

# **L'automobile en questions**

15 fiches pour (mieux) comprendre et décider

---



*« Il faut éviter de laisser à l'avenir le soin hypothétique de trouver des solutions à nos problèmes contemporains. »*

Hubert Reeves, Mal de Terre

Rédaction : Pierre Courbe  
Relecture : Michel Debaise, Noé Lecocq, Pierre Titeux  
Mise en page : Isabelle Gillard  
Coordination : Pierre Titeux  
Editeur responsable : Christophe Schoune, 98 rue Nanon, 5000 Namur

Remerciements

Pour l'idée de base, la mise à disposition d'un important travail de documentation et de rédaction ainsi que les échanges cordiaux et enrichissants qu'il a pu avoir avec lui, l'auteur remercie chaleureusement Monsieur Michel Debaise

© Fédération Inter-Environnement Wallonie – Août 2013  
Rue Nanon 98 / 5000 Namur • t. 081 390 750 - f. 081 390 751 / [www.iew.be](http://www.iew.be)

Avec le soutien de :



Wallonie



# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>1. La voiture individuelle, au cœur du système automobile</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Voiture, mouvement et énergie</b> .....	<b>10</b>
<b>3. Les cycles de test : normes et mesures</b> .....	<b>12</b>
<b>4. Transport, climat et CO<sub>2</sub></b> .....	<b>14</b>
<b>5. Les polluants locaux et le bruit</b> .....	<b>16</b>
<b>6. L'analyse du cycle de vie</b> .....	<b>18</b>
<b>7. Vitesse, consommation et sécurité</b> .....	<b>20</b>
<b>8. La conception des véhicules</b> .....	<b>22</b>
<b>9. Les moteurs thermiques</b> .....	<b>24</b>
<b>10. Les voitures électriques et les hybrides</b> .....	<b>26</b>
<b>11. L'énergie : sources, transformations et rendements</b> .....	<b>28</b>
<b>12. Comparer les carburants</b> .....	<b>30</b>
<b>13. Les agrocarburants</b> .....	<b>32</b>
<b>14. Au-delà de la pollution : les incidences du système automobile</b> .....	<b>34</b>
<b>15. Au-delà de la technologie : les solutions politiques et sociétales</b> .....	<b>36</b>
<b>Conclusion : oser repenser la mobilité</b> .....	<b>38</b>
<b>Annexe technique : grandeurs, unités, catégories de véhicules et normes</b> .....	<b>40</b>
<b>Liste des acronymes</b> .....	<b>44</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>46</b>
<b>Pour aller plus loin</b> .....	<b>50</b>

Le souci de limiter les incidences des véhicules à moteur sur la société humaine et sur l'environnement figure, depuis plus de vingt ans, au rang des nombreux facteurs sur base desquels sont déterminées les politiques publiques.

Au début des années 1990, afin de répondre aux nombreux signaux d'alerte relatifs aux incidences des véhicules à moteur sur la santé humaine, les autorités européennes ont mis en place un système de normalisation des polluants atmosphériques émis par les voitures, les camions et les motos (les normes Euro). Moins de dix ans plus tard, ces mêmes autorités ont adopté une stratégie de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des voitures pour faire face à l'impact des transports sur le climat.

Si les stratégies globales et les normes de produit sont définies au niveau européen, leur mise en place effective est l'affaire des Etats-membres. Ceux-ci possèdent en outre de nombreuses compétences propres (dont la fiscalité) susceptibles d'orienter en profondeur les comportements en matière de mobilité. Quel que soit l'outil, quel que soit le niveau de pouvoir, la question se pose avec la même acuité : dans un domaine aussi complexe, aussi hautement technologique, aussi lourd d'enjeux économiques également que celui de la voiture, comment asseoir la décision politique ?

Les aspects à prendre en compte sont nombreux, complexes et interconnectés. Dès lors que la motivation de l'action politique est l'amélioration du bien-être général, la réflexion doit intégrer

quelques éléments fondamentaux. D'une part, les incidences environnementales et sociales de l'actuel système de mobilité ne se limitent pas aux seuls polluants atmosphériques et au CO<sub>2</sub>. Pour n'en citer que quelques-unes : accidents, occupation de l'espace public et perte de convivialité, inégalités d'accès à la voiture, déchets, impacts sur le milieu naturel... D'autre part, d'impressionnants travaux de recherche et développement sont consacrés à la voiture, objet technique par excellence. Potentialités, limites et risques des différentes technologies concurrentes doivent être appréhendés au mieux afin d'asseoir correctement la réflexion politique. Enfin, la dimension économique revêt une importance centrale. L'approvisionnement énergétique du secteur à moyen-long terme n'est pas sans poser question. Ce qui, du fait de sa place centrale dans le PIB européen, induit une tension entre la propension bien humaine à laisser les choses en l'état et le souci d'anticiper et d'ouvrir des voies de transition et de reconversion.

Autour de ces questions flotte un brouillard entretenu par des informations tantôt partisans, tantôt mal interprétées ou parcellaires, et par la relation émotionnelle que nombre de citoyens entretiennent avec la voiture. Tout à la fois outil de mobilité et « marqueur social », ce bien de consommation bénéficie d'un statut absolument unique. Sur ce point, il n'est pas inutile de relever qu'il est rare de voir se tenir des concentrations d'amateurs de vieilles machines à laver comme sont rares les revues spécialisées (et les rubriques

dans la presse généraliste) consacrées aux cuisinières et fours ménagers...

La question sous-jacente des politiques de transport est bien évidemment celle de la mobilité désirable pour nos sociétés et des moyens de l'assurer. Tout aussi cruciale est la question de la minimisation des incidences négatives de cette mobilité. Pour être porteuse du mieux-être social auquel elle prétend, la décision politique doit être prise sur base d'une connaissance correcte des différents aspects du dossier. Dès lors, les décideurs doivent pouvoir disposer d'une information claire et objective, détachée de tout intérêt partisan ou financier. C'est le but de la présente publication.

Fournir, en quinze fiches, les principaux éléments d'information de base relatifs à l'automobile dont devrait impérativement disposer toute personne susceptible d'influencer ou de poser des choix en matière de politiques publiques de transport : cet objectif ne peut être rencontré qu'à la condition de synthétiser fortement certains aspects techniques très complexes et de laisser de côté toute prétention à une absolue rigueur scientifique. On trouvera donc dans les pages qui suivent des données chiffrées fiables, établies avec honnêteté, qui n'ambitionnent nullement de constituer des références absolues mais simplement de très bonnes approximations aptes à constituer une aide à la décision. Dans ce même souci d'objectivation, les recommandations de la Fédération ont été reportées en fin d'ouvrage, dans la quinzième fiche et dans la conclusion.

La première fiche est consacrée à un aperçu de ce que l'on appelle communément le « *système automobile* ». Viennent ensuite neuf chapitres plus techniques : équation du mouvement, cycles de test, émissions, cycle de vie, conception des véhicules, motorisations. Les questions énergétiques sont abordées dans les trois fiches suivantes. Un retour à la vision systémique est opéré dans les deux derniers chapitres, consacrés aux incidences du système automobile et aux solutions susceptibles d'y apporter remède.

La lecture peut se faire indépendamment de la numérotation des chapitres et des liens sont établis entre fiches lorsque cela peut améliorer la lisibilité du texte. Les références entre crochets renvoient à la bibliographie, en fin d'ouvrage : cette option a été favorisée afin de ne pas alourdir les fiches par de trop nombreuses notes de bas de page.

Une annexe technique, une liste des acronymes, une bibliographie et une suggestion de sites internet à consulter pour aller plus loin complètent cette publication. En espérant qu'elle puisse vous être utile dans votre travail, nous vous en souhaitons bonne lecture. ■

# 1. La voiture individuelle, au cœur du système automobile

« Le modèle de société fondé sur l'automobile, tel qu'il s'est construit tout au long du XXe siècle, n'apparaît aujourd'hui plus durable: d'abord pour des raisons environnementales, car il repose sur la consommation de ressources énergétiques polluantes et non renouvelables, mais aussi pour des raisons industrielles, territoriales, culturelles, sociales et sociétales. »

Vincent Chriqui,  
Directeur général du Centre d'analyse stratégique:  
Les nouvelles mobilités, France, 2010

## 1.1. Urbanisation et aspects socio-culturels

C'est dans l'immédiat après-guerre (fin des années 1940) que commence à se généraliser l'utilisation de la voiture. Corrélativement, quittant les villes et agglomérations l'habitat et les lieux d'activités se sont progressivement implantés sur tout le territoire. Mobilité et aménagement du territoire ont dès lors été de plus en plus étroitement liés : la voiture rend possible l'étalement de l'urbanisation, qui rend nécessaire la voiture...

Par ailleurs, la flexibilisation massive des horaires de travail (développement des temps partiels, des horaires variables, de la mobilité géographique, etc.) associée à une évolution des mentalités et des modes de vie, de plus en plus individualisés, ont créé les conditions sociales particulièrement propices aux déplacements motorisés individuels. Les enfants vont à l'école dans différents établissements, les parents travaillent dans des lieux distincts, les loisirs se passent encore ailleurs... Pour effectuer ces déplacements, plus nombreux et plus complexes, la voiture s'est peu à peu imposée comme la solution la plus simple, voire la seule. Ces évolutions ont induit et ont été renforcées par une importante diminution de l'offre de transports en communs.

## 1.2. Parc automobile, réseau routier et trafic

Le parc automobile a connu une croissance spectaculaire au cours des dernières décennies. Entre 1980 et 2010, il a augmenté, en Belgique, de 67%, passant de 3.158.737 à 5.276.283 unités<sup>[72]</sup>. Avec 494 voitures pour 1.000 habitants en 2011, le parc automobile belge est « dans la norme » au niveau européen (EU-27 : 477 voitures pour 1.000 habitants en 2010, EU-15 : 505 voitures pour 1.000 habitants)<sup>[28]</sup>. Ramené à la population en âge et en condition de conduire (soit environ 8 millions de personnes), le taux de motorisation est de l'ordre de 675 véhicules pour 1.000 personnes. A l'instar du parc automobile, le réseau routier a connu une croissance très soutenue au cours des décennies 1950 à 1980 mais évolue peu de nos jours (la croissance a été de l'ordre de 10% sur les 20 dernières années). Tandis que se développait le mode routier, le transport ferroviaire était marqué par un désinvestissement qui s'est poursuivi jusqu'au début du 21ème siècle. Ainsi, entre 1970 et 2000, le kilométrage de voies ferrées diminuait de 17%<sup>[4]</sup> tandis que le nombre de gares et points d'arrêt chutait de 40%<sup>[5]</sup>.

Le taux de possession varie fortement en fonction du niveau socio-économique des personnes. Ainsi, en 2010, 17% de ménages ne possédaient pas de voitures (par choix ou contrainte), 55% en possédaient une, 24% deux et 4% trois ou plus<sup>[17]</sup>.

Le kilométrage moyen des véhicules a connu, durant les trois dernières décennies, une évolution à la hausse et semble, depuis quelques années,

entrer dans une période de stabilisation. Après son pic de 2004 (15.938 km), ce kilométrage moyen a fortement baissé (15.050 km en 2006) en raison du renchérissement des carburants avant de marquer une tendance à la stabilisation autour de 15.700 km (15.649 en 2010)<sup>[73]</sup>.

### 1.3. La culture automobile

La voiture a, chez beaucoup de personnes, acquis le statut de mode de déplacement par défaut. Les Belges l'utilisent pour effectuer 34% de leurs déplacements de 500 m à 1 km. Toutes distances confondues, la voiture est, avec 65% des déplacements, le premier mode utilisé, loin devant la marche (16%), les transports publics (9%) et le vélo (8%)<sup>[17]</sup>.

Le nombre de véhicules neufs immatriculés dans notre pays est particulièrement élevé. Exception faite du Grand Duché de Luxembourg (dont les chiffres sont faussés notamment en raison de la forte proportion de travailleurs transfrontaliers qui immatriculent leur véhicule dans ce pays), la Belgique devance les autres pays européens, avec 51 voitures neuves pour 1000 habitants par an en 2010 contre 31 en moyenne européenne (EU 15 comme EU 27) et respectivement 35 et 34 pour les deux grands pays constructeurs que sont l'Allemagne et la France<sup>[42]</sup>.

Chaque jour, l'ensemble des voitures belges parcourent, sur les routes du pays, l'équivalent de 5.650 fois le tour de la Terre en voiture. Compte-tenu du

cycle de vie des véhicules (**fiche 6**), de la production du carburant (**fiche 12**), du taux de motorisation et du kilométrage total, l'empreinte carbone des voitures en Belgique représente 1,8 tCO<sub>2</sub> par personne et par an. C'est juste un peu plus que le « quota d'émissions totales de CO<sub>2</sub> » de 1,7 tCO<sub>2</sub>/an (calculé sur base de la population mondiale et des limites d'absorption de la biosphère, environ 12 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> par an) qui constitue la limite à ne pas dépasser pour ne pas dégrader le climat.

La non-durabilité du système de mobilité des pays développés nécessite de s'interroger sur les fondamentaux qui ont guidé son développement dans la seconde moitié du vingtième siècle. C'est ce que soulignait le Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD) en 2004 dans son « Avis cadre pour une mobilité compatible avec le développement durable » : « *En général, les motivations de la croissance de la demande de transport ne sont pas suffisamment remises en question. [...] Le droit à une mobilité de base est un droit fondamental dans nos sociétés démocratiques. Néanmoins, se déplacer avec un véhicule motorisé (terrestre ou aérien) n'est qu'une façon (parmi d'autres) d'exercer ce droit. Il y a également confusion entre le droit à se déplacer et le désir de se déplacer loin, vite et beaucoup.* »

Dès lors, les solutions à mettre en place (**fiche 15**) pour remédier aux incidences du modèle de mobilité actuel (**fiche 14**) en s'affranchissant progressivement de la voiture individuelle sont autant d'ordre sociologique et sociétal que technique. ■

## 2. Voiture, mouvement et énergie

« Les véhicules ont besoin d'énergie à transmettre aux roues et à opposer à :

- la force d'inertie au moment de l'accélération, qu'il s'agisse de passer de l'arrêt à une vitesse souhaitée ou d'une vitesse à une autre, plus élevée ;
- aux forces de traînée et de frottement des pneus, qui ont tendance à ralentir le véhicule ;
- la force de gravité de façon à pouvoir monter une côte »

OCDE :

Le coût et l'efficacité des mesures visant à réduire les émissions des véhicules, Table ronde 142, 2008

### 2.1. Un peu de physique

Pour assurer le mouvement d'un objet (tel qu'une voiture), il faut lui fournir de l'énergie en exerçant une force qui s'oppose à :

- la résistance exercée par l'air ;
- la résistance exercée par la surface sur laquelle l'objet glisse ou roule ;
- la résistance de l'objet (son inertie) quand il s'agit de le faire passer d'une vitesse à l'autre (accélération) ;
- la résistance de la gravité, quand il s'agit de faire monter une côte à l'objet.

En multipliant par la vitesse de la voiture la force qui lui est appliquée, on obtient la puissance nécessaire au mouvement, qui est encore égale à l'énergie fournie par unité de temps (on se reportera à l'**annexe technique** pour la définition des termes physiques).

La **puissance utile (Pu)** qu'il est nécessaire de développer pour assurer le mouvement d'une voiture roulant sur une surface horizontale (sans côte, donc) est égale à la somme de trois termes :

$$P_u = P_{ua} + P_{ur} + P_{ug}$$

[équation 1]

Avec :

- **Pua** : puissance utile aérodynamique
- **Pur** : puissance utile de roulement
- **Pug** : puissance utile d'accélération

### 2.2. Equation du mouvement d'une voiture

En explicitant les trois termes, l'équation 1 devient<sup>[27, 49]</sup> :

$$P_u = (0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot S \cdot C_x) + (m \cdot g \cdot v \cdot C_r) + (m \cdot v \cdot \gamma)$$

[équation 2]

Avec :

- $\rho$  : masse volumique de l'air (kg/m<sup>3</sup>)
- $v$  : vitesse du véhicule (m/s)
- $S$  : surface frontale du véhicule = largeur x hauteur (m<sup>2</sup>)
- $C_x$  : coefficient d'efficacité aérodynamique
- $m$  : masse du véhicule (kg)
- $g$  : accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>)
- $C_r$  : coefficient de résistance au roulement
- $\gamma$  : accélération du véhicule (m/s<sup>2</sup>)

Pour connaître l'énergie utile au mouvement du véhicule, il faut intégrer l'équation 2 par rapport au temps. En réalisant l'exercice sur le cycle de test normalisé NEDC (New European Driving Cycle, **fiche 3**) utilisé pour mesurer la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> des voitures en Europe, on établit au terme de quelques calculs que l'énergie utile (exprimée en MJ) pour rouler 100 km est égale à <sup>[49]</sup> :

$$Eu = 19,2 \cdot S \cdot Cx + 0,83 \cdot m \cdot Cr + 0,011 \cdot m$$

[équation 3]

### 2.3. De la conception de la voiture à l'énergie qu'elle consomme

L'équation 3 met en relief les paramètres associés à la conception de la voiture qui vont fortement influencer sur l'énergie nécessaire à son mouvement, quelle que soit sa motorisation (moteur à combustion, électrique, ...). Plus ces paramètres seront élevés, plus grande sera l'énergie requise. Il s'agit de :

- **la masse (m)**; celle des véhicules neufs vendus en Belgique est passée d'une moyenne de 1.288 kg en 2001 à 1.406 kg en 2010<sup>[42]</sup> ;
- **la surface frontale (S)**, soit la largeur multipliée par la hauteur; celle des véhicules neufs vendus en Belgique est passée de 2,55 m<sup>2</sup> en 2001 à 2,73 m<sup>2</sup> en 2010<sup>[42]</sup> ;
- **le coefficient d'efficacité aérodynamique (Cx)**, sur lequel on a beaucoup travaillé pour

le réduire dans la foulée des chocs pétroliers des années septante (avec notamment la Citroën CX), qui a ensuite augmenté mais n'évolue plus beaucoup de nos jours et ne constitue plus un argument de vente ;

- **le coefficient de résistance au roulement (Cr)** qui augmente avec la largeur des pneus et leur adhérence, facteurs qu'il est nécessaire d'augmenter pour assurer une tenue de route correcte lorsque la puissance, la masse et la vitesse de pointe du véhicule augmentent.

Ces quatre paramètres ont, au cours des trois dernières décennies, évolué de manière non indépendante en raison des importants changements dans la conception des voitures. L'augmentation des performances dynamiques (vitesse de pointe, accélérations) conjuguée à l'amélioration continue du confort a participé de manière importante à l'accroissement du poids des véhicules. Les monospaces et les « SUV » (Sport Utility Vehicle : 4x4 et véhicules apparentés) ont largement contribué à la dégradation de l'aérodynamisme (augmentation du facteur **S . Cx**). Ces évolutions, accompagnées d'un notable « effet de mode », ont induit une utilisation accrue de pneus larges, augmentant de ce fait la valeur du coefficient Cr.

Une analyse plus approfondie de ces différents paramètres est menée à **la fiche 8**. ■

### 3. Les cycles de test : normes et mesures

« Pour les voitures particulières, il est recommandé d'adopter un contrôle de la conformité dans des conditions réelles de circulation, consistant à soumettre le véhicule non seulement au cycle d'essai actuellement en vigueur mais aussi à des cycles de conduite réelle. »

Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT) : Réduire les émissions de NO<sub>x</sub> de la circulation routière, 2006

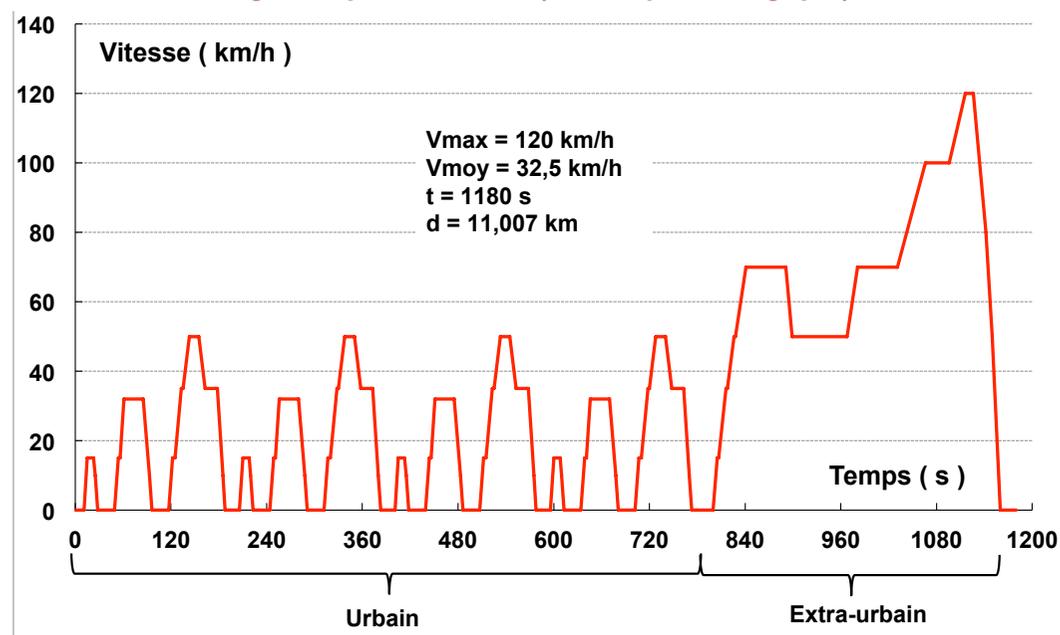
#### 3.1. Le cycle NEDC

En Europe, les émissions de CO<sub>2</sub> (**fiche 4**) et des polluants concernés par les normes Euro (**fiche 5**) sont actuellement mesurées, conformément au cadre défini dans la directive 2007/46/CE<sup>[23]</sup>, au moyen d'un cycle standard appelé New European Driving Cycle (NEDC - **Figure 1**), censé représenter une conduite « moyenne » européenne. Les émissions de polluants et de CO<sub>2</sub> sont mesurées à la sortie du pot d'échappement.

Pour garantir l'équivalence avec un test routier, les bancs de test sur lesquels sont placés les véhicules en laboratoire prennent en compte leur résistance à l'avancement (dépendant notamment de leurs caractéristiques aérodynamiques et de leur résistance au roulement), déterminées préalablement lors d'essais sur piste.

Le test NEDC additionne un parcours urbain, effectué quatre fois, et un parcours extra urbain. La méthode à suivre pour cet essai est décrite à l'annexe 4a du Règlement n° 83 de la Commission Économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-ONU).<sup>[67]</sup>

Figure 1 : cycle de test NEDC (New European Driving Cycle)



Le parcours urbain est long de 4,052 km et constitué de quatre cycles élémentaires de 195 s et 1,013 km. La vitesse maximale atteinte quatre fois est de 50 km/h. La vitesse moyenne est de 18,7 km/h. Le parcours extra urbain dure 400 secondes et mesure 6,955 km. La vitesse maximale est de 120 km/h, la vitesse moyenne de 62,6 km/h [67].

Le test est réalisé avec un moteur froid au départ et les seules fonctions en service du véhicule testé sont celles nécessaires à la circulation de jour. S'il est vrai qu'un test normalisé identique pour tous les constructeurs permet de mesurer et de comparer objectivement les émissions des véhicules, on peut toutefois formuler quelques remarques à son sujet :

- la distance parcourue est relativement faible (11 km) et la vitesse moyenne très limitée (32,5 km/h) ; de ce fait, des paramètres importants tels que la surface frontale et le coefficient aérodynamique (**fiches 2 et 8**) jouent peu par rapport aux conditions réelles d'utilisation ;
- le cycle est très peu exigeant en matière d'accélération : en parcours urbain, le véhicule passe de 0 à 50 km/h en 26 secondes ;
- la vitesse maximale de 120 km/h en cycle extra urbain, atteinte une seule fois, est maintenue seulement pendant 10 secondes, soit 0,8% de la durée du test pour 3% de la distance totale ;
- le véhicule est stationnaire pendant 280 s, soit 24% de la durée totale du cycle.

### 3.2. Tout ce qu'un automobiliste ne fera jamais

Certains constructeurs considèrent que ce qui n'est pas expressément interdit par la réglementation en vigueur est de facto autorisé. Ils appliquent dès lors une vingtaine de stratégies « d'optimisation » différentes, se permettant « tout ce qu'un automobiliste ne fera jamais ». Ainsi, pour les tests préalables sur circuits : dépose du rétroviseur extérieur droit, application de bande adhésive sur les contours des portières pour améliorer l'aérodynamisme, sur-gonflage des pneus... Pour les tests sur banc d'essai : déconnexion de l'alternateur pour éviter la charge de la batterie, réglage des freins pour éviter tout frottement parasite, utilisation de lubrifiants moteurs spéciaux, optimisation des paramètres de gestion électronique des moteurs... Ces pratiques, connues sous l'appellation anglaise de « *cycle beating* » et inégalement répandues chez les constructeurs, mènent à une sous-estimation significative de la consommation de carburant et des émissions. Les estimations récentes menées notamment en Allemagne font état d'une différence moyenne de l'ordre de 20% entre les consommations annoncées et les consommations réelles [43]. Pour certains modèles, la différence atteint 40% [33].

Les cycles de tests définis pour les véhicules électriques (mesure de la consommation énergétique en kWh) et hybrides rechargeables (mesure des émissions de CO<sub>2</sub>) sont extrêmement favorables à ceux-ci (**fiche 10**). De plus, les émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production de l'énergie tirée du réseau pour la charge des batteries ne sont pas

prises en compte et aucune disposition complémentaire n'aide l'acheteur à prendre conscience de l'importance de ces émissions. Ceci permet aux constructeurs de véhicules hybrides de sport de mettre en parallèle des comportements dynamiques impressionnants et de très faibles consommations et émissions tout en omettant de préciser que celles-ci ne seront atteintes qu'à condition de ne pas solliciter ceux-là.

De nouveaux cycles de test sont en discussion dans le cadre de la Commission Économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU ou UNECE pour United Nations Economic Commission for Europe) depuis septembre 2009. La dix-huitième session du sous-groupe en charge du développement du cycle de test harmonisé s'est tenue en juin 2013. Les différentes parties ont conclu un accord sur le nouveau cycle dénommé WLTC (Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles). Seules quelques modalités d'application sont encore discutées. Dans l'état d'avancement actuel des travaux, il apparaît que le cycle applicable aux voitures sera plus long en temps (1800 secondes) et en distance (23,26 km), avec une vitesse moyenne supérieure à celle du NEDC (46,5 km/h contre 32,5 km/h) [76]. ■

« Si l'incidence des transports routiers sur le climat continue sa progression, elle compromettra de façon significative les réductions réalisées par les autres secteurs pour lutter contre le changement climatique. »

Règlement (CE) N° 443/2009, considérant 3.

### 4.1. Des émissions hors contrôle

Le principal gaz à effet de serre (GES) émis lors de l'utilisation d'une voiture est le CO<sub>2</sub>; ses émissions sont directement proportionnelles à la consommation de carburant (**fiche 12**). Les inventaires d'émissions de GES (établis dans le cadre du protocole de Kyoto) globalisent sous l'étiquette « transports » les émissions imputables aux transports routiers, ferroviaires, fluviaux et aériens, ces derniers étant limités aux seuls vols nationaux. Sont exclues des inventaires (et comptabilisées à part) les émissions associées aux transports maritimes et aériens internationaux, connues sous le nom de « *soutes* », « *carburants de soute* », « *bunkers* » ou « *bunker fuels* ».

En Belgique, en 1990, le secteur des transports était responsable, hors *bunker fuels*, de 20,1 MtCO<sub>2</sub> (17,2% des émissions totales du pays hors *bunker fuels*) et, en 2011, de 26,8 MtCO<sub>2</sub> (26,0% des émissions totales)<sup>[2]</sup>. Dans un contexte international de volonté – manifestée par les pays ayant ratifié le protocole de Kyoto – de maîtrise des émissions de GES, cette augmentation de 33,2% s'inscrit à contre-courant des évolutions des autres secteurs: les émissions globales de la Belgique ont, hors *bunker fuels*, diminué de 12,0% sur la même période. Les *bunker fuels* belges sont particulièrement

importantes: 4,3 MtCO<sub>2</sub> pour l'aérien et 25,3 MtCO<sub>2</sub> pour le maritime en 2011, respectivement en augmentation de 37,4% et 90,0% par rapport à 1990.

Il n'est guère aisé de déterminer quelle est la part relative des différents modes et types de véhicules dans les émissions totales du secteur. Le bilan énergétique de la Wallonie est l'un des seuls documents publiés par une autorité publique où le calcul soit réalisé. En croisant plusieurs sources de données, les auteurs ont pu établir la répartition de la consommation énergétique en fonction du mode (ferroviaire, fluvial, routier), du type de transport (personnes, marchandises), du type de véhicule (voiture, camion, moto...) et de l'énergie utilisée (essence, diesel, GPL, électricité). Les transports routiers représentent 98,9% de l'énergie consommée par les transports terrestres. Au sein du mode routier, les voitures consomment 60% de l'énergie et émettent 59% des émissions de CO<sub>2</sub>. Les autres postes principaux sont les camions (26%), les camionnettes affectées au transport de marchandises (8%), les autobus et autocars (4%) et les camionnettes affectées au transport de personnes (3%)<sup>[40]</sup>.

## 4.2. Le cadre législatif européen

L'augmentation des émissions du transport est imputable à la croissance du parc de véhicules et à celle du trafic, qui ont plus que compensé la baisse des émissions spécifiques des véhicules (et des voitures en particulier) durant les vingt dernières années. A la fin des années 1990, la Commission européenne avait, dans le cadre d'une approche globale incluant également l'information aux citoyens<sup>[21]</sup> et l'activation des outils fiscaux par les Etats-membres<sup>[18]</sup>, conclu un accord avec l'industrie automobile. Celle-ci s'engageait à réduire de manière volontaire les émissions moyennes des véhicules neufs mis en vente (avec un objectif de 140 gCO<sub>2</sub>/km pour l'ensemble des véhicules neufs vendus en Europe en 2008-2009). L'industrie n'ayant pas rempli ses engagements, les autorités européennes ont décidé, en 2007, de mettre en place une législation contraignante. Le règlement européen 443/2009/CE établit des objectifs (130 g/km en 2015 et 95 g/km en 2020) pour la moyenne des émissions des voitures neuves vendues en Europe<sup>[63]</sup>. Dans ce cadre, chaque constructeur se voit attribuer des objectifs propres qui dépendent du poids moyen des véhicules vendus. Le poids (ou la masse, en kg) a été choisi par les législateurs comme « paramètre d'utilité » d'un véhicule : à poids plus élevé, émissions plus élevées. Le règlement 510/2011/CE fixe quant à lui des objectifs pour les camionnettes (175 g/km en 2017 et 147 g/km en 2020)<sup>[64]</sup>. Une révision des deux règlements est en cours<sup>[60]</sup>; un accord politique semblait à portée

de main fin juin 2013. L'Allemagne, ayant jugé le projet trop dommageable pour son industrie, a obtenu le report de la décision dont l'échéance est dès lors incertaine.

La prise en compte de la masse comme paramètre de l'utilité du véhicule produit un effet pervers : à une augmentation de la masse correspond un affaiblissement de l'objectif CO<sub>2</sub>. L'empreinte au sol (surface délimitée par les points de contact des quatre roues, soit la voie multipliée par l'entraxe) constitue une alternative susceptible de mieux refléter l'utilité réelle du véhicule. L'article 13 §6 du règlement 443/2009/CE prévoit que la Commission produise un rapport sur la question pour 2014.

Aucun seuil maximal n'est imposé par la législation. Ainsi, les émissions de CO<sub>2</sub> des voitures neuves à moteur thermique vendues en Belgique en 2012 étaient-elles comprises entre 85 gCO<sub>2</sub>/km (Kia Rio) et 594 gCO<sub>2</sub>/km (Bugatti Veyron)<sup>[70]</sup>. La moyenne des émissions des voitures neuves vendues en Belgique en 2011 s'établissait, quant à elle, à 127,3 gCO<sub>2</sub>/km<sup>[30, 32]</sup>.

## 4.3. Les vertus de la contrainte

Les deux règlements européens précités portent leurs fruits. Ainsi les émissions de CO<sub>2</sub> des voitures neuves baissent-elles fortement depuis 2007, soit depuis l'annonce faite par la Commission de sa volonté de mettre en place une législation contraignante. Sur la période 2000 à 2007, les émissions des voitures neuves vendues en Europe ont baissé de 13,5 g/km (passant de 172,2 à 158,7 g/km), soit 1,1% par an en moyenne. Sur la période 2007 à 2011, 23,0 g/km ont été gagnés - soit 3,6% en moyenne annuelle<sup>[32]</sup>. Il est donc clair que l'objectif de 130 g/km en 2015 sera globalement atteint par l'industrie automobile. Deux remarques doivent cependant être formulées :

- certains constructeurs atteindront avant l'échéance les objectifs propres qui leur ont été assignés mais d'autres éprouveront de grandes difficultés à respecter le prescrit légal ;
- la moitié des réductions d'émissions ne sont vraies que sur papier, les constructeurs ayant, depuis 2007, développé le recours au « *cycle beating* » (**fiche 3**) ; la CEMT (Conférence Européenne des Ministres des transports) remarquait déjà en 2006, à propos des émissions polluantes : « *Les mesures prises pour contourner le cycle d'essais ne devraient sans doute pas être considérées comme une pratique abusive mais plutôt comme le révélateur d'une carence dans la procédure d'essais et dans la conception de la réglementation.* »<sup>[13]</sup> Il convient dès lors de supprimer toutes les échappatoires qui ont permis aux constructeurs d'enregistrer comme réelles des réductions « sur papier ». ■

## 5. Les polluants locaux et le bruit

«En 2010, 44 % des stations de surveillance de la qualité de l'air en bord de route ont enregistré des taux nocifs de dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), dépassant les limites légales. En outre, le niveau de particules en suspension dans l'air ( $\text{PM}_{10}$ ) dépassait les limites pour 33 % de ces sites. Ces polluants peuvent affecter le système cardiovasculaire, les poumons, le foie, la rate et le sang.»

Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) :  
communiqué de presse, 27/11/2012

Victimes des accidents de la route (**fiche 7**), du bruit des transports (stress, maladies cardiovasculaires...), des émissions polluantes issues des voitures et camions (affectations des voies respiratoires, problèmes mutagènes et cancérigènes) : nos sociétés éprouvent de grandes difficultés à admettre l'ampleur des dommages humains associés au système de mobilité. Objectiver les choses sans pathos est nécessaire pour définir les remèdes à mettre en place.

### 5.1. Les émissions de polluants locaux

Les polluants dits locaux sont ceux qui affectent directement la santé humaine : monoxyde de carbone (CO), composés organiques volatils (COV) — dont principalement les hydrocarbures (HC), oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et particules fines (PM). Ils altèrent principalement les fonctions respiratoires, mais certains composés produisent d'autres actions, notamment cancérigènes. L'ozone ( $\text{O}_3$ ) troposphérique n'est pas un polluant directement émis par les véhicules : c'est un polluant secondaire résultant de réactions entre les HC et les  $\text{NO}_x$  intervenant en présence de rayonnement solaire ultra-violet (UV). Les  $\text{NO}_x$  impactent également la biodiversité, par le biais de l'acidification et de l'eutrophisation des milieux.

En Wallonie, en 2004, le secteur du transport routier émettait 20,8% des  $\text{PM}_{10}$  (particules fines de taille égale ou inférieure à 10  $\mu\text{m}$  ou 0,010 mm), soit 4.448 t (sur un total de 21.384 t) et 26,7% des  $\text{PM}_{2,5}$  (particules de taille égale ou inférieure à 2,5  $\mu\text{m}$ ), soit 3.920 t (sur un total de 14.683 t)<sup>[7]</sup>. En 2007, les parts du

transport routier étaient égales à 25,8% des  $\text{PM}_{10}$ , soit 3.893 t (total : 15.090 t) et à 32,4% des  $\text{PM}_{2,5}$ , soit 3.393 t (total : 10.472 t)<sup>[8]</sup>. Ainsi, le transport routier a une part plus importante dans les émissions des particules les plus fines, qui sont aussi les plus dommageables pour la santé. Ses émissions ont, en chiffres absolus, baissé d'environ 13% tant pour les  $\text{PM}_{10}$  que pour les  $\text{PM}_{2,5}$  alors que, tous secteurs confondus, la baisse est de 29%. En matière d'oxydes d'azote, le transport routier est responsable d'environ 40% des émissions<sup>[7]</sup>.

Les émissions sont soumises au régime des normes dites «Euro» (il existe des normes applicables aux voitures — voir **annexe technique** —, d'autres applicables aux véhicules lourds, d'autres enfin aux deux roues, trois roues et quadricycles motorisés). Les voitures sont actuellement soumises à la norme Euro 5<sup>[61]</sup>. La norme Euro 6 entrera en vigueur à partir de septembre 2015<sup>[65]</sup>. Les émissions de particules fines y seront normées en fonction à la fois de leur masse (4,5 mg/km) et de leur nombre ( $6 \cdot 10^{11}$  particules/km : 600 milliards de particules par kilomètre), les mêmes valeurs s'appliquant aux motorisations essence (injection directe) et diesel.

L'introduction d'une limite en nombre de particules constitue une évolution très positive en termes de santé publique. En première approximation, si la particule A est 1000 fois plus petite que la particule B, sa masse sera un million de fois plus faible. Pour une norme en masse, une particule B est donc équivalente à un million de particules A. Or, plus une particule est fine et plus elle pénètre profondément dans les alvéoles pulmonaires, y créant plus de

dommages qu'une particule plus grosse «coincée» plus haut dans l'appareil respiratoire. Or les nouvelles motorisations (injection directe) créent plus de très petites particules que les anciennes. Il s'agit là d'un problème déjà relevé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en 2000<sup>[78]</sup>. L'application de la technique d'injection directe aux moteurs à essence renverse la donne en matière de particules, ces moteurs émettant un plus grand nombre de particules que les moteurs diesel équipés d'un filtre à particules (FAP) : l'industrie a d'ailleurs obtenu une application différée (de trois ans) de la norme Euro 6 aux moteurs à essence à injection directe (règlement (UE) N° 459/2012, article 1<sup>er</sup>, §3).

Les constructeurs ont une obligation stricte de respect des normes d'émissions: l'utilisation de «*dispositifs d'invalidation qui réduisent l'efficacité des systèmes de contrôle des émissions*» est interdite (Règlement CE n°715/2007, article 5 §2<sup>[61]</sup>). Cependant, comme le relevait en 2006 la Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT): «*La qualité de l'air ne s'est pas améliorée autant que prévu sous l'effet du renforcement des normes d'émission, surtout eu égard aux oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Une des raisons probables de cet insuccès est l'écart observé entre les résultats des mesures de réduction des émissions obtenus au cours des essais de réception par type et leur efficacité dans des conditions réelles de fonctionnement.*»<sup>[13]</sup> Ceci a été objectivé par l'ADAC (Automobile Club allemand) qui, en fonction des conditions d'essai, a mesuré des niveaux de NO<sub>x</sub> 10 à 200 fois supérieurs à ceux annoncés par certains constructeurs<sup>[20]</sup>.

## 5.2. Les émissions sonores

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime que des effets néfastes pour la santé humaine sont associés à des niveaux de bruit de 40dB (décibels – voir **annexe technique**) durant la nuit<sup>[80]</sup> et de 55dB durant la journée<sup>[79]</sup>. Le bruit du trafic routier est un problème environnemental majeur, affectant cinq fois plus de personnes que toutes les autres sources sonores cumulées. Selon le Service d'Observation et d'Information sur le Bruit pour l'Europe (ou NOISE pour Noise Observation and Information Service for Europe), 59% de la population vivant dans les principales agglomérations européennes (soit 65 millions de personnes sur 113 millions) sont exposées à un bruit routier supérieur à 55 dB<sup>[51]</sup>. L'OMS estime à un million le nombre d'années de vie en bonne santé perdues chaque année en Europe de l'Ouest du fait de l'exposition au bruit du trafic<sup>[81]</sup>. Le Tableau de bord de l'environnement wallon 2010 rapporte que, dans l'enquête fédérale de santé effectuée en 2004, 10 % des ménages wallons se déclaraient gênés par le bruit du trafic routier à leur domicile, faisant de ce facteur la première nuisance environnementale rapportée par la population<sup>[8]</sup>.

La Commission européenne a initié en 2011 une révision des normes de bruit des véhicules routiers (voitures, bus et camions), qui n'avaient plus été mises à jour depuis 20 ans<sup>[59]</sup>. Le projet de règlement en cours de discussion contient des éléments qui en limitent les potentialités en termes de réduction des nuisances sonores ; on pointera

notamment :

- une diminution fort lente des niveaux de bruit admissibles : pour les voitures et camionnettes, réduction de 4 dB sur une période de cinq ans pour la réception de nouveaux types de véhicules et sur une période de sept ans pour la vente des véhicules neufs ;
- une procédure d'essais peu contraignante (phases d'accélération fort douces,...);
- une absence de limite de bruit maximal à ne dépasser sous aucune condition : les véhicules peuvent dès lors être très bruyants lorsque leurs capacités dynamiques sont sollicitées.

## 5.3. Les véhicules de catégorie L

Le règlement (UE) N°168/2013 met à jour les règles de réception et de surveillance du marché des véhicules à deux ou trois roues et des quadricycles motorisés (véhicules de catégorie L) incluant des normes d'émissions de polluants locaux et de bruit. Ces normes sont moins ambitieuses que celles relatives aux voitures, bus et camions. Ainsi, alors que la Commission européenne propose de limiter, à terme, à 68 dB le bruit des voitures, une limite de 71 dB a été adoptée pour les cyclomoteurs dont la vitesse est inférieure à 45 km/h<sup>[66]</sup>. Pour les voiturettes légères (de même que pour les motos de plus de 175 cm<sup>3</sup> et les quads) la limite est fixée à 80 dB, soit la même limite que celle proposée par la Commission pour les camions de plus de 12 tonnes et de plus de 150 kW de puissance! ■

## 6. L'analyse du cycle de vie

« Les émissions de CO<sub>2</sub> associées à la fabrication et à la fin de vie des véhicules acquièrent une importance grandissante dans le bilan du cycle de vie. Le cadre réglementaire actuel ne reconnaît pas cet état de fait. »

Bureau d'étude Ricardo :  
Preparing for a life cycle CO<sub>2</sub> measure, 2011

Le cycle de vie complet des véhicules peut être divisé en 4 grandes étapes :

1. la fabrication du véhicule ;
2. la production du carburant ou du vecteur énergétique (**voir fiches 11 et 12**) ;
3. le fonctionnement du véhicule ;
4. la fin de vie du véhicule.

L'impact environnemental des voitures ne peut s'apprécier qu'à la condition de prendre en compte l'ensemble des différentes étapes. Ceci est en outre nécessaire pour :

- optimiser les politiques de renouvellement des parcs de véhicules ;
- comparer l'impact environnemental de technologies concurrentes, les poids relatifs des quatre étapes pouvant varier fortement entre les différentes filières.

### 6.1. La fabrication des véhicules impacte sur l'environnement

Le Joint Research Center (JRC, Centre de Recherches Conjoint de la Commission européenne) a publié une étude sur l'analyse du cycle de vie des voitures à moteur thermique en 2008<sup>[48]</sup>. Selon le JRC, la fabrication d'une voiture essence émet en moyenne 4,3 tonnes de CO<sub>2</sub>. Si l'on y ajoute les postes « pièces de rechange » et « fin de vie », le total se monte à 4,8 tonnes. Pour une voiture diesel, c'est 5,3 tonnes de CO<sub>2</sub> au total qui sont associées à ces postes. Cinq tonnes représentent, pour un véhicule émettant 127,3 gCO<sub>2</sub>/km (valeur moyenne des voi-

tures neuves vendues en Belgique en 2011), l'équivalent de 39.280 km ou encore un peu plus de deux ans et demi d'utilisation d'une voiture en Belgique (le kilométrage moyen en 2010 étant de 15.650 km). Avec la réduction des émissions à l'utilisation, l'importance relative des étapes de fabrication et retraitement en fin de vie va croissant. En 2001, avec des émissions de 163,7 g/km, la voiture neuve moyenne vendue en Belgique émettait cinq tonnes en roulant 30.540 km : les étapes de fabrication et de fin de vie correspondaient donc à un peu moins de deux ans d'utilisation « seulement ». Le JRC a réalisé l'exercice pour les autres polluants imputables aux voitures. Ainsi, les particules très fines (PM<sub>2,5</sub>) associées aux postes « construction » (0,9 kg) et « pièces de rechange » (0,2 kg) représentent, avec 1,1 kg, l'équivalent de ce qu'émet un véhicule de norme Euro 5 en roulant 220.000 km...

Une voiture, comme nombre d'autres biens de consommation, n'impacte donc pas l'environnement que lors de son utilisation. Dès lors, l'idée communément admise du gain environnemental généré par le renouvellement accéléré du parc automobile peut à tout le moins être qualifiée de réductrice.

### 6.2. Nouvelles motorisations et cycle de vie

L'émergence de nouvelles motorisations rend plus nécessaire encore la prise en compte de l'ensemble de leur cycle de vie pour quantifier et comparer leur impact environnemental.

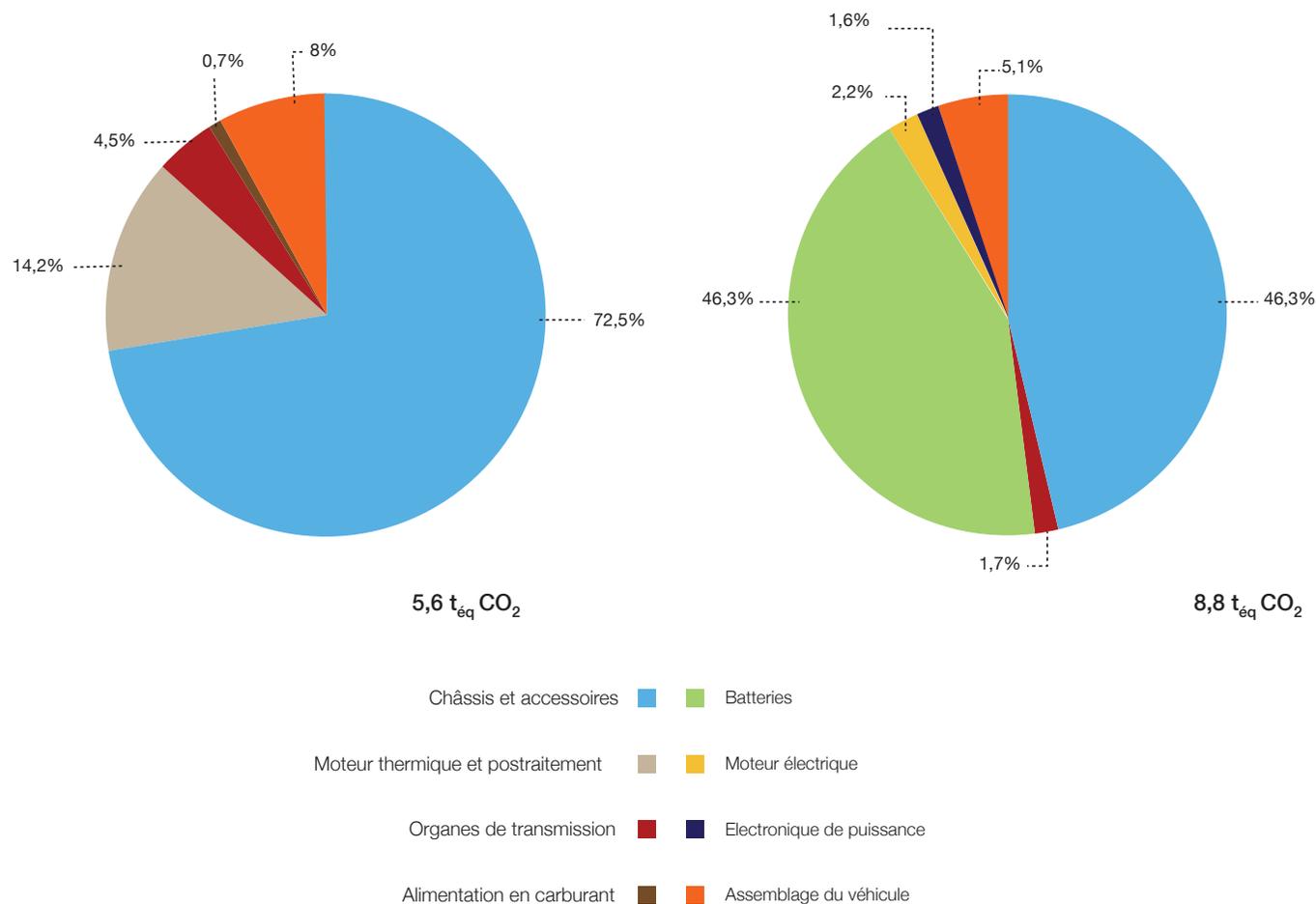
Au Royaume-Uni, le consortium LowCVP (partenariat véhicules bas carbone) a travaillé sur ces ques-

tions avec plusieurs consultants spécialisés en automobile. La **figure 2** présente les résultats collectés par l'un de ces consultants, le bureau Ricardo<sup>[58]</sup>. A la construction d'une voiture à moteur thermique sont associées 5,6 tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> tandis que 8,8 tonnes de CO<sub>2</sub> sont émises lors de la construction d'une voiture électrique. La différence s'explique principalement par les émissions imputables à la construction de la batterie. Si l'on considère que deux batteries seront nécessaires sur la durée de vie du véhicule, les émissions de fabrication sont alors de 12,5 tCO<sub>2</sub>.

Afin de comparer au mieux différentes filières technologiques, un calcul doit également être réalisé sur les étapes de mise à disposition de l'énergie, d'utilisation du véhicule et de fin de vie du véhicule. Pour fixer un ordre de grandeur, la mise à disposition du carburant (essence) nécessaire à une voiture modeste pour parcourir un kilomètre (trajet au cours duquel elle émettra environ 125 gCO<sub>2</sub>) induit environ 22 gCO<sub>2</sub>. Une voiture électrique n'émettra aucun CO<sub>2</sub> à l'utilisation mais la mise à disposition de l'énergie électrique nécessaire pour rouler un kilomètre est responsable de 80 gCO<sub>2</sub> environ sur base du mix de production électrique européen<sup>[19]</sup>. Ne prendre en compte qu'une des étapes du cycle de vie conduit donc inévitablement à commettre de grossières erreurs

Dans son « *Avis relatif à l'information sur les émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules* », le Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD) recommande la prise en compte la plus complète possible du cycle de vie ainsi que la quantification des émissions liées à la production d'électricité sur base du mix européen<sup>[16]</sup>. ■

Figure 2 : émissions de CO<sub>2</sub> associées à la construction d'une voiture moyenne à moteur à essence (à gauche) et à moteur électrique (à droite)



Source: Ricardo (2011)

## 7. Vitesse, consommation et sécurité

«La vitesse des véhicules motorisés est au cœur du problème des accidents de la route entraînant des blessures. Elle influe à la fois sur les risques d'accident et sur les conséquences des accidents.»

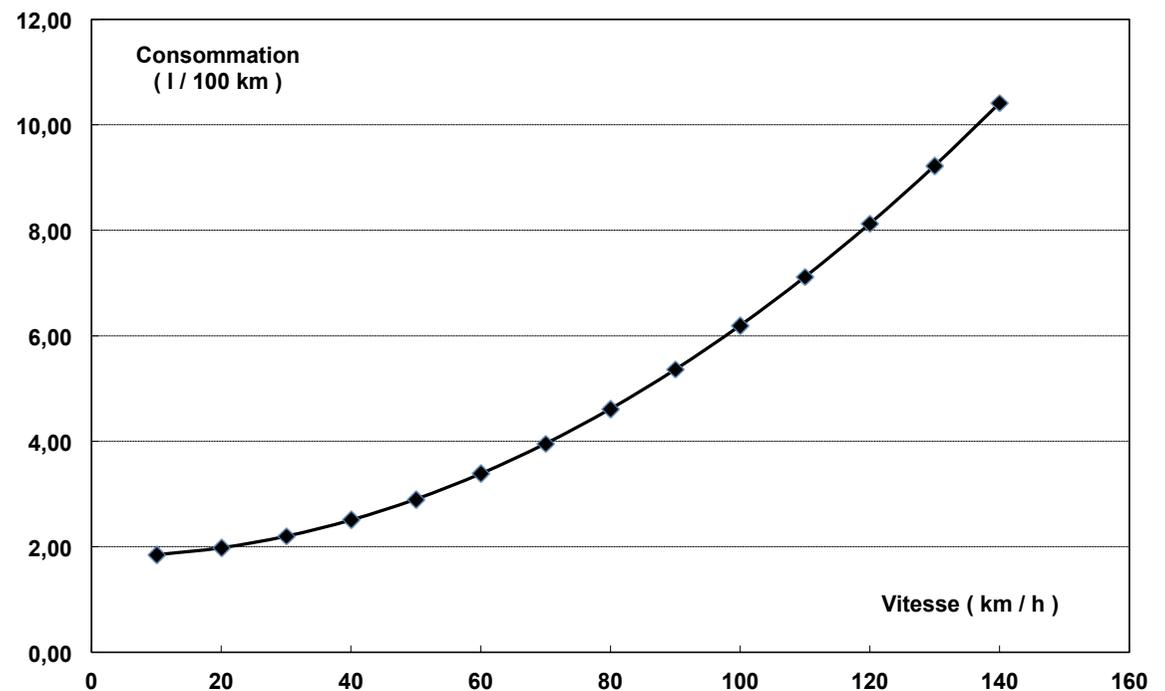
Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :  
Rapport mondial sur la prévention des traumatismes  
dus aux accidents de la circulation, 2004

### 7.1. La consommation augmente avec le carré de la vitesse

Sur base de l'équation 3 (présentée **fiche 2**) et considérant un rendement moyen de la chaîne de motorisation (**fiche 11**), il est possible de tracer un graphique établissant la relation entre la vitesse et la consommation pour un véhicule standard circulant à vitesse constante.

La **figure 3** est établie pour un véhicule diesel présentant les caractéristiques moyennes des véhicules neufs vendus en Belgique en 2010, à savoir une masse de 1.418 kg et une surface frontale de 2,73 m<sup>2</sup>. Des valeurs moyennes ont en outre été adoptées pour les coefficients aérodynamique et de roulement :  $C_x = 0,32$  et  $C_r = 0,012$ .

Figure 3 : consommation de carburant nécessaire à un véhicule diesel moyen pour parcourir 100 km à vitesse constante.



La figure a été établie sur base d'un rendement moteur théorique constant. Dans les faits, celui-ci varie en fonction du régime moteur.

La consommation d'un véhicule augmente avec sa vitesse et d'autant plus que celle-ci est élevée. **Le tableau 1** présente l'impact d'une augmentation de vitesse de 10 km/h en fonction de la vitesse de la voiture. La différence de consommation est 1,6 fois plus importante entre 90 et 100 km/h qu'entre 50 et 60 km/h ; elle est 2,2 fois plus importante entre 120 et 130 km/h.

A ces différences de consommation théoriques en fonction de la vitesse, il faut ajouter d'autres effets en conditions réelles. Par exemple, une augmentation de la vitesse maximale autorisée peut induire une augmentation du différentiel entre les vitesses des véhicules les plus rapides et celles des plus lents, provoquant de ce fait plus de phases de décélération et d'accélération, lesquelles, outre une augmentation de la consommation, accélèrent l'usure du véhicule, notamment de ses composants consommables tels les freins et les pneus.

## 7.2. La vitesse, important facteur de risque

Selon l'European Transport Safety Council (ETSC – Conseil Européen pour la Sécurité Routière), la littérature scientifique est très claire sur le sujet : plus la vitesse est élevée, plus sont élevés le risque d'accidents et leur sévérité. A contrario, il est établi qu'une diminution modeste de la vitesse moyenne du trafic induit une diminution deux fois plus importante du nombre d'accidents avec blessés, une diminution trois fois plus importante du nombre d'accidents avec blessés graves et une diminution quatre fois plus importante du nombre d'accidents avec tués<sup>[34, 56]</sup>.

**Tableau 1 : influence de la vitesse sur la consommation – voiture diesel moyenne roulant à vitesse constante**

Vitesse (km/h)	50	60	90	100	120	130
Consommation (l/100km)	2,9	3,4	5,4	6,2	8,1	9,2
Différence de consommation (l/100km)	0,5		0,8		1,1	

L'ETSC a étudié de près le cas des autoroutes allemandes, dont la moitié environ ne sont soumises à aucune limitation de vitesse. Les sections avec limitation de vitesse permanente sont moins dangereuses que le reste du réseau autoroutier dès lors que l'on considère l'indicateur le plus pertinent, à savoir le nombre d'accidents (de blessés, de tués) rapporté au volume de trafic. De plus, sur les sections étant passées du régime sans limite de vitesse au régime avec limite permanente, le nombre d'accidents, de blessés et de tués a fortement diminué. Ainsi, le passage à 130 km/h depuis 2002 d'une section de 62 km de l'Autobahn 24 entre Berlin et Hambourg a permis de diminuer de 47% le nombre d'accidents avec dommages matériels et/ou corporels et de 58% le nombre de tués (comparaison sur les trois années précédant et les trois années suivant la modification de régime)<sup>[34]</sup>.

L'amélioration de la sécurité active et passive des véhicules durant les dernières décennies a eu un impact très positif sur le nombre et la gravité des accidents. Deux facteurs ont empêché ces améliorations d'exprimer tout leur potentiel. D'une part l'augmentation de la masse et de la

puissance des véhicules (**fiche 8**). D'autre part le sentiment d'invulnérabilité que procurent à des conducteurs mal informés les technologies qui améliorent la sécurité à conduite inchangée (airbags, pneus larges, ABS, ESP, ...). L'influence de ces facteurs est renforcée par la valorisation sociale de vitesse, fort présente dans nos sociétés et dépit des excellentes campagnes de sensibilisation de l'IBSR et du SPW. ■

## 8. La conception des véhicules

« Les innovations apportées au groupe motopropulseur ne suffiront pas à atteindre la cible de 2 litres/100km. Des progrès très significatifs devront être réalisés au niveau des caractéristiques du véhicule et en particulier de sa masse. [...] Pour parvenir à une consommation de 2 litres aux 100, il semble nécessaire de revenir, pour des véhicules de moyenne gamme, à des niveaux de l'ordre de 700 - 800 kg. »

IFP Energies nouvelles, Communiqué de presse :  
Vers un véhicule particulier à deux litres aux 100 km  
- Un objectif réaliste qui mobilise les équipes d'IFP  
Energies nouvelles, 27 Septembre 2012

L'équation 3 (**fiche 2**) fournit, sur base des caractéristiques du véhicule, l'énergie utile au mouvement (celle à appliquer aux roues) pour le cycle NEDC. En divisant celle-ci par les rendements de la transmission et du moteur, on obtient l'énergie « entrée moteur ». D'où l'on déduit aisément (pour un moteur à combustion et connaissant le contenu énergétique du carburant) la consommation et les émissions de CO<sub>2</sub> de la voiture. Partant des caractéristiques (masse et surface frontale) moyennes des voitures neuves vendues en Belgique et tenant compte de la répartition essence/diesel, le calcul mène à la valeur de 138,4 gCO<sub>2</sub>/km en moyenne pour l'année 2010, soit une précision de 3,7% par rapport aux émissions moyennes annoncées (cycle NEDC) des voitures neuves vendues cette année-là dans notre pays (133,4 gCO<sub>2</sub>/km)<sup>[32]</sup>. Ce calcul peut donc être utilisé pour modéliser l'impact de modifications apportées aux caractéristiques des véhicules.

### 8.1. Un facteur 2 est possible

Le **tableau 2** présente un scénario d'optimisation des caractéristiques constructives sur lesquelles une action est envisageable pour diminuer la consommation et les émissions d'une voiture. Il est possible, sans mobiliser de dispositifs technologiques particuliers (tels que récupération d'énergie au freinage, start/stop...), de diviser par deux les émissions de CO<sub>2</sub>. Notons toutefois qu'il est indispensable, pour arriver à ces résultats, de diminuer la vitesse de pointe des véhicules et leur puissance (donc leur potentiel d'accélération), ce qui entraîne une réduction de la masse et

rend possible l'utilisation de pneumatiques moins larges. Une telle approche est également bénéfique à la sécurité de tous les usagers de la route. Partant des 132 g/km (moyenne calculée pour les voitures diesel vendues en Belgique en 2010), les différentes améliorations apportées à la situation présente sont :

- une légère amélioration des rendements de transmission et du moteur (sur lesquels n'existe qu'une faible marge de manœuvre) conduit à des émissions de 126 gCO<sub>2</sub>/km ;
- une très forte amélioration des coefficients aérodynamique ( C<sub>x</sub> = 0,22, -30% ) et de roulement ( C<sub>r</sub> = 0,009, -25%) porte la réduction à 102 gCO<sub>2</sub>/km ;
- une réduction moyenne de la surface frontale (2,24 m<sup>2</sup>, -18%) conduit à 96,5 gCO<sub>2</sub>/km ;
- une première réduction de la masse (1040 kg, environ -25%) permet d'atteindre 78 gCO<sub>2</sub>/km ;
- une diminution plus notable de la masse (740 kg, environ -50%) amène, au terme de cet exercice n'ayant d'autre ambition que d'établir des ordres de grandeur, à 63 gCO<sub>2</sub>/km.

Le « *downsizing des moteurs* » (réduction de la cylindrée), pour développer toutes ses potentialités en termes de réduction de la consommation de carburant (ordre de grandeur : 15%<sup>[74]</sup>), doit s'inscrire dans la stratégie globale de « *downsizing du véhicule* » esquissée ci-dessus<sup>[35]</sup>.

Tableau 2 : optimisation des paramètres constructifs du véhicule, sans adjonction de dispositifs technique particuliers – motorisation diesel

		Véhicule de base	Optimisé
Largeur du véhicule	L (mm)	1769	1600
Hauteur	H (mm)	1541	1400
Surface frontale	S (m <sup>2</sup> )	2,73	2,24
Masse	m (kg)	1410	740
Coefficient aérodynamique	Cx	0,32	0,22
Coefficient de roulement	Cr	0,012	0,009
Energie utile / 100 km	E <sub>u</sub> (MJ)	46,133	23,063
Rendement de transmission	η <sub>t</sub>	0,95	0,96
Rendement du moteur	η <sub>m</sub>	0,27	0,28
Energie entrée moteur (kWh)	E <sub>in</sub> (kWh)	50,0	23,8
Contenu énergétique du carburant	(kWh/l)	9,96	9,96
Consommation de carburant	(l/100)	5,02	2,39
Emissions de CO <sub>2</sub> du carburant	(kg/l)	2,63	2,63
Emissions de CO <sub>2</sub>	(g/km)	131,9	62,9

## 8.2. Energie cinétique maximale et danger

Le concept d'agressivité d'un véhicule intègre la probabilité de voir ce véhicule impliqué dans un accident et la gravité des dommages pour les parties adverses. En France, l'initiative « Voiture citoyenne » pilotée par la Ligue contre la violence routière a clairement établi, sur base d'une analyse statistique, que « *l'usage de l'énergie cinétique maximale d'un véhicule, ou du classement de ce véhicule dans un groupe de tarification par les assureurs, sont des procédures très proches* » pour estimer l'agressivité d'une voiture<sup>[50]</sup>. L'énergie cinétique maximale ( $m \cdot V_{MAX}^2 / 2$ ) est égale à la moitié du produit de la masse par le carré de la vitesse maximale.

Ainsi donc, une limitation de la masse et de la puissance (qui conditionne la vitesse maximale) des voitures permettrait de diminuer leur agressivité et, partant, d'améliorer la sécurité routière. « Voiture citoyenne » souligne à juste titre que « *une partie des progrès observés dans la réduction du risque au travail a été obtenue en interdisant que des caractéristiques potentiellement dangereuses soient conservées au niveau d'une machine ou d'un produit alors qu'elles ne sont pas utiles à la fonction qu'elle doit assurer et qu'il est techniquement possible de les supprimer.* » Dès lors, « *il est indispensable de pénaliser le surpoids dangereux pour les autres, la puissance excessive, la consommation élevée de carburant et la vitesse inutile.* » ■

## 9. Les moteurs thermiques

*«Les motorisations classiques essence et diesel ont encore de beaux jours devant elles. Tout simplement parce qu'on n'a rien trouvé de mieux à un prix acceptable pour le consommateur. Avant de pouvoir passer le relais à des solutions alternatives applicables en série, le moteur classique doit continuer de s'améliorer pour maîtriser ses nuisances dans un contexte de développement durable.»*

IFP Energies nouvelles, 2012

L'évolution technique est liée à celle des connaissances humaines. Dans le domaine de l'automobile, l'émergence des nouvelles technologies est également dépendante du contexte économique et politique et des relations complexes entre constructeurs, utilisateurs et pouvoirs publics. Schématiquement, les premiers cherchent à pérenniser le modèle de mobilité centré sur la voiture personnelle; la relation à l'automobile de la majorité des seconds est peu, voire pas, rationnelle; quant aux troisièmes, ils encadrent le développement du mode de mobilité individuelle dont les origines remontent à la seconde moitié du vingtième siècle sans le remettre en cause. La commercialisation des nouvelles technologies se fait donc de manière discontinue, au gré des opportunités, modes et contraintes.

### 9.1. Principe de base

Un moteur thermique (ou moteur à combustion) est, fondamentalement, un transformateur d'énergie chimique en énergie mécanique (voir **fiche 11**) constitué de plusieurs chambres de combustion, ou cylindres. De l'air et du carburant sont introduits dans chaque cylindre et y sont comprimés par le déplacement d'un piston avant d'être enflammés. Les moteurs thermiques comprennent deux grandes familles. Dans les moteurs à allumage commandé (PI pour Positive Ignition), la combustion du mélange carburant/air est pilotée; le carburant utilisé est principalement l'essence. Dans les moteurs à allumage par compression (CI pour Compression Ignition), c'est en comprimant le mélange carburant/air que l'on provoque l'explosion, et donc la combustion; le carburant est très majoritairement le diesel. La combustion du mélange air/carburant génère une augmentation de pression qui va entraîner le piston (mouvement de va-et-vient). Les mouvements linéaires des pistons sont transformés en un mouvement de rotation par un système bielle/manivelle pour être transmis aux roues via les organes de transmission.

## 9.2. Les dernières décennies

Après le premier choc pétrolier en 1973, les constructeurs européens se démarquent des USA et du Japon en investissant massivement dans l'amélioration du moteur Diesel (CI) pour en exploiter au mieux les avantages intrinsèques en rendement énergétique. Dans les années 1990, on voit se généraliser l'injection directe à haute pression et les turbocompresseurs récupérant l'énergie des gaz d'échappement. Puissance, couple et agrément d'utilisation progressent fortement tout en offrant une réduction significative de la consommation par rapport aux moteurs à essence (PI). Dans les années 2000, l'augmentation continue des pressions d'injection, la mise au point de l'injection à rampe commune, la généralisation des turbos à géométrie variable, etc. contribuent à abaisser encore les consommations malgré une croissance générale des puissances spécifiques, renforçant donc en Europe la domination du diesel.

Le moteur CI présente toutefois, par rapport au moteur PI, deux défauts inhérents à son principe même : ses émissions d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et de particules fines (PM). Les techniques de dépollution pour satisfaire aux normes rendent le moteur CI de plus en plus complexe et coûteux, tant à l'achat qu'en maintenance, tout en pénalisant un peu sa consommation.

## 9.3. Nouvelles orientations

Ces défauts des moteurs CI sont peu compatibles avec un usage en milieu urbain. D'une part, les moteurs froids (un moteur reste « froid » sur un parcours de quelques kilomètres) émettent plus de polluants. D'autre part, les filtres à particules (FAP) ne peuvent se régénérer (la régénération est l'opération durant laquelle les particules capturées par le filtre sont brûlées) que dans certaines conditions (température du moteur, vitesse du véhicule) qui ne sont quasiment jamais atteintes en milieu urbain. Pour répondre aux défis en matière de polluants locaux, les constructeurs ont poussé à nouveau l'effort de recherche vers le moteur PI, en tentant de diminuer sa consommation de carburant tout en maintenant des émissions de polluants relativement faibles. On constate dès lors un rapprochement des technologies appliquées au moteur PI avec celles développées pour le moteur CI : alimentation directe, fonctionnement en mélange pauvre, suralimentation par turbocompresseur... Toutes ces techniques appliquées à des moteurs de cylindrée réduite (*downsizing*) permettent de substantielles réductions de consommation — et donc d'émissions de  $\text{CO}_2$  — sans pénaliser la puissance et l'agrément d'usage. Cependant, ceci induit une augmentation des émissions de particules fines du moteur PI (la norme Euro 5 impose déjà une limite équivalente pour les moteurs CI et PI à injection directe : 5 mg/km)<sup>[61]</sup>.

## 9.4. Carburants alternatifs

Parallèlement aux développements des motorisations et des équipements connexes, des carburants alternatifs à l'essence et au diesel ont été mis au point avec l'un au moins des trois objectifs suivants : réduire les émissions de polluants locaux ; réduire les émissions de  $\text{CO}_2$  ; réduire la dépendance énergétique par rapport aux pays exportateurs de pétrole. Dans de nombreux pays, l'essence est déjà additionnée d'agro-éthanol (issu de la biomasse) pour alimenter les moteurs PI. Ceux-ci, moyennant adaptations techniques, peuvent également fonctionner avec du gaz naturel comprimé (GNC), du gaz de pétrole liquéfié (LPG) et de l'hydrogène. De même, le diesel est, dans beaucoup de pays, additionné d'agro-diesel (issu de la biomasse) pour alimenter les moteurs CI qui peuvent, moyennant modifications, fonctionner avec de l'huile végétale pure.

Dès lors qu'un des objectifs assignés aux nouveaux carburants est de réduire l'empreinte écologique des transports, il convient d'établir leur impact environnemental global du « puits à la roue » (**fiche 12**). Ainsi, les émissions de polluants locaux ou de gaz à effet de serre qui sont évitées au niveau du véhicule lors de son utilisation ne doivent pas se traduire par des émissions plus importantes en amont de la filière. ■

## 10. Les voitures électriques et les hybrides

«Le bilan écologique complet est loin d'être aussi favorable au véhicule électrique. Il dépend en effet de nombreux paramètres: type de véhicule utilisé, usages, procédé de fabrication, mais enfin et surtout du bouquet électrique du pays dans lequel circulera le véhicule.»

La voiture de demain : carburants et électricité,  
Centre d'analyse stratégique, Paris, 2011

### 10.1. Une appellation – de nombreuses réalités

Le terme « *véhicule électrique* », entendu au sens générique, recouvre de nombreuses technologies concurrentes.

Une première différenciation apparaît au niveau du stockage de l'énergie à bord du véhicule, qui peut se faire dans des batteries (stockage électrochimique), dans un réservoir classique (carburant alimentant un moteur thermique, entraînant l'essieu et/ou un alternateur qui produira de l'électricité) ou dans un réservoir d'hydrogène (celui-ci alimentant alors une pile à combustible qui produira de l'électricité). Dans certains cas, l'énergie n'est pas stockée dans le véhicule mais prélevée sur un réseau de distribution au cours des déplacements. De nombreux véhicules de transport en commun fonctionnent sur ce principe : trains, trams, trolleys, métros<sup>[19]</sup>.

Une seconde différenciation peut être établie entre véhicules combinant moteur thermique et moteur électrique (véhicules hybrides ou HEV pour Hybrid Electric Vehicles) et véhicules dont la propulsion n'est assurée que par un (ou plusieurs) moteur électrique (véhicules électriques purs ou BEV pour Battery Electric Vehicles). Lorsque le moteur thermique entraîne un alternateur qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement du moteur électrique qui entraîne l'essieu, on parle d'hybride série (les deux moteurs sont montés en série). Lorsque les deux moteurs peuvent, l'un ou l'autre ou l'un et l'autre, entraîner l'essieu, on parle

d'hybride parallèle (les deux moteurs sont montés en parallèle). Les électriques purs peuvent être équipés soit d'un moteur unique engrenant sur un système de transmission mécanique entraînant l'essieu, soit de deux ou quatre moteurs entraînant directement les roues.

### 10.2. Les hybrides

Les véhicules hybrides peuvent soit être pourvus de batteries assez importantes (5 à 10 kWh) rechargeables sur le réseau électrique (on parle alors de PHEV pour Plug-in Hybrid Electric Vehicles) et offrir une autonomie de plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres en mode électrique pur, soit être pourvus de batteries plus modestes (1 à 2 kWh) rechargées par le moteur thermique et/ou la récupération d'énergie à la décélération et au freinage.

Il est difficile de se faire une idée précise de la consommation de carburant des véhicules hybrides : les cycles de test développés pour ce type de véhicules sont très théoriques. Ainsi, pour les *plug-in*, un premier test est réalisé en mode électrique pur, jusqu'à la décharge complète de la batterie (celle-ci étant chargée à 100% au départ). Un second test est réalisé en mode thermique pur. Une moyenne est ensuite calculée en faisant l'hypothèse que 25 km sont roulés entre deux recharges, mais sans prendre en compte l'énergie nécessaire à celle-ci<sup>[67]</sup>. En conditions réelles d'utilisation, le moteur thermique sera proportionnellement plus sollicité que le cycle officiel ne peut le faire penser.

L'offre actuelle de véhicules hybrides se développe principalement dans le moyen-haut de gamme, la puissance cumulée (électrique plus thermique) équivalant voire dépassant celle des versions thermiques.

### 10.3. Les électriques purs

Le rendement énergétique du réservoir aux roues (TTW pour Tank-to-Wheel) des meilleurs véhicules à moteur thermique est, aux conditions habituelles d'utilisation, généralement de l'ordre de 20% pour l'essence à 25% pour le diesel. Le faible rendement énergétique est dû aux pertes thermiques (gaz d'échappement - système de refroidissement) et aux pertes mécaniques par frottements. Pour la propulsion électrique, le rendement énergétique TTW est celui de la prise électrique jusqu'aux roues. Il peut raisonnablement être estimé, en conditions réelles d'utilisation, à 60% environ, soit trois fois mieux que le véhicule thermique<sup>[19]</sup>.

Afin de pouvoir comparer les deux filières sur le plan énergétique, il convient de prendre en compte également le rendement énergétique associé à la mise à disposition de l'énergie (WTT pour Well-to-Tank). Le **tableau 3 (fiche 11)** présente les détails du calcul. Voitures thermiques et électriques présentent des rendements énergétiques WTW (Well-to-Wheel) comparables.

### 10.4. Si la voiture électrique est la réponse, quelle est la question ?

La voiture électrique, dans ses différentes déclinaisons, présente d'indéniables avantages. Sur le plan environnemental, il s'agit de la diminution – voire de l'absence pour les voitures électriques pures – des émissions de polluants locaux et de bruit (à faible vitesse). Ce qui, couplé à l'absence de consommation à l'arrêt et à l'absence de « temps de chauffe » (nécessaire pour qu'un moteur thermique atteigne ses conditions de fonctionnement optimales), rend la voiture électrique particulièrement pertinente pour les déplacements courts en milieu urbain. Elle permet également de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> (pour autant que le mix de production d'électricité ne soit pas majoritairement basé sur des énergies fossiles). Cependant, une voiture reste une voiture : thermique ou électrique, cela ne change rien pour la plupart des incidences associées au système automobile (**fiche 14**). Par ailleurs, le déploiement à large échelle de la voiture électrique pose aussi de nouvelles questions relatives tant aux matériaux utilisés dans les batteries (lithium, cobalt) et les moteurs (terres rares) qu'aux déchets en fin de vie.

En fait, l'intérêt premier de la voiture électrique réside dans l'affranchissement de la dépendance aux pays producteurs de pétrole. Dès lors, la question à laquelle elle répond pourrait être formulée comme suit : comment ne rien changer au système automobile tout en diversifiant les sources d'énergie utilisées et en limitant l'émission de polluants locaux et de bruit à l'utilisation ?

### 10.5. Une opportunité à saisir

Plus un véhicule est léger, moins il faut stocker d'énergie à bord pour lui assurer une autonomie satisfaisante. La motorisation électrique s'applique donc parfaitement aux véhicules modestes. Du vélo à assistance électrique (VAE) à la « mini-voiture », la gamme des nouveaux véhicules potentiels est large<sup>[36]</sup>. Ces véhicules permettraient, sur le plan strictement fonctionnel (et abstraction faite de « l'image »), de répondre à une part importante des besoins de mobilité : la distance moyenne d'un déplacement en Belgique est de 12,3 km et 35% des déplacements sont inférieurs ou égaux à 5 km<sup>[17]</sup>.

*A contrario*, les motorisations électriques pures ne constituent pas une solution raisonnable pour les véhicules lourds, en raison de la très importante masse de batteries qui seraient nécessaires. Ainsi, un camion moyen consomme environ 35 l/100 (contenu énergétique du carburant : 350 kWh). Compte-tenu des différences de rendements des chaînes de motorisation, on peut estimer que, pour parcourir 100 km, un camion tout électrique devrait disposer de batteries de 140 kWh pesant environ 1,4 tonne (ordre de grandeur de la densité énergétique d'une batterie : 0,1 kWh/kg). ■

## 11. L'énergie : sources, transformations et rendements

« Si nous voulons atteindre l'objectif mondial de 2 °C, notre consommation, d'ici à 2050, ne devra pas représenter plus d'un tiers des réserves prouvées de combustibles fossiles. »

International Energy Agency (IEA) :  
World energy outlook 2012

Chauffer son habitation, utiliser un appareil électroménager, conduire sa voiture : ces comportements (quasi)quotidiens dans nos sociétés sont synonymes de consommation énergétique, sous diverses formes : mazout de chauffage, gaz, bois, électricité, carburants...

### 11.1. Il n'y a pas d'énergie sans énergie

Au sens physique du terme, l'énergie désigne ce qui permet de produire un mouvement (on dit aussi effectuer un travail), de fabriquer de la chaleur, d'émettre un rayonnement. Il s'agit donc d'une grandeur qui caractérise l'état d'un corps ou d'un système (entendu comme un ensemble d'éléments interagissant entre eux) : si l'énergie d'un système augmente (diminue), c'est qu'il a reçu (cédé) de l'énergie sous forme de travail, par transfert thermique ou par rayonnement. L'énergie est donc la grandeur qui caractérise la capacité d'un corps ou d'un système à agir sur un autre corps ou sur un autre système.

Il existe plusieurs types d'énergie : mécanique, électrique, chimique, nucléaire, thermique... On peut transformer un type d'énergie en un autre : l'énergie cinétique (mécanique) du vent est transformée en énergie électrique par l'éolienne. Cette électricité peut, à son tour, être transformée en énergie chimique par production d'hydrogène moléculaire ou dihydrogène (H<sub>2</sub>). Celui-ci, dans une pile à combustible, produira de l'électricité en se combinant avec l'oxygène contenu dans l'air. Un moteur électrique pourra transformer celle-ci

en énergie mécanique pour faire tourner les roues d'une voiture. Chaque étape est caractérisée par des pertes, d'autant plus grandes que le rendement de transformation est faible.

Charbon, pétrole, gaz, uranium, biomasse, vent, rayonnement solaire, cours d'eau, marées : de nombreuses sources peuvent être utilisées pour fournir de l'énergie à un véhicule. Exception faite du pétrole et du gaz, l'énergie qu'elles fournissent doit subir une ou plusieurs transformations lourdes pour être utilisable en grandes quantités dans un équipement mobile. Les agro-carburants (**fiche 13**), l'électricité, l'hydrogène moléculaire, l'air comprimé – qui ne constituent nullement de « nouvelles sources » d'énergie – sont issus de ces transformations et sont associés à une ou plusieurs technologies de motorisation. Ainsi, le dihydrogène peut-il être brûlé dans un moteur thermique ou utilisé comme réactif dans une pile à combustible.

### 11.2. Les rendements énergétiques

Lorsqu'est évoqué le rendement d'une voiture, il s'agit généralement du rendement du moteur, soit le rapport entre l'énergie délivrée par celui-ci et l'énergie qu'il absorbe. En raison des pertes (mécaniques, thermiques) le rendement sera toujours strictement inférieur à l'unité : un rendement de 100% caractériserait le mouvement perpétuel.

Il est nécessaire, pour avoir une bonne idée de la performance énergétique du véhicule, de considé-

rer toute la chaîne énergétique, depuis « l'entrée » de l'énergie dans le véhicule jusqu'à la restitution d'énergie mécanique aux roues. La chaîne inclut donc tous les organes dans lesquels ou par le fait desquels se produit une déperdition énergétique: batteries, moteurs, systèmes de transmission, électronique de puissance, etc.

Considérons une voiture à moteur thermique dont nous noterons  $E_u$  l'énergie utile au mouvement (soit celle transmise aux roues motrices). En raison des pertes de transmission,  $E_u$  est inférieure à l'énergie délivrée par le moteur ( $E_{out}$ ) qui est elle-même toujours inférieure à l'énergie absorbée par celui-ci ( $E_{in}$ ).

Si l'on veut connaître la quantité d'énergie primaire ( $E_p$ ) nécessaire pour mouvoir la voiture, il faut encore tenir compte du rendement de la filière de production et de distribution de l'énergie « consommable » par la voiture (essence, diesel, gaz, agrocarburant, électricité, dihydrogène,...) :  $E_p$  est, évidemment, toujours supérieure à  $E_{in}$ . C'est sur cette base seulement qu'il est possible de comparer la consommation énergétique de différentes filières de motorisation automobile.

Ainsi, si l'on note  $\eta_p$  le rendement de production,  $\eta_d$  le rendement de distribution,  $\eta_m$  le rendement moteur,  $\eta_t$  le rendement de transmission et  $\eta_{tot}$  le rendement total de la filière, on a :

$$E_u = \eta_p \cdot \eta_d \cdot \eta_m \cdot \eta_t \cdot E_p = \eta_{tot} \cdot E_p$$

[équation 4]

Dans le cas d'un véhicule électrique, il faut encore intégrer le rendement des batteries ( $\eta_{bat}$ ) et celui de l'électronique de puissance ( $\eta_{él}$ ). L'équation 4 devient alors :

$$E_u = \eta_p \cdot \eta_d \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{él} \cdot \eta_m \cdot \eta_t \cdot E_p = \eta_{tot} \cdot E_p$$

[équation 5]

Le **tableau 3** présente des valeurs caractéristiques des différents rendements pour les filières

thermique (essence) et électrique. Le rendement énergétique global est sensiblement équivalent pour les deux filières. Les chiffres doivent être pris pour ce qu'ils sont : des ordres de grandeur.

Des améliorations/dégradations des différents rendements de la chaîne énergétique entraînent une évolution similaire du rendement total. Ainsi, si les rendements moteurs passent respectivement à 22% et 95% pour les moteurs à essence et électrique, les rendements totaux passent à 18,2% et 18,5%. ■

**Tableau 3 : rendements des filières thermique (essence) et électrique – valeurs moyennes relatives aux meilleures technologies disponibles en conditions réelles d'utilisation**

Filière	$\eta_p$	$\eta_d$	$\eta_{bat}$	$\eta_m$	$\eta_{él}$	$\eta_t$	$\eta_{total}$
Essence	87% <sup>(1)</sup>	/	/	21%	/	95%	17,4%
Electrique	35% <sup>(2)</sup>	90%	70%	90%	90%	98%	17,5%

(1) chiffre global « du puits au réservoir » correspondant donc à  $\eta_p \cdot \eta_d$

(2) valeur relative au mix européen de production d'électricité

## 12. Comparer les carburants

«Egalisation du montant des accises sur le diesel non professionnel et l'essence sur 10 ans.»

Mesure 11 du Plan Kyoto-Transport du SPF Mobilité et Transports, 2007

Les principaux carburants utilisés dans les moteurs thermiques sont le diesel et l'essence. En vertu de la législation européenne, un faible pourcentage (5% environ) de carburants issus de la biomasse (ou agrocarburants) y est incorporé (**fiche 13**). D'autres carburants sont également utilisés, de manière plus marginale : le LPG (pour Liquefied Petroleum Gas ou Gaz de Pétrole Liquéfié) et, dans une moindre mesure, le CNG (pour Compressed Natural Gas ou Gaz Naturel Comprimé). Il est indispensable, pour asseoir les décisions politiques, de pouvoir comparer les contenus énergétiques et les émissions associées aux carburants.

### 12.1. Les hydrocarbures en quelques mots

Les carburants pour moteurs thermiques sont des hydrocarbures qui, comme leur nom l'indique et quelle que soit leur origine, sont essentiellement constitués d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Dans un hydrocarbure, C et H sont combinés sous forme de molécules. Ainsi, le gaz méthane ( $\text{CH}_4$ ) est formé par 4 atomes d'H liés à un atome de C, soit un rapport H/C = 4. Plus un hydrocarbure contient d'hydrogène par rapport au carbone, plus son contenu énergétique par unité de masse est élevé. Plus le nombre de C augmente, plus l'hydrocarbure est dit lourd. A partir de l'hexane ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$  - rapport H/C = 2,33), les hydrocarbures sont liquides à température ambiante et pression atmosphérique. La composition réelle des carburants tels que l'essence (H/C = 1,9) et le diesel (H/C = 1,8) est en fait très complexe : ils contiennent, outre un mélange d'hydrocarbures issus du pétrole, des traces de ré-

sidus qui ne sont pas entièrement éliminés lors des opérations de raffinage ainsi que différents additifs incorporés au carburant pour en améliorer les qualités (anti-mousse, lubrification, résistance à la détonation...).

Le LPG est un mélange d'hydrocarbures ayant un poids moléculaire peu élevé avec trois ou quatre atomes de carbone. Ce carburant est un coproduit de la filière pétrolière et du traitement du brut dans les raffineries. Il est liquide à température ambiante sous une pression de 4 à 5 bars (ou atmosphères).

Le gaz naturel utilisé comme carburant est d'origine fossile et constitué essentiellement de méthane ( $\text{CH}_4$ ). Pour l'utilisation comme carburant routier, il est comprimé à l'état gazeux entre 175 et 200 bars ; d'où l'appellation CNG.

### 12.2. Comment comparer les carburants

Comparer les émissions de  $\text{CO}_2$  par litre de carburant a peu de sens, les masses volumiques et contenus énergétiques des divers carburants étant différentes. De plus, outre la combustion du carburant (phase «*du réservoir à la roue*» ou TTW pour Tank to Wheel), il convient également de prendre en compte la production du carburant, de l'extraction de l'énergie primaire à la mise à disposition à l'utilisateur final (phase «*du puits au réservoir*» ou WTT pour Well to Tank). Le Centre de recherches conjoint de la Commission européenne (JRC) a réalisé l'exercice en 2007<sup>[45, 46]</sup>. Le **tableau 4** en présente les résultats pour l'essence, le diesel et le LPG.

**Tableau 4 : caractéristiques de l'essence, du diesel et du LPG<sup>[45, 46]</sup> et niveaux d'accises<sup>[26]</sup>**

	Essence	Diesel	LPG
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	745	832	550
Energie massique (kWh/kg)	12,00	11,97	12,78
Energie volumique (kWh/l)	8,94	9,96	7,03
Emissions de CO <sub>2</sub> WTT (kgCO <sub>2</sub> /kg)	0,54	0,61	0,36
Emissions de CO <sub>2</sub> TTW (kgCO <sub>2</sub> /kg)	3,17	3,16	3,02
Emissions de CO <sub>2</sub> TTW (kgCO <sub>2</sub> /l)	2,36	2,63	1,66
Emissions de CO <sub>2</sub> WTW (kgCO <sub>2</sub> /kg)	3,71	3,77	3,38
Emissions de CO <sub>2</sub> WTW (kgCO <sub>2</sub> /kWh)	0,309	0,315	0,265
Emissions de CO <sub>2</sub> WTW (kgCO <sub>2</sub> /l)	2,76	3,14	1,86
Accises minimum EU (€/l)	0,359	0,330	0,125
Accises appliquées en Belgique (€/l) <sup>(1)</sup>	0,614	0,428	0,0 <sup>(2)</sup>

(1) Au premier janvier 2013

(2) En vertu de l'article 15, §1, point (i) de la directive 2003/96/CE ; de même, le CNG et l'électricité utilisée à des fins de mobilité sont exempts d'accises

Bien que son énergie massique soit la plus élevée, le LPG émet moins de CO<sub>2</sub> par unité de masse sur l'entièreté de la filière (WTW pour Well to Wheel). Une analyse de la fiscalité appliquée aux carburants fait directement apparaître qu'il n'existe actuellement aucune relation entre le niveau de taxation et le contenu énergétique ou les émissions de CO<sub>2</sub>, que celles-ci soient rapportées à la masse de carburant, au volume ou à l'énergie délivrée. Etablir une fiscalité sur base de l'énergie ou des émissions de CO<sub>2</sub> par unité de volume conduirait à taxer plus le diesel que l'essence et le LPG.

La directive européenne 2003/96/CE fixe des taux minima pour les accises sur les produits énergétiques<sup>[22]</sup> mais les Etats membres ont tous des politiques différentes en la matière. Seul le Royaume-Uni applique les mêmes taux (ordre de 0,620 €/l) sur l'essence et le diesel. En Belgique, le différentiel entre les deux produits est de l'ordre de 0,186€/l (0,614 – 0,428). La Commission européenne a, en 2011, initié une procédure de révision dans le cadre de laquelle elle propose de scinder les taux minima en deux composantes : l'une proportionnelle aux émissions de CO<sub>2</sub> et l'autre au contenu énergétique ; cela implique, au terme d'une période transitoire, que le taux minimum des accises diesel soit supérieur à celui de l'essence. Le processus décisionnel, requérant l'unanimité des Etats membres, n'est pas encore clôturé. ■

## 13. Les agrocarburants

«Cet essor [des agrocarburants] semble par de nombreux aspects avoir précédé notre compréhension des retombées de ce phénomène sur la sécurité alimentaire et l'environnement.»

Organisation des Nations Unies  
pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO),  
Les biocarburants : perspectives,  
risques et opportunités, 2008

Les carburants issus de la biomasse (soit l'ensemble des matières organiques d'origine végétale — algues incluses —, animale ou fongique) sont usuellement appelés biocarburants. Il est préférable, en français, d'utiliser le terme agrocarburants afin d'éviter toute confusion avec les produits issus de la filière biologique.

### 13.1. Un cycle moins fermé qu'il n'y paraît

Les agrocarburants sont réputés s'insérer dans un cycle fermé : les plantes captent du CO<sub>2</sub> en croissant puis sont transformées en agrocarburant dont la combustion émet du CO<sub>2</sub>, les quantités captées compensant les émissions. Il s'agit d'une vision simpliste et erronée. Dans les faits, le cycle est ouvert en raison des changements d'affectation des sols (défrichage — direct ou induit, voir ci-dessous), de l'énergie utilisée pour la production (traction, engrais), de l'énergie requise pour les opérations de transformation et de l'énergie nécessaire pour le transport des carburants.

On distingue cinq filières de production de carburant à partir de la biomasse, seules les trois premières étant mises en œuvre (car applicables et viables) à l'échelle industrielle :

- la filière amidon/sucres, actuellement utilisée pour l'agroéthanol (fabriqué à base de betterave, blé, maïs, canne à sucre...);
- la filière huile, actuellement utilisée pour l'agrodiesel (fabriqué à base de colza, de tournesol, de palme...); les produits de ces deux filières sont les agrocarburants de 1<sup>ère</sup> génération ;

- la filière déchets utilisant la fraction organique des déchets industriels, agricoles et ménagers;
- la filière ligno-cellulosique faisant appel au bois ou aux sous-produits agricoles riches en lignine (agrocarburants de 2<sup>ème</sup> génération) ;
- la filière micro-algues (agrocarburants de 3<sup>ème</sup> génération ou algocarburants).

L'agroéthanol (utilisé en mélange avec l'essence) et l'agrodiesel (utilisé en mélange avec le diesel) présentent une énergie volumique de respectivement 5,91 et 9,10 kWh/l, inférieure à celle des carburants auxquels ils se substituent (essence : 8,94 — diesel : 9,97 kWh/l). En 2011, 4,5% d'agrodiesel et 6% d'agroéthanol environ ont été incorporés dans les volumes de diesel et d'essence mis en vente en Belgique. La densité énergétique des mélanges étant — principalement pour l'essence — inférieure à celle du carburant fossile pur, la consommation s'en trouve légèrement augmentée.

### 13.2. La politique européenne

La directive 2009/28/CE sur les énergies renouvelables (RED pour Renewable Energy Directive) impose un objectif de 10% d'utilisation d'énergie renouvelable dans les transports à l'horizon 2020<sup>[24]</sup>. En raison de leurs impacts négatifs, la Commission a proposé, en octobre 2012, de limiter la contribution des agrocarburants qui entrent en concurrence avec l'alimentation : ceux-ci ne pourraient compter pour plus de la moitié (5%) de l'objectif européen de 10%. La directive 2009/30/CE relative à la qua-

lité des carburants (FQD pour Fuel Quality Directive) impose une diminution de 6% de l'intensité carbone (exprimée en kgCO<sub>2</sub>/kWh) des carburants à l'horizon 2020<sup>[25]</sup> (phase WTT – voir **fiche 12**) ; la manière dont sont comptabilisées les émissions associées aux divers agrocarburants est ici déterminante.

### 13.3. Energie, alimentation et aspects sociaux

En Belgique, 1 ha produit 8.270 kg de blé, de quoi faire 13.780 pains... ou (environ) 1.150 litres d'éthanol net (l'équivalent énergétique de 720 litres d'essence). Un plein de 4X4 (ou d'une grosse berline, soit 80 litres) d'éthanol correspond donc à 960 pains ou 552 kg de blé. De quoi nourrir une personne pendant un an (selon l'OMS, une alimentation «équilibrée», intégrant viande et poisson, mobilise 450 kg de céréales par an et par personne).

Remplacer 10% de l'essence européenne par de l'éthanol consommerait 2,5% des céréales mondiales. Remplacer 10% du diesel européen par de l'agrodiesel capterait 19% de la consommation mondiale de graisses végétales<sup>[47]</sup>. Or, diminuer la consommation de carburants de 10%, c'est possible sans même modifier en profondeur nos modes de vie : une simple application des règles de l'éco-conduite y suffit.

Le développement des cultures énergétiques dans les pays du sud produit de nombreux impacts négatifs, tant sociaux (problèmes d'accès à la terre, à l'eau et à la nourriture, exposition aux

substances toxiques, asservissement des travailleurs) qu'environnementaux (dégradation des sols et de la biodiversité, émissions de CO<sub>2</sub>)<sup>[57]</sup>. Les principaux mécanismes à l'œuvre sont :

- l'appropriation du foncier et les violations des droits élémentaires des populations indigènes ;
- le développement des monocultures extensives ;
- la compétition entre les cultures d'exportation (énergétiques ou alimentaires) et les cultures vivrières destinées aux populations locales ;
- le non-respect des droits des travailleurs.

### 13.4. Changements d'affectation des sols

Le changement d'affectation des sols désigne l'affectation de terres à des cultures destinées à des fins énergétiques. Les émissions liées par exemple à un défrichage de tourbières ou de forêts peuvent se révéler tellement importantes en regard des diminutions d'émissions induites par les agrocarburants (par rapport aux carburants d'origine pétrolière auxquels ils se substituent) que le « temps de retour sur investissement CO<sub>2</sub> » (temps au bout duquel les effets positifs compensent les effets négatifs initiaux) peut se chiffrer en dizaines, voire en centaines d'années. Or, les émissions mondiales de gaz à effet de serre doivent baisser dès maintenant – pas dans 300 ans...

Par effets indirects, on entend les changements d'affectations des sols produits dans un territoire B du fait que le territoire A remplace des cultures

existantes par des cultures destinées à la production d'agrocarburants, diminuant d'autant sa production de nourriture (ou de nourrissage pour le bétail, ou de tensio-actifs pour l'industrie...), nécessitant que des terres soient libérées dans un autre territoire (B en l'occurrence) pour compenser cette diminution. Les effets indirects sont souvent évoqués sous leur acronyme anglais ILUC (pour Indirect Land Use Change), celui-ci étant cependant généralement utilisé dans le seul domaine des émissions de CO<sub>2</sub>. ■

## 14. Au-delà de la pollution : les incidences du système automobile

« Congestion du réseau routier, pollution atmosphérique, bruit, changements climatiques, retards affectant la vie économique, stress, accidents, insécurité, destruction irréversible des paysages, pollution des eaux... La liste est longue des effets que notre façon de nous déplacer fait payer à la collectivité. »

Conseil Fédéral du Développement Durable,  
Avis-cadre pour une mobilité compatible  
avec le développement durable, 2004

Les incidences du système de transport sont nombreuses et multidimensionnelles : elles se manifestent au niveau local comme au niveau global, sur les plans économique, social et environnemental et durant les différentes étapes de la vie des véhicules et des infrastructures. Un aperçu des principales incidences est succinctement présenté dans les paragraphes suivants. Les émissions de gaz à effet de serre ont été traitées à la **fiche 4** ; les polluants locaux et le bruit font l'objet de la **fiche 5**.

### 14.1. Dépendance énergétique

La facture pétrolière européenne journalière a atteint un milliard d'euros au printemps 2008 ; le pétrole fournit 98% de l'énergie consommée par le secteur des transports, lequel représente environ un tiers de la consommation finale d'énergie en Europe<sup>[29]</sup>. Quels que soient les sources et les vecteurs d'énergie sollicités, la quantité totale d'énergie consommée par le secteur des transports est telle que, pour un pays comme la Belgique, le maintien du degré de mobilité actuel implique l'importation massive d'énergie.

### 14.2. Déplétion des ressources naturelles

Avec ses 58,5 millions de véhicules fabriqués annuellement, le marché automobile est un grand consommateur de ressources dont certaines sont en voie d'épuisement : des métaux « conventionnels », bien sûr, mais aussi d'autres matériaux (dont certains éléments du groupe des terres rares) requis par les nouvelles technologies : le lanthane pour les batteries au nickel, le néodyme, le dysprosium et le samarium pour les aimants de certains moteurs électriques, etc.

### 14.3. Déchets

Durant les différentes étapes de leur durée de vie, les véhicules rejettent notamment des métaux lourds, des huiles minérales et des déchets ultimes. Au-delà de ces pollutions locales attachées à l'utilisation, d'importants mouvements « d'exportation de la pollution » sont observés. Actuellement, entrent dans les filières de recyclage 30% seulement des véhicules qui, atteints par la « limite d'âge », sortent du parc belge. Le solde quitte le territoire national pour d'autres pays (d'Afrique principalement) où les filières de recyclage sont rarement développées.

### 14.4. Impacts des infrastructures sur les milieux naturels

Au-delà des incidences directes (pollution, ruissellements, bruit...), la fragmentation du territoire peut conduire à l'isolement de populations animales, éventuellement suivi de leur déclin par manque de croisement génétique ou parce que la taille critique de survie de la population n'est plus atteinte. La Belgique et la Wallonie sont particulièrement touchées par ce phénomène, en raison de la très forte densité du réseau routier (respectivement 503 et 479 km de routes pour 100 km<sup>2</sup>).

### 14.5. Sécurité et sédentarité

En Belgique, les accidents de la route ont, en 2010, causé 840 décès (dont 25% de moins de 25 ans), 5.984 blessés graves et 54.396 blessés

légers recensés. Si la sécurité des occupants des véhicules s'est fortement améliorée ces dernières décennies (on déplorait 2.915 décès en 1973), les usagers faibles (piétons, cyclistes) heurtés par les véhicules représentent 21% des tués<sup>[52]</sup>.

Par ailleurs, le recours systématique à la voiture crée un problème paradoxal dans une société de plus en plus mobile : celui de la sédentarisation ou, plus exactement, du manque d'activités physiques qui est notamment l'une des causes directes du développement de l'obésité dans les pays industrialisés

### 14.6. Espace public et convivialité

De nos jours, l'espace public en zone urbanisée est largement (ordre de grandeur : 70%) dévolu à la circulation et au parcage des véhicules motorisés. Cette appropriation s'est progressivement réalisée en quelques décennies, au détriment d'autres fonctions, et provoque une régression de la convivialité : l'espace public n'est plus un lieu de rencontre au sein duquel les piétons se déplacent librement.

### 14.7. Inégalités sociales

Le système automobile est profondément inégalitaire, tant en matière d'accès à la mobilité que d'exposition aux nuisances. Les personnes ayant les revenus les plus modestes ont moins facilement accès à l'automobile et sont plus souvent soumises à ses incidences négatives du fait de la

relation entre prix du logement et proximité immédiate avec des routes à fort trafic : l'immobilier est moins cher là où les nuisances sont les plus fortes.

Cette inégalité d'accès à l'automobile génère une inégalité d'accès au marché du travail : le cas n'est pas rare d'un demandeur d'emploi se voyant refuser l'accès à une fonction pour laquelle la possession d'un véhicule est requise – véhicule que seul un salaire lui permettrait d'acquérir.

### 14.8. Coûts externes

La collectivité doit prendre en charge une série de coûts non payés par les automobilistes : ces coûts sont associés aux impacts négatifs des véhicules (bruit, accidents, pollution) ou à la mise à disposition des infrastructures ; ils équivalent à environ 7,3 % du PIB au niveau européen. Par ailleurs, la congestion des réseaux d'infrastructures est telle que le temps de production perdu dans les embouteillages représente environ 0,7 % du PIB au niveau européen<sup>[38]</sup>.

La désurbanisation induite par le système automobile pèse également lourdement sur les budgets publics. L'exode urbain de ces dernières décennies a généré une série de dépenses « cachées » associées aux infrastructures (voirie, réseaux de distribution d'eau alimentaire et d'électricité...), aux superstructures (écoles, hôpitaux, piscines, crèches...) et à la desserte par des agents spécialisés (distribution du courrier, collecte des déchets...)<sup>[14]</sup>. ■

## 15. Au-delà de la technologie : les solutions politiques et sociétales

« Les options techniques seules ne permettent pas d'atteindre l'objectif de la Commission européenne de 60% de réduction des émissions de gaz à effet de serre des transports en 2050. [...] L'optimisation de la demande par le biais d'une meilleure utilisation des véhicules, de la suppression de trajets inutiles et du transfert modal sera dès lors indispensable. »

Agence Européenne de l'Environnement (EEA) :  
Laying the foundations for greener transport, 2011

### 15.1. L'impossible véhicule vert

Selon la Commission européenne (communication du 28 avril 2010), « Les véhicules verts ont des impacts environnementaux très faibles durant tout leur cycle de vie : ils utilisent des sources d'énergie à faible intensité carbonique, produisent très peu d'émissions polluantes atmosphériques et d'émissions sonores et peuvent être facilement recyclés. »<sup>[11]</sup>

Malgré le flou dont on l'entoure (« faible », « très peu », « facilement »), un véhicule automobile peut-il vraiment répondre à cette définition ? Quelle que soit la technologie développée, la réponse est clairement « Non ! ». Seuls les véhicules de mobilité douce (vélos et apparentés), de taille modeste, offrant un bon rapport entre la masse transportée et la masse du véhicule, peuvent être considérés comme « verts ». Cependant, la voiture, dans son utilisation actuelle, demeure à court terme nécessaire pour le bon fonctionnement de nos sociétés. Les développements des dernières décennies, notamment en matière d'aménagement du territoire, ont tous pris comme hypothèse l'existence d'un important taux de motorisation de la popu-

lation. Il est donc tout à fait pertinent de se poser la question de l'efficacité environnementale des véhicules. Mais il convient, en parallèle, de s'extraire de la logique techno-centrée dans laquelle nos sociétés se sont enfermées et d'envisager d'autres outils, dans le cadre d'une approche systémique.

### 15.2. De la mobilité à l'accessibilité

La finalité d'un transport est d'accéder (ou donner accès) aux biens, aux lieux, aux services... Deux critères peuvent être utilisés pour qualifier un (système de) transport : la mobilité – mesurée par le nombre de kilomètres parcourus par unité de temps – et l'accessibilité – mesurée par le nombre de lieux, de biens, de services auxquels on peut accéder par unité de temps. C'est sur le premier critère que sont fondées toutes les politiques de transport depuis des décennies, tandis que le deuxième, que de nombreux analystes estiment plus pertinent, est généralement ignoré des décideurs. Ainsi, les pratiques en matière d'aménagement du territoire (éparpillement de l'habitat, regroupement des activités dans des pôles monofonctionnels...) et de services à la population (centralisation des écoles et hôpitaux, suppression de bureaux de poste...) concourent-elles à une détérioration de l'accessibilité.

### 15.3. Quatre axes pour l'action politique

Selon l'OCDE, un système de mobilité durable est « un système dans lequel les transports ne com-

*promettent pas la santé publique ni les écosystèmes et répondent aux besoins d'accès dans des conditions compatibles avec (a) une consommation des ressources renouvelables à un rythme inférieur à leur vitesse de régénération et (b) une consommation de ressources non-renouvelables à un rythme inférieur à celui de développement des produits renouvelables de remplacement.* »<sup>[55]</sup>  
Nul besoin d'une analyse en profondeur pour comprendre que les systèmes de mobilité actuels des pays développés, largement basés sur le transport routier (voiture individuelle et camion) ne sont pas durables.

Rencontrer la définition de l'OCDE et porter remède aux incidences du système de mobilité requiert d'en développer une analyse globale. Il convient, pour ce faire, de prendre en compte les nombreuses et complexes interactions avec tous les secteurs d'activités humaines (industrie, agriculture, logement...) ainsi que les aspects culturels et sociétaux (habitudes de consommation, tensions entre possession et partage des biens...). Au terme d'une réflexion systémique exemplaire, le Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD) identifie, dans son « *Avis cadre pour une mobilité compatible avec le développement durable* » de février 2004, quatre grandes voies d'action. Il s'agit, par ordre décroissant de potentiel d'amélioration du système de mobilité, de<sup>[15]</sup> :

**1.** la gestion de la demande de mobilité dont le CFDD estime qu'elle « *doit être à la base d'une*

*stratégie de mobilité durable, avec l'objectif de maîtriser la demande de mobilité et de rationaliser les moyens de la satisfaire, en encourageant une régulation des besoins individuels* » ;

**2.** l'amélioration de l'offre des alternatives aux transports routier et aérien pour encourager le transfert modal ;

**3.** les innovations technologiques concernant tous les moyens de transport : amélioration de l'efficacité énergétique, diminution des pollutions spécifiques, etc. ;

**4.** la sensibilisation de la population et des acteurs socio-économiques pour rendre chacun plus conscient des impacts que ses choix de mobilité peuvent causer.

#### 15.4. Quatre catégories d'outils pour les pouvoirs publics

Il est de la responsabilité des citoyens de poser des choix individuels minimisant les impacts négatifs des transports. De même, il est de la responsabilité des pouvoirs législatif et exécutif de créer un cadre légal performant pour bâtir le système de mobilité soutenable du futur et guider le citoyen dans ses choix. Les outils dont disposent pour ce faire les pouvoirs publics relèvent de quatre catégories :

**1.** la planification (aménagement du territoire, investissements en transport en commun, soutiens à la recherche-développement...);

**2.** les normes et réglementations (normes de

produits, code de la route...);

**3.** la fiscalité (taxe de mise en circulation, taxe de circulation, accises, prélèvement kilométrique...);

**4.** l'information et la sensibilisation.

Face à l'intense lobbying et au marketing visant à maintenir le système automobile sans le repenser en profondeur, il convient de mobiliser des outils réputés peu consensuels. La fiscalité et la normalisation – dans le cadre d'une planification à long terme – sont seules à même d'impulser une transition suffisamment rapide pour répondre aux enjeux. L'information ne peut intervenir qu'à titre de soutien, pour expliquer aux citoyens et aux entreprises la motivation des pouvoirs publics. ■

« Actuellement, le transport est parfois « victime de son propre succès », dans la mesure où un trafic excessif porte atteinte à l'environnement et est une cause d'inefficacité économique, sans compter qu'il amoindrit l'utilité des investissements infrastructurels. Dans ces conditions, la gestion de la demande de transport apparaît comme une activité légitime et nécessaire des gouvernements, qui incombe notamment aux ministères des transports, mais aussi à ceux des finances, de l'économie, de l'environnement, ainsi que de la politique sociale et du développement. »

Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT), Gérer les déterminants de la demande de transport, 2003

### 16.1. Un modèle non généralisable

Si le taux de motorisation de l'humanité (7 milliards d'êtres humains) était égal à celui existant en Belgique (soit une voiture pour 2,03 habitants), le parc automobile mondial frôlerait les 3,5 milliards d'unités (au lieu de 800 millions).

Si le kilométrage de ces voitures était le même que celui des voitures belges (en arrondissant, 15.000 km/an en moyenne), 52.500 milliards de km seraient roulés chaque année (soit 350.930 fois la distance Terre-Soleil ou encore 5,55 années-lumière), ce qui générerait (compte tenu du cycle de vie total des véhicules) environ 11 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit approximativement ce que la planète pourrait supporter (et qui se monte à plus ou moins 12 GtCO<sub>2</sub>) sans dommage de la part de l'humanité (qui ne pourrait dès lors plus se chauffer, se nourrir, etc. sans mettre en jeu sa propre survie). Ceci pour la seule dimension « climat » du problème.

### 16.2. En recherche d'une vision

Les facteurs matériels (infrastructures, industries, urbanisation...) et immatériels (organisation du travail, habitudes socioculturelles...) qui déterminent la demande de transport présentent généralement des dynamiques de modification assez lentes et des « durées d'action » importantes. D'où la nécessité de développer une vision à long terme d'un système de mobilité durable et désirable et d'identifier les moyens à mettre en œuvre pour l'atteindre.

Le Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD) soulignait en 2004 dans son « Avis cadre pour une mobilité compatible avec le développement durable » que « Il n'existe pas au niveau national belge de vision politique prospective sur la mobilité des prochaines décennies. Les autorités semblent vouloir prolonger le modèle existant, en l'accompagnant de certaines mesures correctrices. Néanmoins, deux grands défis vont se présenter dans les prochaines décennies : la raréfaction des combustibles fossiles et l'amplification des changements climatiques. Ces deux défis ne semblent pas être perçus à leur juste niveau par les décideurs politiques, en particulier en ce qui concerne la croissance attendue des émissions de gaz à effet de serre, si aucune politique structurelle n'est mise en œuvre. »<sup>[15]</sup>

Vu les contextes climatique et énergétique, des modifications verront le jour dans les années et décennies à venir. Si ce n'est volontairement, ce sera de manière contrainte (bouleversement environnementaux, géostratégiques, sociaux, économiques). Il est préférable d'opter pour une transition volontaire ; plus tôt sera-t-elle initiée, moins douloureuses en seront les inévitables adaptations.

### 16.3. Le tabou de la demande

De plus en plus nombreux sont les acteurs, en ce compris ceux actifs dans l'industrie automobile ou dans le secteur des énergies, à reconnaître que la technique ne peut apporter réponse à tout. Ainsi, l'IFP Energie nouvelle (organisme public français de recherche et de développement dans le domaine de l'énergie, des transports et de l'environnement) souligne sur son site internet (sous le titre « *Repenser la mobilité* ») que « *l'innovation technologique ne résoudra pas tout. La rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans les transports amène à repenser, plus globalement, la mobilité.* »

Les pouvoirs publics – la Commission européenne constitue à cet égard un cas de figure – ont cependant une tendance marquée à promouvoir les solutions d'ordre technologique. Ceci s'explique notamment par le souci d'éviter de mettre en œuvre le principal levier d'action d'une politique de mobilité durable : la gestion de la demande. Celle-ci s'inscrit en effet en complète rupture tant avec les évolutions du secteur durant les dernières décennies qu'avec un des fondements de nos sociétés : le concept de croissance. Une non-croissance, voire une décroissance des transports ne peut, pour certains, tout simplement pas être pensée.

De nombreux acteurs se sont prononcés en faveur d'une maîtrise de la demande de mobilité. En 2002, l'OCDE concluait en ces termes une

étude sur le sujet : « *Pour réduire la demande de transport routier et la dépendance à l'égard de l'automobile, il est fondamental de proposer des solutions de transport viables. L'accroissement de la capacité routière au détriment des investissements dans les transports publics, dans les infrastructures piétonnes et les pistes cyclables, met à mal les efforts consentis afin d'induire un transfert modal.* »<sup>[53]</sup>

La réduction de la demande constitue cependant toujours un tabou politique. Briser cet interdit nécessite d'accepter le constat du caractère non soutenable de l'actuel système de mobilité. Mettre en œuvre de manière optimale ce que défend actuellement le tabou – le contrôle de la demande – requiert d'opérer une distinction claire entre la motivation à agir (l'objectif poursuivi) et les actions (les moyens utilisés).

La réduction de la demande, pas plus que les développements technologiques, ne doit constituer une fin en soi. Elle fait partie des actions potentielles qui doivent être mobilisées sur base d'une motivation politique. Celle-ci devrait être définie en harmonie avec les règles de la morale, entendue comme l'ensemble des devoirs, interdits et valeurs qui sont en vigueur dans notre société et qui permettent aux humains qui la composent de vivre ensemble harmonieusement. L'une de ces valeurs phares est le respect de nos contemporains (ici et ailleurs) et des générations futures, respect incompatible avec le maintien d'un système de mobilité non soutenable.

Ce dont nos sociétés ont besoin aujourd'hui, c'est de choix politiques courageux, affranchis de quarante années de tradition de « tout-à-la-route ». C'est à ces conditions seulement que nous pourrions atteindre un modèle durable, c'est-à-dire qui permettra à nos enfants de répondre à leurs besoins de mobilité ou, plus fondamentalement, d'accessibilité. Puisse le présent document participer, modestement, à faire émerger de tels choix politiques. ■

## 1. Préfixes et notations

Les préfixes et notations les plus couramment appliqués aux grandeurs physiques sont :

**n** : nano – divisé par un milliard ou  $10^{-9}$  fois (1 nm = un nanomètre = un milliardième de mètre);

**μ** : micro – divisé par un million ou  $10^{-6}$  fois;

**m** : milli – divisé par mille ou  $10^{-3}$  fois;

**k** : kilo – mille fois ou  $10^3$  fois (1 kWh = un kilowattheure = 1000 Wattheure);

**M** : méga – un million de fois ou  $10^6$  fois;

**G** : giga – un milliard de fois ou  $10^9$  fois;

**T** : téra – 1000 milliards de fois ou  $10^{12}$  fois.

## 2 Energie et puissance

L'**énergie** est la grandeur qui caractérise la capacité d'un corps ou d'un système à agir sur un autre corps ou sur un autre système. Dans le système international d'unités (ou SI), l'énergie se mesure, en joules (J). D'autres unités sont plus usitées que le joule. Le kilowattheure (kWh) est utilisé pour quantifier les consommations électriques, de même que les multiples du Joule (MJ, GJ, ...). Un kWh correspond à l'énergie nécessaire pour élever de 10 mètres une masse de 36 tonnes. La tonne équivalent pétrole (tep, c'est-à-dire l'équivalent de l'énergie comprise dans une tonne de pétrole) et ses multiples sont utilisés pour quantifier les consommations d'énergie à l'échelle d'un pays. Quelque peu tombée en désuétude, la calorie (cal) est encore utilisée par les nutritionnistes – qui, très couramment, laissent tomber le préfixe des milliers et notent Cal à la place de kcal (kilocalorie).

Le **travail** d'une force est l'énergie fournie par cette force lorsque son point d'application se déplace (l'objet subissant la force se déplace ou se déforme).

La **puissance** d'un système (d'une voiture par exemple) est égale à la quantité d'énergie échangée par unité de temps. La puissance se mesure, dans le système international d'unités, en watts (W), avec la relation  $1W = 1J/s$  (un Watt égale un Joule par seconde).

Le **tableau A1** présente les facteurs de conversion pour passer d'une unité à l'autre. A titre d'exemple, pour convertir 164 MWh en tep, il faut multiplier 164 par le chiffre du tableau se trouvant sur la ligne MWh et dans la colonne tep (0,086) :

$$164 \text{ MWh} = 164 \times 0,086 \text{ tep} = 14,104 \text{ tep}$$

## 3. Bruit

Entre l'amplitude sonore minimale (appelée seuil d'audibilité) et l'amplitude maximale audible par l'homme (appelée seuil de la douleur), il existe un facteur 5 millions<sup>[82]</sup>. L'oreille humaine peut donc être comparée à une balance pouvant peser des poids compris entre 1 gramme et 5 tonnes. Pour mesurer plus aisément cette amplitude sonore, on utilise une échelle logarithmique exprimée en **décibels (dB)**. La gamme de variation en amplitude de 0 à 5.000.000 correspond alors à une gamme de variation du niveau sonore en décibels de 0 à 134 dB. Les niveaux sonores auxquels l'oreille est sensible s'étalent de 0 dB à 120 dB. Au-delà, on atteint le seuil dit de la douleur, niveau sonore à partir duquel l'oreille est douloureuse.

Tableau A1 : facteurs de conversion des principales unités d'énergie

	kWh	MWh	GWh	MJ	GJ	tep	Kcal
1 kWh	1	$10^{-3}$	$10^{-6}$	3,6	0,0036	$86 \cdot 10^{-6}$	862
1 MWh	$1^3$	1	$10^{-3}$	3600	3,6	0,086	$862 \cdot 10^3$
1 GWh	$10^6$	$10^3$	1	$3,6 \cdot 10^6$	3600	86	$862 \cdot 10^6$
1 MJ	0,2778	$278 \cdot 10^{-6}$	$278 \cdot 10^{-9}$	1	$10^{-3}$	$24 \cdot 10^{-6}$	239
1 GJ	277,8	0,2778	$278 \cdot 10^{-6}$	$1^3$	1	$24 \cdot 10^{-3}$	$239 \cdot 10^3$
1 tep	$11,6 \cdot 10^3$	11,628	$11,6 \cdot 10^{-3}$	$41,86 \cdot 10^3$	41,86	1	$10,02 \cdot 10^{-6}$
1 kcal	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-9}$	$4,18 \cdot 10^{-3}$	$4,18 \cdot 10^{-6}$	$99,76 \cdot 10^{-9}$	1

Les décibels étant des logarithmes, on ne peut les additionner ou les soustraire comme des nombres décimaux. Ainsi, un doublement de l'énergie sonore correspond à une augmentation de l'émission sonore de seulement 3dB.

Pour un même volume sonore, un son aigu sera mieux entendu – et plus dérangeant – qu'un son grave. L'oreille fonctionne en effet comme un filtre qui laisse passer plus aisément certaines fréquences – celles des sons les plus aigus. Pour tenir compte de cette différence de sensibilité lors de mesures acoustiques, on utilise un filtre de fréquences de manière à obtenir une image aussi fidèle que possible à ce qui est perçu par l'homme. Lorsque cette pondération dite « A » est appliquée, le niveau sonore est exprimé en **dB(A)**.

Pour évaluer la gêne produite par un bruit, on se sert d'indicateurs. Les indicateurs de bruit sont des grandeurs physiques décrivant le bruit dans l'environnement, bruit corrélé à un effet nuisible. De nombreux indicateurs existent et sont plus ou moins adaptés selon le type de sources sonores. Les valeurs obtenues par ces indicateurs permettent de comparer la gêne aux normes ou critères définis en la matière. Ils sont notamment utilisés pour quantifier l'impact sonore dans les zones exposées au bruit des aéroports.

L'indicateur **L<sub>dn</sub>** représente le niveau acoustique équivalent sur une journée, additionné d'une pénalité de 10 dB(A) aux niveaux du bruit mesurés la nuit (22h00-07h00).

L'indice **L<sub>den</sub>** est équivalent à l'indicateur L<sub>dn</sub> sauf

qu'il ajoute une pénalité supplémentaire de 5 dB(A) pour les bruits apparaissant en soirée (19h00- 22h00).

Ces indicateurs présentent cependant des limites: ainsi, le L<sub>dn</sub> et le L<sub>den</sub> donnent une moyenne sur la journée ce qui implique que quelques très gros bruits, pourtant plus dérangeants, auront la même valeur qu'un bruit de fond continu de plus faible intensité.

## 4. Classes de véhicules

### 4.1. Catégories

Les véhicules à moteurs sont soumis à un système de classement européen. Les trois grandes classes sont identifiées par une lettre majuscule : L pour les véhicules légers, M pour les voitures, N pour les utilitaires. Chaque classe est subdivisée en sous-classes identifiées par un chiffre qui peut être suivi d'une lettre minuscule ou d'une combinaison de deux ou trois lettres (majuscules et minuscules).

Les véhicules de la catégorie L sont définis à l'article 4 et à l'annexe I du règlement (UE) n° 168/2013<sup>[66]</sup> tandis que ceux des catégories M et N sont définis à l'annexe II de la directive 2007/46/CE<sup>[23]</sup>. Les principales catégories et sous-catégories sont présentées ci-dessous.

**Catégorie L**: véhicules motorisés à deux, trois ou quatre roues de longueur inférieure ou égale à 4000 mm, de largeur inférieure ou égale à 2000 mm et de hauteur inférieure ou égale à 2500 mm.

- **Catégorie L1e**: deux-roues motorisés légers (vélos à moteur (puissance inférieure ou égale à 1 kW) et cyclomoteurs à deux roues).
- **Catégorie L2e**: cyclomoteurs à trois roues.
- **Catégorie L3e**: motocycles à deux roues (communément appelés motos).
- **Catégorie L4e**: motocycles à deux roues avec side-car.
- **Catégorie L5e**: tricycles motorisés.
- **Catégorie L6e**: quadricycles légers.
- **Catégorie L7e**: quadricycles lourds.

**Catégorie M**: véhicules à moteur conçus et construits pour le transport de passagers et ayant au moins quatre roues.

- **Catégorie M1**: véhicules conçus et construits pour le transport de passagers comportant, outre le siège du conducteur, huit places assises au maximum.
- **Catégorie M2**: véhicules conçus et construits pour le transport de passagers comportant, outre le siège du conducteur, plus de huit places assises et ayant un poids maximal ne dépassant pas 5 tonnes.
- **Catégorie M3**: véhicules conçus et construits pour le transport de passagers comportant, outre le siège du conducteur, plus de huit places assises et ayant un poids maximal supérieur à 5 tonnes.

**Catégorie N**: véhicules à moteur conçus et construits pour le transport de marchandises et ayant au moins quatre roues.

- **Catégorie N1** : véhicules conçus et construits pour le transport de marchandises ayant un poids maximal ne dépassant pas 3,5 tonnes.
- **Catégorie N2** : véhicules conçus et construits pour le transport de marchandises ayant un poids maximal supérieur à 3,5 tonnes mais ne dépassant pas 12 tonnes.
- **Catégorie N3** : véhicules conçus et construits pour le transport de marchandises ayant un poids maximal supérieur à 12 tonnes.

#### 4.2. Segments

De nombreux systèmes de classement en différents segments coexistent pour les voitures (catégorie M1), qui ne sont malheureusement pas

**Tableau A2 : système de classification des voitures en différents segments**

Segment	Dénomination anglophone	Exemples
A	City-car	Fiat 500, Smart Fortwo
B	Small	Ford Fiesta, Toyota Yaris
C	Medium	Peugeot 308, Skoda Octavia
D	Large	Audi A4, Renault Laguna
E	Executive	Mercedes E-300, Volvo S80
F	Luxury	BMW 730, Porsche Panamera
J	Sport Utility Vehicle (SUV)	Nissan Qashqai, VW Touareg
M	Multi Purpose Vehicle (MPV)	Chrisler Voyager, Citroën Picasso
S	Sports coupés	Honda S2000, Lotus Elise

homogénéisés. Le tableau A2 présente le système le plus répandu en Europe (certains segments étant parfois subdivisés pour mieux rendre compte de la diversité des modèles).

#### 4.3. Types

Les notions de type et de variante de véhicules sont introduites à l'annexe II B de la directive 2007/46/CE qui établit un cadre pour la réception des véhicules <sup>[23]</sup>.

En ce qui concerne la catégorie M1, on entend par « type » des véhicules identiques sous au moins les aspects essentiels suivants :

- constructeur ;
- désignation de type du constructeur ;

- caractéristiques essentielles de construction et de conception ;
- châssis/plancher (différences évidentes et fondamentales) ;
- moteur (combustion interne/électrique/hybride).

En ce qui concerne la catégorie M1, on entend par « variante » les véhicules d'un type identiques sous au moins les aspects suivants :

- genre de carrosserie (limousine, coupé, cabriolet, break, etc.) ;
- moteur :
  - principe de fonctionnement (allumage commandé/allumage par compression; quatre temps/deux temps) ;
  - nombre et disposition des cylindres ;
  - différences de puissance supérieures à 30% (la puissance la plus élevée est plus de 1,3 fois supérieure à la puissance la plus faible) ;
  - différences de cylindrée supérieures à 20% (la valeur la plus élevée est plus de 1,2 fois supérieure à la valeur la plus faible) ;
- essieux moteurs (nombre, emplacement, interconnexion) ;
- essieux directeurs (nombre et emplacement).

Par ailleurs, l'annexe II C de la directive 2007/46/CE définit également la notion de type de carrosserie. Pour les véhicules de la catégorie M1, on distingue six types de carrosserie :

- AA : Berline.
- AB : Voiture à hayon arrière : berline (AA) dotée d'un hayon à l'arrière du véhicule.

- AC : Break (familial).
- AD : Coupé.
- AE : Cabriolet.
- AF : Véhicule à usages multiples, soit un véhicule à moteur autre que ceux visés sous AA à AC et destiné au transport de voyageurs et de leurs bagages ou de leurs biens, dans un compartiment unique et respectant certains critères en termes de nombre de places assises et de masse du véhicule.

## 5. Normes Euro

Les normes dites Euro réglementent les émissions de polluants qui affectent la santé humaine. La norme Euro 1 applicable aux véhicules particuliers et utilitaires légers (soit tous les véhicules des catégories M1, M2, N1 et N2 définis à l'annexe II de la directive 70/156/CEE et dont la masse de référence ne dépasse pas 2 610 kg) est entrée en vigueur en 1993, la 2 en 1996, la 3 en 2000 et la 4 en 2005. Les valeurs applicables dans le cadre des normes Euro 5 (règlement (CE) n° 715/2007)<sup>[61]</sup> et Euro 6 (règlement (UE) n° 459/2012)<sup>[65]</sup> sont présentées aux **tableaux A3 et A4**. ■

**Tableau A3 : normes Euro 5 et 6 - Véhicules à moteur à allumage commandé**

Norme	Entrée en vigueur <sup>[a]</sup>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	PM	PN <sup>[b]</sup>
		mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km
Euro 5	01/2011	1000	100	60	/	5	/
Euro 6	09/2015	1000	100	60	/	4,5	6,0 x 10 <sup>11</sup> <sup>[c]</sup>

<sup>[a]</sup> : entrée en vigueur pleine et entière, c'est-à-dire tant en ce qui concerne la réception des véhicules que leur vente et leur immatriculation

<sup>[b]</sup> : limite applicable aux seuls véhicules équipés d'un moteur à injection directe

<sup>[c]</sup> : limite fixée à 6,0 x 10<sup>12</sup> particules par km pendant une période transitoire de trois ans

NO<sub>x</sub> : oxydes d'azote

CO : monoxyde de carbone

HC : hydrocarbures

PM : masse de particules fines

PN : nombre de particules fines

**Tableau A4 : normes Euro 5 et 6 - Véhicules à moteur à allumage par compression**

Norme	Entrée en vigueur	CO	HC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	PM	PN
		mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	#/km
Euro 5	01/2011	500	/	180	230	5	/
Euro 6	09/2015	500	/	80	170	4,5	6,0 x 10 <sup>11</sup>

## Liste des acronymes

<b>ABS</b>	Anti-lock Blocking System, désigne un système d'assistance au freinage
<b>AEE</b>	Agence Européenne pour l'Environnement (voir EEA)
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle, véhicule électrique « pur », dont la propulsion n'est assurée que par un (ou plusieurs) moteur(s) électrique(s)
<b>CE</b>	Commission Européenne
<b>CEE-ONU</b>	Commission Économique pour l'Europe des Nations unies (voir UNECE)
<b>CEMT</b>	Conférence Européenne des Ministres des Transports (aujourd'hui IFT)
<b>CFDD</b>	Conseil Fédéral du Développement Durable
<b>CI</b>	Compression Ignition, désigne les moteurs thermiques à allumage par compression
<b>CNG</b>	Compressed Natural Gas (voir GNC)
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone
<b>COV</b>	Composé Organique Volatil
<b>CPDT</b>	Conférence Permanente du Développement Territorial
<b>EEA</b>	European Environment Agency (voir AEE)

<b>ESP</b>	Electronic Stability Control, désigne un système de correction électronique de trajectoire
<b>ETSC</b>	European Transport Safety Council
<b>EU15</b>	Europe des 15
<b>EU27</b>	Europe des 27
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organisation of the United Nations (Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
<b>FAP</b>	Filtre à particules
<b>FQD</b>	Fuel Quality Directive (directive 2009/30/CE)
<b>GES</b>	Gaz à Effet de Serre
<b>GNC</b>	Gaz Naturel Comprimé (voir CNG)
<b>GPL</b>	Gaz de Pétrole Liquéfié (voir LPG)
<b>HC</b>	Hydrocarbure
<b>HEV</b>	Hybrid Electric Vehicle, véhicule hybride, dont la propulsion peut être assurée par un moteur thermique ou un (ou plusieurs) moteur(s) électrique(s)
<b>IBSR</b>	Institut Belge pour la Sécurité Routière
<b>ICEDD</b>	Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable

<b>IEA</b>	International Energy Agency	<b>PI</b>	Positive Ignition, désigne les moteurs thermiques à allumage commandé
<b>IFPEN</b>	IFP Energies nouvelles (autrefois Institut Français du Pétrole)	<b>PM</b>	Particulate Matter, désigne les particules fines
<b>IFT</b>	International Transport Forum (autrefois CEMT)	<b>RED</b>	Renewable Energy Directive (directive 2009/28/CE)
<b>ILUC</b>	Indirect Land-Use Change (Changement d'affectation des sols indirect)	<b>SPF</b>	Service Public Fédéral
<b>JRC</b>	Joint Research Center (Centre de recherches conjoint de la Commission européenne)	<b>SPW</b>	Service Public de Wallonie
<b>LowCVP</b>	Low Carbon Vehicle Partnership	<b>SUV</b>	Sport Utility Vehicle, désigne un véhicule de type « 4 X 4 »
<b>LPG</b>	Liquid Petroleum Gas (voir GPL)	<b>T&amp;E</b>	Transport and Environment, Fédération européenne pour le Transport et l'Environnement
<b>MPV</b>	Multi-Purpose Vehicle, désigne un véhicule de type « monovolume »	<b>TTW</b>	Tank to Wheel, désigne la phase « <i>du réservoir à la roue</i> » du cycle de vie d'un carburant, d'un vecteur d'énergie ou d'un véhicule
<b>NEDC</b>	New European Driving Cycle	<b>UNECE</b>	United Nations Economic Commission for Europe (voir CEE-ONU)
<b>NOISE</b>	Noise Observation and Information Service for Europe	<b>VAE</b>	Vélo à Assistance Électrique
<b>NO<sub>x</sub></b>	Oxyde d'azote	<b>WHO</b>	World Health Organisation (voir OMS)
<b>OCDE</b>	Organisation de Coopération et de Développement Economiques	<b>WLTC</b>	Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycles
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development	<b>WTT</b>	Well to Tank, désigne la phase « <i>du puits au réservoir</i> » du cycle de vie d'un carburant, d'un vecteur d'énergie ou d'un véhicule
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé (voir WHO)	<b>WTW</b>	Well to Wheel, désigne les phases « <i>du puits à la roue</i> » du cycle de vie d'un carburant, d'un vecteur d'énergie ou d'un véhicule
<b>PHEV</b>	Plug-in Hybrid Vehicle, véhicule hybride rechargeable		

## Bibliographie

- [1] Adams J.: The social implications of hypermobility, « The economic and social implications of sustainable transportation », Ottawa workshop, OCDE, 1999
- [2] Belgium's greenhouse gas inventory (1990-2010) - National Inventory Report submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol, January 2013
- [3] Bureau fédéral du Plan : Comparaison des recettes publiques avec les dépenses publiques et les coûts environnementaux liés aux transports, Indicateurs de transport, 2011
- [4] Bureau fédéral du Plan : Comparaison de l'évolution de la longueur des différents réseaux, Indicateurs de transport, 2013
- [5] Bureau fédéral du Plan : Nombre de points d'arrêt sur le réseau ferroviaire, ventilation selon transport de voyageurs/marchandises, Indicateurs de transport, 2013
- [6] Carslaw D. et al.: Trends in NO<sub>x</sub> and NO<sub>2</sub> emissions and ambient measurements in the UK, prepared for Defra, 18th July 2011
- [7] Cellule Etat de l'Environnement Wallon (2007) : Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007, MRW - DGRNE, Namur
- [8] Cellule Etat de l'Environnement wallon : Tableau de bord de l'environnement wallon 2010, SPW-DGARNE-DEMNA-DEE
- [9] Centre d'analyse stratégique : Les nouvelles mobilités, Paris, 2010
- [10] Centre d'analyse stratégique : La voiture de demain : carburants et électricité, Paris, 2011
- [11] Commission européenne : Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil et au Comité économique et social européen, Une stratégie européenne pour des véhicules propres et économes en énergie, COM(2010) 186 final, Bruxelles, avril 2010
- [12] Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT) : Gérer les déterminants de la demande de transport, 2003
- [13] Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT) : Réduire les émissions de NO<sub>x</sub> de la circulation routière, 2006
- [14] Conférence Permanente du Développement Territorial (CPDT) : Les coûts de la désurbanisation, Etudes et documents, Liège, 2000
- [15] Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD) : Avis cadre pour une mobilité compatible avec le développement durable, 2004
- [16] Conseil Fédéral du Développement Durable (CFDD) : Avis concernant la modernisation de la mise à disposition des informations des émissions CO<sub>2</sub> des véhicules, 2012
- [17] Cornélis E. et al. : Belgian daily mobility – Beldam, Enquête sur la mobilité quotidienne des Belges, Rapport final, Politique scientifique fédérale, 2012
- [18] Courbe P. : Taxer plus, taxer mieux – Plaidoyer pour une fiscalité automobile au service de l'environnement, Fédération Inter-Environnement Wallonie, 2009
- [19] Courbe P. : Véhicules électriques ? Changer de mobilité, pas de voiture !, Fédération Inter-Environnement Wallonie, Namur, 2010
- [20] Deutsche Umwelthilfe : Extrem hohe Emissionen von gesundheits und klimaschädlichen Schadstoffen - Testergebnisse: Benzinmotoren mit Direkteinspritzung, 2011
- [21] Directive 1999/94/CE du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 1999 concernant la disponibilité d'informations sur la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> à l'intention des consommateurs lors de la commercialisation des voitures particulières neuves
- [22] Directive 2003/96/CE du Conseil du 27 octobre 2003 restructurant le cadre

communautaire de taxation des produits énergétiques et de l'électricité

- [23] Directive 2007/46/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 septembre 2007 établissant un cadre pour la réception des véhicules à moteur, de leurs remorques et des systèmes, des composants et des entités techniques destinés à ces véhicules (directive-cadre)
- [24] Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE
- [25] Directive 2009/30/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril modifiant la directive 98/70/CE en ce qui concerne les spécifications relatives à l'essence, au carburant diesel et aux gazoles ainsi que l'introduction d'un mécanisme permettant de surveiller et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, modifiant la directive 1999/32/CE du Conseil en ce qui concerne les spécifications relatives aux carburants utilisés par les bateaux de navigation intérieure et abrogeant la directive 93/12/CEE
- [26] Directorate-General Taxation and customs union (DG Taxud): Excise duty tables, European Commission, January 2013
- [27] Duysinx P : Performances du véhicule – Forces propulsives aux roues et forces de résistance, notes de cours, Université de Liège, 2012
- [28] European Commission: EU transport in figures, Statistical pocketbook, 2012
- [29] European Environment Agency (EEA): Laying the foundations for greener transport, 2011
- [30] European Environment Agency (EEA): Monitoring CO<sub>2</sub> emissions from new passenger cars in the EU: summary of data for 2011, Copenhagen, 2012
- [31] European Federation for Transport and Environment (T&E): Biofuels: handle with care - An analysis of EU biofuel policy with recommendations for action, 2009
- [32] European Federation for Transport and Environment (T&E): How clean are Europe's cars? An analysis of carmaker progress towards EU CO<sub>2</sub> targets in 2011, December 2012
- [33] European Federation for Transport and Environment (T&E): Mind the Gap! Why official car fuel economy figures don't match up to reality, March 2013
- [34] European Transport Safety Council (ETSC): Speed fact sheet - German Autobahn: The Speed Limit Debate, 2008
- [35] European Transport Safety Council (ETSC): Speed fact sheet - Downsizing and speed: Towards a new philosophy of designing cars?, 2008
- [36] Fédération Inter-Environnement Wallonie (IEW): Les opportunités de la mobilité électrique : IEW propose un autre « Masterplan » , Namur, juin 2012
- [37] IFP-Energies nouvelles (IFPEN) : Vers un véhicule particulier à deux litres aux 100 km - Un objectif réaliste qui mobilise les équipes d'IFP Energies nouvelles, Communiqué de presse, 27 Septembre 2012
- [38] INFRAS/IWW : External costs of transport, Update study, Zurich/Karlsruhe, October 2004
- [39] Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable (ICEDD) : Mobilité et environnement – Cémathèque n° 24, Ministère wallon de l'Équipement et des Transports, 2008
- [40] Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable (ICEDD) : Bilan énergétique de la Wallonie 2010 – bilan de consommation des transports, Service public de Wallonie, avril 2012
- [41] Institut Wallon : La gestion de la demande de mobilité – Cémathèque n° 3, Ministère wallon de l'Équipement et des Transports, 2002
- [42] International Council on Clean Transportation (ICCT): European Vehicle

Market Statistics, 2011

- [43] International Council on Clean Transportation (ICCT): Discrepancies between type approval and real-world fuel consumption and CO<sub>2</sub> values, Working paper, 2012
- [44] International Energy Agency (IEA): World Energy Outlook 2012
- [45] Joint Research Center (JRC): Well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context, Tank-to-wheels report, Version 2c, Appendix 2, March 2007
- [46] Joint Research Center (JRC): Well to wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context, Well-to-tank report Version 2c, March 2007
- [47] Joint Research Center (JRC): Biofuels in the European Context: Facts and Uncertainties, European Commission, 2008
- [48] Joint Research Center (JRC): Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car), European Commission, 2008
- [49] Kieffer M. : Energie utile au déplacement d'une voiture, 2008
- [50] La voiture citoyenne – Pondération, bulletin de la Ligue contre la violence routière, Paris, novembre 2005
- [51] Noise Observation and Information Service for Europe (NOISE): Main results on people noise exposure according to the data provided by Member States under the frame of the Environmental Noise Directive, September 2012
- [52] Nuyttens N. et al. : Analyse statistique des accidents de la route 2010, Institut Belge pour la Sécurité Routière (IBSR), Bruxelles, 2012
- [53] Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) : La demande de trafic routier – relever le défi, Paris, 2002

- [54] Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) : Le coût et l'efficacité des mesures visant à réduire les émissions des véhicules, Table ronde 142, 2008
- [55] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD): Project on environmentally sustainable transport (EST), The economic and social implications of sustainable transportation, Proceedings from the Ottawa workshop, Paris, 2000
- [56] Organisation Mondiale de la Santé (OMS) : Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation, Genève, 2004
- [57] Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) : La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture – Les biocarburants : perspectives, risques et opportunités, Rome, 2008
- [58] Patterson J. et al.: Preparing for a Life Cycle CO<sub>2</sub> measure - A report to inform the debate by identifying and establishing the viability of assessing a vehicle's life cycle CO<sub>2</sub> footprint, Ricardo for LowCVP, 2011
- [59] Proposition de Règlement du Parlement européen et du Conseil concernant le niveau sonore des véhicules à moteur, COM(2011) 856 final
- [60] Proposition de Règlement du Parlement européen et du Conseil modifiant le règlement (CE) n° 443/2009 en vue de définir les modalités permettant d'atteindre l'objectif de 2020 en matière de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des voitures particulières neuves, COM(2012) 393 final
- [61] Règlement (CE) N° 715/2007 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2007 relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules
- [62] Règlement (CE) N° 692/2008 de la Commission du 18 juillet 2008 portant application et modification du règlement (CE) N° 715/2007 du Parlement

- européen et du Conseil du 20 juin 2007 relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules
- [63] Règlement (CE) N° 443/2009 du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 établissant des normes de performance en matière d'émissions pour les voitures particulières neuves dans le cadre de l'approche intégrée de la Communauté visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules légers
- [64] Règlement (UE) N° 510/2011 du Parlement européen et du Conseil du 11 mai 2011 établissant des normes de performance en matière d'émissions pour les véhicules utilitaires légers neufs dans le cadre de l'approche intégrée de l'Union visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules légers
- [65] Règlement (UE) N° 459/2012 de la Commission du 29 mai 2012 modifiant le règlement (CE) N° 715/2007 du Parlement européen et du Conseil ainsi que le règlement (CE) N° 692/2008 de la Commission en ce qui concerne les émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 6)
- [66] Règlement (UE) N° 168/2013 Du Parlement européen et du Conseil du 15 janvier 2013 relatif à la réception et à la surveillance du marché des véhicules à deux ou trois roues et des quadricycles
- [67] Règlement N° 83 de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE-ONU) - Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des véhicules en ce qui concerne l'émission de polluants selon les exigences du moteur en matière de carburant
- [68] Réseau des conseillers en mobilité : Mobilité, consommation d'énergie et pollution de l'air : quels enjeux pour demain ?, La Cémathèque n°5, MET-DG3, Namur, 2002
- [69] Service public fédéral (SPF) Mobilité et Transports : Plan Kyoto Transport, 2007
- [70] Service public fédéral (SPF) Santé, Sécurité de la chaîne alimentaire et Environnement : guide CO<sub>2</sub> de la voiture, 2012
- [71] Solidarité des Alternatives Wallonnes et Bruxelloises (SAW-B) : La mobilité rurale alternative en Wallonie, 2011
- [72] Statbel : Statistiques des véhicules à moteur au 1er août 2011 – Tableau 1A : aperçu rétrospectif, 2011
- [73] Thys B. : kilomètres parcourus par les véhicules belges durant l'année 2010, Service public fédéral Mobilité et Transports, Bruxelles, mars 2012
- [74] TNO et al.: Support for the revision of Regulation (EC) N° 443/2009 on CO<sub>2</sub> emissions from cars, prepared for European Commission, 2011
- [75] TNO: Road load determination of passenger cars, prepared for the dutch Ministry of Infrastructure and The Environment and the European Climate Foundation, October 2012
- [76] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE): WLTP-DHC-16-06e\_rev.xlsx (Finalized test cycle), document de travail, janvier 2013
- [77] World Health Organization (WHO): Guidelines for Community noise, 1999
- [78] World Health Organization (WHO): Transport, Environment and health, WHO regional publications. European series, N°. 89, 2000
- [79] World Health Organization (WHO): Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide, Report on a WHO Working Group, Bonn, Germany, 13-15 January 2003
- [80] World Health Organization (WHO): Night noise guidelines for Europe, 2009
- [81] World Health Organization (WHO): Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe, 2011
- [82] Xhonneux V. : Sources et impacts sanitaires du bruit lié aux transports, Fédération Inter-Environnement Wallonie, Septembre 2010

Pour les personnes désireuses d'approfondir certains des aspects des politiques de mobilité présentés dans ce document, voici une sélection de sites internet que nous recommandons.

### En Belgique

#### Fédération Inter-Environnement Wallonie :

**[www.ieww.be](http://www.ieww.be)**

Le site présente l'ensemble des positions et analyses de la Fédération, dans toutes les thématiques traitées (énergie, aménagement du territoire, santé, mobilité...).

#### Site santé-environnement :

**[www.sante-environnement.be](http://www.sante-environnement.be)**

Hébergé par la Fédération Inter-Environnement Wallonie, ce site-portal a pour objectif de partager l'information relative à la santé environnementale.

#### Service public de Wallonie :

**[www.mobilite.wallonie.be](http://www.mobilite.wallonie.be)**

Le site de l'administration régionale présente l'ensemble des informations relatives aux politiques de mobilité en Wallonie : acteurs, outils, législation, réalisations...

#### Service public fédéral Mobilité et Transports :

**[www.mobilit.fgov.be](http://www.mobilit.fgov.be)**

Le site de l'administration fédérale regroupe toutes les informations relatives aux politiques fédérales de mobilité, en ce compris des études et analyses thématiques.

#### Climat en Belgique :

**[www.climat.be](http://www.climat.be)**

Hébergé par la Direction générale Environnement du Service public fédéral Santé publique, Sécurité de la chaîne alimentaire et Environnement, le site regroupe les informations relatives tant à la problématique climatique qu'aux politiques menées en Belgique.

#### Bureau fédéral du plan, base de données Transport :

**[http://www.plan.be/databases/database\\_det.php?lang=fr&TM=30&IS=60&DB=TRANSP&ID=14](http://www.plan.be/databases/database_det.php?lang=fr&TM=30&IS=60&DB=TRANSP&ID=14)**

Cette base de données d'indicateurs de mobilité et de transport fournit une information détaillée sur la situation et l'évolution du transport et de la mobilité en Belgique.

## En Europe et au-delà

### European Federation for Transport and Environment :

[www.transportenvironment.org](http://www.transportenvironment.org)

La Fédération européenne Transport and Environment est reconnue comme interlocuteur privilégié par les autorités européennes ; son site présente ses nombreuses analyses et études, toujours d'un très haut niveau.

### European Commission – Mobility and Transport :

[http://ec.europa.eu/transport/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/index_en.htm)

Les différentes politiques européennes de mobilité ainsi que de nombreuses études et analyses sont présentées sur le site de la direction générale Mobilité et Transport de la Commission européenne.

### European Commission – Climate action - Reducing emissions from transport:

[http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm)

Ce site présente la stratégie européenne de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> du transport ; politiques menées, documentation et études sont détaillées pour chaque mode.

### European Commission – Enterprise and Industry - Directives and regulations - motor vehicles:

[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/directives/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/directives/index_en.htm)

Ce site regroupe l'ensemble des documents de référence, directives et règlements (dont les normes d'émissions) relatifs aux véhicules motorisés gérés par la Direction générale Entreprises et industrie.

### European environment agency :

<http://www.eea.europa.eu/>

L'Agence Européenne de l'Environnement publie de nombreuses études et analyses fort intéressantes, dont les rapports annuels TERM, indicateurs de durabilité des transports en Europe. On trouve par ailleurs sur le site une bibliothèque de données, cartes et indicateurs relatifs aux différentes thématiques environnementales.

### The International Transport Forum at the OECD :

<http://internationaltransportforum.org>

Autrefois Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT), le Forum International des Transports est un organisme intergouvernemental regroupant 54 pays. Le site présente de nombreuses ressources : rapports de recherches, tables rondes, statistiques...

### The International Council on Clean Transportation :

<http://www.theicct.org>

L'International Council on Clean Transportation est une organisation internationale sans but lucratif basée aux États-Unis dont la mission est de fournir des analyses scientifiques et techniques indépendantes aux décideurs politiques. De

nombreux documents de très grande qualité sont disponibles sur son site, de l'analyse du marché automobile européen à celle des tendances en matière de design et d'efficacité énergétique des avions commerciaux. ■

