

Les coûts marginaux externes du transport public de personnes en milieu urbain Estimations chiffrées pour la Belgique

V. BONIVER et B. THIRY *

*Service d'Economie politique et de Microéconomie appliquée
de l'Université de Liège*

To obtain a better allocation of travellers between the different transport modes, economists' prescription is to make transport users pay the marginal social cost of their trip. This social cost equals the sum of marginal private and external costs of an extra vehicle. In this paper, we try to estimate the marginal external costs of an additional public transport vehicle in cities (bus, tramway, subway) and to evaluate them in monetary terms. Our estimations concern mainly the agglomeration of Brussels. We concentrate on four main marginal external costs : congestion, air pollution, noise and road accidents. Our results will be compared with those obtained for the car in urban area. However, we must precise that they depend closely on the supposed hypothesis, especially concerning the traffic flow, the vehicle occupancy rates and the value of life. So, our results are only one estimation among others.

Introduction

Nos villes souffrent considérablement de la congestion du trafic, en particulier aux heures de pointe. Ce trafic génère des nuisances multiples qui dégradent les conditions de vie urbaine et constituent un des facteurs de l'exode vers les banlieues, exode qui est à son tour générateur de trafic entre le centre urbain et la périphérie.

Pour obtenir une meilleure allocation des transports, l'utilisateur d'un

* Cet article a été réalisé dans le cadre du programme d'impulsion "Transport et mobilité" des Services de Programmation de la Politique Scientifique (contrat S.P.P.S. n°TR/C9/021) financé par l'Etat belge.

Nous tenons ici à remercier tout particulièrement Inge MAYERES de la KUL (Leuven) qui doit être considérée comme co-auteur du présent article. Nous remercions également Barbara SAK pour son aide précieuse lors de l'encodage des données sur Excel et pour ses remarques constructives.

mode de transport particulier (véhicule automobile, bus, tram, métro, chemin de fer) devrait supporter le coût global de son déplacement. Celui-ci comprend non seulement les coûts privés directement supportés (coût monétaire + coût en temps) mais également les coûts marginaux externes¹. Ces derniers représentent tous les coûts qu'un usager supplémentaire de la route occasionne aux autres utilisateurs, ou à la société en général, et qui ne sont pas répercutés dans le prix du transport.

L'internalisation de ces coûts externes selon le principe "émetteur-payeur" devrait permettre d'aboutir à une équivalence entre le coût global du déplacement (coût privé + coûts marginaux externes) et les coûts effectivement supportés par les usagers. Dans le cadre du développement futur de la politique commune des transports, les Communautés européennes ont d'ailleurs inscrit dans leur programme d'action cette politique d'imputation des coûts externes du transport aux utilisateurs : "... les usagers des transports devront, en règle générale, payer la totalité des coûts, internes et externes, du service de transport qu'ils utilisent..."²

Si on décide d'internaliser les coûts marginaux externes (en imposant par exemple des redevances additionnelles), il convient tout d'abord de procéder à leur identification et à leur évaluation tant physique que monétaire. Ces deux étapes préalables constituent l'objet du présent travail qui s'attarde plus particulièrement sur les coûts sociaux marginaux du transport public secondaire (bus, tram, métro) en milieu urbain. Nous étudierons successivement les coûts marginaux de congestion, de pollution atmosphérique, de pollution sonore et des accidents.

La méthodologie retenue s'apparente à celle proposée par I. MAYERES (1993) pour la voiture particulière. Elle inclut évidemment certaines hypothèses additionnelles pour tenir compte des particularités du transport

¹ Nous avons choisi la terminologie "coûts externes" plutôt que "coûts sociaux" pour éviter toute confusion. En effet, on définit parfois les coûts sociaux comme étant les coûts totaux au niveau de la collectivité qu'il s'agisse de coûts directement supportés par l'utilisateur ou de coûts supportés par autrui.

² Cf. Commission des Communautés européennes, Le développement futur de la politique commune des transports. Construction d'un cadre communautaire garant d'une mobilité durable, COM (92) 494 final, Bruxelles, le 2 décembre 1992, p. 20.

public secondaire. Nos résultats, qui concernent pour l'essentiel l'agglomération de Bruxelles, sont ensuite confrontés aux résultats obtenus pour la voiture en milieu urbain.

Le modèle théorique ³ qui sous-tend notre méthodologie repose sur le raisonnement suivant. Si le trafic s'accroît d'une unité suite à l'introduction d'un véhicule supplémentaire, les coûts totaux (internes et externes) liés au transport vont augmenter. Cette augmentation affectera les coûts qui dépendent directement du nombre de véhicules composant le trafic, en particulier les coûts privés (coûts monétaires et coûts en temps), les coûts liés à l'environnement et les coûts des accidents. Parmi ceux-ci, seuls les coûts marginaux externes retiendront notre attention, soit l'augmentation des coûts qui affectent les autres usagers suite à l'introduction d'un véhicule de transport public additionnel. Les coûts marginaux internes (ou privés) sont quant à eux déjà internalisés.

1. Définition de l'approche

Avant de présenter nos estimations des coûts marginaux externes du transport public secondaire, il importe de nous attarder, au préalable, sur certaines définitions et sur quelques aspects méthodologiques qui ont le mérite de préciser mieux encore le sujet de notre analyse.

Dans notre analyse, seuls seront pris en compte les coûts **marginaux et externes** qui apparaissent à **court terme**. Certains coûts externes n'ont pas été pris en compte dans notre analyse,

- soit parce qu'ils relèvent d'une analyse à plus long terme : pensons notamment aux dépenses d'investissement liés à l'infrastructure ainsi qu'aux investissements fonciers liés à la consommation d'espace (pour la circulation et pour le stationnement) ⁴;

³ Cf. I. MAYERES (1993).

⁴ Ces types de dépenses impliquent souvent un phénomène de discontinuité : souvent importantes, elles apparaissent de manière ponctuelle dans le temps pour faire face à un trafic devenu important.

- soit parce qu'ils sont quasi nuls en termes marginaux : pensons notamment aux coûts de maintenance de l'infrastructure liés principalement à l'usure de la route;
- soit encore parce que leur quantification et leur évaluation monétaire est quasiment impossible : pensons notamment aux effets visuels et esthétiques sur l'environnement, à la pollution du sol et indirectement à la pollution de l'eau.

Notre analyse se limite à estimer, à court terme, les coûts marginaux de congestion, ceux liés à la pollution de l'air et au bruit et les coûts marginaux des accidents.

Il importe de bien préciser le **point de vue choisi** pour définir chacun d'eux.

Reprenant le schéma présenté par P. GROSCLAUDE (1991), chaque coût externe peut être défini selon :

- le point de vue de l'utilisateur,
- le point de vue de la catégorie de véhicules,
- le point de vue du mode de transport (route, rail, air, eau),
- le point de vue du système de transport (représenté par tous les usagers des transports),
- le point de vue de la collectivité (représenté par tous les individus, qu'ils soient utilisateurs ou non des transports).

Plus la désagrégation est importante, plus la part relative du coût externe dans le coût global du transport augmente.

Dans notre analyse, il convient idéalement de retenir le point de vue de l'utilisateur car notre objectif est d'inciter chaque usager, par une tarification au coût marginal social, à utiliser les transports de manière optimale.

Si dans le cas d'un véhicule privé, un usager supplémentaire correspond généralement à un véhicule supplémentaire, il n'en va pas de même pour un véhicule de transport public. Le point de vue de l'utilisateur ne peut donc

être assimilé ici au point de vue du véhicule. Pour les transports publics urbains, nous raisonnons donc ci-après **en termes de véhicule supplémentaire** pour définir et évaluer le coût marginal externe du transport public secondaire.

Dès que ce coût marginal du véhicule sera évalué, il faudra ensuite procéder à son imputation entre les différents usagers. Dans cette deuxième étape de notre analyse, nous avons opté pour une **imputation au coût moyen par voyageur** qui, à notre avis, est plus logique que l'imputation au coût marginal. Dans ce dernier cas, l'imputation présente une discontinuité : en effet, tant que le véhicule n'est pas saturé, le coût marginal imputé à l'usager est nul mais dès que le véhicule est saturé, le coût marginal imputé à l'usager supplémentaire est égal au coût marginal du véhicule.

La première étape de notre analyse qui consiste à évaluer les coûts marginaux externes liés au transport se heurte à une **double difficulté**. Il faut pouvoir non seulement **mesurer** ces coûts mais également, si possible, les **évaluer** en termes monétaires.

Si on arrive assez facilement à exprimer ces coûts externes en quantités physiques (par exemple, l'émission de gaz polluants dû au trafic routier, le niveau de décibels émis par ce trafic, le nombre de tués et de blessés dans les accidents de la route, ...), convertir ces quantités en valeurs monétaires s'avère plus délicat. En effet, le bruit, la pollution, les accidents n'ont pas de prix puisqu'il n'existe pas de marché correspondant. Des méthodes indirectes sont donc utilisées pour tenter d'estimer la valeur monétaire de ces différents coûts : citons notamment la méthode du coût d'évitement, la méthode de dépréciation du prix du logement ou évaluation hédoniste, la méthode de la disposition à payer ou évaluation contingente. Selon la disponibilité des informations, les évaluations rencontrées dans la littérature font référence à l'une ou l'autre de ces méthodes.

La plupart des estimations chiffrées des coûts externes du transport réalisées dans différents pays s'inscrivent cependant dans une **approche globale**. Elles montrent l'importance des coûts externes globaux pour le

secteur du transport routier ⁵ et en particulier pour les transports publics urbains ⁶.

L'approche retenue dans le présent travail s'inscrit de son côté dans une **approche marginale**. Le problème posé n'est donc pas d'évaluer l'ensemble des coûts sociaux liés au transport public secondaire, mais uniquement ceux qu'un véhicule additionnel impose aux autres usagers de la route ou à la société en général.

Nous tentons donc ci-après, pour chacun des quatre coûts sociaux retenus (la congestion, la pollution de l'air, le bruit et les accidents), d'estimer le coût additionnel résultant de l'introduction d'un véhicule de transport public supplémentaire. Ce coût du véhicule supplémentaire sera ensuite imputé à chaque passager. Notre approche est donc **descriptive** et se limite à estimer les coûts marginaux externes qui peuvent être observés dans des situations bien déterminées.

Nous envisagerons successivement le cas d'un autobus, d'un tram et d'un métro. Ce coût marginal sera exprimé en FB de 1989 pour un véhicule qui parcourt une distance d'un kilomètre en distinguant dans la mesure du possible les heures de pointe et les heures creuses. Nos estimations sont synthétisées dans la section 6. Les sections 2 à 4 précisent de leur côté nos hypothèses de travail ainsi que la méthodologie retenue pour estimer les quatre principaux coûts marginaux externes du transport public secondaire.

⁵ Selon les estimations de l'O.C.D.E.(1990), les coûts externes des transports routiers liés au bruit, à la pollution de l'air et aux accidents atteignent globalement entre 2,5% et 3% du P.I.B.(soit respectivement 0,1% pour le bruit, 0,4% pour la pollution de l'air et de 2% à 2,4% pour les accidents).

⁶ Selon N. SOGUEL (1992), la responsabilité des transports publics urbains de Neuchâtel dans le coût social du trafic routier atteint 1% (contre 82% pour le transport privé de personnes et 17% pour le transport de marchandises).

2. Les coûts marginaux de congestion

A. Identification des coûts marginaux de congestion et méthode retenue pour estimer la valeur du temps

Identification

Les coûts marginaux de congestion liés au transport public secondaire et pris en compte dans notre analyse représentent les coûts imposés aux autres usagers de la route suite au ralentissement de la vitesse de circulation occasionné par un véhicule de transport public additionnel, plus précisément un bus ou un tram qui ne circule pas sur site propre ⁷. Il s'agit essentiellement de coûts en temps qui augmentent sensiblement lorsque le réseau routier se rapproche de son point de saturation, en particulier durant les heures de pointe.

Outre le coût en temps, la congestion provoque également un coût en carburant pour les autres catégories de véhicules suite au ralentissement de leur vitesse de circulation. Ce ralentissement de la vitesse lié à la congestion entraîne également une pollution (de l'air et du bruit) additionnelle qui sera prise en compte ci-après (cf. sections 3 et 4).

Méthode indirecte de valorisation du temps

Les coûts marginaux de congestion étant identifiés comme étant, pour l'essentiel, des coûts en temps, il convient d'utiliser une méthode indirecte permettant de valoriser ce temps.

A défaut de valeurs du temps pour la Belgique, nous avons retenu, comme approximations, celles obtenues aux Pays-Bas par le HAGUE

⁷ Le véhicule qui circule sur site propre est supposé avoir un coût marginal de congestion quasi nul : la perte de temps supportée par les autres usagers n'apparaît en effet qu'aux carrefours et aux feux de croisement. De son côté, le métro souterrain ne provoque aucun coût de congestion (au sens défini ci-avant) puisqu'il se caractérise par une infrastructure qui ne gêne en rien la circulation en surface des autres catégories de véhicules.

CONSULTING GROUP (H.C.G., 1990) pour le transport de personnes et par DE JONG et al.(1993) pour le transport de marchandises. Ces valeurs ont été converties en FB de 1989⁸. L'approche retenue par le H.C.G. est celle de la *disposition à payer* qui permet de déterminer le prix que les individus sont disposés à payer pour gagner du temps dans leur déplacement (=valeur des gains de temps). Pour appliquer cette approche, le H.C.G. a utilisé essentiellement la *méthode des préférences déclarées* : les individus sont invités à exprimer leurs préférences sur base de choix hypothétiques qui leur sont proposés lors d'une enquête.

⁸ - Valeurs moyennes du temps pour le transport de personnes ("in-vehicle time", en FB 1989/h)

	Voitures	Bus/tram
domicile-travail :	218,35	182,94
affaires :	717,67	717,20
autres :	172,74	108,16

- Valeurs moyennes du temps pour le transport de marchandises (en FB 1989/h) :
Camions : 1057,75

Pour appliquer ces valeurs, nous supposons que la répartition des déplacements par motif de déplacement est la suivante. Notre principale source d'information est l'enquête STRATEC menée dans la Région bruxelloise en 1990-91. L'enquête STRATEC menée à Charleroi en 1989-90 nous a par ailleurs permis de dégager une clé de répartition pour isoler les déplacements pour affaires.

	Domicile-travail	Affaires	Autres
<u>Aux heures de pointe :</u>			
En voiture	60%	8%	32%
En bus (ou en tram)	49%	1%	50%
<u>Aux heures creuses :</u>			
En voiture	33%	17%	50%
En bus (ou en tram)	31%	1%	68%

Enfin, en ce qui concerne les taux d'occupation, pour la voiture, nous supposons un taux moyen d'occupation de 1,2 pour les déplacements domicile-travail et pour les déplacements d'affaires; un taux moyen d'occupation de 1,8 pour les autres motifs. Ces taux d'occupation de la voiture sont supposés identiques aux heures de pointe et aux heures creuses. Par contre, en bus, le taux d'occupation varie sensiblement selon le moment de la journée : en heures de pointe, nous supposons un nombre moyen d'occupants de 60 pour le bus et 96 pour le tram, en heures creuses, nous supposons un nombre moyen d'occupants de 14 pour le bus et de 22 pour le tram.

B. Estimation du coût marginal de congestion des bus et des trams urbains (ne circulant pas sur site propre)

Hypothèses de travail

H1 : Nous limitons notre raisonnement au cas d'un réseau urbain en supposant deux flux de trafic ⁹: 400 véhicules par heure dans un sens aux heures de pointe ¹⁰ et 150 véhicules par heure dans un sens aux heures creuses ¹¹.

H2 : La composition du trafic se présente comme suit.

- Aux heures de pointe ¹²:
 - . 95% de voitures,
 - . 1% de camions,
 - . les 4% restants sont répartis entre les bus et les trams sur base des données de la STIB.
- Aux heures creuses ¹³:
 - . 92% de voitures,
 - . 7% de camions,
 - . le 1% restant est réparti entre les bus et les trams sur base des données de la STIB.

H3 : Pour tenir compte de l'effet de congestion qui diffère selon le type de véhicule, on exprime le flux de trafic non pas en nombre de véhicules

⁹ Ces hypothèses de trafic ont été choisies de façon à obtenir, sur base de la relation de Newbery entre la vitesse moyenne et le flux de trafic (cf. équation (1)), une vitesse moyenne proche de 30 km/h aux heures de pointe (hypothèse acceptable sur base du plan IRIS) et proche de 40 km/h aux heures creuses (notre hypothèse de travail).

¹⁰ La durée de la période de pointe diffère d'une ville à l'autre. Si, dans la plupart des villes moyennes, on distingue une heure de pointe le matin (en général entre 8h et 9h) et une heure de pointe le soir (en général entre 17h et 18h), à Bruxelles, par contre, la période de pointe est nettement plus longue : de 7h à 9h le matin, de 16h (parfois même 15h) à 19h le soir.

¹¹ Bien que la durée de la période creuse diffère d'une ville à l'autre, on peut admettre cependant que les heures creuses débutent invariablement à 9h du matin.

¹² Sur base du plan IRIS établi à Bruxelles.

¹³ Fautes de données sur les heures creuses, nous nous sommes basés sur les comptages de véhicules effectués par STRATEC à Charleroi entre 6h30 et 19h30 fin 1989.

mais en Equivalents Voiture Particulière (EVP).

Nous supposons les équivalences suivantes :

un bus (ou un tram) = un camion = 2 EVP ¹⁴

H4 : Nous raisonnons ici d'un point de vue global en supposant que les arrêts ponctuels liés à la congestion sont pris en compte dans la vitesse moyenne de déplacement. Suivant dans ce sens l'approche de NEWBERY (1988), nous considérons la relation suivante, valable en milieu urbain, entre la vitesse moyenne du déplacement et le flux de trafic :

$$(1) \quad s = 45,725 - 0,035 \times q$$

avec s : la vitesse moyenne de circulation (en km/h),

q : le flux de trafic (en EVP/heure/sens)

Une correction doit cependant être apportée dans le cas des bus et des trams urbains car la vitesse de circulation de ces derniers est toujours inférieure à la vitesse moyenne de circulation ¹⁵.

H5: Nous raisonnons à court terme en supposant que la congestion du trafic n'a aucun effet sur la demande de déplacement.

Méthodologie

Le trafic supplémentaire résultant d'un bus (ou d'un tram) additionnel (par hypothèse + 2 EVP) provoquera un ralentissement de la vitesse

¹⁴ Equivalence retenue par le BUREAU MARCEL VAN DIJK (1987). Notons que dans la littérature économique, nous trouvons alternativement des équivalences inférieures (voir notamment les études de l'O.C.D.E., 1983 a et b) ou supérieures à 2 (2,5 ou 3 E.V.P. selon GLAISTER, 1974 et 1982).

¹⁵ Nous supposons que la vitesse des bus correspond à 77% de la vitesse moyenne de circulation, sur base du modèle de S. GLAISTER (Transport Subsidy, Technical report, rapport non publié), et que la vitesse des trams est encore plus faible que celle des bus, le % retenu dans notre analyse correspondant au rapport entre la vitesse commerciale des trams et celle des bus de la STIB. Précisons toutefois que dans notre analyse, nous considérons la vitesse de circulation des bus et des trams et non pas leur vitesse commerciale. Cette dernière est plus faible encore car elle tient compte également des arrêts liés au service offert à la clientèle.

moyenne de circulation calculé sur base de l'équation (1).

Le ralentissement de la vitesse de circulation se traduira, en termes de congestion, par deux effets.

Le premier effet est une perte de temps calculée directement sur base de la vitesse réduite (en distinguant la vitesse moyenne appliquée aux voitures et aux camions, et celle qui concerne spécifiquement les bus et les trams). Les valeurs du temps du H.C.G. et les hypothèses formulées sur les motifs de déplacement et sur les taux d'occupation des différents véhicules (cf. note 8) nous permettent de valoriser cette perte de temps par kilomètre parcouru pour les utilisateurs de chaque catégorie de véhicules. La perte de temps ainsi calculée représente le coût en temps supporté par l'ensemble des utilisateurs des véhicules de chaque catégorie.

Le deuxième effet de congestion est un accroissement (ou une diminution ¹⁶) de la consommation d'essence résultant du ralentissement de la vitesse. Cet effet qui représente un coût en carburant a été calculé sur base des données disponibles portant uniquement sur les voitures à essence ¹⁷. Faute de données, cet effet n'a pu être calculé ni pour les voitures roulant au diesel et au LPG ni pour les camions, les trams et les bus.

D'après nos estimations, le coût marginal de congestion d'un bus ou d'un tram additionnel en milieu urbain atteint respectivement 26,54 FB aux heures de pointe et 3,12 FB aux heures creuses.

¹⁶ Le sens de ce deuxième effet dépend de la vitesse initiale. Ainsi, I. MAYERES (1993, *ibidem*) montre que, sur autoroutes, le coût en carburant provoqué par une voiture additionnelle se transforme en une économie de carburant pour les autres véhicules lorsque la congestion est faible ou moyenne.

¹⁷ Cf. K. H. ZIEROCK et al. (1989).

3. Les coûts marginaux liés à la pollution atmosphérique

A. Identification des coûts de pollution atmosphérique et méthode retenue pour valoriser les polluants

Identification

Nous nous limitons aux émissions des quatre principaux polluants : le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde de carbone (CO₂¹⁸) qui dépendent directement de la consommation de carburant; les hydrocarbures (HC) et les oxydes d'azote (NO_x) qui dépendent des caractéristiques de la conduite, en particulier la vitesse de circulation.

En raison de différents facteurs qui les caractérisent, les bus de transport public polluent les centres urbains : ils sont en général équipés de moteurs diesel relativement puissants qui polluent plus que les autres¹⁹; ils effectuent chaque jour un nombre important d'arrêts et de démarrages, ce qui accroît d'autant la pollution de l'air.

De leur côté, les trams et les métros consomment uniquement de l'électricité et ne provoquent aucune pollution atmosphérique directe. Une émission à la source apparaît cependant car la production de cette électricité dans les centrales²⁰ dégage des émissions de SO₂ et de NO_x.

Méthode retenue pour valoriser les polluants

Des méthodes différentes ont été retenues pour valoriser les NO_x, HC

¹⁸ Rappelons ici que, selon la plupart des scientifiques, les émissions de CO₂ sont en grande partie responsables de l'effet de serre.

¹⁹ Pour limiter cette pollution, différentes mesures sont envisagées dans un proche avenir :
 - imposition par la C.E.E. de normes de plus en plus sévères pour les véhicules utilitaires lourds;
 - introduction de combustibles alternatifs pour les bus urbains (fin 1993, les premiers bus roulant au gaz naturel seront mis en circulation à la STIB);
 - introduction d'une "éco-taxe" sur les dégagements de gaz carbonique.

²⁰ Si les centrales nucléaires sont pratiquement non polluantes, les centrales à charbon sont de leur côté responsables de pollution importante.

et SO₂, d'une part, pour le CO₂, d'autre part.

Les valeurs retenues pour les premiers polluants cités ont été obtenues sur base d'une méthode indirecte qui comprend les étapes suivantes ²¹:

- On se fixe tout d'abord des objectifs en matière de réduction de polluants émis en se basant sur les dispositions réglementaires internationales suivantes auxquelles la Belgique a adhéré :
 - . une réduction de 30% des émissions de NO_x par rapport à 1980 (protocole de Sofia),
 - . une réduction de 30% des émissions de HC par rapport à 1987 (protocole de Genève),
 - . une réduction de 30% des émissions de SO₂ par rapport à 1980 (protocole d'Helsinki).
- Sur base de ces objectifs, on calcule comment et à quels coûts ces objectifs peuvent être atteints dans la situation initiale, c'est-à-dire avant l'introduction d'un véhicule supplémentaire. Différentes informations sur les techniques, sur le potentiel et sur le coût unitaire de réductions des polluants ont ainsi permis de construire des courbes de coût marginal d'abattement ²².
- On estime ensuite l'effet provoqué par un véhicule additionnel au kilomètre. Si les dispositions réglementaires sont respectées dans la nouvelle situation (c'est-à-dire après l'introduction d'un véhicule supplémentaire), les émissions de polluants provoqués par ce véhicule supplémentaire doivent être quelque part compensées par une réduction équivalente. Le coût social marginal de pollution atmosphérique s'obtient en estimant le coût nécessaire pour réduire les émissions additionnelles de polluants.

Cette approche repose sur l'hypothèse selon laquelle les réductions d'émissions se réalisent d'une manière "cost effective" (on applique d'abord les technologies les moins chères). Le coût social marginal calculé

²¹ Cf. I. MAYERES (1992).

²² Nous renvoyons ici le lecteur à l'article d'I. MAYERES (1992, *ibidem*) qui présente ces différentes courbes pour les émissions de NO_x, HC et SO₂.

sur base des courbes de coût marginal d'abattement dépend donc étroitement des objectifs fixés. Plus ceux-ci sont sévères, plus le coût marginal social de pollution atmosphérique sera élevé.

Quant à la valeur monétaire retenue pour le CO₂, elle se base de son côté sur la proposition formulée par la CEE d'une éco-taxe sur les dégagements de gaz carbonique qui s'élève à 10 dollars par baril de pétrole brut, ce qui correspond à une valeur de 725 FB la tonne (prix 1989) pour le CO₂.

B. Estimation du coût marginal de pollution atmosphérique des bus urbains

En termes de polluants émis, un bus additionnel provoque deux effets. Un premier effet direct qui correspond aux émissions du bus additionnel; un second effet indirect qui correspond à l'impact sur le volume des émissions des autres véhicules suite au ralentissement de leur vitesse de circulation (effet lié à la congestion).

L'effet direct a été calculé sur base des émissions moyennes des bus en termes de polluants ²³. Deux corrections ont été apportées à ces données moyennes. D'une part, nous avons appliqué un facteur correctif de 5% ²⁴ à la consommation moyenne de carburant et aux différentes émissions (SO₂, NO_X et HC) pour tenir compte des émissions additionnelles des véhicules à l'arrêt qui, dans le cas des bus urbains, ne peuvent être négligées. D'autre part, les émissions de SO₂ ont été augmentées de 0,5 g par véhicule au kilomètre pour tenir compte des émissions à la source dans les

²³ Les émissions retenues sont :

- celles relevées par l'INSTITUT WALLON (1992), pour les émissions de SO₂ et de NO_X;
- celles retenues par ZIEROCK et al (1989), pour les émissions de HC;
- celles obtenues en multipliant la consommation de carburant (40 l / 100 km pour les bus diesel en milieu urbain) par 72000 g / GJ pour les émissions de CO₂.

²⁴ Chiffre proposé par l'INSTITUT WALLON (1992) sur base d'un temps d'arrêt estimé à 15% du temps de déplacement.

raffineries de pétrole ²⁵.

En appliquant les valeurs monétaires retenues à la quantité de polluants émis, nous avons obtenu un coût marginal direct de pollution de l'air de 2,44 FB.

L'effet indirect sur la pollution atmosphérique suite au ralentissement de la vitesse de circulation provoqué par un bus additionnel a été calculé uniquement pour les voitures à essence sur base des relations du groupe de travail CORINAIR ²⁶ entre la vitesse et les émissions de HC et de CO et sur base des relations d'ECONOTEC (1990) entre la consommation d'essence et les émissions de SO₂ et de CO₂. Cet effet indirect est très faible. Il est estimé à 0,23 FB au kilomètre aux heures de pointe et 0,06 FB au kilomètre aux heures creuses.

C. Estimation du coût marginal de pollution atmosphérique des trams et des métros

Sur base de la consommation moyenne d'électricité d'un tram et d'un métro calculée à partir des statistiques de la STIB en 1991 et sur base des émissions des différents polluants par Kwh d'électricité en Belgique, on peut estimer le coût marginal de pollution atmosphérique du tram et du métro ²⁷. Ce coût au kilomètre est très faible et s'élève à 0,0075FB pour un tram additionnel et à 0,0196FB pour un métro additionnel. Précisons qu'il représente uniquement la pollution atmosphérique produite dans les

²⁵ Cette correction est celle utilisée par MENS en RUIIMTE (1989) pour les émissions d'autocars diesel circulant sur autoroutes.

²⁶ Cf. K.H. ZIEROCK et al.(1989, ibidem).

²⁷ Sur base des données de CUIJPERS (1993, a et b) qui suppose que 40% de l'électricité est produite dans des centrales non nucléaires, les émissions par Kwh d'électricité peuvent être estimées à : 0,3366 kg CO₂, 0,85716 g NO_x, 1,33272 g SO₂ et 0,008028 g HC.

centrales électriques classiques (non nucléaires) ²⁸. Les centrales nucléaires qui, selon la Fédération professionnelle des producteurs et des fournisseurs d'électricité (F.P.E.) produisent 60% de l'électricité, causent d'autres problèmes de pollution non pris en compte dans notre analyse.

Pour le tram et le métro qui circulent en site propre et sont donc peu influencés par la densité du trafic, on peut supposer que ce coût marginal de pollution est valable aussi bien aux heures de pointe qu'aux heures creuses.

Pour le tram qui ne circule pas sur site propre, il convient de tenir compte de l'effet indirect sur la pollution suite au ralentissement de la vitesse de circulation provoqué par un tram additionnel. Cet effet indirect est le même que celui calculé pour un bus additionnel.

4. Les coûts marginaux liés au bruit

A. Identification des coûts liés au bruit de la route et principales méthodes d'estimation monétaire du bruit

Identification

La gêne liée au bruit dépend à la fois de son intensité et de sa fréquence ²⁹. C'est pourquoi l'unité la plus utilisée pour mesurer le bruit est le décibel à pondération dB(A) qui tient compte non seulement de l'intensité du bruit (mesurée en décibel) mais aussi de sa fréquence (mesurée en hertz). Cette échelle logarithmique, le dB(A), accorde en effet un plus grand poids aux fréquences moyennes et élevées qui sont

²⁸ On peut également défendre la thèse selon laquelle la production marginale d'électricité nécessaire à la consommation d'un tram ou d'un métro additionnel n'est jamais générée dans des centrales nucléaires. Dans ce cas, la totalité de la production marginale (et non les 40%) sera supposée générée dans des centrales classiques. Les émissions produites et donc le coût marginal de pollution de l'air seront donc plus importants. Ce coût marginal de pollution sera alors estimé à 0,0189FB pour un tram et 0,0498 FB pour un métro.

²⁹ Cf. K.J. BUTTON (1982).

perçues de façon intense par l'oreille humaine.

Pour les poids lourds, l'intensité sonore mesurée à 7,5 m de distance par rapport au véhicule (émetteur de bruit) varie entre 70 et 85 dB(A). Selon les directives prises par les Communautés européennes, les limitations d'émissions sonores mesurées à 7,5 m et prévues pour 1995 sont ³⁰:

- de 79 dB(A) pour les minibus (< 3,5 t);
- de 80 dB(A) pour les bus larges (< 150 kw);
- de 83 dB(A) pour les bus très larges (> 150 kw).

Les bus qui accélèrent souvent produisent plus de bruit que les véhicules qui roulent à une vitesse constante. Selon le Centre d'études des transports urbains en France (CETUR, 1982), le bruit émis par un poids lourd peut être équivalent à celui émis par un nombre de voitures compris entre 4 (dans le cas de faibles vitesses et d'un écoulement fluide) et 20 (dans le cas d'un écoulement pulsé, c'est-à-dire soumis à de fréquentes accélérations et décélérations). Officiellement, dans les travaux théoriques, un poids lourd (et notamment un bus) correspond à 10 véhicules légers au point de vue des nuisances sonores ³¹.

Il existe cependant une différence entre le niveau sonore provoqué par un moyen de transport et la gêne qui en découle pour les individus. Cette différence est difficile à déterminer de façon précise car le bruit est un paramètre objectif tandis que la gêne est une notion subjective.

Pour le bruit du trafic routier, différentes études menées en France ³² ont montré que le Leq (c'est-à-dire la moyenne du niveau sonore sur une période donnée, en général la journée entre 8h et 20h) était l'indice le mieux corrélé avec la gêne. Ce niveau moyen sonore est en général exprimé en dB(A). Comme toute mesure moyenne, cet indicateur masque cependant certains pics sonores qui peuvent apparaître à certains moments de la journée ou être provoqués par certains types de véhicules. Malgré

³⁰ Cf. TEST (1991).

³¹ Cf. notamment LAMURE (1990).

³² Cf. CETUR (1980), annexe 1.

cet inconvénient, le Leq sera retenu ci-après. Il est en effet généralement reconnu comme indicateur opérationnel représentant la gêne globale des populations pour des situations moyennes. Nous tenterons donc d'estimer l'effet d'un véhicule additionnel sur le niveau sonore exprimé en Leq. Cet effet devra ensuite être valorisé.

Méthodes d'estimation monétaire du bruit

Différentes méthodes de valorisation du bruit peuvent être retenues. Nous nous attarderons plus spécialement sur les deux méthodes les plus couramment utilisées dans la littérature économique, la méthode du coût d'évitement et la méthode de dépréciation du prix du logement. C'est cette dernière que nous utiliserons dans nos évaluations.

La méthode du coût d'évitement (ou coût de prévention ou coût de correction) estime les dépenses nécessaires pour supprimer ou réduire le bruit de la circulation. Ces types de dépenses visent ³³:

- soit à atténuer le bruit à la source en agissant par exemple sur les véhicules eux-mêmes et leur insonorisation ou en agissant sur le revêtement de la route;
- soit à protéger la collectivité dans son ensemble en plaçant par exemple des écrans anti-bruit le long des autoroutes
- soit à protéger la vie privée des individus en installant par exemple du double vitrage dans les logements.

La méthode de dépréciation du prix des logements (ou méthode hédoniste) est la méthode la plus largement utilisée, surtout dans les pays anglo-saxons. Elle est basée sur la théorie hédoniste des prix immobiliers. Comme le marché du bruit n'existe pas, on se réfère à un marché de remplacement, en l'occurrence ici le marché du logement. La valeur d'une maison dépend non seulement de ses caractéristiques intrinsèques, mais aussi de variables liées à l'environnement, notamment le bruit. Ainsi, en milieu urbain, plus le quartier convoité est calme, plus le loyer à payer

³³ Cf. O.C.D.E. (1990).

sera élevé.

Grâce à des techniques économétriques, on peut isoler dans le loyer l'influence du bruit de celle des autres caractéristiques du logement. On obtient ainsi le prix implicite du bruit. Le prix marginal implicite du bruit représente la disposition à payer des individus pour éviter la nuisance liée au bruit. Ce prix supplémentaire est censé représenter le coût du bruit.

Les taux de dépréciation du prix du logement par décibel (dB(A)) additionnel, obtenus dans la littérature économique sur base de la méthode hédoniste, sont cependant variables d'une étude à l'autre. Il semble cependant que les chiffres les plus récents tournent autour de 0,5 %.

Quant au seuil à partir duquel on calcule un coût, il varie selon les études entre 50 dB (= seuil en dessous duquel aucune gêne n'est ressentie) et 65 dB (=limite légale fixée dans quelques pays). En dessous de ce seuil, la dépréciation de la valeur des logements est supposée nulle.

B. Estimation du coût marginal du bruit des bus urbains

Dans notre estimation du coût marginal du bruit provoqué par un bus additionnel en milieu urbain, seules les nuisances sonores à l'extérieur du véhicule seront envisagées.

Hypothèses de travail

Les hypothèses H1, H2, H3 et H4 formulées précédemment sont reprises ici. Cinq hypothèses additionnelles relatives au bruit sont par ailleurs considérées.

H5 : Nous supposons que l'effet d'un bus additionnel sur le niveau sonore moyen sera déterminé par la relation de LAMURE (1990):

$$(2) \quad L_{cq} \text{ (dB(A))} = 20 \log s - 10 \log d + 10 \log q' + \text{constante}$$

- avec s = la vitesse moyenne de circulation (en km/h),
 d = la distance de propagation du bruit par rapport à l'infrastructure (en m),
 q' = le débit de véhicules (en EVP/h)
 $= Q_{vl} + E Q_{pl}$
- où E = coefficient d'équivalence acoustique entre un véhicule léger et un poids lourd
 $= 10$ (chiffre retenu dans les travaux théoriques)
 Q_{vl} = nombre de véhicules légers
 Q = nombre de poids lourds (camions et bus) ³⁴

H6 : Nous supposons que le bruit se propage en milieu urbain jusqu'à 7,5 m de distance par rapport à la source de bruit ($d = 7,5$ m) ³⁵.

H7 : Nous supposons que le nombre de maisons exposées au bruit est de 200 sur un kilomètre ³⁶.

H8 : Le taux de dépréciation d'une maison est supposé de 0,5% par décibel, chiffre le plus souvent cité dans la littérature.

H9 : Nous supposons une valeur monétaire de 0,0996122 FB par L_{eq} (exprimé en dB(A)) produit par un véhicule additionnel au kilomètre. Cette valeur se base sur la méthode hédoniste et se réfère à une maison standard d'une valeur de 3 000 000 FB (en 1989), d'une durée de vie de 50 ans et d'un taux d'actualisation de 5%.

³⁴ Le bruit émis par les trams étant différent de celui émis par les bus (voir plus loin), les trams ne sont pas inclus dans le nombre de poids lourds.

³⁵ La distance de 7,5 m est la distance de référence retenue dans l'étude de l'INRETS (1986, ibidem) pour le calcul des niveaux sonores des bus.

³⁶ Autrement dit, 200 maisons, à une distance de 7,5 m de l'infrastructure (où se trouve le véhicule émetteur de bruit), subissent une dépréciation suite aux nuisances sonores occasionnées par un bus additionnel qui se déplace sur cette infrastructure sur une distance d'1 km.

Méthodologie

Le trafic supplémentaire résultant d'un bus additionnel va venir modifier le niveau sonore.

En appliquant la formule de Lamure (équation 2) au trafic initial et au nouveau trafic, nous obtenons par différence le bruit additionnel (exprimé en L_{eq} dB(A)) provoqué par un bus additionnel, qui en termes d'équivalence acoustique représente 10 voitures.

Dans ce calcul, nous tiendrons compte de deux effets:

- un effet direct suite à l'augmentation du débit de véhicules provoqué par un bus additionnel,
- un effet indirect suite au ralentissement de la vitesse de circulation (effet lié à la congestion).

Résultats obtenus

L'effet marginal indirect, c'est-à-dire l'effet sur le bruit résultant du ralentissement de la vitesse de circulation provoqué par un bus additionnel, est négatif pour tous les véhicules. En milieu urbain, le fait de rouler moins vite provoque donc moins de bruit. Autrement dit, l'effet de congestion sur les nuisances sonores a un impact positif sur l'environnement.

Par contre, l'effet marginal direct, c'est-à-dire l'effet sur le bruit résultant de l'augmentation du débit de véhicules suite à l'introduction d'un bus additionnel qui, en termes d'équivalence acoustique correspond à 10 véhicules légers, est positif et est plus élevé aux heures creuses qu'aux heures de pointe. Ce résultat est logique car l'effet d'un bus additionnel sur le niveau sonore sera beaucoup plus perceptible durant les heures creuses puisque le trafic, et donc le niveau sonore, est moins important durant cette période de la journée.

Comme l'effet direct est, en valeur absolue, supérieur à l'effet indirect,

l'effet marginal total sur le niveau sonore provoqué par un bus additionnel est donc positif ³⁷. Sur une distance d'un kilomètre, le coût marginal du bruit d'un bus atteint, selon nos estimations, 1,22 FB (prix 1989) aux heures de pointe et 3,04 FB (prix 1989) aux heures creuses.

C. De la difficulté d'estimer le coût marginal du bruit du tram et du métro

Le bruit émis par le rail en général, et par le tram et le métro en particulier, ne peut être comparé à celui émis par le transport routier pour deux raisons principales. D'une part, la source du bruit est différente. Dans le cas du tram et du métro, le bruit est provoqué, pour l'essentiel, par le contact entre la roue et le rail. D'autre part, le bruit du rail est discontinu avec des variations importantes au niveau des fréquences et de l'intensité du bruit tandis que le bruit de la route tend de son côté à être continu.

Par ailleurs, le spectre acoustique des véhicules circulant sur rail est ressenti différemment par la population. On admet généralement que, pour un même niveau de gêne, le bruit du transport ferroviaire durant la journée devrait recevoir un bonus de 4 à 5 dB(A) par rapport au bruit du trafic routier ³⁸.

Compte tenu de ces caractéristiques respectives de la route et du rail, des indices différents sont utilisés pour quantifier les nuisances sonores de chacun d'eux. Ainsi, si on utilise habituellement le L_{eq} (= niveau moyen de bruit, exprimé en général en dB(A)) pour la route, on utilise plus fréquemment le L_{Max} (= niveau maximum de bruit, exprimé en général en dB(A)) pour le rail.

Même si nous connaissions les niveaux sonores provoqués par un tram ou un métro, nous ne pourrions appliquer la même démarche que celle

³⁷ I. MAYERES (1993, *ibidem*) a montré que, dans le cas de la voiture particulière, le coût marginal du bruit peut être négatif aux heures de pointe en milieu urbain.

³⁸ Cf. J. LAMBERT (1992).

utilisée pour le coût marginal de la pollution atmosphérique (cf. section 3) car les niveaux sonores, contrairement aux polluants émis, ne s'additionnent pas car l'échelle des décibels est logarithmique et non pas linéaire. Ainsi, dans le cas d'un tram qui vient s'ajouter à un certain flux de trafic et donc à un certain niveau sonore, l'augmentation du niveau sonore provoqué par ce tram supplémentaire ne correspond pas au bruit provoqué par ce tram pris isolément.

Compte tenu de ces différents éléments, nous n'avons malheureusement pas pu estimer le coût marginal du bruit du tram et du métro. Nous sommes donc contraints de raisonner comme si le coût social marginal du bruit était supposé nul pour le tram et le métro.

Dans le cas particulier du métro souterrain, cette hypothèse pourrait être acceptée dans la mesure où les niveaux sonores à l'arrivée et au départ d'un véhicule dans une station provoquent des nuisances uniquement pour les usagers du métro et non pour l'ensemble de la collectivité.

Dans le cas du tram, l'hypothèse d'un coût social marginal du bruit nul peut être acceptée si nous supposons que les nuisances sonores provoquées par le tram additionnel sont totalement couvertes par le bruit global de la circulation routière. Dans ce cas, elles ne provoquent aucun coût additionnel. Si cette dernière hypothèse est acceptable aux heures de pointe où le flux de trafic est important, elle mériterait d'être remise en cause pour les heures creuses.

Notons que les vibrations provoquées par un métro ou un tram et ressenties en surface représentent de leur côté un réel coût externe qui n'a pas été pris en compte dans le présent travail.

5. Les coûts marginaux des accidents

A. Estimations monétaires de la valeur d'une vie

Pour estimer le coût socio-économique des accidents, on recourt traditionnellement à *la méthode du capital humain*³⁹ qui évalue la somme actualisée des revenus futurs de la victime. On obtient ainsi les pertes de production de la victime (pertes nettes ou brutes selon que l'on déduit ou non les consommations futures) auxquelles on ajoute différents coûts directs liés aux accidents (frais médicaux, dégâts matériels, frais de justice et de police, dommages moraux).

Une autre approche souvent utilisée dans la littérature économique pour estimer la valeur d'une vie est celle de *la disposition à payer* qui permet de dégager le prix que les individus sont prêts à payer pour diminuer la probabilité d'être tué ou d'être blessé dans un accident. Pour appliquer cette approche, les travaux empiriques recourent à des enquêtes qui reposent soit sur la *méthode des préférences révélées* (sur base des choix réels des individus et notamment sur la prime salariale associée à des emplois à hauts risques)⁴⁰, soit sur la *méthode des préférences déclarées* (sur base de choix hypothétiques formulés dans un questionnaire).

Cette dernière approche utilise le concept de vie (ou de blessé) statistique : la question posée aux individus quant au prix qu'ils sont disposés à payer ne porte pas sur la valeur que les individus accordent à leur propre vie mais bien sur le changement dans la probabilité d'être tué ou sérieusement blessé. Il ne s'agit donc pas d'estimer la valeur de sa propre vie mais bien le prix de la sécurité dans les transports, autrement dit la valeur d'une vie (ou d'un blessé) statistique.

La valeur d'une vie correspond à la moyenne ou à la médiane, pour un

³⁹ Méthode retenue notamment par P. DUBUS (1986) et P. GROSCLAUDE (1991).

⁴⁰ Une méthode alternative à la méthode des préférences révélées est celle du salaire hédoniste qui se réfère aux salaires proposés pour des emplois à risque. La sécurité est en effet un facteur, parmi d'autres, qui détermine le niveau d'un salaire. Plus l'emploi proposé présente des risques pour l'individu, plus le salaire proposé sera élevé.

groupe d'individus concernés, des taux marginaux de substitution (TmS) entre le revenu et le risque d'être tué. Dans le présent travail, nous retiendrons la valeur médiane de 42 000 000 FB (prix 1989) préconisée par JONES-LEE (1990) ⁴¹. Cette valeur représente en quelque sorte la valeur "interne" d'une vie auquel il convient d'ajouter les effets économiques directs qui n'ont pas été pris en compte dans les préférences déclarées des individus (coûts de police, coûts médicaux et pertes nettes de production) mais qui représentent un réel coût pour la société ⁴².

Pour estimer la valeur d'un blessé statistique, nous appliquons à la valeur d'une vie (coûts économiques directs non compris) le taux de 0,117 obtenu par O. REILLY et al.(1994). Ce taux correspond en effet au rapport entre le TmS entre le revenu et le risque d'être sérieusement blessé et le TmS entre le revenu et le risque d'être tué. A cette dernière valeur, nous ajoutons les effets économiques directs (coûts de police, coûts médicaux et perte nette de production) liés à un blessé grave.

B. Identification des coûts marginaux des accidents et méthodologie retenue pour estimer ceux-ci

Les coûts marginaux des accidents pris en compte dans notre analyse représentent tous les coûts associés au risque d'être tué ou sérieusement blessé dans un accident provoqué par un véhicule supplémentaire.

Trois externalités doivent être distinguées selon que le risque d'accident concerne :

- le conducteur et/ou les passagers du véhicule supplémentaire,
- les conducteurs et/ou les passagers des autres véhicules motorisés,

⁴¹ Selon cet auteur, il est préférable d'utiliser la valeur médiane plutôt que la valeur moyenne pour supprimer l'influence des valeurs extrêmes obtenues dans les réponses. Sur base de différents travaux empiriques cités par JONES-LEE (1990, ibidem, tableau 1), nous avons retenu une valeur de l'ordre de 650 000 £ (1989) auquel nous avons appliqué un taux de change de 64,55.

⁴² Selon M.W. JONES-LEE, M. HAMMERTON, P.R. PHILIPS (1985), "... a substantial majority of respondents appear not to have taken account of the "direct" economic effects of safety improvement... it would also seem to be appropriate to add a further component to the value of statistical life to reflect these effects."

- les cyclistes et/ou les piétons.

1) Risque d'accident pour le conducteur et/ou les passagers du véhicule supplémentaire

Le conducteur et les passagers du véhicule supplémentaire courent le risque d'être impliqués eux-mêmes dans un accident. En cas d'accident, les effets économiques directs d'une vie (coûts de police, coûts médicaux et pertes nettes de production) suite à l'incapacité (totale ou partielle) de la victime devront être supportés par la collectivité et représentent donc un réel coût marginal externe.

Ce coût s'obtient en appliquant la formule (4) qui distingue l'externalité associée au risque d'être tué et celle associée au risque d'être sérieusement blessé.

$$(4) \quad p'_f (X_f - C + F_f) + p'_s (X_s - C^* + F_s)$$

avec : p'_i : la probabilité que le conducteur ou un passager d'un véhicule de transport public soit tué ($i = f$) ou sérieusement blessé ($i = s$) dans un accident;

X_i : l'estimation de la perte brute de production, des coûts de police et des coûts médicaux suite à un tué ($i = f$) ou un blessé grave ($i = s$);

C : la valeur actualisée de la consommation potentielle future d'un tué;

C^* : la valeur actualisée de la diminution de la consommation future d'un blessé grave;

F_i : les coûts psychologiques imposés aux proches du tué ($i = f$) ou du blessé grave ($i = s$)

Hypothèses de travail

Les hypothèses suivantes ont été formulées sur base des données de P. DUBUS (1986) obtenues pour la Belgique.

$$\begin{aligned}
 H1 : (X_f - C) &= 12\,499\,000 - 7\,339\,000^{43} \\
 &= 5\,160\,000 \text{ FB (1989)}
 \end{aligned}$$

$$H2 : X_s = 1\,544\,000 \text{ FB (1989)}$$

$$H3 : C^* = 0$$

On suppose que la consommation future du blessé restera inchangée.

$$H4 : F_i = 0$$

Cette hypothèse est celle adoptée par NEWBERY (1987) qui ne tient pas compte des coûts psychologiques imposés aux proches de la victime car ces derniers sont supposés être pris en compte par l'utilisateur lorsqu'il décide d'effectuer son déplacement.

$$\begin{aligned}
 H4 \text{ bis} : F_f &= 21\,000\,000 \text{ FB (1989)} \\
 F_s &= 2\,457\,000 \text{ FB (1989)}
 \end{aligned}$$

Alternativement, nous pourrions adopter l'approche de M. W. JONES-LEE (1990, *ibidem*) qui tient compte des coûts psychologiques dans le calcul de l'externalité. Cet auteur suppose que ces coûts représentent 50% de la disposition à payer de l'individu pour sa propre sécurité.

2) *Risque d'accident pour les autres conducteurs et/ou passagers*

L'externalité liée au risque encouru par les autres conducteurs et passagers dépend de la relation entre le taux d'accident et le flux de trafic.

La question se pose ici de savoir si la probabilité de faire un accident augmente ou non lorsque l'intensité du trafic augmente. Les opinions des auteurs diffèrent sensiblement sur ce sujet. Nous adoptons ici l'hypothèse de M. W. JONES-LEE (1990, *ibidem*) qui estime que le nombre

⁴³ On a repris ici l'hypothèse d'une propension à consommer de 60% formulée dans JONES-LEE (1990, *ibidem*).

d'accidents par km et par véhicule est indépendant du flux de trafic. On peut expliquer cette position par l'argument suivant : un trafic plus important rend les usagers plus vigilants de sorte que la probabilité d'accident n'augmente pas. L'externalité associée au risque d'accident pour les autres conducteurs et/ou passagers suite à l'introduction d'un véhicule supplémentaire est dans ce cas supposée nulle.

Notons que cette hypothèse de Jones-Lee se retrouve également dans le manuel COBA 9 du Ministère des transports en Grande-Bretagne (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1987) et dans le rapport de l'Administration fédérale américaine (U.S. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 1982). Elle a par ailleurs été confirmée dans l'analyse empirique de VITALIANO et HELD (1991). De son côté, NEWBERY (1988) ne partage pas cette opinion et considère que le taux d'accident dépend du flux de trafic. Il suppose pour sa part que le rapport entre le taux marginal et le taux moyen d'accident est de 1,25.

3) Risque d'accident pour les cyclistes et/ou les piétons

Pour estimer l'externalité associée au risque encouru par les cyclistes et les piétons d'être renversés par le véhicule supplémentaire, on applique la formule suivante:

$$(5) \quad p_f W_f + p_s W_s$$

avec: p_f : la probabilité que le véhicule supplémentaire tue un cycliste ou un piéton,

p_s : la probabilité que le véhicule supplémentaire blesse sérieusement un cycliste ou un piéton,

W_f : la valeur d'une vie statistique,

W_s : la valeur d'un blessé statistique.

Hypothèses de travail

$$H1 : W_f = 42\,000\,000 + 5\,160\,000 \\ = 47\,160\,000 \text{ FB (prix 1989)}$$

où 42 000 000 = valeur "interne" d'une vie préconisée par Jones-Lee (1990, ibidem)

$$5\,160\,000 = \text{effets économiques directs d'une vie} \\ = X_f - C$$

$$H2 : W_s = 42\,000\,000 \times 0,117 + 1\,544\,000 \\ = 6\,458\,000 \text{ FB (prix 1989)}$$

où 0,117 = (TmS entre le revenu et le risque d'être sérieusement blessé):

(TmS entre le revenu et le risque d'être tué) ⁴⁴

$$1\,544\,000 = \text{Coûts économiques directs liés à un blessé grave} \\ = X_s - C^* \text{ } ^{45}$$

Cette méthodologie générale sera appliquée ci-après respectivement pour le bus, le tram et le métro moyennant des hypothèses de travail supplémentaires relatives aux probabilités d'accident avec chaque mode de transport distingué, sur base des statistiques des accidents avec un bus ou un tram relevés par l'I.N.S. en 1989 et sur base des accidents sur le métro relevés par la STIB entre 1985 et 1991.

C. Les coûts marginaux des accidents d'un transport public supplémentaire

Dans nos estimations chiffrées, nous avons supposé, à la suite de Jones-Lee, que le taux d'accident était indépendant du flux de trafic. Deux hypothèses alternatives peuvent être alors envisagées selon que l'on tient compte ou non des coûts psychologiques imposés aux proches de la victime.

⁴⁴ cf. D. O'REILLY et al. (1994, ibidem).

⁴⁵ Rappelons que nous avons supposé que la consommation future du blessé grave restait inchangée.

Si nous ne tenons pas compte de ces coûts psychologiques (cf. H4), l'ensemble des coûts marginaux des accidents s'élève respectivement à :

- 3,96 FB/km pour le bus,
- 9,85 FB/km pour le tram,
- 2,99 FB/km pour le métro.

On constate que les coûts marginaux des accidents sont plus élevés pour le tram que pour le bus car le coût lié au risque d'accident pour les cyclistes et les piétons est nettement plus important pour le tram. Les coûts marginaux des accidents occasionnés par le métro sont de leur côté plus faibles en raison du coût très faible pour le conducteur et les passagers du métro (compte tenu de la très faible probabilité d'être tué ou blessé dans un accident de métro).

Si nous tenons compte des coûts psychologiques imposés aux proches de la victime (cf. H4 bis), le coût marginal externe des accidents par kilomètre parcouru est légèrement plus élevé et atteint respectivement :

- 4,65 FB/km pour le bus,
- 10,08 FB/km pour le tram,
- 3,14 FB/km pour le métro.

6. Les coûts marginaux externes en milieu urbain

En guise de conclusion, nous tentons ci-après de comparer nos estimations des coûts marginaux externes pour le transport public secondaire avec les résultats équivalents obtenus pour la voiture particulière en milieu urbain.

Comme nous l'avons signalé dans notre section préliminaire, nous avons choisi dans ce travail l'imputation au coût moyen par voyageur. Pour exprimer ces différents coûts marginaux externes par voyageur, nous avons tenu compte des taux moyens d'occupation suivants exprimés en nombre moyen d'occupants:

- pour la voiture
 - . aux heures de pointe : 1,4
 - . aux heures creuses : 1,5
- pour le bus
 - . aux heures de pointe : 60
 - . aux heures creuses : 14
- pour le tram
 - . aux heures de pointe : 96
 - . aux heures creuses : 22
- pour le métro ⁴⁶
 - . aux heures de pointe : 371
 - . aux heures creuses : 218

Pour chaque mode de transport distingué en milieu urbain (plus précisément la voiture particulière, le bus et le tram ne circulant pas sur site propre et le métro souterrain), le tableau 1 présente les coûts marginaux externes par kilomètre parcouru et par véhicule additionnel tandis que le tableau 2 présente ces mêmes coûts externes par kilomètre-voyageur. L'importance respective des coûts marginaux externes par kilomètre-voyageur apparaît clairement dans le tableau 3 où ils sont exprimés en pourcentage du total pour chaque mode.

Rappelons que ces estimations sous-estiment vraisemblablement la réalité car seuls sont considérés les effets à court terme ainsi que les effets connus pouvant être mesurés. Par ailleurs, les estimations obtenues dépendent étroitement des hypothèses de travail formulées qui décrivent une situation de référence bien déterminée. Or, ces hypothèses de travail peuvent varier très vite dans le temps ⁴⁷ et dans l'espace ⁴⁸. On pourrait donc obtenir autant d'estimations qu'il y a de situations envisageables.

⁴⁶ La moyenne pondérée du nombre moyen de places sur le métro de la STIB en 1991 est de 436. Nous avons retenu un taux moyen d'occupation de 85% aux heures de pointe et 50% aux heures creuses.

⁴⁷ Pensons notamment à la tendance actuelle au covoiturage pour les déplacements domicile-travail qui influence le taux d'occupation des véhicules.

⁴⁸ La situation à Bruxelles n'est pas la même que dans les autres villes.

TABLEAU 1 : Les coûts marginaux externes par kilomètre-véhicule additionnel (FB 1989)

	Voiture		Bus		Tram		Métro	
	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses
Congestion ⁽¹⁾	11,71	1,54	26,54	3,12	26,54	3,12	0,00	0,00
Pollution de l'air ⁽²⁾	0,71	0,58	2,67	2,50	0,24 ⁽⁴⁾	0,07 ⁽⁴⁾	0,02 ⁽⁴⁾	0,02 ⁽⁴⁾
Bruit ⁽²⁾	0,01	0,38	1,22	3,04	NE	NE	NE	NE
Accidents ⁽³⁾	0,96	0,96	3,96	3,96	9,85	9,85	2,99	2,99
Total	13,39	3,46	34,39	12,62	36,63	13,04	3,01	3,01

NE = Non estimé

(1) Coût en temps + coût en carburant.

(2) Effet direct + effet indirect.

(3) Les coûts psychologiques des proches de la victime ne sont pas considérés.

(4) Il s'agit uniquement d'une pollution à la source dans les centrales électriques non nucléaires.

TABLEAU 2 : Les coûts marginaux externes par kilomètre-voyageur (FB 1989)

	Voiture		Bus		Tram		Métro	
	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses
Congestion ⁽¹⁾	8,36	1,03	0,44	0,22	0,28	0,14	0,00	0,00
Pollution de l'air ⁽²⁾	0,51	0,39	0,04	0,18	0,00 ⁽⁴⁾	0,00 ⁽⁴⁾	0,00 ⁽⁴⁾	0,00 ⁽⁴⁾
Bruit ⁽²⁾	0,01	0,25	0,02	0,22	NE	NE	NE	NE
Accidents ⁽³⁾	0,69	0,64	0,07	0,28	0,10	0,45	0,01	0,01
Total	9,57	2,31	0,57	0,90	0,38	0,59	0,01	0,01

NE = Non estimé

(1) Coût en temps + coût en carburant.

(2) Effet direct + effet indirect.

(3) Les coûts psychologiques des proches de la victime ne sont pas considérés.

(4) Il s'agit uniquement d'une pollution à la source dans les centrales électriques non nucléaires.

TABLEAU 3 : Les coûts marginaux externes par kilomètre-voyageur (en %)

	Voiture		Bus		Tram		Métro	
	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses	Heures de pointe	Heures creuses
Congestion ⁽¹⁾	87,36	44,59	77,19	24,44	73,68	23,73	0,00	0,00
Pollution de l'air ⁽²⁾	5,33	16,88	7,02	20,00	0,00 ⁽⁴⁾	0,00 ⁽⁴⁾	0,00 ⁽⁴⁾	0,00 ⁽⁴⁾
Bruit ⁽²⁾	0,10	10,82	3,51	24,44	NE	NE	NE	NE
Accidents ⁽³⁾	7,21	27,71	12,28	31,11	26,32	76,27	100,00	100,00
Total	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00

NE = Non estimé

(1) Coût en temps + coût en carburant.

(2) Effet direct + effet indirect.

(3) Les coûts psychologiques des proches de la victime ne sont pas considérés.

(4) Il s'agit uniquement d'une pollution à la source dans les centrales électriques non nucléaires.

L'intérêt principal des tableaux présentés ci-avant est de pouvoir comparer les principaux coûts marginaux externes des différents modes de transport de personnes en milieu urbain.

Dans cette comparaison, il faut garder à l'esprit le fait que nous n'avons pas pu estimer le coût marginal du bruit pour le tram et le métro et que le coût marginal de pollution de l'air pour ces deux modes de transport a été calculé uniquement sur base de la production dans les centrales électriques. Rappelons aussi que seuls les bus et les trams ne circulant pas sur site propre ont été retenus pour le calcul du coût marginal de congestion.

En valeur absolue, les coûts marginaux externes, à l'exception du bruit, sont plus élevés aux heures de pointe qu'aux heures creuses, si on raisonne par kilomètre-véhicule additionnel. Ainsi, le total des quatre coûts marginaux externes par kilomètre-véhicule est aux heures de pointe près de quatre fois plus élevés pour la voiture et près de trois fois plus élevés pour le bus (tableau 1).

Si on exprime ces coûts par kilomètre-voyageur, les coûts marginaux

externes restent toujours plus élevés aux heures de pointe pour la voiture, mais deviennent plus élevés aux heures creuses pour le transport public secondaire (tableau 2). C'est le taux moyen d'occupation des véhicules qui explique en grande partie ce résultat. En effet, si le nombre moyen d'occupants pour la voiture privée varie peu selon le moment de la journée, ce nombre est nettement plus élevé aux heures de pointe sur un transport public secondaire. Le coût marginal imputé à chaque usager sera donc d'autant plus faible que le taux moyen d'occupation est élevé.

Si on veut classer les quatre modes de transport de personnes en milieu urbain selon l'importance du total des coûts marginaux externes par kilomètre-voyageur, on obtient sur base du tableau 2 l'ordre décroissant suivant : voiture, bus, tram, métro aussi bien aux heures de pointe qu'aux heures creuses. Ce coût total est cependant nettement plus important pour l'automobiliste : 16 fois plus élevé que celui de l'utilisateur des bus aux heures de pointe et 2,5 fois plus élevé aux heures creuses.

Répetons une fois encore que ce classement, et donc l'estimation qui en résulte, dépendent étroitement des hypothèses formulées en matière de taux d'occupation des différents véhicules.

Pour chaque mode (à l'exception du métro), c'est le coût marginal de congestion qui représente le premier coût marginal externe aux heures de pointe (de 73% à 87% du total des coûts, cf. tableau 3). Aux heures creuses par contre, la situation diffère selon le mode étudié. Pour la voiture, c'est toujours le coût marginal de congestion le plus important (+ de 40%); pour le bus, le tram et le métro, c'est le coût marginal des accidents qui occupe cette première position.

Rappelons pour conclure que nos estimations présentées dans les tableaux ci-avant s'inscrivent dans une approche **descriptive** qui constitue une étape préalable à l'internalisation des coûts. Nous avons en effet tenté d'estimer les coûts marginaux externes en milieu urbain tels qu'on peut les observer en Belgique dans des situations bien déterminées. Remarquons cependant que ces estimations ne représentent en aucun cas

une situation d'équilibre ⁴⁹.

Si on décidait d'internaliser par exemple les coûts marginaux de congestion par le biais d'une tarification, des modifications de comportement interviendraient, venant affecter la demande de transport d'une manière ou d'une autre. On peut s'attendre intuitivement aux deux types de réactions suivantes : un transfert modal en faveur du transport public secondaire et/ou une diminution du flux de trafic privé non compensée par un transfert modal. L'ampleur du transfert modal dépendra cependant des élasticités-prix directe et croisée de la demande mais aussi de la qualité et de l'éventail des services offerts par les entreprises de transport public. La diminution du flux de trafic privé non compensée par un transfert modal découlera vraisemblablement de la prise de conscience des automobilistes du coût global de leur déplacement. En vue de minimiser celui-ci par usager, les individus peuvent être incités à réorganiser leur déplacement en milieu urbain et à augmenter le taux d'occupation de leur véhicule. Cette diminution globale de la demande devrait aboutir, à l'équilibre, à des coûts marginaux externes moindre que ceux observés initialement. L'analyse des réactions de la demande de transport à une éventuelle tarification sort cependant du cadre du présent papier.

Un éventuel prolongement de notre analyse pourrait être de proposer une modélisation en vue de dégager une tarification optimale ⁵⁰. En effet, ce n'est pas le niveau initial des coûts marginaux mais bien leur niveau optimal qui doit guider la détermination des prix optimaux. Une telle approche normative permettrait de calculer les coûts marginaux externes à l'équilibre qui, ajoutés aux coûts marginaux privés, représenteraient le coût total à imputer à chaque usager.

⁴⁹ Le modèle urbain proposé par B. DE BORGER et al. (1993) pourrait notamment servir de référence pour déterminer les coûts marginaux externes à l'équilibre.

⁵⁰ Le lecteur intéressé par des modèles partiels de transport urbain peut se référer aux travaux menés actuellement par l'équipe de B. DE BORGER (1993) à l'UFSIA et par G. HAMENDE (1994) à l'Université de Liège dans le cadre du Programme d'Impulsion Transport et Mobilité des Services de Programmation de la Politique Scientifique (S.P.P.S).

Références bibliographiques

- BUREAU MARCEL VAN DIJK, (1987), *Elaboration d'un modèle du trafic privé à Bruxelles*, Secrétariat d'Etat à la Région bruxelloise.
- K.J. BUTTON, (1982), *Transport Economics*, Heinemann, London.
- CETUR, (1982), *Bruit des transports terrestres, notions élémentaires*.
- CETUR, (1980), *Le bruit dans l'exploitation des routes urbaines*, dossier n°1.
- COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES, (1992), *Le développement futur de la politique commune des transports. Construction d'un cadre communautaire garant d'une mobilité durable*, COM (92) 494 final, Bruxelles.
- G.C. DE JONG et al., (1992), *Time Valuation in Freight Transport*, The Hague Consulting Group, Den Haag.
- G.C. DE JONG et al., (1993), *De reistijdwaardering in het goederenvervoer*, in *Tijdschrift voor vervoerswetenschap*, vol. 29, pp. 77-85.
- B. DE BORGER et al., (1993), *Een optimaal prijsbeleid voor het stedelijk personenvervoer*, papier présenté lors du séminaire du Programme d'impulsion Transport et Mobilité organisé par les Services du Premier Ministre de la Programmation de la Politique Scientifique (S.P.P.S.) les 24 et 25 mars 1994 à Louvain.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT, (1987), *COBA 9, Assessments Policy and Methods Division*, Great Britain.
- P. DUBUS, (1986), *Coût des accidents de transport. Cas de la Belgique*. Rapport U.I.C. (Union internationale des chemins de fer).
- ECONOTEC, (1990), *Description de tableur énergie-environnement*, Mons, ECONOTEC.
- FEBIAC, (1992), *Mobilis. Etude sur la mobilité*.
- S. GLAISTER, (1974), *Generalised Consumer Surplus and Public Transport Pricing*, in *The Economic Journal*, vol. 84, p. 849-867
- S. GLAISTER, (1982), *Urban Public Transport : An Economic Assessment of Value for Money*, Technical Report, Crown, U.K., Department of Transport.
- P. GROSCLAUDE, (1991), *Evaluation du coût externe des accidents de la route en ville de Neuchâtel*, IRER, n°9106, Neuchâtel.
- H. GRUPP, (1986), *Die sozialen Kosten des Verkehrs, Grundriß zur ihrer Berechnung*, Teil 1, Teil 2, in *Verkehr und Technik*, Heft 9, Heft 10.
- G. HAMENDE et al., (1994), *Un modèle de tarification optimale appliqué aux deux modes de transport urbain de la ville de Liège*, papier présenté lors du séminaire du Programme d'impulsion Transport et Mobilité organisé par les Services du Premier Ministre de la Programmation de la Politique Scientifique (S.P.P.S.) les 24 et 25 mars 1994 à Louvain.
- H. C. G., (1990), *The Netherlands "Value of time Study" : Final Report*, Den Haag, Hague Consulting Group.

- INRETS, (1986), *Emission acoustique des autobus à moteur thermique et des autobus à traction électrique*, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS), rapport n°4.
- I.N.S., (1989), *Accidents de circulation sur la voie publique avec tués ou blessés*.
- INSTITUT WALLON, (1992), *La pollution atmosphérique de la Région Bruxelles-Capitale : inventaire des émissions*. Etude réalisée pour le compte du Ministère de la Région Bruxelles-Capitale.
- I.R.T., (1983), *Effets du bruit de circulation automobile*, I.R.T. - CERN, Lyon.
- M. W. JONES-LEE, (1990), The Value of Transport Safety, in *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 6, n° 2, p. 39-60.
- M. W. JONES-LEE, M. HAMMERTON, P. R. PHILIPS, (1985), The Value of Safety : Results from a National Sample Survey, in *The Economic Journal*, Vol. 95, p. 49-72.
- J. LAMBERT, (1986), Nuisances sonores et coût social de l'automobile, in *Recherche Transports Sécurité*.
- J. LAMBERT, (1992), Les nuisances sonores engendrées par les trains à grande vitesse, in *ITA Etudes et documents*, vol. 26.
- C. LAMURE, (1990), Environmental Considerations in Transport Investment, in *Transport Policy and the Environment*, European Conference of Ministers of Transport (ECMT) Ministerial Session, Paris, O.E.C.D., p.108-146.
- M. LESCEU, (1993), Measuring Negative External Effects in Belgian Passenger Transportation, in *Annales de l'Economie publique, sociale et coopérative*, 3/93, CIRIEC, Liège.
- M. MAURIN, J. LAMBERT et A. ALAUZET, (1988), *Enquête nationale sur le bruit des transports en France*, rapport INRETS n°71.
- I. MAYERES, (1992), *The Social Costs of Transport. Air Pollution*, Centre for Economic Studies (CES), KUL, Leuven.
- I. MAYERES, (1993), *The Marginal External Costs of Car Use - with an Application to Belgium*, in *Tijdschrift voor Economie en Management*, vol. XXXVIII, n°3, pp.225-258.
- MENS EN RUIMTE, (1989), *Etude thématique du projet T.G.V.*, S.N.C.B., rapport final.
- MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAPT, Bestuur voor leefmilieu (AROL), Bronnen van luchtverontreiniging : Inventaris Vlaams Gewest.
- D. M. NEWBERY, (1987), *Road User Charges in Great-Britain*, CEPR Discussion Paper n°174, London, Centre for Economic Policy Research.
- D. M. NEWBERY, (1988), Road User Charges in Britain, in *The Economic Journal*, vol. 98, p. 161-176.
- O.C.D.E., (1983 a), *Traffic Capacity of Major Routes, (Road Transport Research)*, Paris.
- O.C.D.E., (1983 b), *Impacts of Heavy Freight Vehicles, (Road Transport Research)*, Paris.

- O.C.D.E., (1986), *Fighting noise*, Paris.
- O.C.D.E., (1990), *Monographies sur l'environnement. Le coût social des transports terrestres*, n°32, Paris.
- J. B. OPSCHOOR , (1986), *A Review of Monetary Estimates of Benefits of Environmental Improvements in the Netherlands*, O.C.D.E., Workshop on the benefits of environmental policy and decision making.
- D. O'REILLY et al., (1994), *The Value of Road Safety : UK Research on the Valuation of Preventing Non-Fatal Injuries*, in *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. XXVIII, pp. 45-59.
- PLAN IRIS, (1993), *Plan régional des déplacements, Constat et scénario tendanciel*, Ministère des travaux publics et des communications de la Région de Bruxelles-Capitale.
- E. QUINET, (1991), *Pour une définition de la notion de coût social de l'environnement*, in *Economie appliquée*, n°4, p. 67-77.
- B. ROYEN-PLUMHANS et S. ZANATTA, (1992), *Evaluation de la performance économique des TEC pour 1991*, Centre international de recherches et d'information sur l'économie publique, sociale et coopérative (CIRIEC), Liège.
- N. SOGUEL, (1991), *Evaluation du coût social du bruit généré par le trafic routier en ville de Neuchâtel*, W.P. 9105, IRER, Neuchâtel.
- N. SOGUEL, (1992), *Coût social du trafic en milieu urbain : évaluation dans le cadre d'une ville suisse*, W.P. 9201, IRER, Neuchâtel.
- STIB, (1991), *Rapport annuel*.
- STRATEC, (1990) *Plan des transports publics et privés pour la région de Charleroi. Enquête cordon-routes. Rapport (e)*, vol. 1.
- STRATEC, (1992), *Plan régional des déplacements, Analyse de l'enquête "Ménages" menée en Région bruxelloise. Rapport (l)*.
- TEST, (1991), *Wrong side of the Tracks? Impacts of Road and Rail Transport on the Environment : a Basis for Discussion*, Test Report n°100, London.
- U.I.C., (1987), *Tarifcation de l'usage des infrastructures à imputer aux exploitants des transports terrestres. Arguments pour faire reposer cette tarifcation sur le coût marginal social*, Union international des chemins de fer (U.I.C.).
- US FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (1982), *Final Report on the Federal Highway Cost Allocation Study*, Washington, USGPO.
- D. F. VITALIANO et J. HELD, (1991), *Road Accident External Effects : An Empirical Assessment*, in *Applied Economics*, vol. 23, p. 373-378.
- K. H. ZIEROCK et al., (1989)., *Corinair Working Group on Emission Factors for Calculating 1985 Emissions from Road Traffic, Volume 1 : Methodology and Emission Factors*, Luxembourg, Commission of the European Communities.