

# Impact sur l'environnement de l'évolution de la demande de transport à l'horizon 2030

Septembre 2012

Ina De Vlieger, [ina.devlieger@vito.be](mailto:ina.devlieger@vito.be),  
Dominique Gusbin, [dg@plan.be](mailto:dg@plan.be),  
Bruno Hoornaert, [bho@plan.be](mailto:bho@plan.be),  
Inge Mayeres, [inge.mayeres@vito.be](mailto:inge.mayeres@vito.be),  
Hans Michiels, [hans.michiels@vito.be](mailto:hans.michiels@vito.be),  
Marie Vandresse, [vm@plan.be](mailto:vm@plan.be),  
Marlies Vanhulsel, [marlies.vanhulsel@vito.be](mailto:marlies.vanhulsel@vito.be)

# Le Bureau fédéral du Plan

Le Bureau fédéral du Plan (BFP) est un organisme d'intérêt public.

Le BFP réalise des études sur les questions de politique économique, socio-économique et environnementale. A cette fin, le BFP rassemble et analyse des données, explore les évolutions plausibles, identifie des alternatives, évalue les conséquences des politiques et formule des propositions.

Son expertise scientifique est mise à la disposition du gouvernement, du parlement, des interlocuteurs sociaux, ainsi que des institutions nationales et internationales. Le BFP assure à ses travaux une large diffusion. Les résultats de ses recherches sont portés à la connaissance de la collectivité et contribuent au débat démocratique.

Le Bureau fédéral du Plan est certifié EMAS et Entreprise Ecodynamique (trois étoiles) pour sa gestion environnementale.

url : <http://www.plan.be>

e-mail : [contact@plan.be](mailto:contact@plan.be)

## Publications

Publications récurrentes:

Perspectives

Le "Short Term Update"

Planning Papers (le dernier numéro):

*L'objet des "Planning Papers" est de diffuser des travaux d'analyse et de recherche du Bureau fédéral du Plan.*

111 Comptes de l'environnement pour la Belgique - Comptes économiques de l'environnement 1990-2008

Guy Vandille, Lies Janssen - Septembre 2012

Working Papers (le dernier numéro):

10-12 Fragiliteit van de financiële structuur van de niet-financiële ondernemingen in de marktsector in België in 2007 en 2010

Hilde Spinnewyn, Michel Dumont - Juillet 2012

Reproduction autorisée, sauf à des fins commerciales, moyennant mention de la source.

Editeur responsable : Henri Bogaert

Dépôt légal : D/2012/7433/29

**Bureau fédéral du Plan**

Avenue des Arts 47-49, 1000 Bruxelles  
tél. : +32-2-5077311  
fax : +32-2-5077373  
e-mail : [contact@plan.be](mailto:contact@plan.be)  
<http://www.plan.be>

**Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek**

Boeretang 200, 2400 Mol  
tél. : + 32-14-335511  
fax : + 32-14-335599  
e-mail : [vito@vito.be](mailto:vito@vito.be)  
<http://www.vito.be>

# Impact sur l'environnement de l'évolution de la demande de transport à l'horizon 2030

Septembre 2012

Ina De Vlieger, [ina.devlieger@vito.be](mailto:ina.devlieger@vito.be), Dominique Gusbin, [dg@plan.be](mailto:dg@plan.be),  
Bruno Hoornaert, [bho@plan.be](mailto:bho@plan.be), Inge Mayeres, [inge.mayeres@vito.be](mailto:inge.mayeres@vito.be),  
Hans Michiels, [hans.michiels@vito.be](mailto:hans.michiels@vito.be), Marie Vandresse, [vm@plan.be](mailto:vm@plan.be),  
Marlies Vanhulsel, [marlies.vanhulsel@vito.be](mailto:marlies.vanhulsel@vito.be)

**Abstract** - Le Bureau fédéral du Plan et le SPF Mobilité et Transports ont publié en septembre 2012 une nouvelle projection de référence de l'évolution à long terme de la demande de transport en Belgique (BFP et SPF M&T, 2012). Outre l'évolution du transport de personnes et de marchandises ainsi que de son coût, cette projection présente des perspectives d'évolution des émissions des gaz à effet de serre ainsi que des principaux polluants libérés par le transport et calcule le coût environnemental de ces émissions. Les calculs ont été réalisés en collaboration avec le VITO dans le cadre des projets LIMOBEL et PROLIBIC, tous deux financés par la Politique scientifique fédérale.

Le présent Working Paper présente la méthodologie appliquée pour évaluer l'impact du transport sur l'environnement, ainsi qu'une analyse détaillée de l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> libérées par le transport à l'horizon 2030. Cette analyse détaillée comprend notamment une analyse de décomposition permettant de mettre en évidence les différents facteurs explicatifs de cette évolution.

**Jel Classification** - Q25, R41

**Keywords** - Emissions, gaz à effet de serre, perspectives à long terme, transport de personnes et de marchandises, substances polluantes

# Table des matières

<b>Synthèse.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Perspectives d'évolution des transports: principaux résultats .....</b>	<b>4</b>
2.1. Transport de personnes	4
2.2. Transport de marchandises	5
<b>3. Facteurs d'émissions .....</b>	<b>6</b>
3.1. Emissions à l'échappement	7
3.1.1. Transport routier	7
3.1.2. Transport ferroviaire	10
3.1.3. Navigation intérieure	11
3.2. Emissions liées à la production et au transport de sources d'énergie	12
3.3. Emissions non brûlées	13
<b>4. Valorisation monétaire des dommages causés par les émissions .....</b>	<b>14</b>
4.1. Méthodologie	14
4.2. Résultats	15
<b>5. Impact du transport sur l'environnement .....</b>	<b>19</b>
5.1. Evolutions générales des émissions	19
5.2. Analyse détaillée de l'évolution des émissions à l'échappement	21
5.2.1. Emissions à l'échappement de CO <sub>2</sub>	21
5.2.2. Emissions à l'échappement de NO <sub>x</sub>	22
5.2.3. Emissions à l'échappement de PM <sub>2,5</sub>	24
5.3. Coûts environnementaux	25
<b>6. Analyse de décomposition de l'évolution des émissions des transports .....</b>	<b>26</b>
6.1. Introduction	26
6.2. Méthodologie	26
6.2.1. Méthode générale	26
6.2.2. Méthode spécifique pour les voitures	27
6.2.3. Remarques préliminaires à la présentation des résultats	28
6.3. Emissions à l'échappement de CO <sub>2</sub>	29
6.3.1. Transport de personnes	29
6.3.2. Transport de marchandises	30

6.4. Emissions à l'échappement de NO <sub>x</sub>	31
6.5. Emissions à l'échappement de PM <sub>2,5</sub>	32
<b>7. Conclusion.....</b>	<b>33</b>
<b>Références.....</b>	<b>35</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1	Principaux résultats des perspectives d'évolution des transports à l'horizon 2030 - projection à politique inchangée.....	5
Tableau 2	Part des biocarburants dans la consommation de diesel et d'essence des moyens de transport routier .....	8
Tableau 3	Part des nouveaux types de motorisation dans les acquisitions .....	9
Tableau 4	Part des voitures rechargeables (PHEV) dans le nombre total de nouvelles voitures hybrides..	9
Tableau 5	Facteurs moyens d'émissions à l'échappement dans le transport routier .....	9
Tableau 6	Facteurs moyens d'émissions à l'échappement dans la navigation intérieure et le transport ferroviaire (trains diesels).....	11
Tableau 7	Facteurs d'émissions dans la production et le transport de sources d'énergie (marché belge).....	12
Tableau 8	Facteurs d'émissions dans la production d'électricité .....	13
Tableau 9	Facteurs d'émissions pour les émissions non brûlées de PM <sub>2,5</sub> .....	13
Tableau 10	Synthèse du coût marginal externe de la pollution atmosphérique (PM <sub>2,5</sub> et NO <sub>x</sub> ) et du changement climatique.....	18
Tableau 11	Indicateurs de trafic pour les différents modes de transport.....	27

## Liste des graphiques

Graphique 1	Aperçu de la méthodologie générale des différents modules d'E-Motion .....	6
Graphique 2	Coût externe de santé par tonne de PM <sub>2,5</sub> libérée en Belgique selon la source de l'impact .....	16
Graphique 3	Coût externe de santé par tonne de PM <sub>2,5</sub> émise en Belgique selon le lieu d'impact.....	16
Graphique 4	Coût externe de santé par tonne de NO <sub>x</sub> émise en Belgique selon la source de l'impact .....	17
Graphique 5	Coût externe de santé par tonne de NO <sub>x</sub> émise en Belgique selon le lieu d'impact .....	18
Graphique 6	Emissions totales du transport de personnes et de marchandises en Belgique (route, rail et navigation intérieure) - projection de référence .....	19
Graphique 7	Emissions à l'échappement (à gauche) et indirectes (à droite) du transport de personnes et de marchandises en Belgique (route, rail et navigation intérieure) - projection de référence .....	20

Graphique 8	Parts des émissions à l'échappement, indirectes et non brûlées dans les émissions totales de CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> et PM <sub>2,5</sub> du transport de personnes et de marchandises en Belgique (route, rail et navigation intérieure) - projection de référence .....	21
Graphique 9	Part du transport de marchandises et de personnes dans les émissions à l'échappement de CO <sub>2</sub> du transport.....	22
Graphique 10	Emissions à l'échappement de CO <sub>2</sub> du transport - évolution par type et moyen de transport	22
Graphique 11	Part du transport de marchandises et de personnes dans les émissions à l'échappement de NO <sub>x</sub> du transport.....	23
Graphique 12	Emissions à l'échappement de NO <sub>x</sub> du transport - évolution par type et moyen de transport	23
Graphique 13	Part du transport de marchandises et de personnes dans les émissions à l'échappement de PM <sub>2,5</sub> du transport .....	24
Graphique 14	Emissions à l'échappement de PM <sub>2,5</sub> du transport - évolution par type et moyen de transport	24
Graphique 15	Evolution des coûts environnementaux du transport (CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> et PM <sub>2,5</sub> ) et répartition modale .....	25
Graphique 16	Analyse de décomposition de l'évolution des émissions à l'échappement de CO <sub>2</sub> du transport de personnes entre 2008 et 2030 - projection de référence.....	29
Graphique 17	Analyse de décomposition de l'évolution des émissions à l'échappement de CO <sub>2</sub> du transport de marchandises entre 2008 et 2030 - projection de référence .....	30
Graphique 18	Analyse de décomposition de l'évolution des émissions à l'échappement de NO <sub>x</sub> du transport de personnes (à gauche) et de marchandises (à droite) entre 2008 et 2030 - projection de référence .....	31
Graphique 19	Analyse de décomposition de l'évolution des émissions à l'échappement de PM <sub>2,5</sub> du transport de personnes (à gauche) et de marchandises (à droite) entre 2008 et 2030 - projection de référence .....	32

## Synthèse

Le Bureau fédéral du Plan et le SPF Mobilité et Transports ont publié en septembre 2012 une nouvelle projection de référence de l'évolution de la demande de transport en Belgique à l'horizon 2030 (BFP et SPF M&T, 2012). Outre l'évolution du transport de personnes et de marchandises ainsi que de son coût, cette projection présente des perspectives d'évolution des émissions des gaz à effet de serre ainsi que des principaux polluants libérés par le transport et calcule le coût environnemental de ces émissions. L'impact du transport sur l'environnement a été réalisé en collaboration avec le VITO dans le cadre des projets LIMOBEL et PROLIBIC, tous deux financés par la Politique scientifique fédérale.

Le présent Working Paper présente la méthodologie utilisée pour calculer l'impact du transport sur l'environnement ainsi qu'une analyse plus détaillée de l'évolution des émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> libérées par le transport à l'horizon 2030 avec un accent tout particulier sur les émissions à l'échappement. Cette étude détaillée comprend notamment une analyse de décomposition permettant de mettre en évidence les différents facteurs explicatifs de l'évolution des émissions à l'échappement.

Les émissions et la consommation d'énergie ont été calculées pour les trois Régions au moyen du modèle E-Motion ('Energy- and emission MOdel for Transport with geographical distributIOn') développé par le VITO. Les modes de transport suivants ont été envisagés : le transport routier, le transport ferroviaire, la navigation intérieure, le transport maritime et le transport « off-road ». La contribution d'E-Motion à la projection de référence est double. Avant tout, le modèle fournit des facteurs de consommation d'énergie qui sont eux-mêmes utilisés pour calculer le coût pour l'utilisateur des modes de transport. D'autre part, il permet de déterminer la consommation totale d'énergie et les émissions, et partant, d'obtenir des facteurs d'émissions moyens compatibles avec le modèle PLANET. Les dommages causés par les émissions à l'environnement sont tirés d'une étude fouillée sur les effets des PM<sub>2,5</sub> et des émissions de NO<sub>x</sub> sur la santé humaine en Belgique. Nous nous sommes basés sur la littérature existante pour les gaz à effet de serre.

D'après la projection à politique inchangée, l'activité de transport augmente de façon substantielle entre 2008 et 2030, tant pour le transport de personnes (+20% de passagers-kilomètres) que pour le transport de marchandises (+68% de tonnes-kilomètres). Cette hausse est le reflet de l'évolution de la croissance économique et des changements sociodémographiques. Elle n'est pas sans impact sur l'environnement. Celui-ci est donné, d'une part, par l'évolution des émissions (à l'échappement, indirectes et non brûlées) de polluants du transport, et d'autre part, par le développement des coûts environnementaux que ces émissions occasionnent. Les émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> (le principal gaz à effet de serre) du transport augmentent de 12% entre 2008 et 2030. Les émissions de NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> connaissent par contre une évolution à la baisse de respectivement 77% et 81%. Le transport routier est le principal responsable des émissions de CO<sub>2</sub> et des deux polluants locaux sur l'ensemble de la période 2008-2030.

En 2008, les coûts environnementaux associés aux émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> s'échelonnent entre 147 et 961 millions d'euros (de 2008) selon la valeur monétaire des dommages causés par le CO<sub>2</sub>. Entre 2008 et 2030, les coûts environnementaux augmentent significativement mal-

gré la baisse importante des émissions des deux polluants locaux ( $\text{NO}_x$  et  $\text{PM}_{2,5}$ ): de +168% (valeur élevée pour le  $\text{CO}_2$ ) à +384% (valeur faible pour le  $\text{CO}_2$ ). Cette évolution s'explique, d'une part, par l'augmentation des émissions de  $\text{CO}_2$  du transport, et d'autre part, par l'accroissement au cours du temps des coûts marginaux externes suite aux changements de concentration des polluants, aux évolutions démographiques et à la progression du PIB par tête.

L'analyse de décomposition permet de mettre en évidence les facteurs explicatifs de l'évolution des émissions de polluants, et en particulier le rôle des mesures à caractère technologique adoptées pour réduire l'impact du transport sur l'environnement, à savoir les normes EURO et la réglementation visant à améliorer l'efficacité énergétique des véhicules.

En ce qui concerne les émissions de  $\text{NO}_x$  et de  $\text{PM}_{2,5}$ , les résultats de l'analyse de décomposition montrent que les mesures de type technologique (catalyseurs, filtres à particules, etc.) expliquent en grande partie la baisse des émissions à l'échappement projetée d'ici 2030.

Pour les émissions de  $\text{CO}_2$ , le rôle des mesures technologiques dépend du type de transport (personnes ou marchandises). Les émissions à l'échappement de  $\text{CO}_2$  du transport de personnes sont projetées à la baisse. Cette baisse s'explique principalement par la diésélisation du parc automobile, l'amélioration de l'efficacité énergétique des voitures grâce à la réglementation européenne en vigueur et à la progression de nouveaux types de motorisation (hybrides et électriques) et par l'utilisation accrue de biocarburants. Pour le transport de marchandises, les émissions de  $\text{CO}_2$  augmentent de 42% en 2030 par rapport à 2008. Cette hausse s'explique par la progression soutenue du transport de marchandises à l'horizon 2030 que ne parviennent à compenser ni la hausse du taux moyen de chargement, ni le léger transfert modal en faveur du transport ferroviaire et fluvial, ni l'augmentation de l'efficacité énergétique des camions et camionnettes.

L'évolution à politique inchangée des émissions à l'échappement de  $\text{CO}_2$  du transport montre que les politiques actuelles ne permettent pas de réduire ces émissions en Belgique. La Commission européenne a adopté un livre blanc sur les transports en mars 2011 (EC, 2011b) dans lequel elle définit une stratégie des transports visant une réduction de 60% des émissions de gaz à effet de serre provenant de ce secteur à l'horizon 2050. Ce chiffre correspond à une réduction d'émissions de quelque 70% par rapport à 2008. Par ailleurs, le document précise que, d'ici à 2030, l'objectif pour les transports consistera à réduire ses émissions de gaz à effet de serre d'environ 20% par rapport à leur niveau de 2008.

Même si les objectifs ci-dessus sont des objectifs au niveau européen, la projection de référence montre que de nouvelles politiques et mesures sont nécessaires (au niveau belge et/ou européen) pour s'inscrire dans la tendance souhaitée. A ce sujet, la Commission européenne a présenté en juillet 2012 des propositions de nouvelles exigences en matière d'émissions de  $\text{CO}_2$  pour les voitures et les camionnettes pour 2020 (respectivement 95 g  $\text{CO}_2/\text{km}$  et 147 g  $\text{CO}_2/\text{km}$ ). Nonobstant le bénéfice environnemental que cette nouvelle réglementation apportera, d'autres politiques seront certainement également nécessaires comme celles favorisant les modes de transport moins polluants et le transport multimodal.

# 1. Introduction

Le Bureau fédéral du Plan et le SPF Mobilité et Transports ont publié en septembre 2012 une nouvelle projection de référence de l'évolution à long terme de la demande de transport en Belgique (BFP et SPF M&T, 2012). Outre l'évolution du transport de personnes et de marchandises ainsi que de son coût, cette projection présente des perspectives d'évolution des émissions des gaz à effet de serre ainsi que des principaux polluants libérés par le transport et calcule le coût environnemental de ces émissions. Les calculs ont été réalisés en collaboration avec le VITO dans le cadre des projets LIMOBEL et PROLIBIC, tous deux financés par la Politique scientifique fédérale.

Le présent Working Paper décrit la méthodologie suivie pour établir les perspectives relatives à l'impact environnemental du transport dans la projection de référence. Ainsi, le chapitre 2 résume les perspectives de transport tirées de la projection de référence. Ensuite, le chapitre 3 présente la méthodologie du modèle E-Motion utilisé pour calculer les facteurs d'émissions et de consommation d'énergie. Quant au chapitre 4, il s'attache plus spécifiquement aux modalités de calcul des dommages liés aux émissions. Pour les coûts externes en matière de santé des émissions de PM<sub>2,5</sub>- et de NO<sub>x</sub>, nous nous sommes fondés sur une étude récente relative à la Belgique qui tient compte de l'évolution possible de ces coûts dans le temps suite à des changements démographiques et à des variations de concentrations de fond. En ce qui concerne les gaz à effet de serre, les chiffres sont tirés de la littérature existante. Les données des chapitres 2 à 4 ont servi à élaborer des perspectives d'évolution des émissions des transports à l'horizon 2030 ainsi que de leur coût environnemental (chapitre 5). Enfin, une analyse de décomposition a permis d'identifier les facteurs à l'origine de l'évolution des émissions (chapitre 6). Elle nous apprend dans quelle mesure les évolutions prévues s'expliquent par l'évolution attendue de la demande de transport, du choix du mode de transport, du taux d'occupation ou de chargement, de la technologie ou de l'introduction de biocarburants.

Dans les perspectives à long terme de l'évolution des transports en Belgique à l'horizon 2030 (BFP et SPF M&T, 2012), l'impact du transport sur l'environnement tient compte des émissions à l'échappement, indirectes et non brûlées. Les émissions indirectes, dites « de la source à la pompe » (*Well-to-Tank*), sont libérées lors de la production et du transport des carburants et de l'électricité utilisés pour le transport. Enfin, les émissions non brûlées de particules fines sont les émissions causées par l'usure des freins, des pneus et du revêtement des routes et des rails. Par ailleurs, les perspectives d'évolution des émissions du transport couvrent sept polluants locaux (CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub>, COVNM, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> et Pb) et trois gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O).

Pour simplifier la présentation et parce qu'ils sont les plus significatifs au niveau du transport, le Working Paper s'attarde sur *trois* polluants, le CO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub> et les PM<sub>2,5</sub>, et analyse plus en détail l'évolution des émissions à l'échappement (contribution des différents types – personnes/marchandises – et moyens de transport, facteurs explicatifs, etc.). L'évolution des autres polluants est présentée dans la publication décrivant les perspectives d'évolution de la demande de transport à l'horizon 2030 (BFP et SPF M&T, 2012).

## 2. Perspectives d'évolution des transports: principaux résultats

La projection à politique inchangée de la demande de transport en Belgique à l'horizon 2030 part de l'hypothèse d'une poursuite de la politique des prix actuelle et de la mise en œuvre des directives européennes existantes, lesquelles prévoient notamment l'adoption des nouvelles normes EURO, une amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules ainsi qu'un recours croissant aux biocarburants (voir section 3.1). L'évolution des prix de l'énergie est basée sur les dernières perspectives énergétiques du Bureau fédéral du Plan (BFP (2011b)). Le taux de croissance annuel moyen du prix du pétrole brut (en termes réels) est de 1,3% pour la période 2008-2030. En conséquence, les prix de l'essence et du diesel à la pompe augmentent respectivement de 13% et de 8% entre 2008 et 2030 (en termes réels). En ce qui concerne l'évolution future du parc de voitures, la projection à politique inchangée table sur une intégration lente et progressive des motorisations alternatives (voir section 3.1). Enfin, la projection de référence prend comme hypothèse une croissance annuelle moyenne du PIB de 1,6% au cours de la période 2008-2030. Cette hypothèse est basée sur les perspectives à moyen et long terme du Bureau fédéral du Plan publiées à la mi-2011. Une description détaillée des hypothèses utilisées dans la cadre de la projection de référence est disponible dans la publication (BFP et SPF M&T, 2012). La projection de référence a été réalisée à l'aide du modèle PLANET, version 3.2.

### 2.1. Transport de personnes

Trois motifs de déplacement pour le transport de personnes sont distingués : domicile-travail, domicile-école et les « autres motifs ». Ces derniers concernent des déplacements effectués pour les loisirs, les courses, les vacances, etc., et représentent 64% du nombre total de déplacements en 2008.

Les principales évolutions pour le transport de personnes sont données dans le Tableau 1. Le nombre total de passagers-kilomètres (pkm) augmente de 20% entre 2008 et 2030, soit un taux de croissance annuel moyen de 0,8%. Pour les trajets domicile-travail, le nombre de passagers-kilomètres augmente de 11% entre 2008 et 2030. Quant aux déplacements domicile-école, le nombre de pkm progresse de 40% entre 2008 et 2030. Enfin, les pkm pour les « autres motifs » connaissent une hausse de 21% entre 2008 et 2030. Le Tableau 1 traduit également les évolutions par type de déplacement en taux de croissance annuels moyens.

La position dominante de la voiture dans le nombre total de passagers-kilomètres se maintient entre 2008 et 2030 (81% en 2008 et 80% en 2030). Entre les deux années, on assiste cependant à un léger transfert du covoiturage vers l'utilisation de la voiture en solo. La part des pkm parcourus en covoiturage passe en effet de 31% en 2008 à 26% en 2030 et la part des pkm parcourus en voiture solo grimpe de 50% en 2008 à 54% en 2030. L'augmentation de l'activité de transport et plus spécifiquement du transport routier induit une aggravation de la congestion routière qui suscite un report d'une partie des pkm vers les modes non routiers, à savoir les trains (7% en 2008 et 9% en 2030), le métro (0,4% en 2008 et 0,6% en 2030) et la marche à pied et le vélo (3% en 2008 et 4% en 2030). Par contre, la part des pkm parcourus en bus se réduit (6% en 2008 et 4% en 2030) car ce moyen de transport est particuliè-

rement affecté par l'augmentation du coût en temps qui résulte de l'augmentation de la congestion routière. La part du tram reste stable sur l'ensemble de la période de projection (0,8%).

## 2.2. Transport de marchandises

Les principales évolutions pour le transport de marchandises sont également données dans le Tableau 1. A politique inchangée, le nombre total de tonnes-kilomètres (tkm) en Belgique augmente de 68% entre 2008 et 2030, soit un taux de croissance annuel moyen de 2,4%. L'évolution du nombre de tkm sur le territoire belge est davantage marquée pour le transport international que pour le transport national. Entre 2008 et 2030, le taux de croissance des tkm est de 94% pour les marchandises sortant de la Belgique, de 76% pour celles entrant en Belgique et de 67% pour les marchandises en transit. Le transport national augmente quant à lui de 52%. Le Tableau 1 traduit également les évolutions par type de flux de transport en taux de croissance annuels moyens.

Le transport par camion reste le moyen de transport dominant en 2030. La part du transport routier (camion et camionnette) diminue cependant légèrement (75% en 2008 et 71% en 2030) au profit du rail (11% en 2008 et 15% en 2030) et, dans une moindre mesure, de la navigation intérieure (13% en 2008 et 14% en 2030).

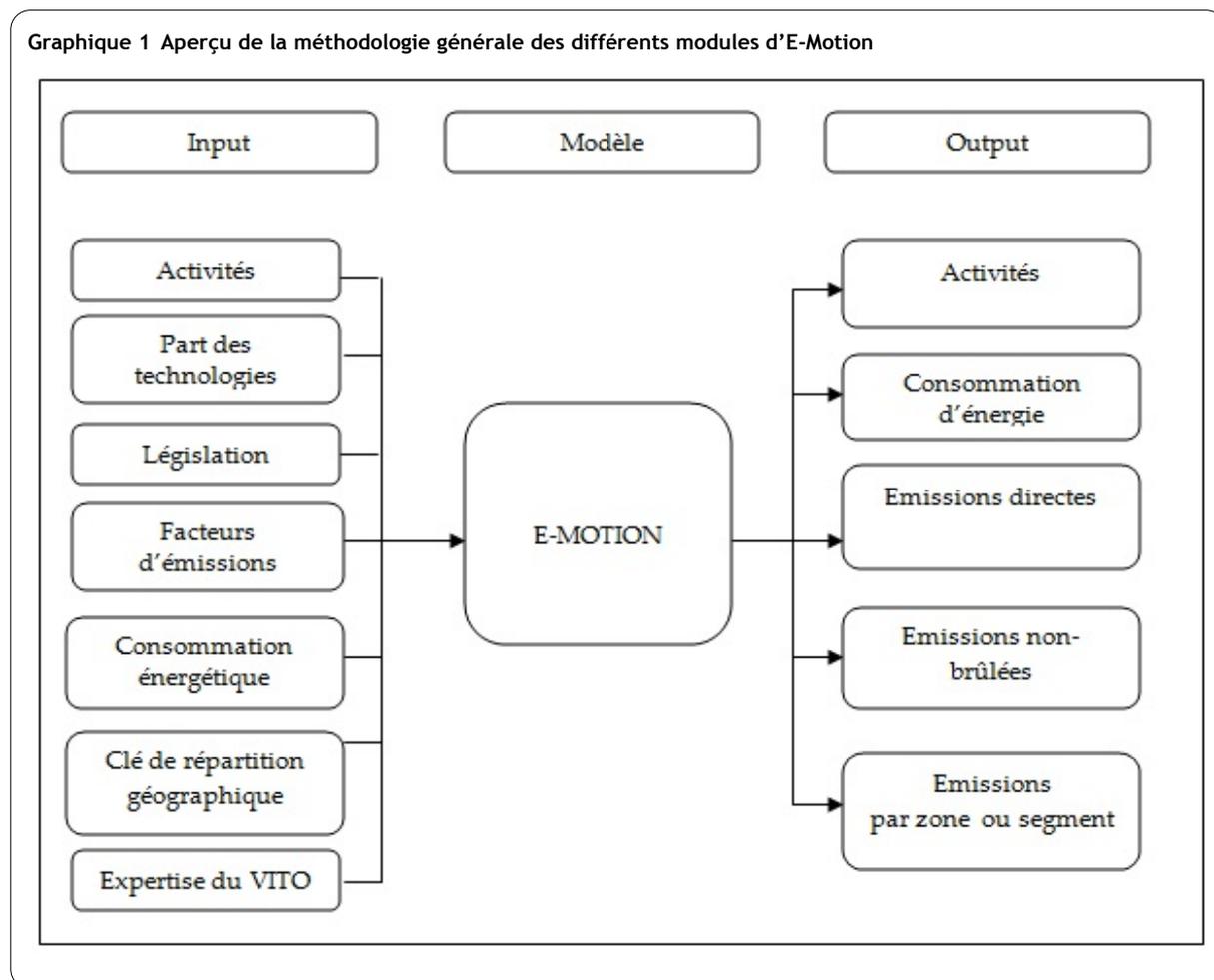
**Tableau 1 Principaux résultats des perspectives d'évolution des transports à l'horizon 2030 - projection à politique inchangée**

	2008 Nombre (milliards)	2030 Nombre (milliards)	2008-2030 Variation (%)	2008-2030 Taux de croissance annuel moyen (%)
<b>Transport de personnes</b>				
<i>Passagers-kilomètres en Belgique</i>				
Domicile-travail	33,7	37,4	11	0,5
Domicile -école	8,6	12,1	40	1,5
Autres motifs	79,7	96,7	21	0,9
<b>Total</b>	<b>122,0</b>	<b>146,2</b>	<b>20</b>	<b>0,8</b>
<i>Part des moyens de transport dans les passagers-kilomètres en Belgique</i>				
Voiture en solo	49,9	54,3		
Covoiturage	31,0	26,2		
Train	7,3	8,8		
Bus	6,3	4,1		
Tram	0,8	0,8		
Metro	0,4	0,6		
Marche à pied/vélo	2,8	3,9		
Moto	1,4	1,4		
<b>Transport de marchandises</b>				
<i>Tonnes-kilomètres en Belgique (route, rail, navigation intérieure)</i>				
National	27,5	41,6	52	1,9
Entrées	13,8	24,3	76	2,6
Sorties	14,3	27,8	94	3,1
Transit sans transbordement	10,1	16,9	67	2,3
<b>Total</b>	<b>65,7</b>	<b>110,7</b>	<b>68</b>	<b>2,4</b>
<i>Part des moyens de transport dans les tonnes-kilomètres en Belgique</i>				
Camion	71,2	67,1		
Camionnette	4,0	4,1		
Train	11,5	14,7		
Navigation intérieure	13,3	14,1		

Sources: PLANET V3.2, BFP et SPF M&T, 2012.

### 3. Facteurs d'émissions

Les émissions et la consommation d'énergie sont calculées à l'aide du modèle E-Motion ('Energy- and emission MOdel for Transport with geographical distributIOn') développé par le VITO. Elles sont calculées pour les trois Régions et les modes de transport suivants : routier, ferroviaire, navigation intérieure, transport maritime et " off-road ". Le modèle permet de localiser géographiquement les résultats. Le Graphique 1 donne un aperçu de la méthodologie générale des modules d'E-Motion.



Le modèle E-Motion intervient à deux niveaux dans l'élaboration de la projection de référence. D'une part, il met en avant des facteurs de consommation d'énergie utilisés dans le calcul du coût pour l'utilisateur des différents modes de transport. D'autre part, il permet de déterminer la consommation totale d'énergie et les émissions, et partant, d'obtenir des facteurs d'émissions moyens compatibles avec le modèle PLANET. E-Motion se fonde sur une approche bottom-up afin de mesurer l'impact des différents modes de transport sur l'environnement. Pour les années historiques (1990-2010), le modèle se base sur des statistiques détaillées portant sur la mobilité, le parc de véhicules et la flotte de bateaux. Pour la projection, le VITO suit attentivement les perspectives d'évolution de la mobilité et des technologies. Le modèle a déjà servi pour plusieurs exercices de projection à l'horizon 2030 (De Vlioger et al., 2009; Pelkmans et al., 2011) et des exercices de vision à l'horizon 2060 (Michiels et al., 2011a).

Les équations de base pour le calcul des émissions et de la consommation d'énergie des différents modes de transport sont :

$$Emissions_{i,j,m} = \sum_{t=0}^n activité_{t,i,m} \times facteur\ d'émissions_{t,j,m} \quad (1)$$

et

$$Consommation\ d'énergie_{i,m} = \sum_{t=0}^n activité_{t,i,m} \times facteur\ de\ consommation\ d'énergie_{t,m} \quad (2)$$

où  $i$  correspond aux années,  $j$  aux polluants,  $m$  aux modes de transport et  $t$  aux technologies.

Les facteurs d'émissions et de consommation d'énergie sont spécifiques à chaque technologie et dépendent entre autres du type de carburant, de l'âge et du recours ou non à des dispositifs de post-traitement ou au retrofit. La législation actuelle et future détermine largement le taux de pénétration des nouvelles technologies tout comme la consommation d'énergie de celles-ci. Outre les émissions à l'échappement, le modèle calcule aussi les émissions non brûlées (de particules et de métaux) ainsi que les émissions " well-to-tank " (WTT), soit de la source à la pompe, et donc liées à la production et au transport de sources d'énergie.

Pour la plupart des modes de transport (excepté les voitures), la définition des technologies est moins détaillée dans le modèle PLANET que dans le modèle E-Motion. C'est pourquoi, afin de pouvoir calculer les facteurs moyens de consommation d'énergie et d'émissions, le modèle E-Motion fait d'abord tourner des scénarios au niveau le plus détaillé pour ensuite déterminer des facteurs moyens sur la base de ces résultats.

### 3.1. Emissions à l'échappement

#### 3.1.1. Transport routier

Les facteurs d'émissions à l'échappement et de consommation d'énergie des moyens de transport routiers dépendent de leur vitesse moyenne. E-Motion se fonde sur COPERT 4 pour les carburants conventionnels (essence, gazole et LPG) (EMEP/CORINAIR, 2007). Pour les technologies alternatives, le VITO intègre sa propre expertise fondée sur des mesures et la littérature internationale. En ce qui concerne les voitures particulières, E-Motion intègre les résultats du monitoring de CO<sub>2</sub> et les effets de la législation sur le CO<sub>2</sub>. Le modèle distingue huit types de véhicules qu'il ventile selon la technologie, l'âge du véhicule, la cylindrée et le tonnage. Les normes Euro constituent également un paramètre important qui influence les émissions et la consommation d'énergie. Le modèle tient compte des données de mise en œuvre des directives européennes en matière d'émissions des nouveaux véhicules afin de lier chaque véhicule à une norme Euro. On part ainsi du principe que les nouvelles technologies sont introduites quelques mois avant l'entrée en vigueur de la directive.

Ce Working Paper se base sur les facteurs d'émissions et de consommation d'énergie définis dans le projet LIMOBEL (De Vlieger et al., 2011). Deux adaptations majeures ont toutefois été apportées.

La première concerne les facteurs d'émissions de NO<sub>x</sub> des voitures de norme Euro 5 et Euro 6. La littérature récente montre que les émissions réelles de NO<sub>x</sub> des voitures de norme Euro 5 roulant au diesel ne sont pas plus faibles que celles générées par les voitures de norme Euro 4 (Hausberger, 2010; Weiss et al., 2011). Les émissions de NO<sub>x</sub> d'une voiture de norme Euro 5 roulant au diesel se situeraient plutôt au même niveau que celles des voitures de norme Euro 2 ou Euro 3. C'est pourquoi, dans le modèle E-Motion, les facteurs d'émissions de NO<sub>x</sub> des voitures de norme Euro 5 roulant au diesel sont considérés comme équivalents à la moyenne des émissions des voitures de norme Euro 2 et Euro 3 roulant au diesel. Par contre, pour les autres polluants (HC, CO et PM), les voitures de norme Euro 5 roulant au diesel affichent de bons résultats<sup>1</sup>.

Selon Vonk et Verbeek (2010), dans des conditions de circulation réelles, une voiture de norme Euro 6 roulant au diesel émet à peine 30% de NO<sub>x</sub> de moins qu'une voiture de norme Euro 5. A noter toutefois que ce constat se base sur un échantillon restreint de véhicules dans des gammes de prix élevés et parcourant peu de kilomètres. Il est donc difficile de voir dans quelle mesure ces résultats sont représentatifs du parc futur de véhicules. Cependant, les dispositifs de post-traitement des émissions de NO<sub>x</sub> des voitures de norme Euro 6 roulant au diesel devraient être assez efficaces pour satisfaire aussi à la norme Euro 6 dans des conditions de circulation réelles. C'est pourquoi, pour les voitures de norme Euro 6 roulant au diesel, nous avons appliqué la valeur limite de NO<sub>x</sub> (0,08 g/km).

La seconde adaptation par rapport à LIMOBEL a consisté à augmenter la consommation d'électricité des véhicules électriques (100% électriques (BEV) et hybrides rechargeables (PHEV)), sur la base d'une revue de la littérature et, pour les voitures électriques, de mesures (limitées) prises en situation réelle par le VITO. Les nouvelles valeurs tiennent compte du fait que l'électricité est non seulement nécessaire pour mouvoir le véhicule mais aussi pour activer d'autres fonctions (climatisation, éclairage...). De plus, ces valeurs concernent la consommation dans des conditions réelles et non théoriques comme c'est le cas dans le cycle de test.

La projection de référence tient aussi compte de l'effet des biocarburants sur les facteurs d'émissions à l'échappement. Les biocarburants sont considérés comme neutres du point de vue des émissions de CO<sub>2</sub>. L'effet sur les autres polluants se base sur EMEP/CORINAIR (2007). Le Tableau 2 présente les hypothèses de la projection de référence portant sur la part des biocarburants dans le transport routier. L'évolution jusqu'en 2020 se base sur le Vlaams Klimaatplan (Cools et al., 2012). Ensuite, la part est maintenue constante par rapport à 2020.

**Tableau 2** Part des biocarburants dans la consommation de diesel et d'essence des moyens de transport routier  
Vol%

	2008	2015	2020	2025	2030
Essence	1,21	6,12	6,48	6,48	6,48
Diesel	1,36	5,52	5,78	5,78	5,78

Sources : observations jusqu'en 2010 (EUROSTAT), 2011-2020 : VITO, basé sur le Vlaams Klimaatplan, 2021-2030: niveau de 2020.

<sup>1</sup> Pour les émissions de PM, elles affichent uniquement de bons résultats si elles sont utilisées comme il se doit, c'est-à-dire pour de longues distances à une vitesse élevée afin de régénérer le filtre à particules.

La projection de référence table sur une croissance de la part des nouveaux types de motorisation (surtout après 2020). En 2030, parmi les nouvelles voitures, la part des voitures hybrides à essence s'élèverait à 15% contre 17% pour les voitures hybrides roulant au gazole et 5% pour les voitures 100% électriques (Tableau 3). Dans la projection de référence, la part des voitures hybrides rechargeables (PHEV) dans les voitures hybrides passerait de 10% en 2015 à 75% en 2030 (Tableau 4).

**Tableau 3 Part des nouveaux types de motorisation dans les acquisitions**  
%

	2010	2015	2020	2025	2030
Hybrides - essence	0,6	5,6	10,0	13,6	15,0
Hybrides - diesel	0,0	0,8	5,5	11,4	17,3
100% électriques	0,009	0,0	0,0	2,5	5,0

Sources : 2010 : DIV; à partir de 2015: MIRA-S, scénario REF (De Vlieger et al., 2009).

**Tableau 4 Part des voitures rechargeables (PHEV) dans le nombre total de nouvelles voitures hybrides**  
%

	2010	2015	2020	2025	2030
Rechargeables	0	10	25	50	75

Source : MIRA-S (De Vlieger et al., 2009).

Le Tableau 5 présente les facteurs moyens d'émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> du transport routier en 2008 et les perspectives à l'horizon 2020 et 2030 (variation en pourcentage par rapport à 2008). La baisse des valeurs s'explique par l'introduction de normes Euro plus sévères et par l'obligation d'améliorer l'efficacité des carburants. Les facteurs d'émissions tiennent compte de l'utilisation de biocarburants et des voitures alternatives.

**Tableau 5 Facteurs moyens d'émissions à l'échappement dans le transport routier**

Véhicules	Polluants	2008 (g/vkm)	2020 (% de variation par rapport à 2008)	2030 (% de variation par rapport à 2008)
Moto	CO <sub>2</sub>	84,80	-13,4	-16,1
	NO <sub>x</sub>	0,19	27,6	35,6
	PM <sub>2,5</sub>	0,07	-52,3	-69,0
Voiture	CO <sub>2</sub>	160,80	-16,3	-27,2
	NO <sub>x</sub>	0,63	-51,3	-86,0
	PM <sub>2,5</sub>	0,03	-73,3	-84,4
Camionnette	CO <sub>2</sub>	222,30	-13,0	-16,5
	NO <sub>x</sub>	1,07	-50,9	-71,2
	PM <sub>2,5</sub>	0,08	-84,4	-96,5
Camion	CO <sub>2</sub>	679,30	-8,2	-8,5
	NO <sub>x</sub>	6,80	-85,1	-91,7
	PM <sub>2,5</sub>	0,14	-88,7	-91,4

Sources : VITO et PLANET V3.2.

Note : vkm = véhicule-kilomètre.

### 3.1.2. Transport ferroviaire

Pour le transport ferroviaire, E-Motion se base sur Ex-TREMIS (Chiffi et al., 2009) et EMMOSS (Vanherle et al., 2007). Le modèle part du nombre annuel de trains-kilomètres, ventilé selon le type de train (marchandises/personnes), la source d'énergie (diesel/électricité), le type de services (IC, IR, L, P, TGV ou marchandises), tels que rapportés dans les statistiques annuelles de la SNCB. Dans le cadre de la projection, on suppose que les perspectives pour la Flandre valent aussi pour la Belgique (De Vlioger et al., 2009). Sur cette base, le modèle E-Motion estime le nombre de tonnes-kilomètres brutes de la SNCB et des autres opérateurs du réseau belge. Ensuite, ces chiffres sont ventilés selon le type de traction (locomotive/automotrice).

Les tonnes-kilomètres brutes permettent de calculer la consommation d'énergie correspondante à partir de facteurs de consommation d'énergie spécifiques aux trains et services en Belgique. Un supplément est par ailleurs comptabilisé pour les activités de triage. La consommation d'énergie est calibrée sur la base des statistiques de la SNCB. Pour les années futures, E-Motion tient compte de l'évolution technologique des moteurs diesels. Les classes technologiques suivent la date de mise en œuvre des réceptions par type et la législation européenne 2004/26/EC. En projection, pour les trains diesels, il est également tenu compte de l'amélioration de leur performance telle que présentée dans le projet Railenergy (UIC, 2006).

On obtient ainsi la consommation d'énergie par type de train, type de service, source d'énergie, classe technologique et activité, formant la base pour le calcul des émissions à l'échappement. Celui-ci s'appuie sur l'IPCC (1997, 2006) pour les facteurs d'émissions liés aux carburants ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  et  $\text{CH}_4$ ), la législation européenne en matière d'émissions, en tenant compte de la teneur en soufre des carburants pour le  $\text{SO}_2$  (FAPETRO, 2003) et la législation européenne 2004/26/EC, un amendement de la législation 97/68/EC, pour les facteurs d'émissions liés aux technologies ( $\text{NO}_x$ , PM, CO et HC).

Ensuite, E-Motion calcule les facteurs moyens d'émissions et de consommation d'énergie sur lesquels se base le modèle PLANET.

Le Tableau 6 présente les facteurs d'émissions à l'échappement de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  et  $\text{PM}_{2.5}$  pour les moyens de transport ferroviaire équipés de moteurs diesels en 2008 et les perspectives pour 2020 et 2030 dans la projection de référence. Le tableau distingue deux types de train (personnes/marchandises). Les facteurs d'émissions diminuent dans le cas des trains diesels grâce à l'amélioration de la performance du carburant et aux avancées technologiques présentées dans le projet Railenergy (UIC, 2006) et la directive européenne 2004/26/EC.

**Tableau 6 Facteurs moyens d'émissions à l'échappement dans la navigation intérieure et le transport ferroviaire (trains diesels)**

Véhicules	Polluants	2008	2020	2030	
			(% de variation par rapport à 2008)	(% de variation par rapport à 2008)	
Bateau de navigation intérieure	g/tkm	CO <sub>2</sub>	27,5	-8,3	-8,5
	g/tkm	NO <sub>x</sub>	0,48	-38,5	-44,9
	g/tkm	PM <sub>2,5</sub>	0,01	-33,4	-40,2
Train - transport de marchandises	g/tkm	CO <sub>2</sub>	9,46	-4,69	-4,71
	g/tkm	NO <sub>x</sub>	0,16	-22,35	-22,32
	g/tkm	PM <sub>2,5</sub>	0,003	-16,29	-16,21
Train - transport de personnes	g/pkm	CO <sub>2</sub>	3,54	-7,3	-7,3
	g/pkm	NO <sub>x</sub>	0,03	-65,2	-65,2
	g/pkm	PM <sub>2,5</sub>	0,001	-73,9	-73,9

Source : VITO et PLANET V3.2.

Note : pkm = passager-kilomètre, tkm = tonne-kilomètre.

### 3.1.3. Navigation intérieure

Le module E-Motion consacré à la navigation intérieure se base sur les protocoles EMS (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003a & 2003b). Etant donné que des données détaillées sont uniquement disponibles pour les voies navigables gérées par la SA De Scheepvaart, le modèle calcule dans un premier temps les facteurs d'émissions et de consommation d'énergie pour ces dernières. Ensuite, ces facteurs sont extrapolés à la totalité du réseau belge, en tenant compte de la classe CEMT des voies navigables.

Les bateaux sont classés en fonction de leur type (moteur/pousseur), de leur classe (ex. : Kempenaar, Groot Rijnschip, petit engin pousseur) et de leur poids (< 300 tonnes, 301-650 tonnes, ..., > 2000 tonnes), en plus d'être répartis selon leur charge (avec ou sans). Par ailleurs, le modèle tient compte de la classe technologique de l'année de construction du moteur. Les protocoles EMS distinguent 7 classes technologiques. La dernière classe, qui comprend la technologie CCR-1 la plus récente, est divisée dans E-Motion selon les classes définies dans EMMOSS (Vanherle et al., 2007).

Sur la base de ces données et de la méthodologie des protocoles EMS, la puissance exigée et la consommation d'énergie sont calculées. Ensuite, le modèle estime la consommation de carburant et les émissions. Les résultats par classe CEMT pour les voies navigables représentatives forment la base du calcul pour toutes les autres voies navigables de Belgique.

Les données historiques sur les activités liées aux voies navigables portent sur le nombre de tonnes-kilomètres rapporté par les différentes administrations. Pour les ports, le nombre total de tonnes-kilomètres est estimé sur la base de données du bureau d'étude du gouvernement flamand. Les ports sont répartis selon leur part dans le nombre total de tonnes chargées et déchargées. Pour les parts futures des différents types de bateaux et des classes technologiques, nous nous basons sur MIRA-S (De Vlioger et al., 2009). Nous supposons aussi que ces évolutions s'appliquent à l'ensemble de la Belgique.

Le Tableau 6 montre l'évolution des facteurs d'émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> dans la navigation intérieure. Les facteurs d'émissions sont évalués pour tous les types de bateau et toutes les classes technologiques. Leur baisse résulte des améliorations technologiques.

### 3.2. Emissions liées à la production et au transport de sources d'énergie

Afin de calculer l'impact total du transport sur la pollution atmosphérique et le climat et d'évaluer correctement les différentes technologies, il convient aussi de tenir compte des émissions générées lors de la production et du transport de sources d'énergie. Il s'agit des émissions " Well-to-tank " (WTT), de la pompe à la source.

Pour les gaz à effet de serre, nous utilisons les facteurs d'émissions WTT de JEC (2008). Dans ce cadre, on distingue différentes voies de production et de transport. S'agissant des autres polluants, nous nous basons sur den Boer et al. (2008) pour les carburants conventionnels et sur Boureima et al. (2009) pour les biocarburants et les biogaz. Lorsque les informations sont manquantes, nous nous référons à SUSATRANS (De Vlieger et al., 2005).

Le Tableau 7 présente les facteurs d'émissions WTT pour les différentes sources d'énergie. Il donne aussi des informations sur les matières premières à partir desquelles elles sont produites.

- Le mix typique pour les biocarburants, les biogaz et l'hydrogène en Belgique a été déterminé dans le projet BIOSES (Pelkmans et al., 2011). La projection de référence suppose que seuls des biocarburants de la première génération sont utilisés, ce qui coïncide avec le caractère conservateur de la projection.
- Pour le gaz naturel comprimé (GNC), nous nous basons sur les perspectives de l'AIE sur l'offre de gaz dans l'UE. La part du gaz européen passe de +/- 70% en 2005 à 25% en 2030, tandis que l'offre de gaz naturel transporté par gazoducs passe de 7% à 46%. La moitié de ce gaz proviendrait de l'ouest de la Sibérie et l'autre moitié de la région entourant la mer Caspienne. Le reste est considéré comme du gaz naturel liquéfié (GNL).

**Tableau 7 Facteurs d'émissions dans la production et le transport de sources d'énergie (marché belge)**  
g/MJ

Source d'énergie	Source	Equivalent CO <sub>2</sub>			NO <sub>x</sub>			PM		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
gazole	pétrole brut	14,5	16,0	17,5	0,021	0,018	0,018	0,002	0,002	0,002
essence	pétrole brut	12,9	14,6	16,4	0,026	0,022	0,022	0,003	0,003	0,003
GPL	pétrole brut	8,1	8,5	8,9	0,020	0,017	0,017	0,002	0,002	0,002
kérosène	pétrole brut	14,2	16,1	18,1	0,299	0,256	0,256	0,002	0,002	0,002
pétrole gazole	pétrole brut	11,5	12,7	13,9	0,017	0,014	0,014	0,002	0,002	0,002
HFO	pétrole brut	10,1	11,3	12,6	0,017	0,014	0,014	0,002	0,002	0,002
biogazole	mix	44,6	35,3	32,8	0,143	0,090	0,036	0,033	0,021	0,008
gazole FT	foresterie		6,9	6,9	0,101	0,063	0,025	0,021	0,013	0,005
bioéthanol	mix	40,8	33,9	27,0	0,178	0,111	0,044	0,192	0,120	0,048
GNC	gaz naturel	12,6	15,0	17,4	0,011	0,011	0,011	0,001	0,001	0,001
biogaz	mix	20,5	18,6	16,7	0,022	0,014	0,005	0,005	0,003	0,001
hydrogène	mix	112,8	139,0	126,1	0,078	0,084	0,090	0,003	0,005	0,007

HFO = heavy fuel oil, FT-diesel = gazole Fischer-Tropsch, GNC = gaz naturel compressé

Pour les carburants conventionnels et le GNC, on table sur une hausse des facteurs d'émissions WTT. La période où le pétrole brut et le gaz naturel sont bon marché et faciles à extraire touche à sa fin. De

plus, l'offre suit de plus en plus difficilement la demande. C'est pourquoi un nombre croissant de sources de pétrole non conventionnelles et difficiles à atteindre devront être exploitées, comme le pétrole des zones polaires, le pétrole brut extra lourd ou les sables bitumeux (Canada).

Pour les biocarburants et les biogaz, la projection prévoit une baisse des facteurs d'émissions suite à l'utilisation de tracteurs et de moyens de transport plus efficaces et plus propres et à l'optimisation des processus de production.

Les émissions liées à la production d'électricité se basent sur la projection de référence des perspectives énergétiques à long terme pour la Belgique (BFP, 2011). Cette dernière suppose la disparition progressive de l'énergie nucléaire en Belgique, qui est en grande partie compensée par la production d'électricité à partir de combustibles fossiles (gaz naturel et charbon) et par la hausse de la part des sources d'énergie renouvelables (24% en 2030, contre 5% en 2008). Les facteurs d'émissions sont présentés dans le Tableau 8.

**Tableau 8 Facteurs d'émissions dans la production d'électricité**  
g/kWh

	2010	2020	2030
CO <sub>2</sub>	183	201	332
NO <sub>x</sub>	0,14	0,16	0,24
PM <sub>2,5</sub>	0,02	0,03	0,05

Source : BFP, 2011

### 3.3. Emissions non brûlées

Les émissions non brûlées du transport routier proviennent de l'usure des pneus, des freins et de la route ainsi que de la poussière. Dans le cas du transport ferroviaire, elles sont causées par l'usure des roues, des freins, des voies et des câbles électriques. Les facteurs d'émissions présentés dans le Tableau 9 se basent sur EMEP/CORINAIR (2003) et Sleeuwaert et al. (2006).

**Tableau 9 Facteurs d'émissions pour les émissions non brûlées de PM<sub>2,5</sub>**

	Unité	2010	2020	2030
Moto	mg/km	5,7	5,6	5,6
Voiture	mg/km	11,2	11,2	11,3
Camionnette	mg/km	15,8	16,0	16,0
Camion	mg/km	47,1	46,6	46,7
Train de marchandises et de personnes - service normal	Diesel	g/km	3,86	3,86
	Electrique		4,05	4,05
Train de marchandises - triage	g/km	0,30	0,27	0,27

Source : De Vlieger et al. 2011.

## 4. Valorisation monétaire des dommages causés par les émissions

Ce chapitre aborde plus en détail les coûts sociaux des émissions. Au cours des vingt dernières années, les connaissances en matière de coûts externes des transports se sont affinées. En ce qui concerne les coûts environnementaux, la plupart des études sont menées à l'échelle européenne ou sans opérer de nettes différenciations entre les pays (ExternE, 2005; NEEDS, 2007b; IMPACT, 2008). Nous présentons ci-après les résultats d'une étude fouillée, menée à l'échelle de la Belgique, sur les effets des émissions de PM<sub>2,5</sub> et de NO<sub>x</sub> sur la santé de l'homme (Michiels et al., 2011b). Pour les gaz à effet de serre, nous nous sommes basés sur la littérature existante.

### 4.1. Méthodologie

Afin de déterminer la nocivité des émissions de PM<sub>2,5</sub> et de NO<sub>x</sub> pour la santé humaine, nous avons opté pour l'approche "Impact Pathway" (ExternE, 2005). Notre étude ayant un horizon à long terme, il est important de préciser que le coût externe de santé des émissions est fonction de leurs concentrations de fond. Or, ces concentrations de fond devraient évoluer sur le long terme. Les calculs ont dès lors été réalisés pour trois années: 2007, 2020 et 2030.

Pour les deux polluants, nous avons calculé le coût externe marginal de santé en comparant le scénario "business-as-usual" (BAU) et un scénario alternatif caractérisé par un niveau d'émissions des transports moins élevé. Le coût externe marginal de santé est obtenu en divisant l'écart de coût de santé entre les deux scénarios par l'écart entre les niveaux d'émission.

Dans le scénario alternatif, les émissions (de PM<sub>2,5</sub> ou de NO<sub>x</sub>) des transports en Belgique sont 20% moins élevées que dans le scénario BAU. Les émissions des transports englobent toutes les émissions libérées en Belgique par le transport routier, le transport ferroviaire, la navigation intérieure, le transport maritime entre les ports belges et lors du décollage et de l'atterrissage d'avions.

La méthode "Impact Pathway" comprend les étapes suivantes:

- Etape 1: La première étape consiste à calculer l'écart de concentrations atmosphériques entre les scénarios BAU et alternatif au moyen du modèle BeEUROS (Michiels et al., 2011b). Les concentrations des cinq polluants suivants ont été chiffrées : les PM<sub>2,5</sub> primaires (PM<sub>2,5</sub> pr), les PM<sub>10</sub> primaires (PM<sub>10</sub> pr), les aérosols de sulfate et de nitrate <2,5 µm (nitr<sub>2,5</sub> et sulf<sub>2,5</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>). Cette étape a donc permis de déterminer, pour chacun des cinq polluants, l'écart de niveau concentration pour un ensemble de zones de 15x15 km.
- Etape 2 : Grâce aux cartes détaillées de la population européenne (aussi 15x15 km basées sur le recensement de 2001 d'Eurostat), nous avons ensuite déterminé combien de personnes sont exposées à ces différences de niveau. Seules la population belge et une partie de la population des pays limitrophes (Allemagne, France, Luxembourg, Pays-Bas et Royaume-Uni) a été prise en considération vu que les effets s'exercent principalement sur le territoire correspondant. En

outre, nous avons tenu compte de la croissance de la population et de l'évolution de sa composition, telles que décrites dans les perspectives de population du Bureau fédéral du Plan (2009).

- Etape 3 : A ce stade, nous avons calculé l'impact de ce changement d'exposition sur la santé de l'homme (perte d'années de vie, journées de maladie, hospitalisations, etc.). Pour ce faire, nous avons utilisé l'outil DALY qui inclut des séries de fonctions dose-réponse et est basé sur des projets européens tels que ExternE (2005), CAFE (2005) et NEEDS (2007a). Pour plus de détails à ce sujet, nous vous renvoyons à Michiels et al. (2011b).
- Etape 4 : Enfin, nous avons donné une valeur monétaire à ces effets. Cette valorisation tient compte des coûts économiques purs mais aussi des paramètres comme la volonté de financer le coût de mesures visant à réduire les risques pour la santé. Les valeurs monétaires sont basées sur NEEDS (2006, 2009) et sur des recommandations spécifiques à la Belgique formulées par Franckx et al. (2009).

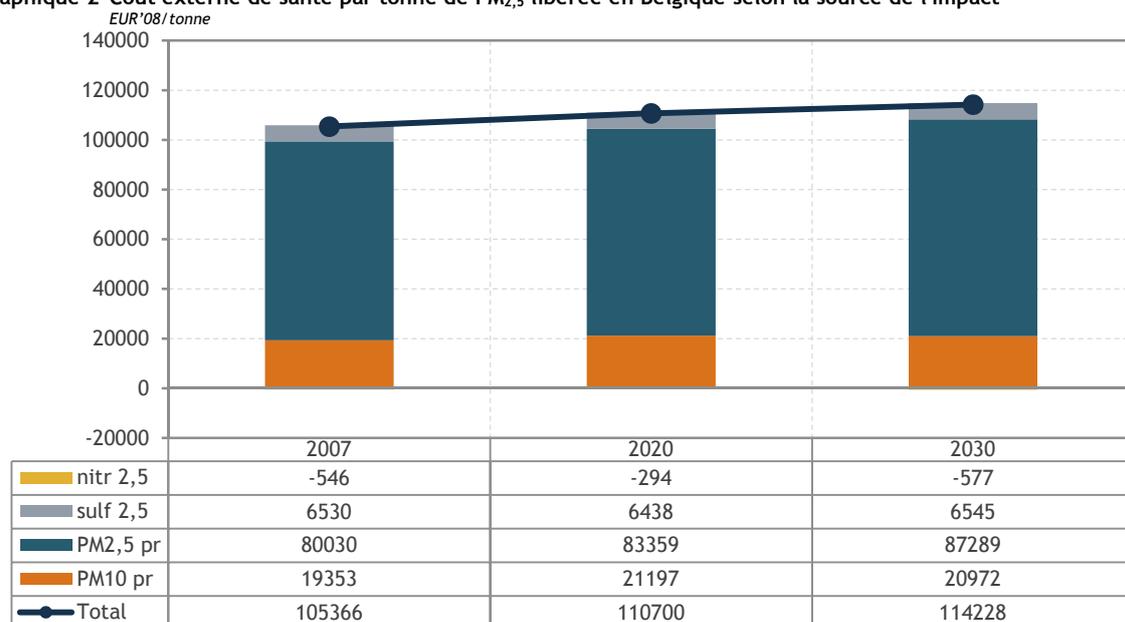
Cette étude n'opère pas de distinction entre les lieux d'émission (zones urbaines, zones rurales et autoroutes). Les résultats doivent donc être interprétés comme des valeurs moyennes pour les émissions sur l'ensemble du territoire belge.

## 4.2. Résultats

Le coût externe marginal de santé des particules fines ( $PM_{2.5}$ ) évolue de 105 000 EUR'08/tonne (2007), 111 000 EUR'08/tonne (2020) à 114 000 EUR'08/tonne (2030). Cette tendance à la hausse s'explique intégralement par les évolutions démographiques. Il ressort du Graphique 2 que les effets des émissions de  $PM_{2.5}$  sont essentiellement (94-95%) dus aux concentrations de  $PM_{2.5}$  primaires (et donc aussi de  $PM_{10}$  primaires). Quant aux 5 à 6% restants, ils résultent de la formation d'aérosols sulfatés. Pour toutes les concentrations de polluants, le coût est positif sauf pour le nitrate. Cette dernière valeur est toutefois trop faible pour être considérée comme un bénéfice marginal important.

Ces résultats sont comparables avec les résultats des études ExternE de Friedrich & Bickel (2001) et IMPACT (2008). Ils sont légèrement inférieurs aux chiffres de MIRA (2010). Cet écart est certainement dû au fait que l'étude MIRA est basée sur des cartes de population et de concentration plus détaillées.

**Graphique 2 Coût externe de santé par tonne de PM<sub>2,5</sub> libérée en Belgique selon la source de l'impact**

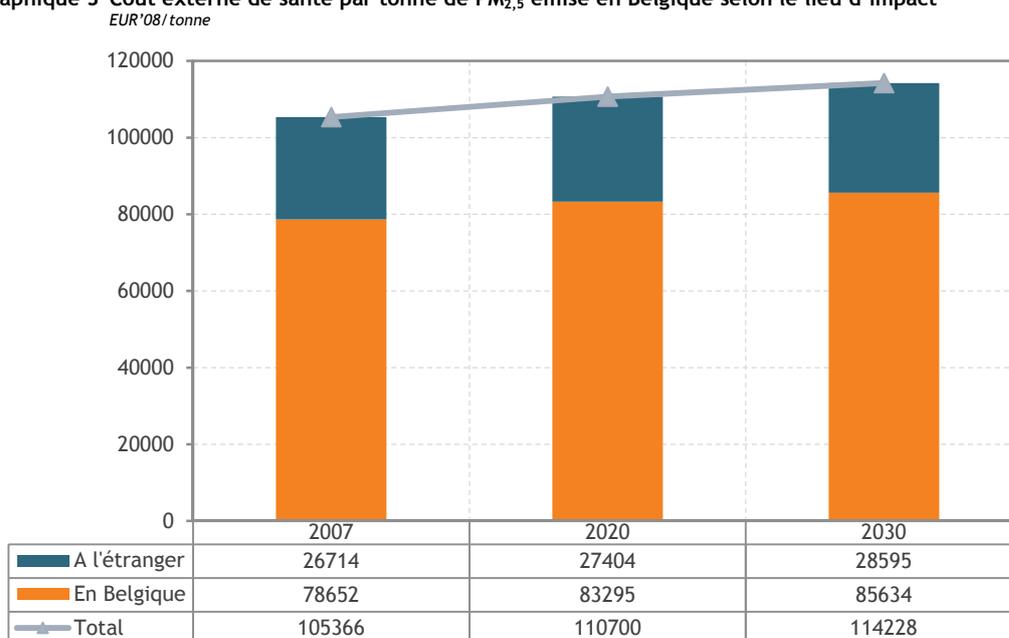


Source : Michiels et al. (2011b)

En 2020 et 2030, respectivement 8% et 11% du coût externe marginal de santé des PM<sub>2,5</sub> s'explique par les évolutions démographiques (croissance de la population et glissements entre les classes d'âge) enregistrées depuis 2007. Hors évolution démographique, ce coût externe resterait relativement constant dans le temps.

On peut également distinguer les effets qui s'exercent en Belgique et à l'étranger (Graphique 3). 25% du coût externe marginal de santé des PM<sub>2,5</sub> est dû aux effets à l'étranger.

**Graphique 3 Coût externe de santé par tonne de PM<sub>2,5</sub> émise en Belgique selon le lieu d'impact**

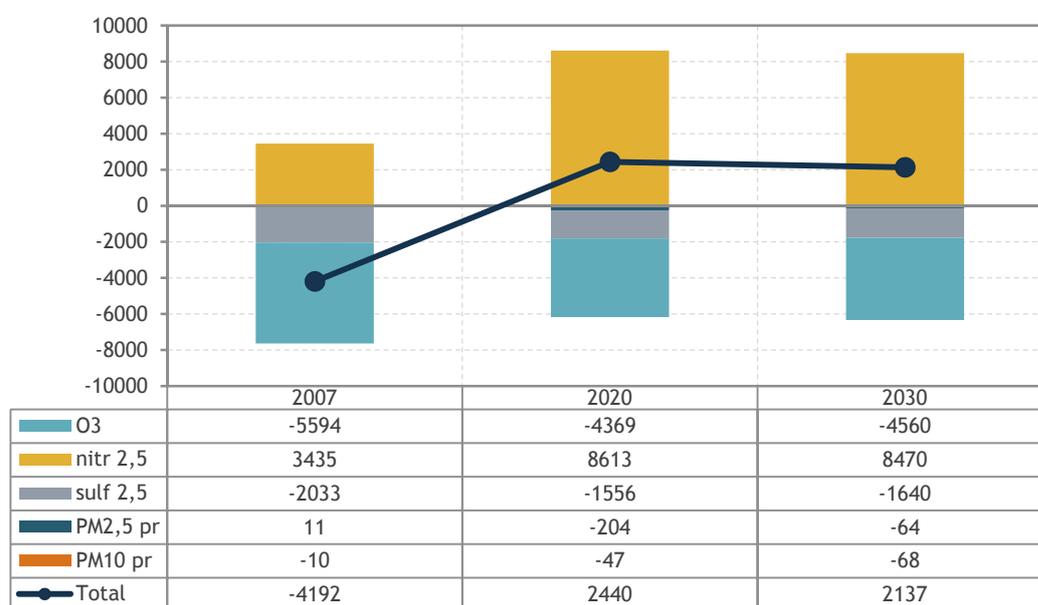


Source : Michiels et al. (2011b)

Le coût externe marginal de santé des émissions de NO<sub>x</sub> (Graphique 4) s'élève respectivement à 2 400 et 2 100 EUR'08/tonne en 2020 et 2030. En 2007, le coût est de -4 200 EUR'08/tonne, soit un bénéfice marginal externe. En 2007, les bénéfices d'une concentration moins élevée d'ozone et d'aérosols sulfatés excèdent le coût de la formation d'aérosols de nitrate. En 2020 et 2030, le tableau est différent étant donné que les bénéfices inhérents à l'ozone et aux aérosols sulfatés ne compensent pas les coûts liés aux aérosols de nitrate.

Les chiffres diffèrent de ceux de l'étude MIRA (2010) et ce pour trois raisons. Premièrement, l'étude MIRA ne s'étend qu'à la Flandre alors que nos chiffres portent sur l'ensemble de la Belgique. Or, la densité de population varie selon les régions du pays. Deuxièmement, les données sur les émissions diffèrent. Troisièmement, les définitions des secteurs dans MIRA (2010) ne permettent pas de considérer le secteur des transports comme un ensemble homogène.

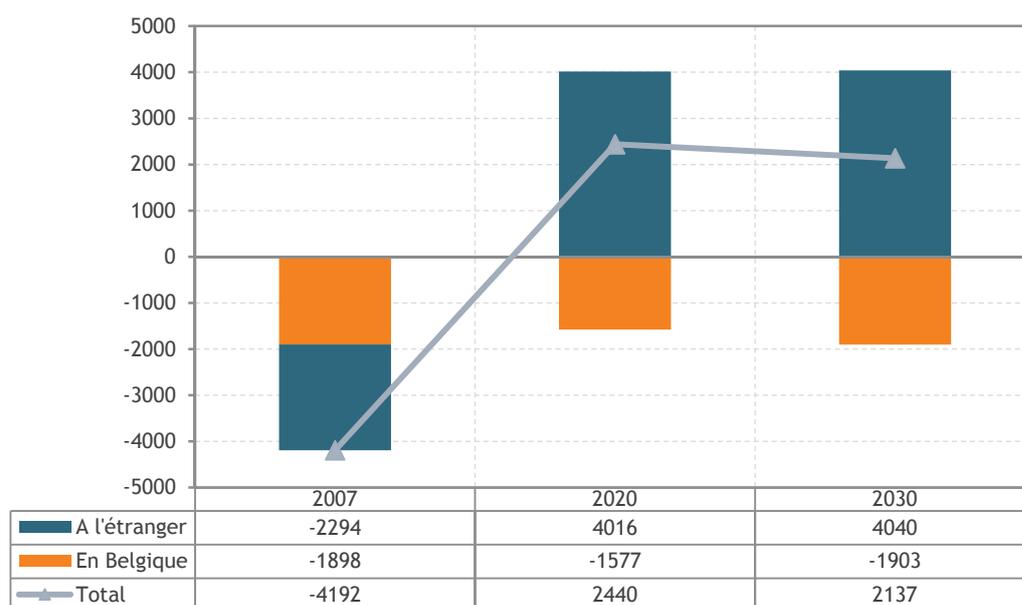
**Graphique 4 Coût externe de santé par tonne de NO<sub>x</sub> émise en Belgique selon la source de l'impact**  
EUR'08/tonne



Source : Michiels et al. (2011b)

L'impact de l'évolution démographique depuis 2007 est de 8% en 2020 et 16% en 2030. En outre, le coût externe marginal de santé du NO<sub>x</sub> en Belgique serait négatif sur l'ensemble de la période (Graphique 5). En 2007, ce bénéfice est encore renforcé par des effets s'exerçant à l'étranger, alors qu'en 2020 et 2030 les coûts à l'étranger dépassent les bénéfices enregistrés en Belgique. De manière générale, le coût externe marginal de santé du NO<sub>x</sub> est attribuable, dans sa majeure partie, aux effets à l'étranger.

**Graphique 5 Coût externe de santé par tonne de NO<sub>x</sub> émise en Belgique selon le lieu d'impact**  
EUR'08/tonne



Source : Michiels et al. (2011b)

En ce qui concerne les effets sur le changement climatique, nous nous sommes basés sur l'étude IMPACT (2008). Cette étude calcule un coût d'évitement à court et à moyen terme (2010 et 2020) puisque des objectifs politiques ont été définis jusqu'en 2020 et que les incertitudes sont moindres. Pour le long terme (2030 et plus), il en va autrement. Vu l'absence d'accords internationaux à cet horizon, les valeurs recommandées sont fondées sur les coûts des dommages et sont donc plus cohérentes avec l'approche utilisée pour les PM<sub>2,5</sub> et NO<sub>x</sub>. L'étude IMPACT donne une valeur centrale avec une limite inférieure et supérieure.

Le Tableau 10 synthétise, pour les trois années envisagées, le coût environnemental marginal externe, exprimé en EUR'08, des différents polluants. L'évolution future des revenus réels n'est pas prise en considération<sup>2</sup>. S'agissant des polluants atmosphériques, ce tableau ne tient compte que des effets sur la santé de l'homme.

**Tableau 10 Synthèse du coût marginal externe de la pollution atmosphérique (PM<sub>2,5</sub> et NO<sub>x</sub>) et du changement climatique**

Polluant	EUR'08/tonne			Source
	2007	2020	2030	
PM <sub>2,5</sub>	105366	110700	114228	LIMOBEL (De Vlieger et al., 2011)
NO <sub>x</sub>	-4192	2440	2137	LIMOBEL
Equivalents CO <sub>2</sub>				
valeur faible	7	18	23	
Centrale	26	42	56	IMPACT (2008)
Élevée	46	72	104	

<sup>2</sup> Dans le modèle PLANET, on part de l'hypothèse que la valeur monétaire des polluants traditionnels évolue au même rythme que le PIB réel par tête.

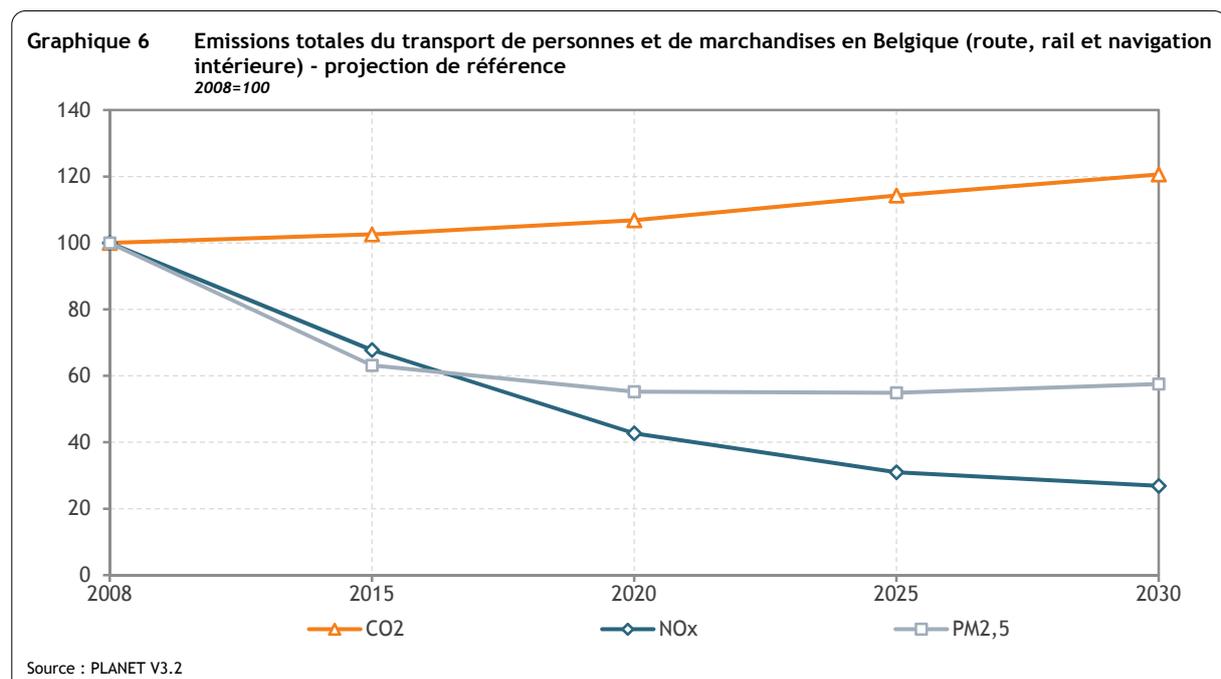
## 5. Impact du transport sur l'environnement

Ce chapitre décrit l'impact de l'activité de transport sur les émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> et les coûts environnementaux qui en résultent. Après une présentation des évolutions générales des émissions et une mise en avant du rôle respectif des émissions à l'échappement, indirectes et non brûlées dans les émissions totales du transport (section 5.1), une analyse détaillée de l'évolution des émissions à l'échappement par type (personnes ou marchandises) et par moyen de transport est proposée (section 5.2), suivie par l'évaluation des coûts environnementaux directs induits par l'activité de transport (section 5.3).

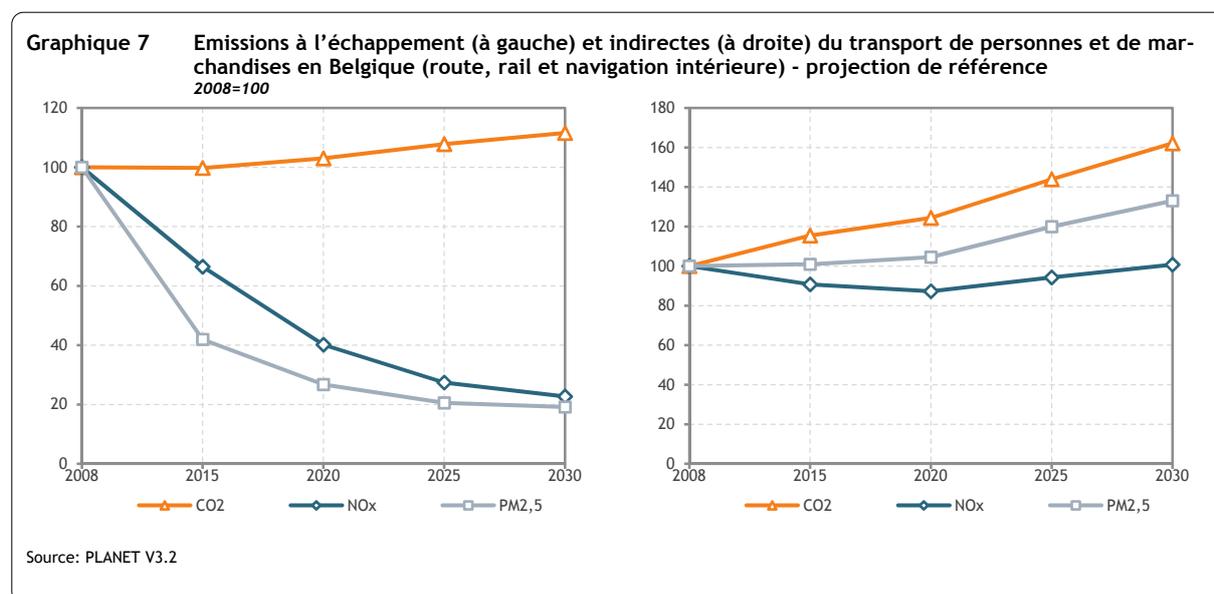
### 5.1. Evolutions générales des émissions

Le Graphique 6 présente l'évolution des émissions totales de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> liées au transport routier, ferroviaire et fluvial de personnes et de marchandises en Belgique. Les émissions totales comprennent les émissions à l'échappement, indirectes et non brûlées (uniquement dans le cas des particules fines).

A politique inchangée, les émissions totales de CO<sub>2</sub> dues au transport croissent pour atteindre, en 2030, un niveau 21% supérieur à celui de 2008. L'amélioration constante de l'efficacité énergétique des véhicules ne suffit pas à compenser l'effet de la hausse de l'activité de transport sur les émissions. A l'inverse, les émissions totales de NO<sub>x</sub> et de PM<sub>2,5</sub> se réduisent et s'établissent, en 2030, à des niveaux inférieurs aux niveaux observés en 2008 (respectivement -73% et -43%). Plus précisément, les émissions de ces deux polluants diminuent de manière significative dans un premier temps (suite aux améliorations technologiques des véhicules) pour ensuite décroître plus modérément (NO<sub>x</sub>) ou se stabiliser (PM<sub>2,5</sub>) en raison de l'activité croissante du transport de personnes et de marchandises. Cette croissance réduit ou contrecarre l'effet lié à l'évolution technologique.

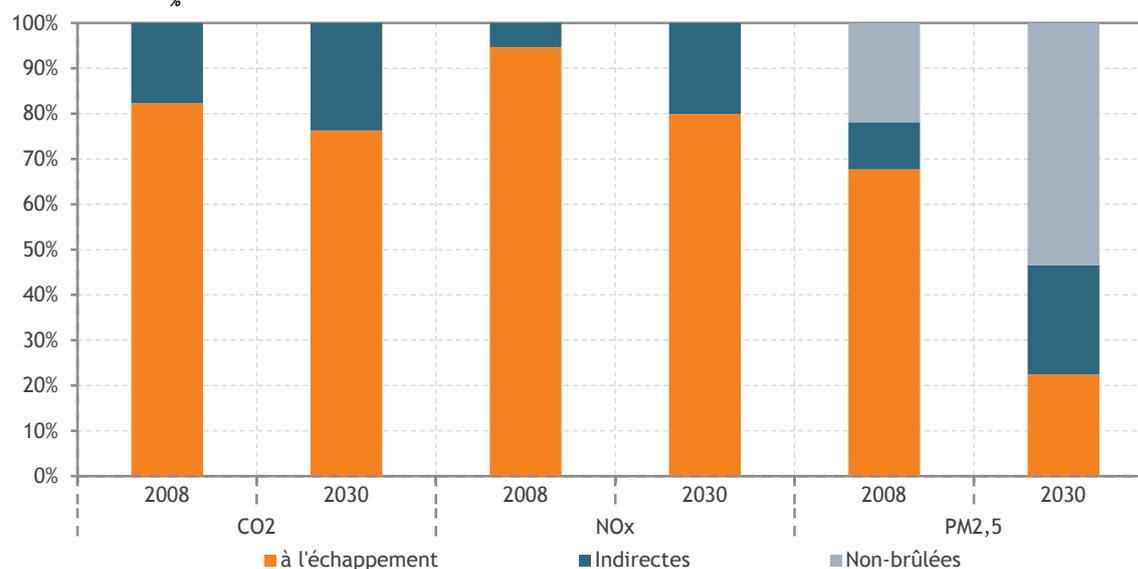


Le Graphique 7 présente côte à côte l'évolution des émissions à l'échappement (graphique de gauche) et indirectes (graphique de droite) des trois polluants étudiés. Pour le CO<sub>2</sub>, l'accroissement significatif des émissions indirectes (+60% entre 2008 et 2030) dû principalement au démantèlement des centrales nucléaires, amplifie la tendance observée au niveau des émissions à l'échappement (+12% entre 2008 et 2030). Pour le NO<sub>x</sub>, l'évolution à la hausse des émissions indirectes atténue quelque peu la réduction très marquée des émissions à l'échappement entre 2008 et 2030 (-77%) puisqu'au niveau des émissions totales la diminution n'est plus que de 73% (voir Graphique 6). Alors que les émissions à l'échappement de PM<sub>2,5</sub> sont réduites de 81% entre 2008 et 2030, les émissions indirectes progressent de 33% et les émissions non brûlées de 27%. La progression de ces deux catégories d'émissions explique pourquoi la diminution des émissions totales de PM<sub>2,5</sub> n'est que de 42% entre 2008 et 2030 (voir Graphique 6).



Le Graphique 8 montre les parts relatives des émissions à l'échappement, indirectes et non brûlées de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> dans les émissions totales du transport ainsi que leurs évolutions entre 2008 et 2030. Malgré un fléchissement de la part des émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> dans les émissions totales du transport entre 2008 et 2030 (de 83% à 76% pour le CO<sub>2</sub> et de 95% à 80% pour le NO<sub>x</sub>), ces émissions à l'échappement restent prépondérantes et leur évolution marque de leur empreinte les tendances mises en avant pour les émissions totales. Les émissions de PM<sub>2,5</sub> sont non seulement influencées par les émissions à l'échappement et indirectes mais aussi et de plus en plus au cours du temps par les émissions non brûlées. Par conséquent, la part des émissions non brûlées passe de 22% en 2008 à 54% en 2030.

**Graphique 8** Parts des émissions à l'échappement, indirectes et non brûlées dans les émissions totales de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> du transport de personnes et de marchandises en Belgique (route, rail et navigation intérieure) - projection de référence



Source : PLANET V3.2

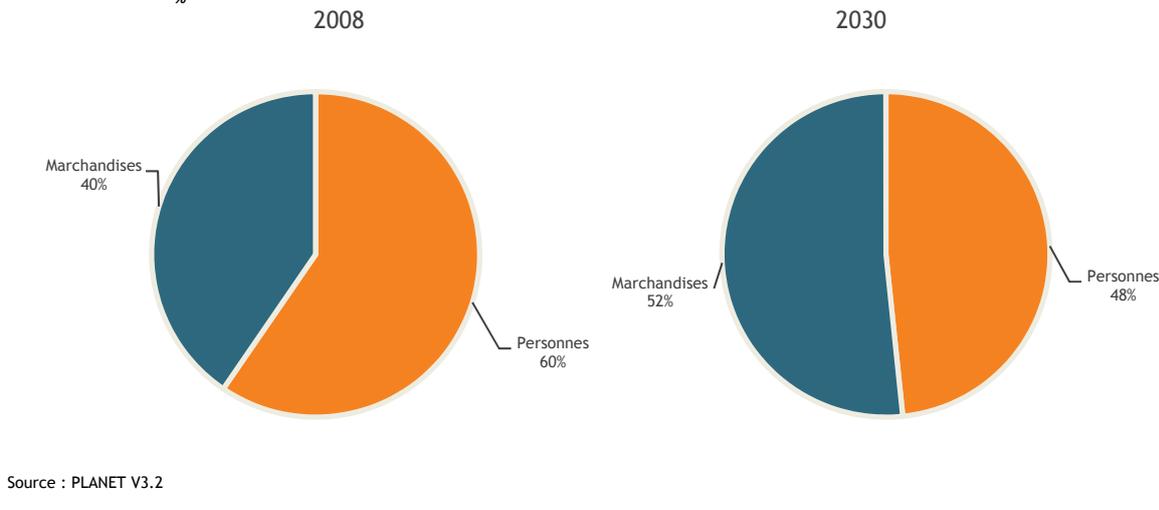
## 5.2. Analyse détaillée de l'évolution des émissions à l'échappement

### 5.2.1. Emissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>

En 2008, 60% des émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> du transport sont libérées par le transport de personnes (Graphique 9). En 2030, cette part n'est plus que de 48% et c'est le transport de marchandises qui devient le plus gros émetteur de CO<sub>2</sub> avec une part de 52%. Ce résultat s'explique par la baisse régulière des émissions de CO<sub>2</sub> du transport de personnes et par la hausse constante des émissions de CO<sub>2</sub> du transport de marchandises (Graphique 10).

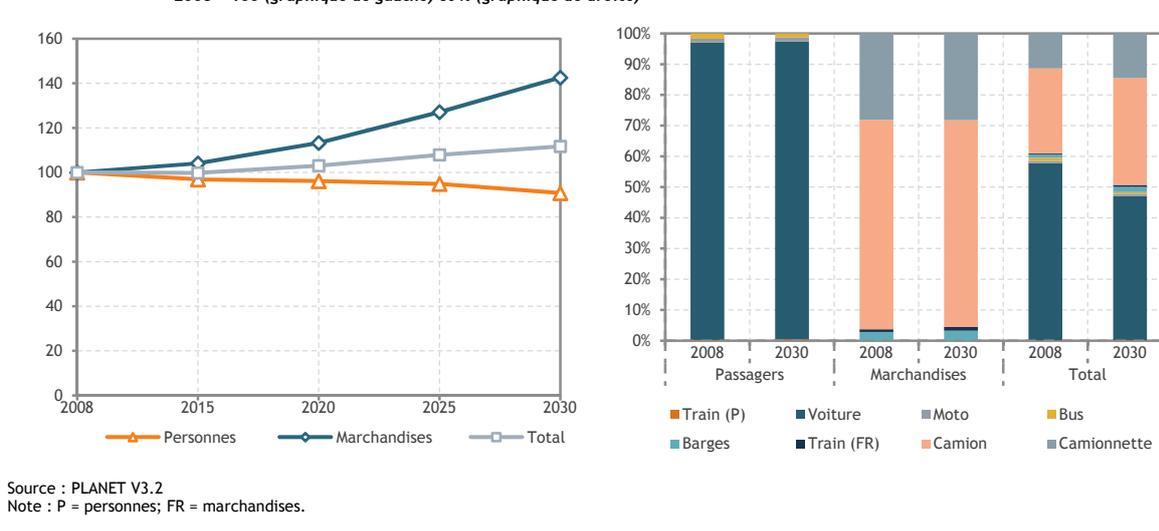
En effet, les émissions de CO<sub>2</sub> du transport de personnes diminuent de 10% entre 2008 et 2030 alors que celles causées par le transport de marchandises augmentent de 43% durant cette même période. La baisse des émissions de CO<sub>2</sub> du transport de personnes résulte principalement de la réglementation en vigueur sur le niveau moyen d'émissions de CO<sub>2</sub> des voitures neuves, à savoir 130g CO<sub>2</sub> par km en 2015, qui compense l'effet négatif sur les émissions de CO<sub>2</sub> de l'augmentation de l'activité de transport. Une réglementation analogue existe pour les camionnettes (175g CO<sub>2</sub> par km en 2017) mais pas pour les camions avec pour conséquence une évolution des émissions davantage « tirée » par l'augmentation du nombre de tkm sur le territoire belge.

**Graphique 9** Part du transport de marchandises et de personnes dans les émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> du transport



Le transport routier est le principal responsable des émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> du transport (Graphique 10). Le transport en voiture représente 97% des émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> du transport de personnes en 2008 et 2030. Les émissions de CO<sub>2</sub> causées par les camions et les camionnettes correspondent à 96% des émissions de CO<sub>2</sub> du transport de marchandises en 2008 et 2030 (68% sont attribuables aux camions et 28% aux camionnettes). Les émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> qui ne sont pas dues au transport routier proviennent des barges et des trains diesel.

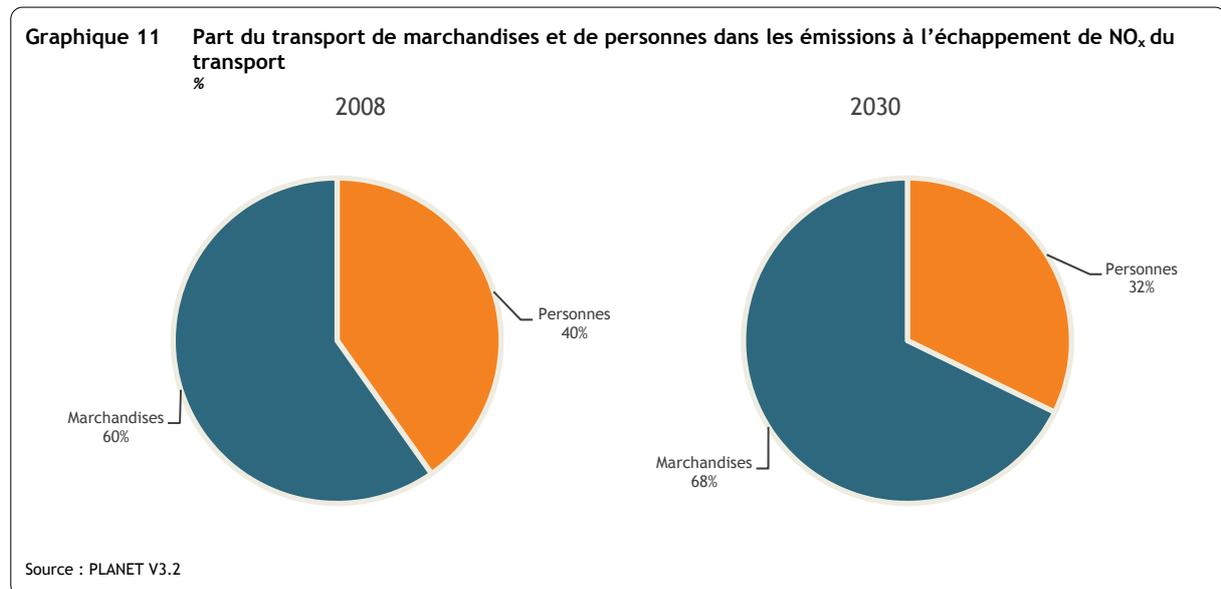
**Graphique 10** Emissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> du transport - évolution par type et moyen de transport



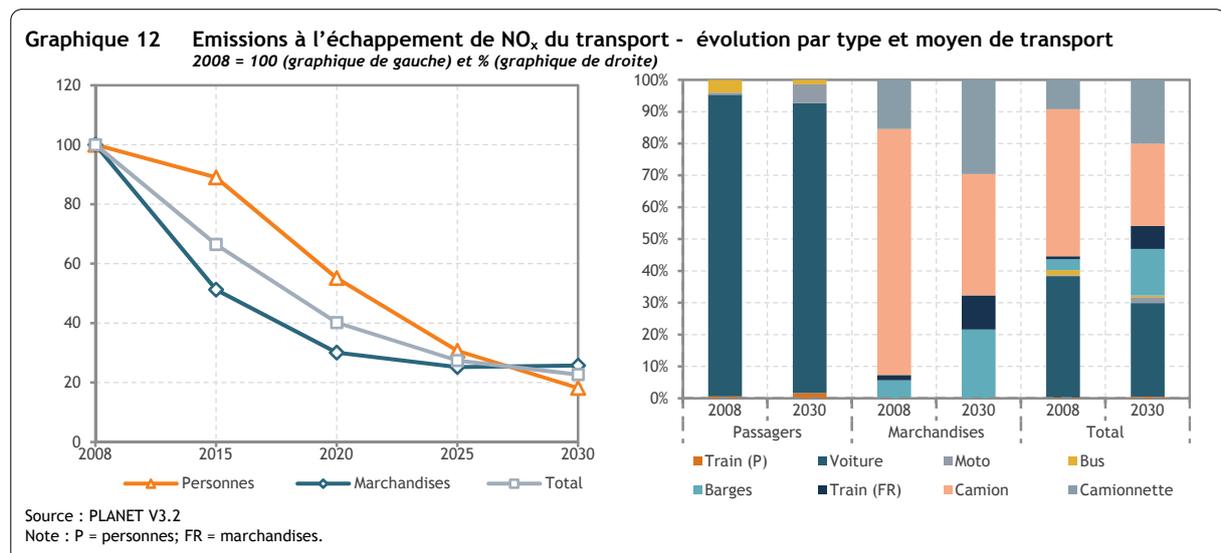
### 5.2.2. Emissions à l'échappement de NO<sub>x</sub>

En 2008, le transport de marchandises est responsable de 60% des émissions à l'échappement de NO<sub>x</sub> du transport (Graphique 11). Suite à la diminution plus importante à long terme des émissions de NO<sub>x</sub> du transport de personnes (-82% en 2030 par rapport à 2008) par rapport à celle enregistrée pour le transport de marchandises (-74%), la part du transport de marchandises dans les émissions à l'échappement totales de NO<sub>x</sub> du transport augmente pour atteindre 68% en 2030. L'évolution relative

des émissions à l'échappement de NO<sub>x</sub> du transport de personnes et de marchandises est présentée dans le Graphique 12.

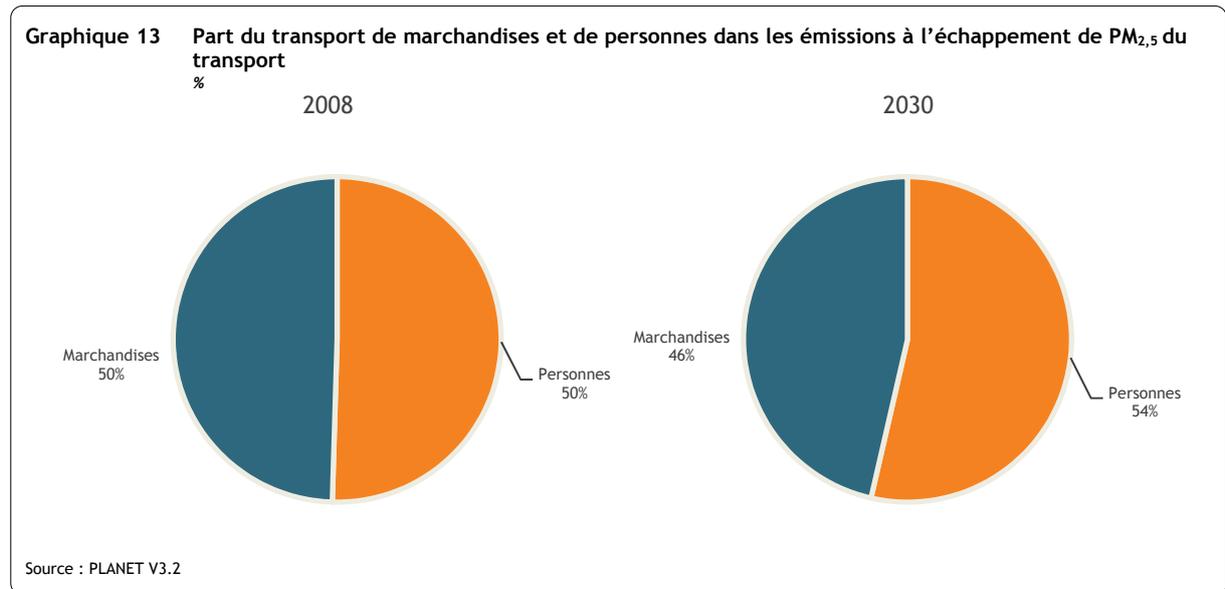


La diminution des émissions de NO<sub>x</sub> du transport de personnes est majoritairement attribuable aux voitures. Les émissions de NO<sub>x</sub> correspondantes chutent de 83% entre 2008 et 2030. De même, la baisse des émissions de NO<sub>x</sub> du transport de marchandises vient du transport par camion dont les émissions sont réduites de 87% entre 2008 et 2030. Ces évolutions se répercutent sur la répartition des émissions de NO<sub>x</sub> par moyen de transport. Ainsi, la part des voitures dans les émissions à l'échappement totales de NO<sub>x</sub> du transport passe de 38% en 2008 à 29% en 2030. La part du transport par camion passe quant à elle de 46% en 2008 à 26% en 2030.

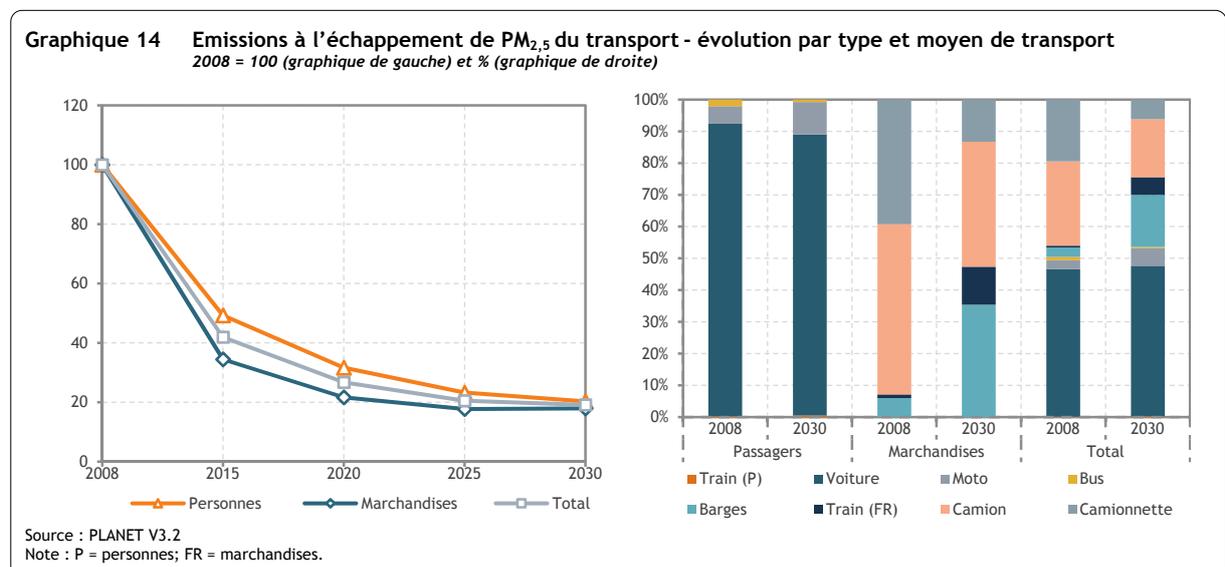


### 5.2.3. Emissions à l'échappement de PM<sub>2,5</sub>

Alors que les émissions à l'échappement de particules fines (PM<sub>2,5</sub>) du transport étaient également réparties entre le transport de marchandises et de personnes en 2008, le transport de personnes prend le dessus en 2030 avec une part égale à 54% (Graphique 13). L'augmentation de la part du transport de personnes s'explique, comme le montre le Graphique 14, par la diminution légèrement plus importante des émissions de PM<sub>2,5</sub> du transport de marchandises (-82% entre 2008 et 2030) par rapport à celle enregistrée pour le transport de personnes (-80%).



De nouveau, la diminution des émissions à l'échappement totales de PM<sub>2,5</sub> du transport s'explique principalement par la baisse des émissions liées au transport routier. Les émissions de PM<sub>2,5</sub> diminuent de 80% pour le transport en voiture, de 87% pour le transport par camion et de 94% pour le transport par camionnette. Au niveau de la répartition modale, la part des émissions de PM<sub>2,5</sub> attribuable aux voitures reste stable (47% en 2008 et 2030), alors que les parts correspondant aux camions et camionnettes diminuent de 27% en 2008 à 18% en 2030 pour les camions et de 19% à 6% pour les camionnettes.



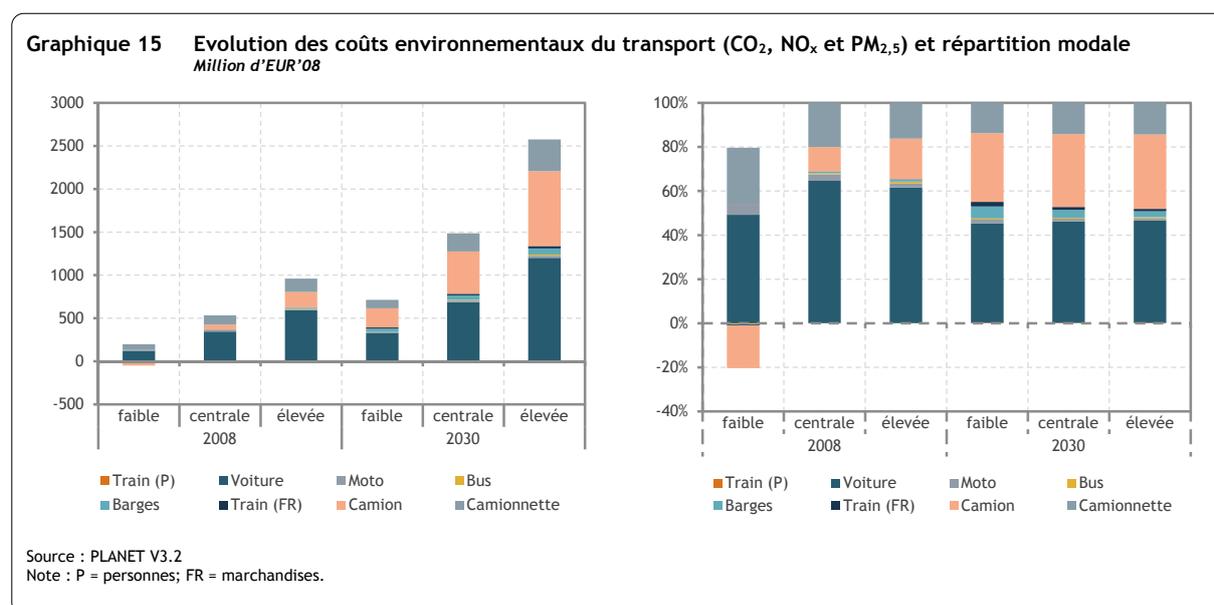
### 5.3. Coûts environnementaux

Les coûts environnementaux présentés dans cette section sont les coûts environnementaux liés à l'activité de transport, à savoir les coûts des dommages causés par les émissions à l'échappement. Par transport l'on entend le transport routier, ferroviaire et fluvial de personnes et de marchandises. Afin d'assurer la cohérence avec les sections précédentes, il s'agit des coûts environnementaux induits par les émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub>. Ces trois polluants sont responsables de plus de 94% des coûts environnementaux directs du transport en 2030.

L'évolution entre 2008 et 2030 des coûts environnementaux directs est présentée dans le Graphique 15. Les valeurs monétaires des dommages causés par les différents polluants, utilisées pour calculer les coûts environnementaux, sont présentées au Chapitre 4. Pour le CO<sub>2</sub>, le principal gaz à effet de serre, trois valeurs sont proposées (faible, centrale et élevée). Cette fourchette reflète l'incertitude quant à la valeur des dommages environnementaux associés aux émissions de gaz à effet de serre.

En 2008, les coûts environnementaux associés aux émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> s'échelonnent entre 147 et 961 millions d'euros (de 2008) selon la valeur monétaire des dommages causés par le CO<sub>2</sub>. Entre 2008 et 2030, les coûts environnementaux augmentent significativement malgré la baisse importante des émissions des deux polluants locaux (NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub>): de 168% (valeur élevée pour le CO<sub>2</sub>) à 384% (valeur faible pour le CO<sub>2</sub>). Cette évolution s'explique, d'une part, par l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> du transport, et d'autre part, par l'accroissement au cours du temps des coûts marginaux externes suite aux changements de concentration des polluants, aux évolutions démographiques et à la progression du PIB par tête (voir Chapitre 4).

La part des coûts environnementaux attribuable au transport par camion progresse entre 2008 et 2030, et ce quelle que soit la valeur choisie pour les dommages associés aux émissions de gaz à effet de serre. Pour la valeur centrale, cette part passe de 11% en 2008 à 33% en 2030. Selon le principe des vases communicants, la contribution du transport en voiture se réduit, elle passe de 65% en 2008 à 46% en 2030.



## 6. Analyse de décomposition de l'évolution des émissions des transports

### 6.1. Introduction

Ce chapitre a pour objet de déterminer les facteurs explicatifs de l'évolution des émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2.5</sub> telle que présentée dans le chapitre précédent. Une analyse de décomposition permet de quantifier l'incidence des différentes variables explicatives sur l'évolution des émissions au cours de la période 2008-2030, telle que projetée par le modèle PLANET. Le niveau de détail de l'analyse dépend fortement des variables du modèle. C'est le transport en voiture qui a bénéficié de la modélisation la plus pointue puisque des données sur la taille et la composition du parc de voitures sont disponibles. Le modèle permet ainsi une description complète du parc de voitures pour chaque année, par type de voitures (carburant), taille (cylindrée) et norme EURO. Pour les autres moyens de transport de personnes (bus, tram et métro (BTM), les motocycles et trains de voyageurs) ainsi que le transport de marchandises, le parc de véhicules n'est pas modélisé dans PLANET.

### 6.2. Méthodologie

#### 6.2.1. Méthode générale

L'évolution des émissions est influencée par cinq facteurs : l'évolution de la demande de transport, le choix modal, le nombre de personnes et le nombre de tonnes par véhicule (le taux d'occupation moyen pour le transport de personnes et le taux de chargement moyen pour le transport de marchandises), les technologies et la part des biocarburants.

Les émissions du moyen de transport  $i$  corrigées pour l'utilisation de biocarburants,  $POL_i^{bio}$ , sont modélisées par l'équation suivante :

$$POL_i^{bio} = \frac{POL_i^{bio}}{POL_i} \cdot \frac{POL_i}{TI_i} \cdot \frac{TI_i}{MI_i} \cdot \frac{MI_i}{MI} \cdot MI \quad (3)$$

Où :

- POL représente la quantité physique d'émissions compte non tenu de l'utilisation de biocarburants;
- MI représente l'indicateur de transport (voir ci-après);
- TI représente l'indicateur de trafic (voir ci-après).

La variation d'émissions (entre deux périodes) s'écrit comme suit :

$$\Delta POL_i^{bio} = a_i \cdot \Delta \left( \frac{POL_i^{bio}}{POL_i} \right) + b_i \cdot \Delta \left( \frac{POL_i}{TI_i} \right) + c_i \cdot \Delta \left( \frac{TI_i}{MI_i} \right) + d_i \cdot \Delta \left( \frac{MI_i}{MI} \right) + e_i \cdot \Delta(MI) \quad (4)$$

Avec  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $d_i$ ,  $e_i$  qui sont des coefficients calculés à partir des données d'output de PLANET.

La variation d'émissions entre deux périodes correspond donc à la somme de cinq « effets » qui sont :

- le biocarburant : la variation de  $POL_i^{bio}/POL_i$ , multiplié par a;
- les changements technologiques : la variation de  $POL_i/TI_i$ , multiplié par b;
- le taux d'occupation/de chargement : la variation de  $TI_i/MI_i$ , multiplié par c;
- le transfert modal : la variation de  $MI_i/MI$ , multiplié par d;
- la demande de transport : la variation de  $MI$ , multiplié par e.

L'indicateur de trafic TI est fonction de l'unité dans laquelle sont exprimées les émissions spécifiques ( $POL/TI$ ) dans le modèle PLANET. Celles-ci dépendent du mode de transport (voir Tableau 11):

**Tableau 11 Indicateurs de trafic pour les différents modes de transport**

Modes de transport	Indicateurs
Route	Véhicule-kilomètre
Navigation intérieure	Tonne-kilomètre
Rail	Tonne-kilomètre brute

L'indicateur de transport MI est exprimé en passagers-kilomètres pour le transport des personnes et en tonnes-kilomètres pour le transport des marchandises.

L'utilisation de biocarburants a une incidence sur les émissions, qui est fonction du polluant, du moyen de transport et de la composition du mélange de carburants.

### 6.2.2. Méthode spécifique pour les voitures

Pour les voitures, les deux premiers facteurs dans l'équation (3) représentent des valeurs moyennes du parc. Afin de tenir compte de la technologie de carburant et de la puissance du moteur, le calcul des émissions est affiné comme suit :

$$POL_i^{bio} = \left( \sum_{j,k} \frac{POL_{ijk}^{bio}}{POL_{ijk}} \cdot \frac{POL_{ijk}}{TI_{ijk}} \cdot \frac{TI_{ijk}}{TI_{ij}} \cdot \frac{TI_{ij}}{TI_i} \right) \cdot \frac{TI_i}{MI_i} \cdot \frac{MI_i}{MI} \cdot MI \quad (5)$$

Où i correspond aux voitures particulières, j correspond à la technologie de carburant et k correspond à la taille du moteur.

Les deux premiers termes de l'équation (4) sont remplacés par :

$$\sum_{j,k} \left[ a_{ijk} \cdot \Delta \left( \frac{POL_{ijk}^{bio}}{POL_{ijk}} \right) + b_{ijk} \cdot \Delta \left( \frac{POL_{ijk}}{TI_{ijk}} \right) + f_{ijk} \cdot \Delta \left( \frac{TI_{ijk}}{TI_{ij}} \right) + g_{ij} \cdot \Delta \left( \frac{TI_{ij}}{TI_i} \right) \right] \quad (6)$$

Les coefficients  $a_{ijk}$ ,  $b_{ijk}$ ,  $f_{ijk}$ ,  $g_{ij}$  sont calculés à partir des données d'output de PLANET.

Le premier terme de la somme correspond à l'effet des biocarburants. Les trois autres effets sont :

- l'évolution de l'efficacité énergétique et des facteurs d'émission: la variation de  $POL_{ijk}/TI_{ijk}$  multipliée par  $b_{ijk}$ ;
- l'évolution de la taille des voitures : la variation de  $TI_{ij}/TI_i$  multipliée par  $f_{ijk}$ ;
- l'évolution des carburants utilisés : la variation de  $TI_{ijk}/TI_{ij}$  multipliée par  $g_{ji}$ .

### 6.2.3. Remarques préliminaires à la présentation des résultats

L'analyse de décomposition a été appliquée à l'évolution projetée des émissions à l'échappement de  $CO_2$ ,  $NO_x$  et  $PM_{2.5}$  sur la période 2008-2030. L'analyse de décomposition « affinée » pour les voitures est uniquement présentée pour les émissions de  $CO_2$  libérées par les voitures.

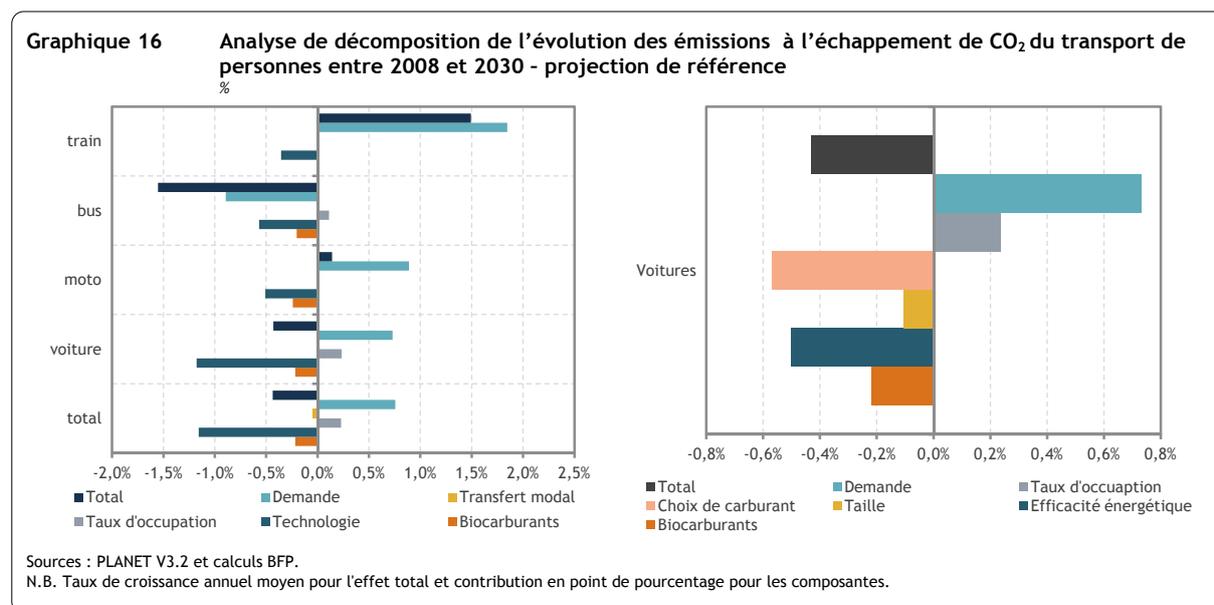
L'évolution des émissions est exprimée en termes relatifs, par rapport à l'année de référence 2008. Les contributions des effets individuels à cette évolution sont exprimées en points de pourcentage (pp). Dans une perspective de comparaison avec les chiffres historiques, nous utilisons le taux de croissance annuel moyen. Ce dernier correspond à la moyenne mathématique de l'évolution absolue des émissions sur la période 2008-2030, l'additivité des différents effets étant ainsi respectée.

Les graphiques ci-dessous présentent les résultats de la décomposition par moyen de transport et par type de transport (personnes/marchandises) tous moyens de transport confondus. L'additivité des effets vaut uniquement pour chaque moyen de transport pris individuellement et pour le transport total de personnes ou de marchandises. L'effet « transfert modal » n'est pertinent que pour le transport total de personnes et de marchandises. Pour cette catégorie, l'effet « demande » concerne la demande totale de transport. Lorsqu'il s'agit d'un moyen de transport en particulier, cet effet a trait à la demande pour ce moyen de transport.

## 6.3. Emissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>

### 6.3.1. Transport de personnes

Le Graphique 16 illustre le résultat de la décomposition pour les émissions de CO<sub>2</sub>. En dépit d'une hausse de la demande de transport de personnes (contribution +0,76 pp) et d'une baisse du taux d'occupation (contribution +0,23 pp), les émissions libérées par le **transport de personnes** diminuent de 0,44% par an entre 2008 et 2030.



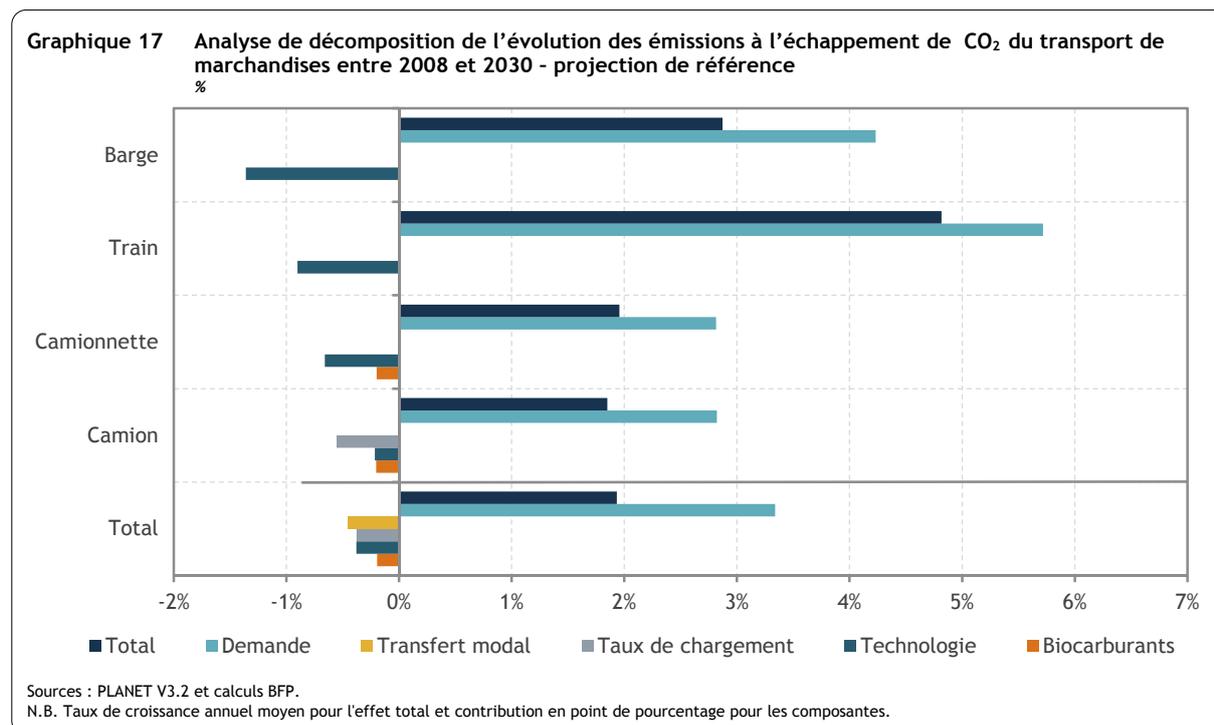
Les évolutions technologiques sont le facteur qui contribue le plus (contribution -1,16 pp) à la baisse. Vient ensuite l'utilisation de biocarburants (-0,22 pp). Le recours accru à des modes de transport plus économes en énergie, le rail en l'occurrence, contribue aussi à la baisse même si l'impact est limité à -0,05 pp.

En ce qui concerne le *train* et les *motos*, les évolutions technologiques ne compensent pas la croissance de la demande de transport. Au cours de la période 2008-2030, les émissions de CO<sub>2</sub> progressent respectivement de 1,49% et 0,14% par an. La plus forte baisse (-1,55%) d'émissions est enregistrée par les *buses*, principalement en raison d'une diminution de la demande.

Les émissions du mode de transport dominant, à savoir la voiture, baissent de 0,43% par an. Le graphique de droite illustre l'évolution de ces émissions. L'effet des évolutions technologiques englobe trois composantes : (i) un glissement des voitures à essence vers les voitures au diesel et le développement de nouveaux types de motorisation (contribution -0,57 pp), (ii) une efficacité énergétique accrue (contribution -0,50 pp) et (iii) une progression des voitures de plus petite taille (contribution -0,11 pp).

### 6.3.2. Transport de marchandises

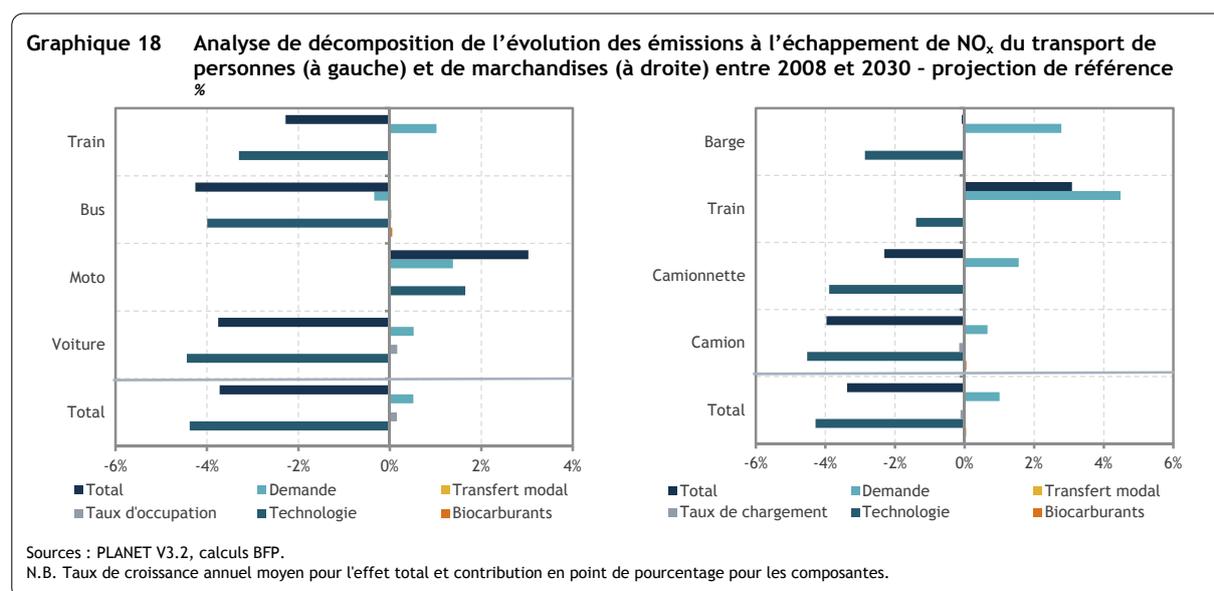
Contrairement au transport de personnes, on enregistre une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> libérées par le **transport de marchandises**. Entre 2008 et 2030, ces émissions progressent en moyenne de 1,93% par an. Ni un transfert modal (contribution -0,45 pp), ni une hausse du taux de chargement (contribution -0,38 pp), ni une consommation plus faible de carburant (contribution -0,38 pp) ou l'ajout de biocarburants (contribution -0,19%) ne compensent la croissance de la demande de transport de marchandises (contribution +3,34 pp).



Les mêmes conclusions peuvent être tirées de l'analyse par moyen de transport. La progression la plus forte est observée au niveau de la *navigation intérieure* et du *rail*, respectivement de 2,87% et 4,82% en moyenne par an, compte tenu d'un transfert modal en faveur de ces deux modes.

## 6.4. Emissions à l'échappement de NO<sub>x</sub>

En ce qui concerne les émissions de NO<sub>x</sub> liées au **transport de personnes**, on table sur une baisse annuelle moyenne de 3,72% sur l'ensemble de la période de projection. La progression de la demande et la baisse du taux d'occupation (contribution +0,66 pp) sont plus que compensées par le progrès technologique visant une réduction des émissions (contribution -4,38 pp). L'amélioration technologique est suscitée par des normes EURO de plus en plus strictes. Les effets des transferts modaux et de l'utilisation de biocarburants sur l'évolution des émissions de NO<sub>x</sub> sont négligeables.

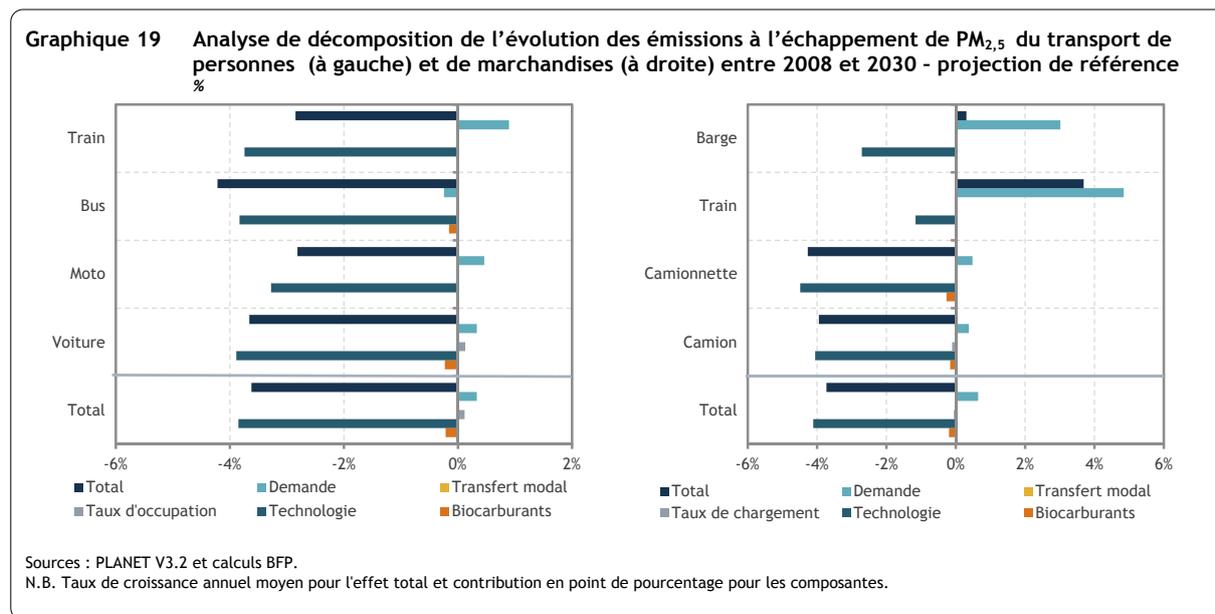


La réduction la plus forte des émissions de NO<sub>x</sub> est enregistrée au niveau des *bus* (-4,25% par an) en raison de la baisse de la demande pour ce mode de transport et de l'amélioration des techniques de réduction d'émissions. Le progrès technologique est moindre pour les *trains* mais suffit à compenser la hausse de la demande de transport ferroviaire. Globalement, les émissions de NO<sub>x</sub> des trains diesels diminuent en moyenne de 2,28% par an. En revanche, les émissions des *motos* progressent en moyenne de 3,03% par an vu l'absence de progrès technologique ciblé sur une réduction des émissions pour ce mode de transport.

Les émissions de NO<sub>x</sub> liées au **transport de marchandises** diminuent en moyenne de 3,38% par an. La croissance de la demande de transport (contribution +1,00 pp) est plus que compensée par le progrès technologique ciblé sur une réduction des émissions de NO<sub>x</sub> (contribution -4,28 pp). L'effet du progrès technologique est le plus marqué pour les *camionnettes* et les *camions* et le plus faible pour les *trains*. En ce qui concerne plus spécifiquement le rail, les progrès technologiques ne compensent pas les effets de la croissance de la demande de transport.

### 6.5. Emissions à l'échappement de PM<sub>2,5</sub>

A l'instar des émissions de NO<sub>x</sub>, les progrès technologiques visant une réduction des émissions de PM<sub>2,5</sub> compensent largement la hausse de la demande de **transport de personnes** et la baisse du taux d'occupation. L'amélioration technologique est suscitée par des normes EURO de plus en plus strictes. Sur l'ensemble de la période 2008-2030, les émissions de PM<sub>2,5</sub> diminuent en moyenne de 3,62% par an. Contrairement aux émissions de NO<sub>x</sub>, l'utilisation de biocarburants contribue à cette diminution (contribution -0,22 pp). L'effet du transfert modal est limité.



Pour tous les moyens de transport, les avancées technologiques visant une réduction des émissions de PM<sub>2,5</sub> compensent la croissance de la demande de transport. C'est au niveau du transport par *bus* que la baisse des émissions de PM<sub>2,5</sub> est la plus marquée (-4,22%) sous l'effet conjugué d'une baisse de la demande pour ce type de transport et de l'amélioration des technologies de réduction des émissions. S'agissant des voitures particulières, tant l'amélioration des technologies de réduction des émissions que la progression de la part des voitures au diesel jouent un rôle. Ce dernier facteur entraîne une hausse – quoique limitée - des émissions de PM<sub>2,5</sub>.

Les émissions de PM<sub>2,5</sub> liées au **transport de marchandises** diminuent en moyenne de 3,73% par an, principalement sous l'effet des avancées technologiques visant une réduction des émissions de PM<sub>2,5</sub> (contribution -4,11 pp). L'utilisation de biocarburants réduit les émissions de PM<sub>2,5</sub>, mais dans une moindre mesure, leur contribution est limitée à -0,19 pp. En ce qui concerne le *rail* et la *navigation intérieure*, les progrès technologiques ne compensent pas la hausse projetée de la demande de transport au cours de la période de projection.

## 7. Conclusion

L'objectif de ce Working Paper est double : présenter de manière détaillée la méthodologie utilisée pour évaluer l'impact du transport sur l'environnement et analyser plus avant cet impact à l'horizon 2030, et en particulier le rôle des différents facteurs qui influencent l'évolution des émissions à l'échappement du transport de personnes et de marchandises.

La projection de référence des perspectives d'évolution de la demande de transport en Belgique à l'horizon 2030 (BFP et SPF M&T, 2012) montre une augmentation substantielle de l'activité de transport entre 2008 et 2030, tant pour le transport de personnes (+20% de passagers-kilomètres) que pour le transport de marchandises (+68% de tonnes-kilomètres). Cette hausse est le reflet de l'évolution de la croissance économique et des changements sociodémographiques en Belgique. Le développement de l'activité de transport a un impact sur l'environnement. Les polluants locaux que sont le NO<sub>x</sub> et les PM<sub>2,5</sub> connaissent cependant une évolution à la baisse de respectivement 77% et 81% entre 2008 et 2030. Pour les émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>, l'évolution attendue est également une baisse pour le transport de personnes (-10%), mais une hausse pour le transport de marchandises (+43%). Au total, les émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> du transport progressent de 12% en 2008 et 2030. La projection de référence montre également que le transport routier est le principal responsable des émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> et de polluants locaux.

En 2008, les coûts environnementaux associés aux émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub> s'échelonnent entre 147 et 961 millions d'euros (de 2008) selon la valeur monétaire des dommages causés par le CO<sub>2</sub>. Entre 2008 et 2030, les coûts environnementaux augmentent significativement malgré la baisse importante des émissions des deux polluants locaux (NO<sub>x</sub> et PM<sub>2,5</sub>): de +168% (valeur élevée pour le CO<sub>2</sub>) à +384% (valeur faible pour le CO<sub>2</sub>).

L'analyse de décomposition proposée permet de mettre en évidence le rôle des mesures à caractère technologique prises pour réduire les émissions à l'échappement du transport, à savoir les normes EURO et la réglementation européenne relative à l'amélioration de l'efficacité énergétique des voitures. Les mesures technologiques expliquent en grande partie la baisse des émissions à l'échappement de NO<sub>x</sub> et de PM<sub>2,5</sub>. Pour le transport routier, l'intégration de nouveaux types de motorisation entraîne également, mais dans une moindre mesure, une réduction des émissions de NO<sub>x</sub> et de PM<sub>2,5</sub>. Le recours croissant aux biocarburants entraîne aussi une baisse des émissions de PM<sub>2,5</sub> dans une mesure limitée. L'ensemble de ces mesures permettent de réduire significativement les émissions à l'échappement de ces deux polluants locaux, et ce malgré la progression de l'activité de transport.

Pour les émissions de CO<sub>2</sub>, l'évolution est contrastée selon le type de transport (personnes ou marchandises). Les émissions de CO<sub>2</sub> du transport de personnes sont projetées à la baisse. Cette baisse s'explique principalement par les mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique des voitures. Parmi ces mesures, citons la réglementation européenne qui fixe à 130 g de CO<sub>2</sub> par kilomètre le niveau moyen d'émission des voitures particulières en 2015. L'introduction des biocarburants et des véhicules électriques (hybrides ou entièrement électrique) a également un impact positif sur les émissions de CO<sub>2</sub> du transport de personnes. Pour le transport de marchandises, des exigences de performance en ma-

tière d'émissions de CO<sub>2</sub> existent également pour les camionnettes neuves (175 g de CO<sub>2</sub> par kilomètre en 2017) mais pas pour les camions. L'évolution des émissions de CO<sub>2</sub> suit par conséquent une tendance à la hausse engendrée par la hausse de l'activité de transport de marchandises. A l'horizon 2030, la hausse du taux de chargement, le léger transfert modal vers le rail et la navigation intérieure ainsi que l'augmentation de l'efficacité énergétique des véhicules sont loin de pouvoir compenser l'augmentation de l'activité du transport de marchandises.

L'évolution à politique inchangée des émissions à l'échappement de CO<sub>2</sub> du transport montre que les politiques actuelles ne permettent pas de réduire ces émissions en Belgique. Cette tendance peut poser question dans le contexte de l'objectif européen de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 80 à 95% d'ici à 2050 par rapport aux niveaux de 1990 (le CO<sub>2</sub> est le principal gaz à effet de serre). En effet, la *Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité en carbone à l'horizon 2050* (EC, 2011a) que la Commission européenne a adoptée en mars 2011 et qui indique comment atteindre de tels objectifs, montre que, selon le scénario, il est nécessaire de réduire les émissions de gaz à effet de serre du transport de 54% à 67% d'ici à 2050 par rapport à 1990. A la lumière de cette analyse, la Commission européenne a adopté un livre blanc sur les transports en mars 2011 également (EC, 2011b) dans lequel elle définit une stratégie des transports visant une réduction de 60% des émissions de gaz à effet de serre provenant de ce secteur à l'horizon 2050. Ce chiffre correspond à une réduction d'émissions de quelque 70% par rapport à 2008. Par ailleurs, le document précise que, d'ici à 2030, l'objectif pour les transports consistera à réduire ses émissions de gaz à effet de serre d'environ 20% par rapport à leur niveau de 2008.

Même si les objectifs ci-dessus sont des objectifs au niveau européen, la projection de référence montre que de nouvelles politiques et mesures sont nécessaires (au niveau belge et/ou européen) pour s'inscrire dans la tendance souhaitée. A ce sujet, la Commission européenne a présenté en juillet 2012 des propositions de nouvelles exigences en matière d'émission de CO<sub>2</sub> pour les voitures et les camionnettes pour 2020 (respectivement 95 g CO<sub>2</sub>/km et 147 g CO<sub>2</sub>/km). Nonobstant le bénéfice environnemental que cette nouvelle réglementation apportera, d'autres politiques seront certainement également nécessaires comme celles favorisant les modes de transport moins polluants et le transport multimodal.

## Références

- Boureima F-S., V. Wynen, N. Sergeant, M. Maarten, H. Rombaut & J. Van Mierlo (2009), *BIOSSES: Bio-fuel Sustainable End use - Task 2.1: Emission-impact Well-to-Tank*, VUB, study financed by Belgian Science Policy Office.
- Bureau fédéral du Plan et Service public fédéral Mobilité et Transports (2012), *Perspectives de l'évolution de la demande de transport en Belgique à l'horizon 2030*, septembre 2012.
- Bureau fédéral du Plan (2011), *Perspectives économiques 2010-2015*, mai 2011.
- Bureau fédéral du Plan (2011), *Perspectives énergétiques pour la Belgique à l'horizon 2030*, Bureau fédéral du Plan, novembre 2011.
- Bureau fédéral du Plan (2009), *Perspectives démographiques 2007-2060*.
- [http://www.plan.be/databases/database\\_det.php?lang=nl&TM=46&IS=60&DB=DEMOG&ID=26](http://www.plan.be/databases/database_det.php?lang=nl&TM=46&IS=60&DB=DEMOG&ID=26) [20/01/2010].
- CAFE (2005), *Clean Air for Europe, Methodology for the Cost-Benefit Analysis for CAFÉ, Volume 3: Uncertainty in the CAFE CBA: Methods and First Analysis*.
- [http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/activities/pdf/cba\\_method\\_vol3.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/cape/activities/pdf/cba_method_vol3.pdf) [03/06/2010].
- Chiffi, C., D. Fiorello, I. De Vlioger & L. Schrooten (2009), *EX-TREMIS - Exploring non road Transport Emissions in Europe: Development of a Reference System on Emissions Factors for Rail, Maritime and Air Transport*, IPTS - Institute for Prospective Technological Studies, DG-JRC, Seville, Spain.
- Conseil supérieur des finances (2011), *rapport annuel du comité d'étude sur le vieillissement*, juin 2011.
- Cools, I., E. Meynaerts, K. Aernouts, N. Renders, P. Lodewijks, I. De Vlioger & K. Schoeters (2012), *Ondersteuning bij de ontwikkeling van het Vlaams Klimaatbeleidsplan*. Studie uitgevoerd in opdracht van LNE.
- De Vlioger I., I. Mayeres, H. Michiels, L. Schrooten, M. Vanhulsel, D. Gusbin, M. Vandresse, A. Van Steenberghe, D. Dewaele & B. Jourquin (2011), *Limobel - Long-Run Impacts of Policy Packages on Mobility in Belgium*, Final report, study financed by the Belgian Science Policy Office. [http://www.belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/LIMOBEL%20final%20report\\_ML.pdf](http://www.belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/LIMOBEL%20final%20report_ML.pdf)
- De Vlioger I., L. Pelkmans, S. Verbeiren, E. Cornelis, L. Schrooten, L. Int Panis, S. Proost & J. Knockaert (2005), *Sustainability assessment of technologies and modes in the transport sector in Belgium (SUSATRANS)*. Final report. Study financed by the Belgian Science Policy Office.
- De Vlioger, I., L. Pelkmans, L. Schrooten, J. Vankerkom, M. Vanderschaeghe, R. Grispen, D. Borremans, K. Vanherle, E. Delhaye, T. Breemers & C. De Geest (2009), *Toekomstverkenning MIRA-S 2009 - Wetenschappelijk rapport - Sector 'Transport': referentie- en Europa-scenario*, VITO - MOW - TML - MIRA, studie voor VMM-MIRA.
- den Boer L.C., F.P.E. Brouwer & H.P. van Essen (2008), *Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten (STREAM)*. Versie 2.0. CE Delft.

- EC (2011a) *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, COM(2011) 112 final.
- EC (2011b) *White Paper, Roadmap to a single transport area – Towards a competitive and resource efficient transport system* (COM(2011) 144 final).
- EMEP/CORINAIR (2003), B770, *Road vehicle tyre and brake wear, and road surface wear, Activities 070700-070800, Emission Inventory Guidebook*.
- EMEP/CORINAIR (2007), *EMEP/CORINAIR Emission inventory Guidebook - 2007: Group 7 - Road transport*, EEA. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP/CORINAIR5/>
- ExternE (2005), *Externalities of Energy, Methodology 2005 Update*, IER, Universität Stuttgart, Germany, European Commission, Directorate-General for Research.
- FAPETRO (2003) *Verslag van de activiteiten van het Fonds voor de analyse van aardolieproducten*, 2002.
- Franckx, L., A. Van Hyfte, S. Bogaert, S. Vermoote & A. Hunt (2009), *Reële Milieugerelateerde Gezondheidskosten in Vlaanderen*. [http://www.lne.be/themas/milieu-en-gezondheid/onderzoek/rapport\\_gezondheidskosten](http://www.lne.be/themas/milieu-en-gezondheid/onderzoek/rapport_gezondheidskosten) [20/10/2010].
- Friedrich, R. & P. Bickel (2001), *Environmental External Costs of Transport*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hausberger, S. (2010), *Fuel Consumption and Emissions of Modern Passenger Cars - Carried out under contract of BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), Graz University of Technology - Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics*.
- IMPACT (2008), *Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector, Internalisation Measures and Policies for All External Costs of Transport (IMPACT)*, CE Delft. [http://www.ce.nl/publicatie/eindrapporten\\_impact\\_\(internalisation\\_measures\\_and\\_policies\\_for\\_all\\_external\\_cost\\_of\\_transport\\_\)/701](http://www.ce.nl/publicatie/eindrapporten_impact_(internalisation_measures_and_policies_for_all_external_cost_of_transport_)/701) [19/01/2010].
- IPCC (2006), *IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, Chapter 3: Mobile combustion, Table 3.4.2*. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>)
- IPPC (1997), *IPPC 1996 Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3 - Reference Manual*, IPPC.
- JEC (2008), *Description and detailed energy and GHG balance of individual pathways. Appendix 2 of the "Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context"*. Well-to-tank Report Version 3.0 November 2008.
- Michiels H., T. Denys, C. Beckx, L. Schrooten & S. Vernailen (2011a), *Policy Pathways for a Cleaner Belgian Car Fleet*, Conference proceedings van BIVEC/GIBET Transport Research Day 2011, 25/05/2011, Namur.
- Michiels, H., L. Int Panis, I. De Vlieger & I. Mayeres (2011b), *LIMOBEL Annex 2 – External Environmental Cost Model for Transport*, study financed by Belgian Science Policy Office. <http://www.belspo.be/belspo/SSD/science/Reports/LIMOBEL%20Annexes%202-7.pdf>
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003a), *Emissieregistratie en –Monitoring Scheepvaart (EMS): Deel I, protocollen*, Rijkswaterstaat, 25/11/2003.

- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2003b), *Emissieregistratie en –Monitoring Scheepvaart (EMS): Deel II, achtergronddocumenten*, Rijkswaterstaat, 25/11/2003.
- MIRA (2010), *MIRA O&O - Actualisering van de Externe Milieuschadeposten (Algemeen voor Vlaanderen) met Betrekking tot Luchtverontreiniging en Klimaatverandering*, Studie uitgevoerd door VITO in opdracht van MIRA, 143pp.
- NEEDS (2006), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, Final Report on the Monetary Valuation of Mortality Risks from Air Pollution*, NEEDS Deliverable n° 6.7 – RS 1b, 55 pp.
- NEEDS (2007a), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, A set of concentration-response functions*. NEEDS Deliverable 3.7 – RS1b/WP3, 162 pp.
- NEEDS (2007b), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, Description of Updated and Extended Draft Tools for the Detailed Site-Dependent Assessment of External Costs*, NEEDS Technical Paper n° 7.4 – RS 1b, 64 pp.
- NEEDS (2009), *New Energy Externalities Developments for Sustainability, A Review of Monetary Values for Health End-Points, Transferability of These Values and the Effect of Adjusted Values on the External Costs*, NEEDS Technical Paper n° 4.2a – RS 1d, 40 pp.
- Pelkmans, L., I. De Vlieger, C. Beckx, G. Lenaers, J. Van Mierlo, F.-S. Boureima, J. De Ruyck, S. Bram, C. Macharis, L. Turcksin, J.-M. Jossart & L. Mertens (2011), *BIOSSES - Sustainable biofuel use in Belgium*, Final scientific report, study financed by Belgian Science Policy Office.
- Sleuwaert, F., C. Polders, H. Van Rompaey, L. Schrooten, I. De Vlieger, P. Berghmans, I. Vanderreydt, N. Bleux, L. Janssen & J. Vankerkom (2006), *Optimalisatie en actualisatie van de emissie-inventaris fijn stof in het kader van internationale ontwikkelingen 2006/IMS/R/391*.
- UIC (2006) *Railenergy project, 6th Framework programme 2006-2010*, [www.railway-energy.org](http://www.railway-energy.org), consultation October 2007.
- Vanherle, K., B. Van Zeebroeck & J. Hulskotte (2007), *Emissiemodel voor spoorverkeer en scheepvaart in Vlaanderen: EMMOSS*. Carried out for the Flemish Environmental Agency (VMM) by Transport & Mobility Leuven (TML).
- Vonk, W.A. & R.P. Verbeek (2010), *Verkennde metingen van schadelijke uitlaatgasemissies van personen-voertuigen met Euro-6 dieseltechnologie*, TNO-rapport MON-RPT-2010-02278, in opdracht van Ministerie van VROM.
- Weiss M., P. Bonnel, R. Hummel, A. Provenza & U. Manfredi (2011), *On-Road Emissions of Light Duty Vehicles in Europe*, Environ. Sci. Technol. 45(19) 8575-81.