURS TUTELAIRES

1) Calcul du coût des émissions de chaque polluant au véhicule.km

– Coût des émissions de SO₂ :

Catégorie de véhicule	Coût marginal recalculé (€2002/g)					Facteur d'émission recalculé (g/veh.km)					Coût du SO ₂ - (€2010/100veh.km) Calcul CGSP (1)				
	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU
VP diesel	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,0011	0,000921	0,000921	0,000921	0,000921	0,000921
VP essence	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,000964	0,000964	0,000964	0,000964	0,000964
VP gpl	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0236	0,0236	0,0236	0,0236	0,0236	0,019414	0,019414	0,019414	0,019414	0,019414
VU diesel	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,001314	0,001314	0,001314	0,001314	0,001314
VU essence	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,000988	0,000988	0,000988	0,000988	0,000988
PL Diesel	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0059	0,0059	0,0059	0,0059	0,0059	0,004885	0,004885	0,004885	0,004885	0,004885
Deux roues	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,000472	0,000472	0,000472	0,000472	0,000472
Bus	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072	0,0072						0	0	0	0	0

Source : CGSP

(1) = Coût marginal recalculé * Facteur d'émission recalculé * 1,14 * 100
1,14 est l'indice d'inflation 2002-2010

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

- Coût des émissions de **NOx** :
 - Avec les facteurs d'émission de type « parc 2010 » (tous types de véhicules)

Catégorie de véhicule	Coût marginal recalculé (€2002/g)					Facteur d'émission recalculé (g/veh.km)					Coût des NOx (€2010/100veh.km) Calcul CGSP (1)				
	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU
VP diesel	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,7999	0,5333	0,5333	0,6932	1,0399	0,704	0,469	0,469	0,610	0,915
VP essence	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,3567	0,2378	0,2378	0,3091	0,4637	0,314	0,209	0,209	0,272	0,408
VP gpl	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,1265	0,0843	0,0843	0,1096	0,1644	0,111	0,074	0,074	0,096	0,145
VU diesel	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	1,2043	0,8029	0,8029	1,0437	1,5656	1,060	0,707	0,707	0,918	1,378
VU essence	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,6186	0,4124	0,4124	0,5362	0,8042	0,544	0,363	0,363	0,472	0,708
PL Diesel	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	14,6467	9,1542	9,1542	7,6285	6,9350	12,889	8,055	8,055	6,713	6,103
Deux roues	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,2316	0,1544	0,1544	0,2007	0,3010	0,204	0,136	0,136	0,177	0,265
Bus	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	9,7536	6,0960	6,0960	5,0800	4,6182	8,583	5,364	5,364	4,470	4,064

Source : CGSP

(1) = Coût marginal recalculé * Facteur d'émission recalculé * 1,14 * 100
1,14 est l'indice d'inflation 2002-2010

→ Avec les facteurs d'émission Norme Euro (pour les VP et VUL)

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Coût marginal recalculé (€2002/g)					Facteur d'émission recalculé (g/veh.km)					Coût des NOx (€2010/100veh.km) Calcul CGSP (1)				
		UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU
VP diesel	Euro 1	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,7999	0,5333	0,5333	0,6932	1,0399	0,7	0,5	0,5	0,6	0,9
	Euro 2	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,7999	0,5333	0,5333	0,6932	1,0399	0,7	0,5	0,5	0,6	0,9
	Euro 3	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,3846	0,2564	0,2564	0,3333	0,5000	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4
	Euro 4	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,1923	0,1282	0,1282	0,1667	0,2500	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
	Euro 5	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,1385	0,0923	0,0923	0,1200	0,1800	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	Euro 6	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0615	0,0410	0,0410	0,0533	0,0800	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
VP essence	Euro 1	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,3567	0,2378	0,2378	0,3091	0,4637	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4
	Euro 2	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,3567	0,2378	0,2378	0,3091	0,4637	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4
	Euro 3	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,1154	0,0769	0,0769	0,1000	0,1500	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Euro 4	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0615	0,0410	0,0410	0,0533	0,0800	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
	Euro 5	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0462	0,0308	0,0308	0,0400	0,0600	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05
	Euro 6	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0462	0,0308	0,0308	0,0400	0,0600	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05
VU diesel	Euro 1	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	1,2043	0,8029	0,8029	1,0437	1,5656	1,1	0,7	0,7	0,9	1,4
	Euro 2	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	1,2043	0,8029	0,8029	1,0437	1,5656	1,1	0,7	0,7	0,9	1,4
	Euro 3	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,5000	0,3333	0,3333	0,4333	0,6500	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6
	Euro 4	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,2538	0,1692	0,1692	0,2200	0,3300	0,2	0,1	0,1	0,2	0,3
	Euro 5	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,1808	0,1205	0,1205	0,1567	0,2350	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
	Euro 6	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0808	0,0538	0,0538	0,0700	0,1050	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
VU essence	Euro 1	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,6186	0,4124	0,4124	0,5362	0,8042	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7
	Euro 2	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,6186	0,4124	0,4124	0,5362	0,8042	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7
	Euro 3	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,1385	0,0923	0,0923	0,1200	0,1800	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	Euro 4	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0769	0,0513	0,0513	0,0667	0,1000	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
	Euro 5	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0577	0,0385	0,0385	0,0500	0,0750	0,1	0,03	0,03	0,0	0,1
	Euro 6	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0577	0,0385	0,0385	0,0500	0,0750	0,1	0,03	0,03	0,0	0,1

Source : CGSP

(1) = Coût marginal recalculé * Facteur d'émission recalculé * 1,14 * 100

1,14 est l'indice d'inflation 2002-2010

- Coût des émissions de COVNM :

Catégorie	Coût marginal recalculé	Facteur d'émission recalculé	Coût du COVNM
-----------	-------------------------	------------------------------	---------------

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

de véhicule	(€2002/g)					(g/veh.km)					(€2010/100veh.km) Calcul CGSP (1)				
	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU
VP diesel	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,0270	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
VP essence	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,4355	0,4355	0,4355	0,4355	0,4355	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058
VP gpl	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563	0,0563	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
VU diesel	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,1030	0,1030	0,1030	0,1030	0,1030	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
VU essence	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,6820	0,6820	0,6820	0,6820	0,6820	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
PL Diesel	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,2489	0,2489	0,2489	0,2489	0,2489	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033
Deux roues	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	1,5376	1,5376	1,5376	1,5376	1,5376	0,204	0,204	0,204	0,204	0,204
Bus	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012						0	0	0	0	0

(1) = Coût marginal recalculé * Facteur d'émission recalculé * 1,14 * 100

Source : CGSP

- Coût des émissions des **PM2,5** :

→ Avec les facteurs d'émission de type « parc 2010 » (tous types de véhicules : combustion + usure)

Catégorie de véhicule	Coût marginal recalculé (€2002/g)					Facteur d'émission recalculé (g/veh.km)					Coût des PM2,5 (€2010/100veh.km) Calcul CGSP (1)				
	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU
VP diesel	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0445	0,0342	0,0342	0,0582	0,0873	19,7	5,0	1,7	1,0	0,14
VP essence	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0093	0,0072	0,0072	0,0122	0,0182	4,1	1,1	0,4	0,2	0,03
VP gpl	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0078	0,0060	0,0060	0,0101	0,0152	3,4	0,9	0,3	0,2	0,02
VU diesel	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0738	0,0568	0,0568	0,0965	0,1448	32,7	8,4	2,8	1,6	0,24
VU essence	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0129	0,0099	0,0099	0,0169	0,0253	5,7	1,5	0,5	0,3	0,04
PL Diesel	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,3925	0,1963	0,1963	0,1635	0,1635	173,7	28,9	9,6	2,7	0,27
Deux roues	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0187	0,0143	0,0143	0,0244	0,0366	8,3	2,1	0,7	0,4	0,06
Bus	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,2640	0,1320	0,1320	0,1100	0,1100	116,8	19,5	6,5	1,8	0,18

Source : CGSP

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

→ Avec les facteurs d'émission Norme Euro (pour les VP et VUL : combustion uniquement)

Catégorie de véhicule	Sous-catégorie de véhicule	Coût marginal recalculé (€2002/g)					Facteur d'émission recalculé (g/veh.km)					Coût des PM2,5 (€2010/100veh.km) Calcul CGSP (1)				
		UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU	UTD	UD	U	UD	IU
VP diesel	Euro 1	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0714	0,0549	0,0549	0,0933	0,1400	31,6	8,1	2,7	1,5	0,23
	Euro 2	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0408	0,0314	0,0314	0,0533	0,0800	18,0	4,6	1,5	0,9	0,13
	Euro 3	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0255	0,0196	0,0196	0,0333	0,0500	11,3	2,9	1,0	0,5	0,08
	Euro 4	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0127	0,0098	0,0098	0,0167	0,0250	5,6	1,4	0,5	0,3	0,04
	Euro 5	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050	1,1	0,3	0,1	0,1	0,01
	Euro 6	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045	1,0	0,3	0,1	0,0	0,01
VP essence	Euro 1	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0018	0,0014	0,0014	0,0024	0,0036	0,8	0,2	0,1	0,04	0,01
	Euro 2	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0018	0,0014	0,0014	0,0024	0,0036	0,8	0,2	0,1	0,04	0,01
	Euro 3	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0018	0,0014	0,0014	0,0024	0,0036	0,8	0,2	0,1	0,04	0,01
	Euro 4	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0018	0,0014	0,0014	0,0024	0,0036	0,8	0,2	0,1	0,04	0,01
	Euro 5	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0018	0,0014	0,0014	0,0024	0,0036	0,8	0,2	0,1	0,04	0,01
	Euro 6	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0018	0,0014	0,0014	0,0024	0,0036	0,8	0,2	0,1	0,04	0,01
	Euro 5*	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050	1,1	0,3	0,1	0,1	0,01
	Euro 6*	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045	1,0	0,3	0,1	0,0	0,01
VU diesel	Euro 1	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0969	0,0745	0,0745	0,1267	0,1900	42,9	11,0	3,7	2,1	0,31
	Euro 2	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0612	0,0471	0,0471	0,0800	0,1200	27,1	6,9	2,3	1,3	0,20
	Euro 3	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0357	0,0275	0,0275	0,0467	0,0700	15,8	4,0	1,3	0,8	0,11
	Euro 4	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0204	0,0157	0,0157	0,0267	0,0400	9,0	2,3	0,8	0,4	0,07
	Euro 5	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050	1,1	0,3	0,1	0,1	0,01
	Euro 6	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045	1,0	0,3	0,1	0,0	0,01
VU essence	Euro 1	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027	0,0041	0,9	0,2	0,1	0,0	0,01
	Euro 2	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027	0,0041	0,9	0,2	0,1	0,0	0,01
	Euro 3	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027	0,0041	0,9	0,2	0,1	0,0	0,01
	Euro 4	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027	0,0041	0,9	0,2	0,1	0,0	0,01
	Euro 5	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027	0,0041	0,9	0,2	0,1	0,0	0,01
	Euro 6	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027	0,0041	0,9	0,2	0,1	0,0	0,01
	Euro 5*	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0025	0,0020	0,0020	0,0033	0,0050	1,1	0,3	0,1	0,1	0,01
	Euro 6*	3,8745	1,2915	0,4305	0,1435	0,0144	0,0023	0,0018	0,0018	0,0030	0,0045	1,0	0,3	0,1	0,0	0,01

Source : CGSP

*Ne s'applique qu'aux véhicules à injection directe

(1) = Coût marginal recalculé * Facteur d'émission recalculé * 1,14 * 100
1,14 est l'indice d'inflation 2002-2010

2) Calcul des valeurs tutélaires (sur la base des facteurs d'émission de type « Parc 2010 »)

Catégorie de véhicule	Urbain très dense					Urbain Dense					Urbain				
	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire
VP diesel	0,000921	0,704	0,004	19,7	20,4	0,000921	0,469	0,004	5,0	5,5	0,000921	0,469	0,004	1,7	2,2
VP essence	0,000964	0,314	0,058	4,1	4,5	0,000964	0,209	0,058	1,1	1,3	0,000964	0,209	0,058	0,4	0,6
VP gpl	0,019414	0,111	0,007	3,4	3,6	0,019414	0,074	0,007	0,9	1,0	0,019414	0,074	0,007	0,3	0,4
VU diesel	0,001314	1,060	0,014	32,6	33,7	0,001314	0,707	0,014	8,4	9,1	0,001314	0,707	0,014	2,8	3,5
VU essence	0,000988	0,544	0,090	5,7	6,3	0,000988	0,363	0,090	1,5	1,9	0,000988	0,363	0,090	0,5	0,9
PL Diesel	0,004885	12,889	0,033	173,7	186,6	0,004885	8,055	0,033	28,9	37,0	0,004885	8,055	0,033	9,6	17,7
Deux roues	0,000472	0,204	0,204	8,3	8,7	0,000472	0,136	0,204	2,1	2,5	0,000472	0,136	0,204	0,7	1,0
Bus	0	8,583	0	116,8	125,4	0	5,364	0	19,5	24,8	0	5,364	0	6,5	11,9

Valeur tutélaire = SO₂ + NOx + COVNM + PM2,5

Source : CGSP

Catégorie de véhicule	Urbain très dense					Urbain Dense				
	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire
VP diesel	0,000921	0,610	0,004	1,0	1,6	0,000921	0,915	0,004	0,14	1,1
VP essence	0,000964	0,272	0,058	0,2	0,5	0,000964	0,408	0,058	0,03	0,5
VP gpl	0,019414	0,096	0,007	0,2	0,3	0,019414	0,144	0,007	0,02	0,2
VU diesel	0,001314	0,918	0,014	1,6	2,5	0,001314	1,378	0,014	0,24	1,6
VU essence	0,000988	0,472	0,090	0,3	0,8	0,000988	0,708	0,090	0,04	0,8
PL Diesel	0,004885	6,713	0,033	2,7	9,4	0,004885	6,103	0,033	0,27	6,4
Deux roues	0,000472	0,177	0,204	0,4	0,8	0,000472	0,265	0,204	0,06	0,5
Bus	0	4,470	0	1,8	6,3	0	4,064	0	0,18	4,2

Source : CGSP

Des valeurs tutélaires moyennes pour le parc VP et VU sont calculées sur la base de la décomposition suivante entre Diesel et Essence :

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

Catégorie de véhicule	Parc roulant (Md veh.km)	
VP Diesel	298,1	71 %
VP Essence	121,5	29 %
VU Diesel	90,8	95 %
VU Essence	5,0	5 %

Source : CGSP

3) Déclinaison des valeurs des VP et VUL par classe de Normes Euro (émissions dues à la combustion uniquement) :

		Urbain très dense					Urbain Dense					Urbain				
		SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire
VP diesel	Euro 1	0,000921	0,7	0,004	31,6	32,3	0,000921	0,5	0,004	8,1	8,6	0,000921	0,5	0,004	2,7	3,2
	Euro 2		0,7		18,0	18,8		0,5		4,6	5,1		0,5		1,5	2,0
	Euro 3		0,3		11,3	11,6		0,2		2,9	3,1		0,2		1,0	1,2
	Euro 4		0,2		5,6	5,81		0,1		1,4	1,56		0,1		0,5	0,60
	Euro 5		0,1		1,1	1,3		0,1		0,3	0,4		0,1		0,1	0,2
	Euro 6		0,1		1,0	1,1		0,0		0,3	0,3		0,0		0,1	0,1
VP essence	Euro 1	0,000964	0,3	0,058	0,8		0,000964	0,2	0,058	0,2		0,000964	0,2	0,058	0,1	
	Euro 2		0,3		0,8			0,2			0,2				0,1	0,1
	Euro 3		0,1		0,8	0,97		0,1		0,2	0,33		0,1		0,1	0,20
	Euro 4		0,1		0,8	0,92		0,0		0,2	0,30		0,0		0,1	0,16
	Euro 5		0,04		0,8	1,23		0,03		0,2	0,37		0,03		0,1	0,18
	Euro 6		0,04		0,8	1,11		0,03		0,2	0,35		0,03		0,1	0,17
	Euro 5*		1,1		1,1	0,91		0,7		0,3	0,29		0,7		0,1	0,16
	Euro 6*		1,1		1,0	0,91		0,7		0,3	0,29		0,7		0,1	0,16
VU diesel	Euro 1	0,001314	0,4	0,014	42,9	43,9	0,001314	0,3	0,014	11,0	11,7	0,001314	0,3	0,014	3,7	4,4
	Euro 2		0,2		27,1	28,1		0,1		6,9	7,7		0,1		2,3	3,0
	Euro 3		0,2		15,8	16,2		0,1		4,0	4,4		0,1		1,3	1,7
	Euro 4		0,1		9,0	9,3		0,0		2,3	2,5		0,0		0,8	0,9
	Euro 5		0,5		1,1	1,3		0,4		0,3	0,4		0,4		0,1	0,2
	Euro 6		0,5		1,0	1,1		0,4		0,3	0,3		0,4		0,1	0,1
VU essence	Euro 1	0,000988	0,1	0,090	0,9		0,000988	0,1	0,090	0,2		0,000988	0,1	0,090	0,1	
	Euro 2		0,1		0,9			0,0		0,2			0,0		0,1	
	Euro 3		0,1		0,9	1,13		0,03		0,2	0,41		0,03		0,1	0,25
	Euro 4		0,1		0,9	1,07		0,03		0,2	0,37		0,03		0,1	0,21
	Euro 5		0,7		0,9	1,27		0,5		0,2	0,41		0,5		0,1	0,22
	Euro 6		0,7		0,9	1,16		0,5		0,2	0,39		0,5		0,1	0,21
	Euro 5*		0,3		1,1	1,06		0,2		0,3	0,36		0,2		0,1	0,20
	Euro 6*		0,2		1,0	1,06		0,1		0,3	0,36		0,1		0,1	0,20

Source : CGSP

*Pour les moteurs à injection direct uniquement

Remarque : Au moins un coût doit être calculé à partir d'un facteur d'émission de type Norme Euro pour estimer une valeur tutélaire (valeurs en noir).

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

(suite du tableau précédent)

		Urbain diffus					Interurbain				
		SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire	SO ₂	NOx	COVNM	PM2,5	Valeur tutélaire
VP diesel	Euro 1	0,000921	0,6	0,004	1,5	2,1	0,000921	0,9	0,004	0,23	1,15
	Euro 2		0,6		0,9	1,5		0,9		0,13	1,05
	Euro 3		0,3		0,5	0,8		0,4		0,08	0,53
	Euro 4		0,1		0,3	0,42		0,2		0,04	0,27
	Euro 5		0,1		0,1	0,2		0,2		0,01	0,17
	Euro 6		0,0		0,0	0,1		0,1		0,01	0,08
VP essence	Euro 1	0,000964	0,3	0,058	0,04		0,000964	0,4	0,058	0,01	
	Euro 2		0,3		0,04			0,4		0,01	
	Euro 3		0,1		0,04	0,19		0,1		0,01	0,20
	Euro 4		0,0		0,04	0,14		0,1		0,01	0,13
	Euro 5		0,04		0,04	0,15		0,05		0,01	0,12
	Euro 6		0,04		0,04	0,14		0,05		0,01	0,12
	Euro 5*		0,9		0,1	0,13		1,4		0,01	0,12
	Euro 6*		0,9		0,0	0,13		1,4		0,01	0,12
VU diesel	Euro 1	0,001314	0,4	0,014	2,1	3,0	0,001314	0,6	0,014	0,31	1,70
	Euro 2		0,2		1,3	2,2		0,3		0,20	1,59
	Euro 3		0,1		0,8	1,2		0,2		0,11	0,70
	Euro 4		0,1		0,4	0,6		0,1		0,07	0,37
	Euro 5		0,5		0,1	0,2		0,7		0,01	0,23
	Euro 6		0,5		0,0	0,1		0,7		0,01	0,11
VU essence	Euro 1	0,000988	0,1	0,090	0,0		0,000988	0,2	0,090	0,01	
	Euro 2		0,1		0,0			0,1		0,01	
	Euro 3		0,0		0,0	0,24		0,1		0,01	0,26
	Euro 4		0,0		0,0	0,19		0,1		0,01	0,19
	Euro 5		0,6		0,0	0,19		0,9		0,01	0,17
	Euro 6		0,6		0,0	0,18		0,9		0,01	0,16
	Euro 5*		0,3		0,1	0,18		0,4		0,01	0,16
	Euro 6*		0,1		0,0	0,18		0,2		0,01	0,16

Source : CGSP

*Pour les moteurs à injection direct uniquement

Remarque : Au moins un coût doit être calculé à partir d'un facteur d'émission de type Norme Euro pour estimer une valeur tutélaire (valeurs en noir).

ANNEXE 5 : Calcul des valeurs tutélaires des transports ferroviaire et fluvial

Facteurs d'émissions de particules PM2,5 des trains électriques (OMINEA, 2012, pp502-503) :

	Facteur d'émission PTS	Part PM10 dans les PTS	Part PM2,5 dans les PTS	Facteur d'émission recalculé PM2,5
<i>Unité</i>	<i>g/km</i>	<i>%</i>	<i>%</i>	<i>g/km</i>
Rails et roues	6,75	0,5	0,15	1,0125
Freins	15,6	0,32	0,15	2,34
Caténaires	0,16	1	0,15	0,024
Total				3,3765
Source	OMINEA (2012)	OMINEA (2012)	OMINEA (2012)	Calcul CGSP (1)

(1) Facteur d'émission PTS * Part PM2,5 dans les PTS

Coût marginal des émissions de particules (PM2,5) :

	A	B	C	D	Coût marginal recalculé « urbain diffus »
	Coût marginal de référence en zone « urbain diffus »	Part des effets sanitaires dans le coût marginal	Part des effets sur la mortalité dans les effets sanitaires	Coefficient de transfert entre VOLY HEATCO et VOLY QUINET	
<i>Unité</i>	<i>€2002/g</i>				<i>€2002/g</i>
PM2,5	0,082	100%	50%	2,5	0,1435
Source	HEATCO, 2006	CGSP	CGSP	CGSP	Calcul CGSP (1)

(1) = A*B*C*D + A*B*(1-C) + A*(1-B)

Coût des émissions de particules des trains électriques (*Coût marginal recalculé * Facteur d'émission recalculé * 1,14 * 100*) = 55,24 €2010/100 trains.km. Ce coût est à comparer avec son équivalent « urbain diffus » calculé à partir des valeurs de référence du rapport CE Delft-INFRAS (2011), à savoir 73,73 €2010/100trains.km (cf. calculs ci-dessous).

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

Adaptation des coûts du rapport CE Delft-INFRAS de manière à tenir compte de l'évolution de la valeur de la vie humaine :

	A	B	C	D	Coût recalculé « urbain très dense »	Coût recalculé « urbain dense »	Coût recalculé « urbain »	Coût recalculé « urbain diffus »	Coût recalculé « interurbain »
	Coût de référence en zone « urbain diffus »	Part des effets des particules dans le coût marginal	Part des effets sur la mortalité dans les effets des particules	Coefficient de transfert entre VOLY HEATCO et VOLY QUINET					
Unité	€ 2010/1 000 pass.km € 2010/1 000 tonnes.km				€ 2010/1 000 pass.km € 2010/1 000 tonnes.km				
Rail Passager Diesel	5,29	85 %	50 %	2,5	213,42	71,67	24,42	8,67	1,58
Rail Passager Elec	1,32*	100 %	50 %	2,5	62,54	20,85	6,95	2,32	0,23
Rail Fret Diesel	3,36	85 %	50 %	2,5	135,44	45,48	15,50	5,50	1,00
Rail Fre Elec	1,32*	100 %	50 %	2,5	62,54	20,85	6,95	2,32	0,23
Fluvial	5,27	85 %	50 %	2,5	212,60	71,39	24,32	8,64	1,58
Source	CE Delft-INFRAS, 2010	CGSP	CGSP	CGSP	Calcul CGSP (1)	Calcul CGSP (2)	Calcul CGSP (3)	Calcul CGSP (4)	Calcul CGSP (5)

$$(1) = \underline{\underline{3}} * \underline{\underline{3}} * \underline{\underline{3}} * A * B * C * D + \underline{\underline{3}} * \underline{\underline{3}} * \underline{\underline{3}} * A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$$

$$(2) = \underline{\underline{3}} * \underline{\underline{3}} * A * B * C * D + \underline{\underline{3}} * \underline{\underline{3}} * A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$$

$$(3) = \underline{\underline{3}} * A * B * C * D + \underline{\underline{3}} * A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$$

$$(4) = A * B * C * D + A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$$

$$(5) = \underline{\underline{1/10}} * A * B * C * D + \underline{\underline{1/10}} * A * B * (1 - C) + A * (1 - B)$$

Les coefficients en gras souligné sont les coefficients de densité présentés dans le tableau 8 dans le corps du rapport.

* Le coût de référence des trains électriques est calculé à partir de facteurs d'émissions correspondant à l'abrasion et à l'usure des rails, freins et caténaires. Les conditions de mesure de ces facteurs d'émission ne sont pas précisées. A défaut d'autres données, les valeurs du rapport CE-Delft-INFRAS sont reprises dans le calcul des valeurs tutélaires du train électrique mais mériteraient d'être révisées dès que les connaissances le permettent.

Conversion des coûts d'€ par passager.km (tonnes.km) en € par véhicules.km :

	Facteur de chargement*	Valeur tutélaire « urbain très dense »	Valeur tutélaire « urbain dense »	Valeur tutélaire « urbain »	Valeur tutélaire « urbain diffus »	Valeur tutélaire « interurbain »
<i>Unité</i>	<i>Passagers/train Tonnes/train</i>	<i>€2010/1 000 pass.km €2010/1 000 tonnes.km</i>				
Rail Passenger Diesel	235	5014	1684	574	203,7	37,2
Rail Passenger Elec	259	1620	540	180	60,0	6,0
Rail Freight Diesel	315	4268	1433	488	173,4	31,6
Rail Freight Elec	393	2456	819	273	91,0	9,1
Fluvial	889,6	18912	6351	2164	768	140
Source	CE Delft-INFRAS, 2010	Calcul CGSP				

* Les facteurs de chargements sont des facteurs moyens calculés à partir des chargements observés en 2008 en France par les auteurs du rapport CE-Delft-INFRAS.

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

Mêmes calculs en supposant que les coûts liés à l'abrasion des caténaires, freins et rails sont négligeables pour les trains électriques et diesel (i.e. la part des particules dans les valeurs de références CE Delft-INFRAS est supprimée) :

	Facteur de chargement*	Valeur tutélaire « urbain très dense »	Valeur tutélaire « urbain dense »	Valeur tutélaire « urbain »	Valeur tutélaire « urbain diffus »	Valeur tutélaire « interurbain »
<i>Unité</i>	<i>Passagers/train Tonnes/train</i>	<i>€2010/1 000 pass.km €2010/1 000 tonnes.km</i>				
Rail Passenger Diesel	235	881,5	293,8	97,9	32,6	3,3
Rail Passenger Elec	259	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rail Freight Diesel	315	750,5	250,2	83,4	27,8	2,8
Rail Freight Elec	393	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Source</i>	<i>CE Delft-INFRAS, 2010</i>	<i>Calcul CGSP</i>				

ANNEXE 6 : Calcul des valeurs tutélaires du transport aérien

Calcul du coût marginal des émissions de NOx afin de tenir compte de la valeur de la vie humaine du rapport Quinet (2013) :

	Valeur	Source/calcul
Coût marginal de référence pour un aéroport en zone « urbain diffus », soit env. 250 hab/km ²	0,0046 €/gNOx	HEATCO, 2006
Part des effets sanitaires dans le coût marginal	70%	CGSP
Part des effets sur la mortalité dans les effets sanitaires	50%	CGSP
Coefficient de transfert entre VOLY HEATCO et VOLY QUINET (150 000 €2010)	2,5	CGSP
Coût marginal recalculé pour un aéroport en zone « urbain diffus », soit env. 250 hab/km ²	0,0070 €/gNOx	$= 0,0046 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 0,5 + 0,0046 \cdot 0,7 \cdot (1 - 0,5) + 0,0046 \cdot (1 - 0,7)$
Coût marginal recalculé pour un aéroport en zone « urbain », soit env. 750 hab/km ²	0,0183 €/gNOx	$= 3 \cdot 0,0046 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,0046 \cdot 0,7 \cdot (1 - 0,5) + 0,0046 \cdot (1 - 0,7)$ <i>Hypothèse : l'impact des émissions de NOx est proportionnel à la densité de population à proximité de l'aéroport.</i>

Source : CGSP

Calcul des émissions moyennes de NOx par mouvement et par vol (un vol correspond à 2 mouvements et une phase croisière) :

	2009	Roissy	Orly	Nice	Lyon	Toulouse	Source/calcul
A	Nb. Mouvements annuel	521 500	220 600	149 600	120 200	79 400	DGAC, 2010
B	Emissions de NOx en phase LTO (tonnes)	4 099	1 194	513	435	318	DGAC, 2010
C	Emissions de NOx en phase croisière (tonnes)	24 744	4 524	1 078	1 013	649	DGAC, 2010
D	Emissions de NOx en phase LTO par Mouvement (g/mouv)	7 860	5 414	3 428	3 615	4 000	$= B \cdot 10^6 / A$
E	Emissions totale de NOx en phases LTO et croisière par Vol (g/vol)	63 169	31 337	14 064	15 660	16 173	$= D \cdot 2 + (C \cdot 10^6) / A$
F	Distance moyenne par vol (km)	3 311	1 840	957	987	827	DGAC, 2010

Source : CGSP

NB : Les émissions en phase LTO agrègent les émissions associées à l'atterrissage et au décollage.

Un « mouvement » est un atterrissage ou un décollage.

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

Calcul du coût des émissions de NOx par mouvement et pour 100 vols.km :

		Roissy	Orly	Nice	Lyon	Toulouse	Calcul
G	Coût des émissions en phase LTO pour 100 mouvements (€2010/100mouv)			2878	3035		= $100 \cdot 0,0083 \cdot D \cdot \frac{119,69}{100}$ <i>Indice d'inflation 2000-2010</i> <i>Hyp : aéroports en zone « urbain diffus »</i>
		17203	11850			8754	= $100 \cdot 0,0221 \cdot D \cdot \frac{119,69}{100}$ <i>Hyp : aéroport en zone « urbain »</i>
H	Coût total des émissions pour 100 vols (€2010/100vols)	53038	26311	11809	13148	13579	= $100 \cdot 0,0083 \cdot E \cdot \frac{119,69}{100}$
I	Coût total moyen pour 100vols.km (€2010/100vols.km)	16,02	14,30	12,34	13,32	16,42	= H/F

Source : CGSP

ANNEXE 7 : Évolutions depuis le rapport Boiteux II

Une réglementation plus restrictive et plus complète

Des normes d'émissions des véhicules de plus en plus restrictives

Les normes EURO fixent les limites maximales de rejets polluants pour les véhicules neufs roulants.

Le tableau suivant indique les seuils réglementaires pour les véhicules légers.

Normes	Textes de référence (directives)	Date de mise en application (tous types)	Nox (G/kWh)	CO (G/kWh)	HC (G/kWh)	Particules (G/kWh)
Euro 0	88/77	01-10-1990	14,4	11,2	2,4	-
Euro 1	91/542 (A)	01-10-1993	9	4,9	1,23	0,36
Euro 2	91/542 (B)	01-10-1996	7	4	1,1	0,15
Euro 3	1999/96	01 9-10-2001	5	2,1	0,66	0,13
Euro 4	1999/96	01-10-2006	3,5	1,5	0,46	0,02
Euro 5	1999/96	01-10-2009	2	1,5	0,46	0,02
Euro 6	Règlement (CE) n°595/2009	31-12-2013	0,4	1,5	0,13	0,01

Source : MEEDDM/DGITM

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/vehiculesauxnormes.pdf>

Pour les véhicules lourds, le règlement 595/2009 du parlement européen et du conseil relatif à la réception des véhicules à moteur et des moteurs au regard des émissions des véhicules utilitaires lourds (Euro VI) fixe les seuils suivants :

- NOx : 400 mg/kWh
- PM masse : 10 mg/kWh

La Directive Eurovignette III élargit la redevance poids lourds aux coûts externes

La Directive 2011/76/UE du Parlement et du Conseil relative à la taxation des poids lourds pour l'utilisation de certaines infrastructures (Eurovignette III) modifiant la directive 1999/62/CE instaure la possibilité pour les États membres d'appliquer aux poids lourds une redevance pour coûts externes, en complément de la redevance d'infrastructure existante destinée au recouvrement des coûts de construction, d'entretien, d'exploitation et de développement des infrastructures routières (communiqué du Conseil de l'UE du 12 septembre 2011).

Selon l'annexe III *bis* et III *ter*, lorsqu'un État membre décide d'inclure tout ou partie du coût de la pollution atmosphérique due au trafic dans la redevance pour coûts externes, le coût imputable à la pollution est calculé :

- soit en appliquant la formule suivante :

$$PCV_{ij} = \sum_k EF_{ik} \times PC_{jk}$$

PCV_{ij} = coût de la pollution émise par le véhicule de classe i sur un type de route j (en €/véh.km)

EF_{ik} = facteur d'émission du polluant k pour le véhicule de classe i (g/véh.km)

PC_{jk} = coût monétaire du polluant k pour le type de route j (€/g)

- soit en appliquant les valeurs indiquées dans le tableau suivant si ces dernières sont inférieures (cf. figure 7) :

Cents/véh.km	Axes suburbains (autoroutes comprises)	Axes interurbains (autoroutes comprises)
Euro 0	16	12
Euro 1	11	8
Euro 2	9	7
Euro 3	7	6
Euro 4	4	3
Euro 5	0	0
Après le 31-12-2013	3	2
Euro 6	0	0
Après le 31-12-2017	2	1
Moins polluant qu'euro 6	0	0

Source : Directive Eurovignette III

Il est précisé que ces valeurs peuvent être multipliées par 2 au maximum dans les régions montagneuses, dans la mesure où la pente de la route, l'altitude et/ou les inversions de température le justifient.

Les États membres auront deux ans pour transposer la Directive, qui devrait donc entrer en vigueur au second semestre 2013, date à laquelle l'écotaxe poids lourds est prévue en France.

Le taux kilométrique sera modulé en fonction du tonnage du véhicule, du nombre d'essieux et du caractère polluant du véhicule et de la classe d'émission Euro.

Renforcement de l'encadrement de la qualité de l'air ambiant

La Directive 2008/50/CE dite directive qualité de l'air établit des objectifs en termes de seuils limites de concentration pour les polluants suivants :

- 5 polluants déjà réglementés (SO₂, particules en suspension, NO₂, plomb et O₃) ;
- et 7 substances ou familles de polluants non encore réglementées jusqu'alors (benzène, CO, Hydrocarbures aromatiques polycycliques, cadmium, arsenic, nickel et mercure).

Par exemple, les valeurs limites pour les PM₁₀, sont depuis 2005 (valeurs mesurées en concentrations journalières et annuelles) :

- 50 µg/m³ (moyenne sur 1 jour, avec une marge de dépassement de 50 %) à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile ;
- 40 µg/m³ (moyenne sur une année, avec une marge de dépassement de 20 %)

Ces valeurs sont fixées suivant des recommandations de l'OMS.

Il est à noter que, sur recommandation du Commissaire européen chargé de l'environnement, Janez Potočnik, la Commission a assigné la France devant la Cour de justice de l'UE le 19 mai 2011 pour dépassement des valeurs limites pour les particules fines PM₁₀.

La loi Grenelle 2 a instauré la mise en œuvre d'expérimentations de zone d'actions prioritaires pour l'air (ZAPA), également connues dans d'autres pays sous le nom de zones à bas niveau d'émission. Elles doivent permettre de contribuer au respect des normes de qualité de l'air définies par la réglementation communautaire et d'éviter également les coûts sanitaires et sociaux associés (plusieurs dizaines de milliards d'euros chaque année en France). Les Zones d'actions prioritaires pour l'air (ZAPA) reposent sur l'utilisation de divers outils permettant, dans des zones particulièrement polluées par la circulation routière, de limiter cette pollution. Deux décrets permettant d'encadrer les ZAPA viennent d'être publiés au journal officiel du 22 février 2012 :

- le Décret no 2012-238 du 20 février 2012 relatif aux véhicules autorisés à circuler au sein des zones d'actions prioritaires pour l'air ;
- Le Décret no 2012-237 du 20 février 2012 relatif à la classification des véhicules et aux sanctions applicables en cas d'infraction à une mesure d'interdiction ou de restriction de la circulation dans les zones d'actions prioritaires pour l'air.

Des avancées scientifiques permettent de mieux estimer les risques sanitaires de la pollution atmosphérique

Le caractère cancérigène des émissions des moteurs diesel est d'ores et déjà avéré selon le CIRC : Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) qui dépend de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a annoncé le 12 juin 2012 que les émissions d'échappement des moteurs diesel sont cancérigènes chez l'homme. Les experts internationaux du CIRC se sont appuyés sur des preuves scientifiques pour mettre en évidence le lien entre l'exposition aux émissions d'échappement des moteurs diesel et le risque de développer un cancer du poumon.

D'après une étude américaine de cohorte chez des mineurs¹ contribuant à la conclusion du CIRC, l'exposition aux émissions des moteurs diesel augmente le risque de mortalité par cancer pulmonaire de manière significative, avec un risque multiplié par 3 pour une concentration moyenne à l'année de REC (équivalent aux particules fines) supérieure à 1 005 µg/m³. Les auteurs de cette étude montrent également que :

- après ajustement aux facteurs de confusion potentiels, le risque évoluait en fonction des niveaux d'exposition, la plus forte association ayant été retrouvée pour les valeurs de CE estimées et cumulées les plus fortes, soit plus de 536 µg/m³-années avec un décalage de 15 entre la période d'exposition et le décès ;
- pour les non-fumeurs, le RR augmente en fonction de l'augmentation du CE cumulé (15 ans de décalage) : 1,0, 1,47 (IC_{95%} de 0,29 à 7,50), et 7,30 (IC_{95%} de 1,46 à 36,57) pour respectivement < 8, 8 à < 304, et ≥ 304 µg/m³-années.

Des études plus récentes que l'étude de l'OMS utilisée par Boiteux II confirment les effets sanitaires à long terme de la pollution atmosphérique et montrent qu'il existe également des effets sanitaires de court terme que Boiteux II n'avait pas pris en compte (études AFSSE² et OMS³) : ces études s'appuient généralement sur la

(1) Article du Journal of the National Cancer Institute Advance Access published March 5, 2012: The Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case–Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust, Sylverman et al. (2012).

(2) AFSSE, 2004. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Rapport 1 : Estimation de l'impact lié à l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité par cancer du poumon et par maladies cardio-vasculaires en 2002 avec projections d'ici 2020, 72p.

(3) OMS, 2004. *Transport-related health impacts and their costs and benefits with a particular focus on children*. Contribution française au programme Pan European Program for Transport.

même étude de cohorte que celle retenue dans l'étude OMS mais avec des données d'exposition différentes.

L'étude conduite par l'Institut de Veille Sanitaire (2012¹) montre qu'une amélioration de la qualité de l'air en France engendrerait des bénéfices sanitaires et économiques significatifs.

Selon cette étude, les bénéfices sanitaires et économiques potentiels associés à une amélioration de la qualité de l'air (particules en suspension PM_{2,5} et PM₁₀ et ozone) dans 9 villes (Bordeaux, Le Havre, Lille, Lyon, Marseille, Paris, Rouen, Strasbourg et Toulouse²) seraient les suivants :

- l'espérance de vie à 30 ans pourrait augmenter de 3,6 à 7,5 mois selon la ville, ce qui équivaut à différer près de 3 000 décès par an, si les concentrations moyennes annuelles de PM_{2,5} respectaient la valeur guide de l'OMS (10 µg/m³). Le bénéfice économique associé est estimé à près de 5 milliards €2005 par an en appliquant une VSL de 1 655 000 € à chaque décès ;
- près de 360 hospitalisations cardiaques et plus de 630 hospitalisations respiratoires par an dans les neuf villes pourraient être évitées si les concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ respectaient la valeur guide de l'OMS (20 µg/m³). Le bénéfice économique associé est estimé à près de 4 millions €2005 par an en appliquant un coût d'environ 3 800 € par hospitalisation ;
- une soixantaine de décès et une soixantaine d'hospitalisations respiratoires par an dans les neuf villes pourraient être évités si la valeur guide de l'OMS pour le maximum journalier d'ozone (100 µg/m³) était respectée. Le bénéfice économique associé est estimé à près de 6 millions €2005 par an en appliquant les mêmes coûts qu'indiqués précédemment.

Ces résultats confirment en outre que les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont observés au jour le jour, pour des niveaux moyens de particules fines, en l'absence même de pics de pollution. Bien que les méthodes de calcul soient différentes, les valeurs totales obtenues dans cette étude sont dans les mêmes ordres de grandeur que dans le rapport Boiteux II pour la mortalité, à savoir environ 5,5 milliards d'€2000³ associés aux décès en France métropolitaine. Boiteux II estime en revanche le coût total des épisodes morbides à hauteur de 1,5 milliard d'€2000⁴.

(1) Declercq C, Pascal M, Chanel O, Corso M, Ung A et al. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans neuf villes françaises. Résultats du projet Aphekom. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire ; 2012. 33 p. Disponible à partir de l'URL : <http://www.invs.sante.fr>

(2) Réparties dans toute la France, ces villes représentent 12 millions d'habitants, dont 6,5 millions dans la zone de Paris.

(3) $10600 \times 1,5 \text{ millions} \times 0,35 = 5,56 \text{ milliards}$.

(4) $10600 \times 1,5 \text{ millions} \times 0,35 \times 0,30 = 1,67 \text{ milliard}$.

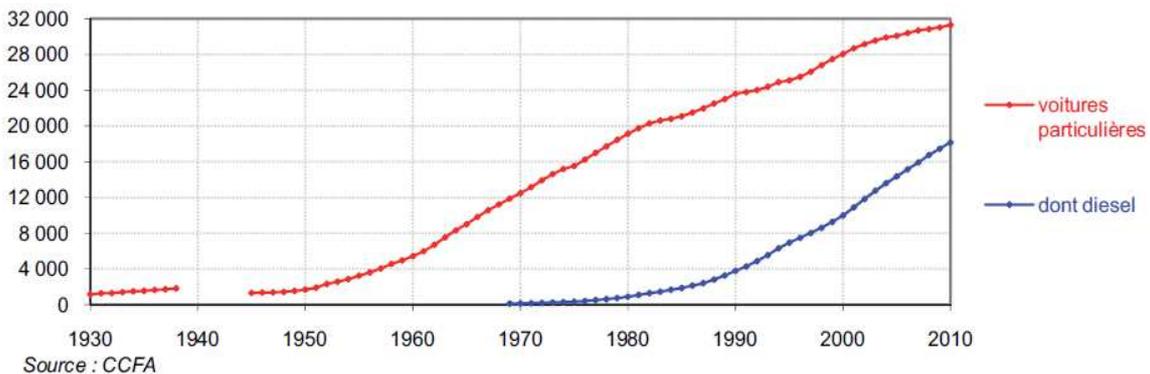
Des avancées scientifiques permettent de mieux modéliser les effets sanitaires et environnementaux des émissions dues au transport

Des travaux de recherche européens (notamment ExternE, CAFE, HEATCO, *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*, cf. annexe 4) ont permis des avancées significatives dans la compréhension et la modélisation des mécanismes de dispersion atmosphérique, de concentration et d'effets sur la santé et l'environnement des émissions du secteur des transports.

Les valeurs de référence produites par ces études résultent d'une même méthodologie globale, appelée *Impact Pathway Approach* (IPA) ou approche « *bottom-up* », initialement développée dans le projet ExternE (1995, 1999, 2005) financé par la DG Recherche.

La composition du parc automobile a fortement évolué depuis les années 90 pour laisser une part de plus en plus élevée aux moteurs diesel

La figure ci-dessous montre la part croissante du diesel dans le parc des voitures particulières depuis les années 80 en France.



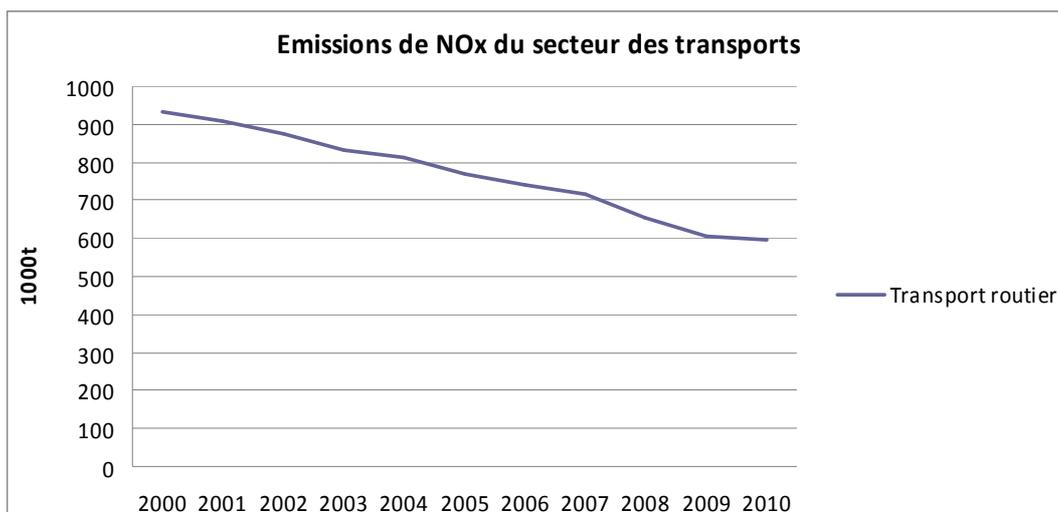
Source : URF, 2011. *Faits et chiffres : statistiques des transports en France et en Europe*

Les émissions de particules et de NOx du secteur du transport routier ont baissé

Selon la granulométrie considérée, les évolutions des émissions de particules du transport routier en France entre 2000 et 2010 évoluent toutes à la baisse (Citepa, 2012) :

- les émissions de TSP diminuent de 23 % (- 27 kt) ;
- celles de PM10 diminuent de 30 % (- 27 kt) ;
- celles de PM2,5 diminuent de 34 % (- 25 kt) ;
- celles de PM1,0 diminuent de 48 % (- 26 kt).

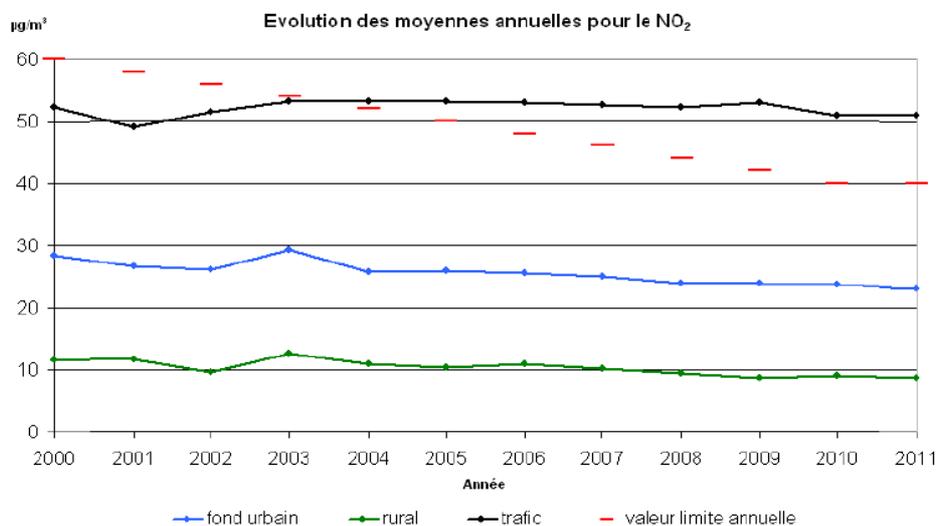
Les émissions de NOx évoluent également à la baisse sur la même période, diminuant de 36 % sur la période (- 337 kt) (cf. figure 9).



Source : Citepa, 2012

Les concentrations ont en revanche peu évolué ces 10 dernières années en particulier pour le NO₂ et les particules (PM10 + PM2,5)

Concernant les NO_x, le bilan de la qualité de l'air publié par de la DGEC¹ montre que les concentrations moyennes annuelles de NO₂ mesurées à proximité des voies routières (« sites trafic² »), est légèrement en hausse sur la période 2000-2011 et qu'elles sont supérieures à la valeur limite annuelle fixée à partir de 2004 (cf. figure 11).



Source : Rapport DGEC, 2012. Bilan de la qualité de l'air en France en 2011, 52p. à partir de la base de données nationale de la qualité de l'air

(1) MEDDE, 2012. Bilan de la qualité de l'air en France en 2011, Direction générale de l'énergie et du climat, 52p.

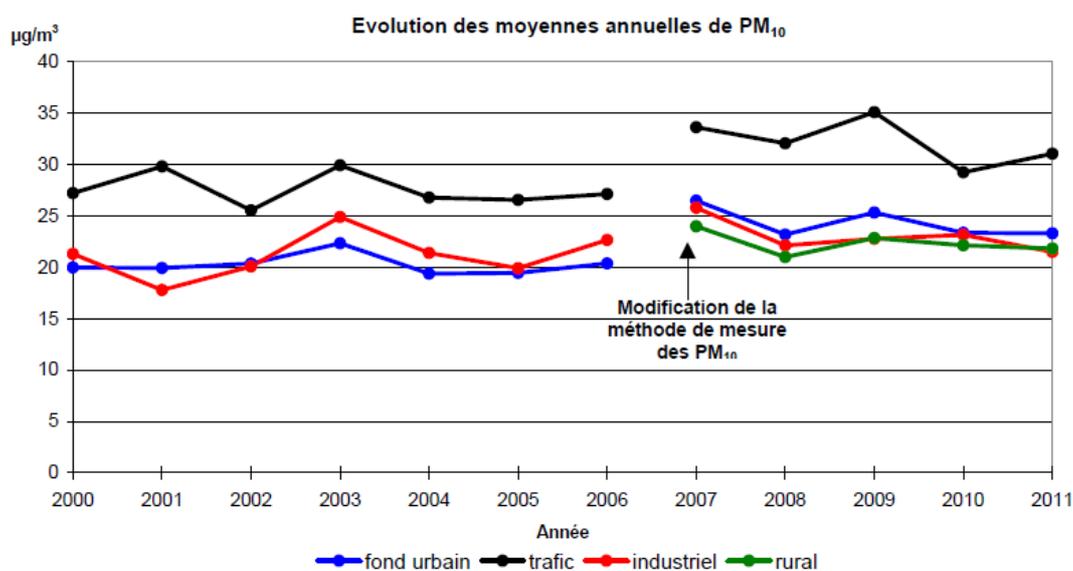
(2) Stations de proximité trafic : stations de mesure des concentrations dans des zones représentatives des niveaux les plus élevés auxquels la population située en proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée.

Une augmentation assez nette du ratio NO_2/NO_x est en outre observable sur la même période (2000-2010) sur les sites de proximité automobile. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer les évolutions des émissions de NO_2 et du rapport NO_2/NO_x (MEDDE, 2012 ; AFSSET, 2009) :

- l'évolution à la hausse des émissions primaires de NO_2 du trafic en lien avec la progression de la part des véhicules diesel équipés de filtres à particules au sein du parc automobile¹ ;
- les processus physico-chimiques liés entre autres à la hausse des niveaux d'ozone qui peuvent jouer un rôle en réagissant avec le NO primaire émis par le trafic pour former du NO_2 .

Il est à noter qu'en 2011, de nombreux dépassements de la valeur limite de NO_2 ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont enregistrés, pour la plupart dans les grandes agglomérations : Amiens, Bastia, Besançon, Bordeaux, Brest, Chamonix, Clermont-Ferrand, Grenoble, Limoges, Lyon, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Nice, Niort, Paris, Reims, Rennes, Rouen, Saint-Etienne, Strasbourg, Toulon, Toulouse, Tours et Valence.

Concernant les émissions de particules et toujours selon le bilan de la qualité de l'air publié par la DGEC, une légère augmentation des concentrations de PM_{10} est enregistrée pour les stations de proximité automobile (cf. figure 12).



Source : Rapport DGEC, 2012. Bilan de la qualité de l'air en France en 2011, 52p.

Ainsi, bien que les émissions de particules PM_{10} du transport routier diminuent de façon significative entre 2000 et 2010, les concentrations observées au niveau des stations de proximité automobile sur la même période évoluent pas ou peu. Plusieurs éléments peuvent expliquer cette observation :

- les particules étant formées de particules « secondaires » (i. e. transformation chimique dans l'atmosphère), il se pourrait que cette fraction secondaire ait augmentée ;

(1) L'augmentation du rapport NO_2/NO_x est liée à une augmentation de la proportion de véhicules diesel équipés de catalyseurs d'oxydation, en particulier sur les voitures particulières.

- Valorisation de la pollution atmosphérique dans le calcul socioéconomique -

- les émissions de particules des autres secteurs (en particulier le chauffage résidentiel), baissent moins que celles du routier ;
- les émissions d'autres zones (et même d'autres pays) pourraient faire augmenter les concentrations en France.

Enfin, 7 sites ont dépassé la valeur limite annuelle, fixée à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2011. Il s'agit de 7 sites de proximité automobile situés à Marseille, Paris et Fort-de-France.