

Monétarisation des externalités de transport : un état de l'art

André de Palma* et Nélia Zaouali†

05/04/2007

Résumé

Nous proposons dans ce papier une revue de la littérature sur la monétarisation des externalités de transport pendant ces dix dernières années. Dans une première partie, nous rappelons la notion d'externalités ainsi que les méthodes qui sont sollicitées dans la littérature économique pour les évaluer. Dans la deuxième partie, nous recensons à l'échelle internationale les études sur la valorisation monétaire des coûts externes (congestion, pollution atmosphérique, bruit et accidents). Ensuite, nous porterons un jugement critique des résultats publiés par différents auteurs.

Mots-clés : externalités, évaluation monétaire, état de l'art

Abstract

In this paper we suggest a literature review on valuation of transport externalities during the last ten years. In the first part, we will tackle again with the concept of externalities as well as the approaches which have been used in the economic literature so that to study them. In the second part, we will assess the studies on monetary evaluation of external costs (congestion, atmospheric pollution, noise and accidents) at the international level. Then, we will have a critique on the results that were published by various writers.

Keywords : externalities, valuation, the State-of-the Art

Classification JEL : H23, Q51, R41

*Université de Cergy-Pontoise et Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

†Laboratoire Thema, 33 boulevard du port 95011, Cergy-Pontoise cedex, France.
Email : Nelia.Zaouali@eco.u-cergy.fr, Tél : +33 1 34 25 67 56

1 Introduction

Face à la forte croissance des besoins en transport, les infrastructures de transport sont de plus en plus surchargées ou mal entretenues et très souvent les externalités négatives (congestion, pollution de l'air, bruit et accidents) ne sont pas pris en charge par les usagers. Un préalable à une politique de tarification visant à internaliser les coûts externes est l'évaluation monétaire des effets négatifs associés au transport.

L'objectif de cet article est de faire un tour de la littérature internationale sur la valorisation monétaire de la congestion, de la pollution atmosphérique, du bruit et des accidents. L'état d'art mené dans cette étude constitue le premier travail qui effectue une revue de la littérature pour les différents coûts externes de transport. A ces jours, on dispose uniquement de publications (état d'art) sur la monétarisation des effets de la pollution atmosphérique (Chanel et al., 2001) et sur la monétarisation de bruit (Navrud, 2002). L'analyse faite ici est originale puisqu'elle tient compte à la fois des coûts externes de la congestion, de la pollution de l'air, de bruit et des accidents. Elle constitue aussi un bon éclairage pour les décideurs publics et pour les chercheurs. Elle présente des résultats numériques sur la valorisation monétaire des externalités obtenus par une approche globale (% PIB) et des résultats illustrant des informations plus fine sur la monétarisation des externalités (par mode de transport, par période de déplacement ou par types d'effet).

Nous proposons dans cette étude une revue de la littérature sur la monétarisation des externalités de transport pendant ces dix dernières années. Pour cela, il nous semble primordial de rappeler dans une première partie la notion d'externalités, ainsi que les méthodes qui sont sollicitées dans la littérature économique pour les évaluer. Dans la deuxième partie, nous recensons à l'échelle internationale des études sur la valorisation monétaire des coûts externes (congestion, pollution atmosphérique, bruit et accidents). Ensuite, nous porterons un jugement critique des résultats trouvés par différents auteurs.

2 La classification des coûts des transports

Le transport constitue un vecteur de la croissance économique et un moyen indispensable de l'activité humaine. En effet, il permet à chacun de se déplacer pour profiter des divers emplois qui se présentent, il facilite le déplacement des marchandises, etc. Au-delà de ces effets positifs sur le développement économique, le transport génère toutefois des nuisances très importantes qui dégradent les conditions de vie. On cite principalement les embouteillages, la pollution de l'air, les nuisances sonores, les

accidents, la dégradation des bâtiments, etc.

Les préoccupations sur ces effets négatifs se sont accentuées à partir du moment où on s'est rendu compte qu'ils ne sont pas pris en charge par les usagers des transports. Comme le fait remarquer le livre vert 1995, des solutions restent à trouver en ce qui concerne les mécanismes de paiement pour l'utilisation des infrastructures de transport (voir de Palma et al., 2006). Un préalable à une politique de tarification est de distinguer entre les différents coûts de déplacement. Nous pouvons donc classer le coût généralisé de transport en trois grandes catégories : les coûts internes, les coûts externes et les coûts publics.

En effet, toute activité de transport génère une série des coûts. La séparation entre ces coûts s'effectue en fonction de la personne qui paie. Nous distinguons particulièrement entre : Les coûts dits privés, c'est-à-dire ceux supportés par les usagers eux-mêmes. Les coûts dits externes, c'est-à-dire ceux occasionnés aux autres usagers ou à la société dans son ensemble et qui ne sont pas supportés par les usagers de transport. Enfin les coûts dits publics c'est-à-dire ceux qui sont pris en charge par l'Etat, les collectivités locales et régionales (voir figure 1).

Après cette description succincte des différents coûts de transport, nous nous intéressons dans la suite de ce papier aux coûts externes. Nous abordons dans le paragraphe suivant la notion d'externalité telle qu'elle a été définie dans la littérature économique ainsi que les méthodes de leur évaluation.

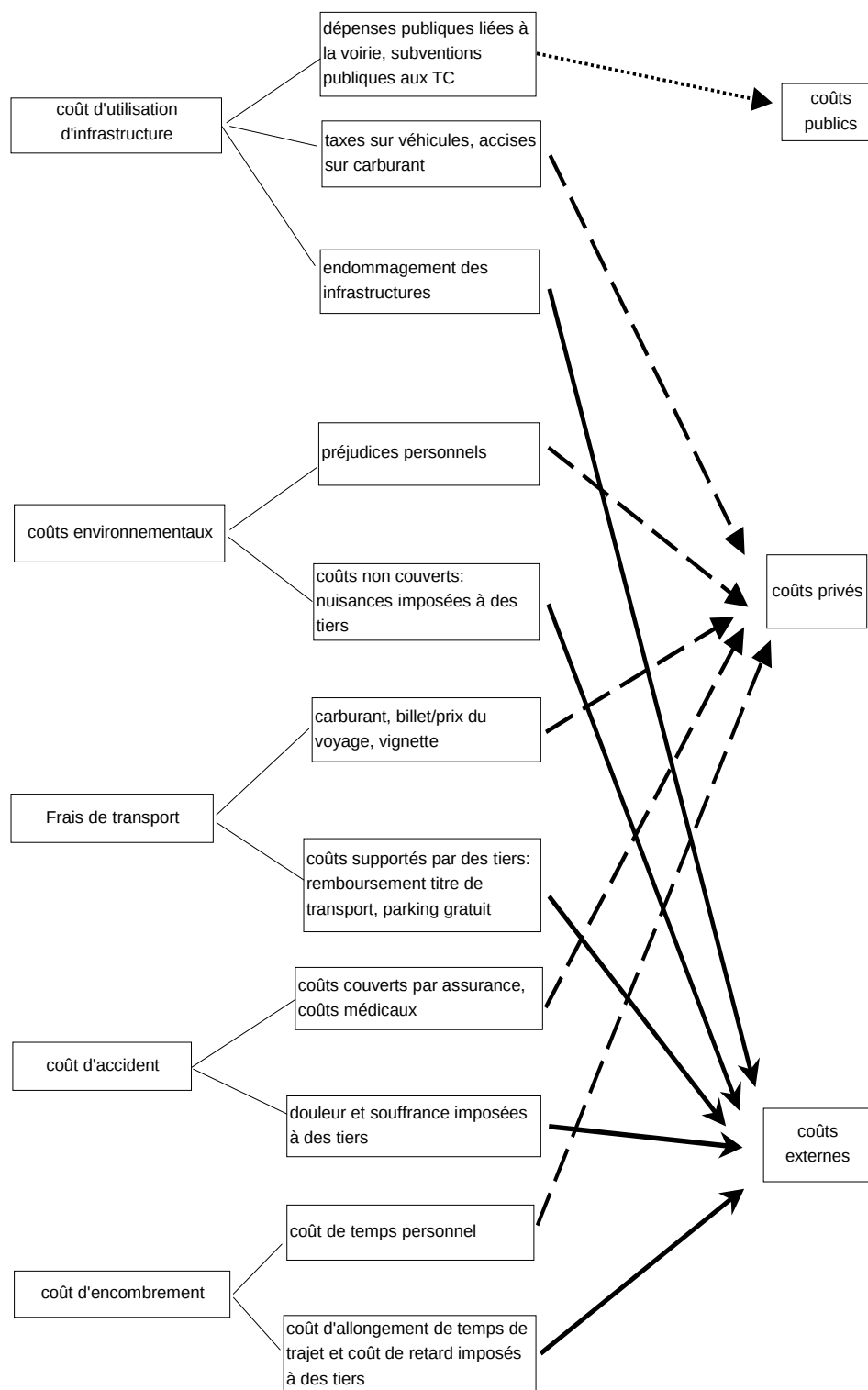


Figure 1 : Classification des coûts de transport

3 Définitions

Avant d'entrer dans le vif de sujet, il est incontournable de définir ce qu'est une externalité. Bien qu'elle a été utilisée depuis les années 20, dans le domaine de transport cette notion fait toujours l'objet de plusieurs débats. Le concept d'externalité a été défini dans plusieurs études, économiques et européennes. On cite particulièrement :

Definition 1 *Livre Blanc, 1998 : "Les coûts externes sont ceux qui ne sont pas supportés par l'utilisateur d'un bien ou d'un service (tel qu'une infrastructure). Ils comprennent l'utilisation des infrastructures lorsque celle-ci est gratuite, les dommages, la pollution, le bruit, les coûts sanitaires associés à l'utilisation des transports et aux accidents. La non prise en compte de ces coûts entraîne une utilisation excessive du bien ou du service en cause."*

Definition 2 *Andrea Ricci (cf. De Palma et Quinet, 2004) : "La théorie économique définit les externalités comme des variations du bien-être collectif générées par une activité donnée lorsque la transmission ne passe pas par des mécanismes de marché et de prix. Les externalités peuvent être négatives (coûts externes) ou positives (bénéfices externes); elles correspondent à des coûts ou bénéfices qui ne sont ni payés ni perçus par ceux qui en sont la source."*

Definition 3 *Notes de méthode N°14 ifen, 2004 : "Il y a présence d'effets externes, au sens large, lorsqu'un acteur économique, par sa consommation ou sa production modifie la situation d'un autre acteur économique, par exemple en dégradant son environnement. Ainsi, l'automobiliste génère des effets externes négatifs supportés par les populations exposées à la pollution. Comme la relation entre l'émetteur de la nuisance et les récepteurs s'établit en dehors d'un marché, les victimes supportent la nuisance sans contrepartie, l'effet externe conduit alors à un coût externe."*

A partir de ces définitions on ressort trois points fondamentaux :

1. on parle d'externalité lorsque le bien-être d'un individu varie suite à l'activité d'autres individus,
2. les effets externes sont la conséquence d'une activité qui ne donne pas lieu à une contrepartie monétaire
3. le coût social de transport comprend non seulement les coûts privés directement supportés par l'utilisateur mais également les coûts externes (coûts environnementaux, coût d'encombrement et coût d'accident).

Après avoir défini brièvement les externalités de transport, nous passons à la description des différentes méthodes de leur valorisation monétaire.

4 Les méthodes d'évaluation des externalités

Au cours de ces dernières années, plusieurs études européennes en matière de transport (CEC 1995 et CEC 1998) ont montré que les infrastructures de transport sont surchargées ou mal entretenues et dans de nombreux cas les coûts externes (pollution de l'air, encombrements, accidents et bruit) ne sont pas directement pris en charge par les usagers. Pour répondre aux préoccupations en matière d'environnement les études d'évaluation des coûts externes de transport se multiplient. L'idée fondamentale consiste à chiffrer ces externalités en terme monétaire afin de les intégrer dans les coûts effectivement supportés par les usagers. Différentes méthodes en matière de valorisation monétaire des effets externes, ont été développées dans la littérature économique. On distingue principalement quatre grandes familles : évaluation à partir des marchés de substitution, évaluation à partir des marchés fictifs, les méthodes indirectes et la méthode Bottom-up.

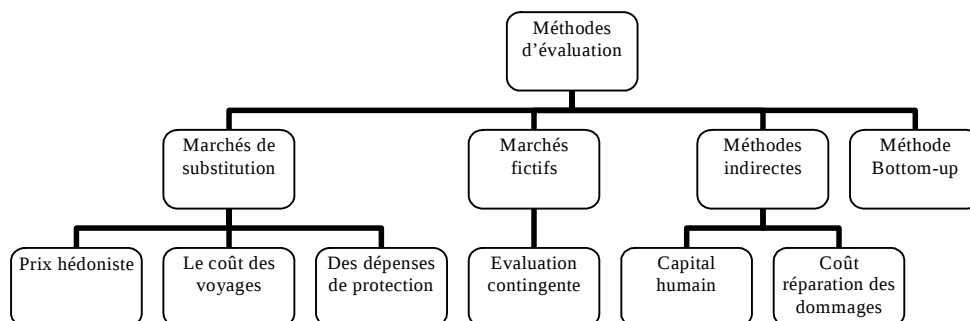


Figure 2: Les méthodes d'évaluation des coûts externes

1. Evaluation à partir des marchés de substitution (les préférences révélées) : cette méthode repose sur l'observation des comportements réels des individus. En effet, les externalités n'ont pas de marché il convient donc de retrouver des marchés de remplacement. Il s'agit d'isoler dans le prix d'un bien marchand l'influence des externalités des autres caractéristiques de ce bien. Trois méthodes sont couramment sollicitées dans la littérature économique, la méthode de prix hédoniste ; la méthode de coût de voyage et la méthode des dépenses de protection.

- La méthode des prix hédonistes : elle consiste à observer le comportement des individus sur le marché de logement. La valeur des biens immobiliers ne dépend pas seulement de leurs caractéristiques propres (état de logement, nombre de pièces, structure sociale de la population, l’accessibilité aux moyens de transport public, etc.) mais aussi des caractéristiques de la qualité de l’environnement comme l’exposition au bruit et à la pollution. Le principe de cette méthode est de parvenir à isoler dans le prix de logement (prix de vente, prix de location) l’impact du bruit, par exemple, parmi les autres caractéristiques quantifiables du logement. Il s’agit de relier la variation de prix de logement à la variation de niveau de bruit et d’en déduire la valeur monétaire que les individus accordent à la qualité de l’environnement.
 - La méthode de coût des voyages : cette méthode a été développée aux Etats-Unis pour évaluer l’attraction de certains sites naturels de loisirs. Elle consiste à observer les dépenses nécessaires (coût de déplacement, temps de déplacement, frais sur place, etc) pour se rendre et pour se jouir du site des loisirs. Si une des caractéristiques est modifiée, on peut observer une variation dans le comportement des individus par une réduction dans les dépenses. En effet, la variation des dépenses traduit la valeur attachée à cette caractéristique.
 - La méthode des dépenses de protection : estime le montant des dépenses que les agents consacrent pour éviter un certain niveau de nuisance. Par exemple, les dépenses agissant sur les véhicules eux-mêmes par l’amélioration des silencieux d’échappement, sur le revêtement des routes par la réalisation d’enrobé drainant et sur les façades en mettant des écrans antibruit le long de l’autoroute.
2. Evaluation à partir des marchés fictifs (les préférences déclarées) : cette méthode repose sur un marché hypothétique permettant de retrouver la valeur monétaire des externalités, qui s’échangent hors marché. Ceci se traduit par la mise en œuvre d’un questionnaire permettant de valoriser le comportement des personnes enquêtées sur ce qu’ils seraient prêt à payer pour éviter une dégradation ou ce qu’ils seraient prêt à recevoir pour accepter une dégradation. Cette méthode se fait de trois manières différentes : par interview en face à face, par envoi postal ou par téléphone.
 3. Les méthodes indirectes : Au lieu d’extraire les préférences des individus pour les traduire monétairement sur des marchés existants ou sur des marchés fictifs, la méthode indirecte permet d’évaluer les coûts que des individus interrogés directement n’auraient pas pris en compte faute de connaissance (par exemple en cas d’accident les

coûts psychologiques imposés aux proches de la victime, les pertes de la production de la victime, etc.). Elle consiste à retrouver dans un premier temps les pertes de richesse liées à ces dommages et dans un deuxième elle permet d'évaluer ces dommages à travers la méthode dite de capital humain ou la méthode des coûts de réparation.

- La méthode de capital humain : l'individu est évalué comme un agent qui contribue à l'activité productive d'un système économique. En effet, la perte productive induite par la maladie ou le décès est évaluée comme une somme actualisée des revenus que l'individu aurait gagnés.
- Les coûts de réparation des dommages : cette méthode repose sur les coûts de remise en état, par exemple les coûts liés à un accident seront mesurés à partir des frais médicaux et d'hospitalisation, des dégâts matériels, etc. Elle permet aussi d'évaluer les pertes de revenus et de production durant la période de réparation.

4. Approche ascendante "Bottom-up" : appelée aussi l'approche du chemin d'impact « Impact Pathway Approach (IPA) ». Elle permet d'évaluer le coût des dommages causés par un polluant, en suivant son passage depuis la source d'émission jusqu'à les points affectés (population, bâtiments, forêts, cultures). Les principales étapes de l'approche IPA :

- Emission : spécification des émissions des polluants d'un véhicule donné (en g/véh-km)
- Dispersion : calcul des augmentations de concentration des polluants dans toutes les régions touchées via des modèles de dispersion chimique
- Impact : cette étape est déterminée sur la base de fonctions dose-réponse exprimant la relation entre la concentration et les quantités d'impact aux niveaux de la santé, des bâtiments, des forêts et des cultures
- Coût : évaluation monétaire des impacts ainsi quantifiés

En conclusion le choix de l'une ou l'autre des méthodes dépend, outre l'objectif de l'étude, de la nature de coût externe à évaluer, des données et des moyens à dispositions, etc. En effet, ces méthodes ne sont pas utilisées de la même manière et avec la même intensité. Le choix de la méthode doit être effectué selon trois distinctions (voir Nicolas et al., 2001) :

- Le type de dommage qu'on cherche à évaluer : mortalité, morbidité, bâtiments, faune/flore, etc.

- Le type de coût : on distingue deux types de coût, les coûts externes individuels et les coûts externes collectifs. En effet, les coûts externes individuels sont supportés par l'individu comme les dépenses médicales, frais d'obsèques, les dépenses de nettoyage (ravalement de façade, peinture,...). Les coûts externes collectifs correspondent aux dépenses médicales couvertes par les systèmes de sécurité sociale et de mutuelle, dépenses publiques en infrastructure, dépenses publiques de nettoyage et de rénovation, etc. Cette distinction par type de coût est primordiale dans la mesure où elle évite d'oublier certains coûts que la méthode utilisée ne les prend pas en compte. Par exemple, les méthodes des dépenses de protection, de prix hédoniste, d'évaluation contingente permettent de mesurer uniquement les coûts ressentis par les individus. Les coûts qui sont pris en charge par la collectivité passent par d'autres méthodes comme la méthode du coût de réparation des dommages.
- Le type de valeur que l'on veut mesurer : cette valeur peut être liée à l'utilité immédiate ou attendue attribuée au bien en question : avantages obtenus de tel ou tel service rendu, bénéfices attendus de tel ou tel investissement, etc. ; comme elle peut être liée à une personne, un animal, etc., indépendamment de toute utilité immédiate ou future.

Ces différentes méthodes rencontrent des limites spécifiques que nous présentons dans le tableau 1.

Méthodes	Avantages	Inconvénients
Méthode de prix hédoniste	Fondé sur un comportement observable des individus, elle porte sur les préférences des individus	La principale difficulté repose sur la définition des attributs et des relations qui existent entre eux
Méthode de coût de voyage	Méthodologie facile à mettre en œuvre	Un cumul d'approximation qui rend les résultats très imparfaits, le déplacement peut être l'occasion de réaliser une autre activité
Méthode des dépenses de protection	Simple dans son principe	Problèmes méthodologiques importants lors de sa mise en œuvre
Méthode contingente	Elle prend une part très importante des aspects non monétaires des alternatives à évaluer, elle propose des alternatives qui n'existent pas dans la réalité	Résultats sensibles à la perception subjective du risque et à la capacité de l'information communiquée, un nombre élevé de biais (biais hypothétique, de contexte, d'inclusion ou stratégique)
Méthode de capital humain	Cette méthode évite les défauts éventuels de connaissance des agents	Evaluation subjective, des corrections sont parfois apportées à l'impact de la production supplémentaire sur le prix du marché, des biais induits par les subventions éventuelles de l'Etat
Coût des réparations des dommages	Une prise en compte beaucoup plus importante des divers effets, un schéma cohérent et relativement complet des liens qui existent entre l'externalité et ses effets	Cette méthode surévalue les coûts de remise en état, la réparation des dommages suppose la définition d'un niveau 0 d'externalité souvent arbitraire
Méthode Bottom-up	Elle permet d'identifier clairement et d'évaluer correctement tous les impacts. Elle tient compte de la répartition de la population, de la vitesse et de la direction des vents	Incertitude sur la forme d'une fonction dose-réponse, incertitude sur le choix des modèles de chimie et de dispersion atmosphérique

Tableau 1: Avantages/ inconvénients des méthodes d'évaluation

Avant d'aller plus loin dans l'exposé, il apparaît nécessaire de procéder à l'identification des externalités et de caractériser leurs effets.

5 Caractérisation des externalités de transport et de leurs effets

Avant d'effectuer une revue de la littérature sur la monétarisation des externalités, il convient tout d'abord de procéder à leur identification et à

la caractérisation de leurs effets qu'ils soient sanitaires ou non-sanitaires.

5.1 La congestion

5.1.1 Identification

"Il y a congestion routière lorsque le volume du trafic dépasse la capacité de flux non perturbé sur un segment ou un nœud routier. Chaque véhicule supplémentaire impose alors un retard aux autres, et subit en retour les inconvénients d'un parcours plus lent et plus coûteux.", Définition donnée par Georgina Santos (cf. De Palma et Quinet, 2004).

En général, on parle de congestion lorsqu'il y a une durée supplémentaire du trajet par comparaison à un temps de trajet qui serait possible en circulation fluide. Il s'agit essentiellement de coût en temps qui augmentent sensiblement lorsque le réseau atteint son point de saturation. Plusieurs modèles ont été développés dans la littérature pour exprimer le coût de congestion, on cite particulièrement le modèle débit-vitesse et le modèle de pointe avec goulot d'étranglement.

1. Le modèle débit-vitesse : Le modèle débit-vitesse caractérise les relations entre le temps de trajet sur chaque lien du réseau et les autres attributs du lien à savoir le volume de trafic, la capacité, la longueur et la vitesse. Les travaux relatifs à l'estimation des modèles débit-vitesse montrent que la fonction de congestion peut être présentée en trois régimes (Branston 1976, Hall et al. 1992) :
 - le régime non saturé : dans ce cas, les véhicules sont peu nombreux sur la route et les conducteurs circulent à leur vitesse désirée mais au cours du temps les infrastructures deviennent de plus en plus chargées, sans pour autant atteindre sa capacité nominale, les conducteurs circulent à une vitesse inférieure à la maximale.
 - le régime de transition : dans ce cas la route reçoit sa charge maximale, les véhicules forment cependant une file d'attente, le débit qui s'écoule est égal à la capacité. Lorsque la demande diminue l'infrastructure commence à décharger la file d'attente.
 - le régime saturé : dans ce cas le débit et la vitesse diminuent jusqu'au moment où tous les véhicules sont arrêtés et ne peuvent pas circuler.
2. Les modèles de files d'attente : à la suite des travaux de Vickrey (1969), la congestion est définie comme un phénomène qui varie dans le temps. Chaque usager a une heure préférée d'arrivée, et il choisit son heure de départ en effectuant un arbitrage entre les coûts dus au temps de trajet et les coûts dus aux arrivées précoces ou tardives. Cependant, le coût généralisé est égal à la somme

du coût du temps passé dans le véhicule et du coût des délais à l'arrivée.

Coût Total = α temps de trajet + β délai d'arrivée en avance + γ délai d'arrivée en retard,

Où α est le coût unitaire du temps, β le coût unitaire dû aux arrivées précoces et γ le coût unitaire dû aux arrivées tardives. Les ratios β/α et γ/α représentent la variation du temps de trajet sur la variation du délai à l'arrivée. Le tableau 2 ci-après présente une revue de la littérature sur les estimations des paramètres dynamiques. On constate que les résultats divergent en fonction de l'année de l'étude, des caractéristiques de la ville étudiée, de la spécification de modèles utilisés et de contenu des questionnaires.

Le modèle de Vickrey a été développé au cours de ces dernières années, on cite par exemple le cas de l'hétérogénéité des usagers de transport (Arnott, De Palma et Lindsey 1990), l'instauration de péage (Arnott, De Palma et Lindsey 1993) et la prise en compte de l'information routière (Arnott, De Palma et Lindsey 1999).

Auteurs	Type du déplacement. Taille de l'échant. Mode de transport. Lieu. Modèle utilisé	Estimations
COSLETT (1977)	Domicile-travail matin. 293 indiv. VP. San Francisco. Modèle Logit	$\beta/\alpha = 0.61$ ($\alpha = 0.127$ $\beta = 0.0782$)
ABKOWITZ (1980)	Domicile-travail le matin. 425 indiv. VP. San Francisco. Modèle Logit	$\beta/\alpha = \mathbf{1.45}$ ($\alpha = 0.044$ $\beta = 0.064$)
SMALL (1982)	Domicile-travail le matin. 527 indiv. VP. San Francisco. Modèle Logit	$\beta/\alpha = 0.61$ $\gamma/\alpha = 2.40$
HENDERICKSON, PLANK (1984)	Domicile-travail le matin. 1800 indiv. VP. Pittsburg. Modèle Logit joint	$\alpha = 0.021$ -non signif- $\beta = 0$ $\beta_2 = 0.0004$ $\gamma = 0.148$ $\gamma_2 = 0.014$
CASCETTA et al. (1992)	Domicile-travail le matin. 126 indiv. VP. Turin. Modèle Logit joint	$\beta/\alpha = 0.12$ $\gamma/\alpha = \mathbf{0.17}$
De PALMA, ROCHAT (1996)	Domicile-travail le matin. 651 indiv. VP. Genève. Calculs statistiques	$\beta/\alpha = 0.33$ $\gamma/\alpha = 2.39$
NOLAND, SMALL (1995)	Domicile-travail le matin. 543 indiv. VP. Los Angeles. Modèle logit	$\beta/\alpha = 0.97$ $\gamma/\alpha = 1.31$
POLAK et al. (1992)	Déplacement le matin. 350 indiv. Londres. Modèle logit	$\beta/\alpha = 0.13$ $\gamma/\alpha = \mathbf{0.43}$
DE PALMA et al. (1997)	Domicile-travail le matin. 1 218 indiv. VP. Préférences révélées (R) et déclarées (S). Bruxelles. Calculs statistiques	R $\beta/\alpha = 0.38$ $\gamma/\alpha = 1.03$ S $\beta/\alpha = 0.41$ $\gamma/\alpha = 1.23$
NOLAND et al. (1998)	Domicile-travail le matin. 543 indiv. VP. Los Angeles. Modèle Logit (1 et 2)	1 $\beta/\alpha = \mathbf{2.36}$ $\gamma/\alpha = 5.46$ 2 $\beta/\alpha = 0.88$ $\gamma/\alpha = 1.23$
NUZZOLO, RUSSO (1998)	Domicile-travail (T) et école (E) matin. 100 indiv. TC. Italie du Sud. Modèle logit	T $\beta/\alpha = \mathbf{1.63}$ $\gamma/\alpha = 1.70$ E $\beta/\alpha = \mathbf{2.92}$ $\gamma/\alpha = 3.59$
DE PALMA, FONTAN	Tous modes-tous motifs, matin. 290 ind. Ile-de-France. Calculs statistiques	$\beta/\alpha = 0.36$ $\gamma/\alpha = 1.77$

Source : de Palma et Fontan, 2001

Tableau 2: Revue de la littérature des estimations des paramètres dynamiques

5.1.2 Les effets de la congestion

La congestion agit sur tous les systèmes de transport routiers, ferroviaires et aériens. Les effets de la congestion varient d'un système à

un autre. Pour les utilisateurs de la voiture particulière, les effets de la congestion se présentent par un allongement de temps de parcours, une surconsommation de carburant et un ralentissement de la vitesse entraînant une pollution de l'air et du bruit. La congestion ferroviaire se traduit par des retards et par le décalage occasionné à un train par rapport aux horaires prévus et par la suppression des trains incompatibles. La congestion aérienne s'exprime à la fois par des retards par rapport aux horaires annoncés et par la saturation des créneaux horaires. Le coût de cette congestion correspond au coût de la perte de temps pour les usagers et au coût de la perte financière des compagnies.

Source	Zone géographique	Valeur €/h	Observations
Segonne, 1998	Tunnel à péage Prado-Carénage, Marseille	7,27	Domicile-Travail
		7,76	Professionnels
		6,33	Autres motifs
Rapport Boiteux, 2001	France entière	9,5	Domicile-Travail
		10,5	Professionnels
		5,2	Autres motifs
	Ile-de-France	11,6	Domicile-Travail
		13	Professionnels
		6,4	Autres motifs
Fontan, 2003	Ile-de-France	21,03	VP, Domicile-Travail
		13,24	TC, Domicile-Travail

Tableau 3 : Revue de la littérature des estimations de la valeur de temps en France

5.2 La pollution atmosphérique

5.2.1 Identification

La pollution résulte de nombreux facteurs tels que les rejets de l'industrie, l'évaporation des solvants, le tabagisme, le chauffage et le transport. On distingue trois types de polluants : les polluants primaires, les polluants secondaires et les gaz à effet de serre.

1. Les polluants primaires ont un impact local. Ils affectent une zone géographique restreinte. Parmi ces polluants, on décrit ceux qui ont été définis par le Ministère de l'Environnement :
 - Le monoxyde de carbone CO : Il provient de la combustion rapide et incomplète des combustibles et des carburants. Il est lié à un mauvais fonctionnement d'un appareil domestique (chauffage, chauffe-eau), à une concentration des véhicules qui roulent au ralenti dans un espace couvert (tunnel) ou à un moteur qui tourne dans un espace clos (garage).

- Le dioxyde de soufre SO_2 : Il résulte principalement de la combustion de l'énergie fossile (charbon, fuel), par les installations de combustion industrielle et les centrales thermiques.
 - Les oxydes d'azote NO_x : La terre est composée de 78% d'azote N_2 et de 21% d'oxygène O_2 . Ces deux éléments se combinent lors de la combustion à haute température et ils forment des oxydes d'azotes (NO : le monoxyde d'azote et NO_2 : le dioxyde d'azote). Ils résultent essentiellement des activités industrielles, du fonctionnement des moteurs thermiques ainsi que de la transformation de l'énergie.
 - les composés organiques volatils non méthaniques $COVNM$: Il existe de nombreux composés organiques qui peuvent être présents dans l'atmosphère et qui sont liés aux activités humaines. Parmi ces gaz on cite, l'hydrocarbure émis lors du remplissage des réservoirs automobiles ou par évaporation des bacs pétroliers, des composés organiques issus de la combustion incomplète des combustibles et des carburants, des procédés industriels, de solvants émis lors de l'application de peintures et de l'encre.
 - Les particules en suspension PS : Elles proviennent essentiellement de la circulation automobile, de la sidérurgie et des cimenteries. Elles ont une taille très variable, les particules les plus dangereuses ont un diamètre inférieur à dix microns. Elles sont émises en grande majorité par les moteurs diesels.
2. Les polluants secondaires interviennent à une échelle plus grande. Ils retombent à des milliers de kilomètres de leurs sources émettrices. Les principaux problèmes de ce type de pollution sont l'acidification, l'eutrophisation et la pollution photochimique.
- L'ozone O_3 : Il résulte de la transformation photochimique de certains polluants primaires (NO_x et COV) dans l'atmosphère sous l'action des rayonnements solaires.
 - L'acide sulfurique H_2SO_4 : Il est produit à partir des composés soufrés et qui se trouve dans les pluies acides.
 - L'acide nitrique HNO_3 : Il est formé à partir des oxydes d'azote et il est contenu dans les pluies acides.
3. Le gaz à effet de serre agit à un niveau planétaire. Il est dû au réchauffement de l'atmosphère, lié à l'augmentation de la teneur en CO_2 .

" Le climat de la Terre est déterminé par le bilan des échanges radioactifs entre le Soleil, l'atmosphère et l'espace. Une partie du rayonnement émis par le Soleil traverse l'atmosphère et chauffe le sol terrestre qui le ré-émet dans l'atmosphère sous forme d'énergie rayonnante, ou par convection ou par évaporation de l'eau. L'at-

mosphère absorbe cette énergie, se réchauffe et rayonne à son tour vers la Terre et vers l'espace, et ainsi de suite, jusqu' au moment où l'émission d'énergie par la terre et l'atmosphère équilibre les apports solaires.

Cet effet est un phénomène naturel dû à la présence dans l'atmosphère de vapeur d'eau et de traces de certains gaz – le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et l'ozone troposphérique (O_3) - qui ont la propriété de capturer et de retenir ce rayonnement en provenance du sol (en l'absence de cet effet, la température de la Terre serait inférieure de 33° en moyenne). Il tire son nom de la serre du jardinier, les gaz à effet de serre tenant le rôle de la vitre.

Aujourd'hui la croissance des émissions d'origine humaine de ces gaz à durée de vie longue (jusqu'à un siècle) entretient un processus cumulatif qui se traduit par l'accentuation de l'effet de serre, évolution renforcée depuis plus d'un demi-siècle par les émissions de chlorofluorocarbones (CFC) et leurs substituts (HFC , PFC , SF_6) ainsi que par les émissions de gaz à effet indirect tels que le monoxyde de carbone (CO), les composés organiques volatils (COV) et les oxydes d'azote (NO_x), gaz pour lesquels les transports constituent d'ailleurs une source d'émission de plus en plus importante sur le plan mondial....", description donnée par CCTN en 1999.

5.2.2 Les effets de la pollution atmosphérique

Les impacts de la pollution atmosphérique sur le niveau de bien-être des individus sont multiples. On reprend ici la classification évoquée par Chanel et al, 2001. Ces effets sont classés en trois grandes catégories : les effets indirects, les effets directs sanitaires et les effets directs non sanitaires.

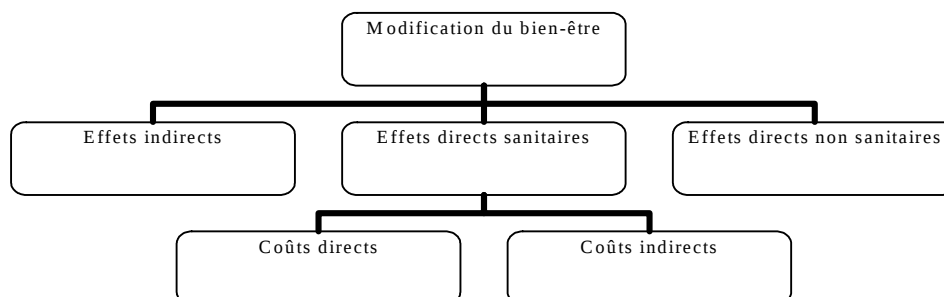


Figure 3: Les effets de la pollution atmosphérique

Source: Chanel et al., 2001

1. Les effets indirects : ils affectent le bien-être par la dégradation des bâtiments, de la faune, de la flore et des cultures.
2. Les effets directs sanitaires : liés à la mortalité et la morbidité. Ils se subdivisent eux mêmes en un coût direct -associé aux coûts d'hospitalisation, coûts d'une consultation, valorisation d'un décès- et un coût indirect lié à la perte productive (arrêts de travail, jours d'activité réduite, etc.).
3. Les effets directs non sanitaires : ils sont liés aux impacts sensoriels tels que la visibilité et l'odeur.

La pollution atmosphérique agit sur la santé de la population exposée soit dans un laps de temps très court -le jour même de l'exposition ou dans les jours suivants- soit dans un délai variant de quelques années à quelques dizaines d'année. En effet, les effets sanitaires à court terme correspondent à une mortalité qui se manifeste par des décès prématurés de personnes les plus fragiles, et une morbidité qui se présente à travers des affections des voies respiratoires (bronchites aiguës et crises d'asthme). A long terme, il y aura des décès supplémentaires suite à une réduction très importante de durée de vie et en ce qui concerne la morbidité les affections les plus fréquentes résultent des bronchites chroniques, des cancers du poumon, morbidité cardio-vasculaire, etc.

5.3 Le bruit

5.3.1 Identification

Le bruit est une sensation auditive gênante et désagréable reçues et transmises par l'oreille jusqu'aux cellules du cerveau. Ce phénomène acoustique produit sur notre organisme un ensemble de vibrations sonores complexes et désordonnées. La gêne liée au bruit dépend à la fois de son intensité, qui peut être forte ou faible, continue ou variable, grave ou aiguë et de sa fréquence, c'est-à-dire en nombre de périodes ou de cycles par seconde. C'est pourquoi l'unité la plus répandue pour mesurer une telle sensation perçue par l'oreille humaine est le décibel à pondération dB(A). Le décibel pondéré accorde en effet un plus grand poids aux fréquences moyennes et élevées. Les valeurs de la pression acoustique s'étendent sur une plage considérable, entre un niveau minimal que l'oreille humaine est capable de percevoir et un niveau maximal où la gêne au bruit devient insupportable. Pour mesurer la quantité de bruit comprise entre ces deux niveaux on a recours à une échelle logarithmique : les niveaux de pression acoustique provenant de plusieurs sources ne se cumulent pas de façon arithmétique mais elle obéit à la loi logarithmique. En effet, l'addition de deux niveaux acoustiques égaux conduit à un niveau total supérieur de 3 dB(A), par exemple 60 dB(A)

+ 60 dB(A) = 63 dB(A) (exemple extrait de rapport Boiteux, 2001).

Le bruit causé par la circulation, l'industrie et les activités de loisirs apparaît comme la première nuisance environnementale. Environ 80 millions de la population européenne (soit 22%) sont exposés à un bruit d'une intensité supérieure au niveau acceptable (65 dB(A)). Près de 8% de la population européenne sont exposés à des niveaux de bruit dépassant 70 dB(A), niveau considéré comme points noirs. Les transports constituent la source principale de bruit : d'après l'enquête de l'INRETS de 1986, plus que le quart de la population des centres villes est exposé dans la journée à un niveau de bruit supérieur ou égal 65 dB(A) alors qu'en zone rurale uniquement 3,5% de la population se trouve au-dessus de ce seuil.

5.3.2 Les principaux effets de bruit :

Les principales conséquences du bruit sont liées à la santé. Elles se manifestent par des atteintes psychiques, physiques, sociales et économiques (voir tableau ci-après).

Effets physiologiques	Effets psychologiques
lésions auditives	gêne
troubles des fonctions végétatives	stress, nervosité, tension
problèmes cardio-vasculaires	abattement
augmentation de pression sanguine	trouble de communication
agitation de sommeil	baisse de productivité
maux de tête	irritabilité
	syndrome psychosomatique
Effets sociaux	Effets économiques
difficulté de communication	prix immobiliers
jugement porté sur les autres	coût de protection
diminution de l'esprit d'entraide	coût de la santé
agressivité	perte de production
ségrégation sociale	coût aménagement territoire

Source : Office fédérale de l'environnement, Confédération Suisse

Tableau 4: Les effets de bruit

5.4 Les accidents

5.4.1 Identification

Un accident est un événement imprévu qui entraîne des dommages. Il est défini selon cinq caractéristiques : type d'accident, objet ou usager de la route, les personnes impliquées, les victimes et les fautes.

1. Type d'accident : le type d'accident désigne le mouvement ou la situation qui a entraîné l'accident.
2. Objet ou usager de la route : l'Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière (ONISR) distingue vingt catégories d'objet parmi lesquels les voitures de tourisme, les minibus, les camions,

les trains, les piétons, les vélos, etc. On distingue aussi les véhicules non motorisés qui ne nécessitent pas de permis de conduire dont les planches et les patins à roulettes, les trottinettes, les véhicules pour enfant, etc. Les animaux, les murs ou les arbres ne sont pas considérés comme des objets mais comme une caractéristique de coalition.

3. Personnes impliquées : ils sont caractérisées selon la position qu'ils occupent dans le trafic. Ils sont répartis en trois catégories : les piétons, les conducteurs et les passagers.
4. Les victimes : l'ONISR définit les victimes selon leur état de gravité. Il les classe en trois catégories : les blessés légers, les blessés graves et les tués.
 - Les blessés légers : sont les personnes légèrement atteintes dont leur état nécessite entre zéro et six jours d'hospitalisation ou un soin médical.
 - Les blessés graves : souffrent de troubles importants qui les empêchent d'avoir une activité normale (perte de connaissance, factures, etc.). Cet état nécessite plus de six jours d'hospitalisation.
 - Les tués : sont ceux qui décèdent sur le coup ou dans les six jours qui suivent l'accident.
5. Les fautes : ces fautes sont liées à l'influence de la route ou de l'environnement, à l'état de véhicule, à l'influence de l'alcool ou de drogues. Les indications sur les fautes servent à analyser les accidents.

5.4.2 Les coûts d'accident

On peut regrouper les coûts liés aux accidents en deux grandes catégories (voir figure 4 ci-après) : les coûts marchands et les coûts non marchands.

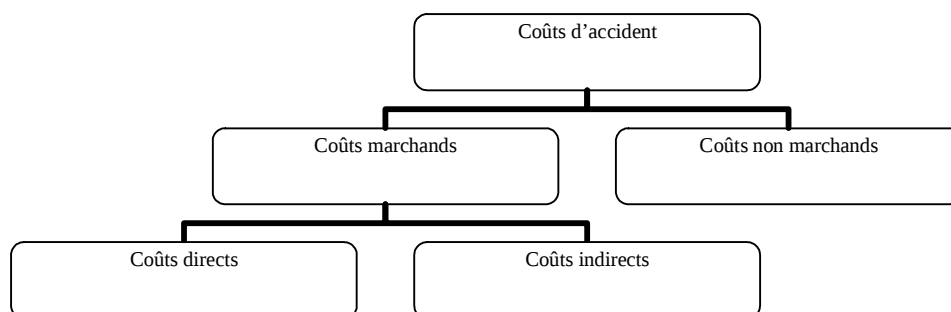


Figure 4: Les coûts socio-économiques des accidents

1. Les coûts marchands :

1.1. Les coûts marchands directs : ils sont associés aux coûts médicaux (coût des soins médicaux, coût des premiers secours, coût de l'aide à domicile, coût des services de transport sanitaire, etc.), aux coûts matériels (dommages occasionnés aux véhicules, dommages causés à l'environnement, dommages causés aux biens publics, etc.) et aux frais généraux (frais de police, frais d'administration, frais de justice, etc.).

1.2. Les coûts marchands indirects : ils sont liés à une perte de production des tués, perte de production des blessés et des personnes emprisonnées

2. Les coûts non marchands : ce sont des coûts liés au préjudice moral, préjudice esthétique, préjudice d'agrément, etc.

6 La valorisation monétaire des coûts externes : éléments théoriques

A travers cette section, on a réalisé un tour de la littérature internationale qui porte sur la monétarisation des coûts externes à savoir la congestion, la pollution atmosphérique, le bruit et les accidents. On a recensé environ 80 études, de cette dernière décennie, qui nous sont apparus représentatifs des méthodes d'évaluation économiques existantes, qui nous ont permis d'exposer les différents effets externes (mortalité, morbidité, bâtiments, faune et flore) et les différents modes de transport (voiture, bus, métro, etc.). Dans la première sous-section on a fait une revue de la littérature sur les évaluations monétaires des externalités rapporté au PIB. Dans la deuxième sous-section, on a fait une synthèse des résultats numériques de monétarisation des coûts externes à l'échelle d'une région, d'une ville ou d'un mode de transport, d'une période de déplacement, d'un type d'effet.

6.1 Les coûts externes en pourcentage de PIB : synthèses

Dans ce paragraphe on procédera à un recensement des études sur l'évaluation des coûts externes en pourcentage de PIB. Le choix de cette grandeur de mesure est une nécessité pour prendre des décisions stratégiques à une échelle internationale.

6.1.1 Le coût de congestion en % de PIB selon différentes études internationales

On a retenu quelques études qui évaluent le coût de congestion en pourcentage de PIB.

- *Quinet, 1990* : la congestion représente 2% du PIB français.
- *Bouladon, 1991* : il évalue le coût de congestion par la différence entre le temps réel et un temps de référence normal. Le coût de congestion représente 2,1% du PNB pour la France, 3,2% du PNB pour le Royaume-Uni, 1,3% du PNB pour les USA.
- *Livre vert, 1995* : le coût économique de la congestion dans les pays de la communauté européenne est de 2% du PIB.
- *Cluzel, 1996* : le coût de congestion pour le transport des voyageurs par route sur la France entière est de 1,2% du PIB.
- *Tisson, 1996* : il a mesuré les heures perdues en congestion en France, en comparant les temps de trajet entre les heures creuses et les heures de pointe. Il a trouvé une valeur de 0,1% de PIB.
- *Brossier et Leux, 1997* : ils utilisent la méthode de coût marginal interurbain pour tous modes routiers. Le coût de congestion est estimé à 0,5% du PIB.
- *CERTU, 1999* : pour l'agglomération parisienne le coût de congestion varie entre 0,4% à 1,9% du PIB.
- *Prud'homme, 1999* : le coût économique de congestion dans la région parisienne est estimé à 0,12% du PIB.

6.1.2 Le coût de la pollution atmosphérique en % PNB selon différentes études internationales

Plusieurs études portent sur l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique en pourcentage de PNB. Certaines d'entre elles donnent une valeur totale de coût de la pollution atmosphérique sans préciser ce que seraient les effets sanitaires ou autres. D'autres travaux ont séparés ces effets. Elles présentent, soit des estimations pour chaque type de dommages (sanitaire, dégâts matériels et végétation) soit elles s'intéressent à un seul type de dommages. On constate à travers le tableau ci-après que les estimations varient d'une étude à une autre. Ceux-ci peuvent être liés à l'année de l'étude, aux caractéristiques économiques et géographiques du pays, aux spécificités des méthodes utilisées.

Etudes	Pays	santé	matériel	végétation	total
Europe					
Grupp 1986**	Allemagne	0,11-0,42	0,05-0,06	0,03-0,15	0,19-0,63
Marburger 1986**	Allemagne	0,06-0,14			
Henz et al, 1990**	Allemagne	0,05-0,25			
Planco 1990**	Allemagne	0,07-0,18	0,05-0,09	0,13-0,21	0,25-0,48
UPI 1991**	Allemagne	0,59	0,07	0,26-0,41	0,92-1,05
Pillet 1988**	Suisse	0,02-0,06	0,21	0,18-0,41	0,41-0,68
INFRAS 1992**	Suisse	0,01-0,03	0,07-0,16	0,16-0,45	0,24-0,64
EcoPlan 1992a***	Berne	0,14	0,13	0,15	0,42
Gunnarson et al. 1986**	Suède	0,02-0,06	0,00-0,03	0,00-0,02	0,03-0,11
Hassund et al. 1990**	Suède			0,06-0,2	
VROM 1985**	Pays-Bas	0,16-0,29	0,08-0,13	0,14-0,18	0,38-0,6
Mautynen 1988***	Finlande				0,2-0,12
Himanen et al. 1989***	Finlande				0,23-0,7
Fin RA 1992***	Finlande				0,4
Etats Unis					
Deakin 1990*	USA				0,48
NAPAP 1991**	USA			0,01-0,02	
Mackenzie et al. 1992***	USA	0,22			

* Cité par Bouladon (1991), ** Cité par Kageson (1992a), *** Cité par Quinet (1992)

Source: Quinet, 1994

Tableau 5: Coût de la pollution en % PNB

6.1.3 Le coût de bruit selon différentes études internationales

Le tableau ci-après récapitule les évaluations du coût du bruit issues des différentes études internationales. On distingue entre les résultats d'estimation pour le Royaume-Uni, les Etats Unis et l'Europe. On constate qu'en moyenne le coût de bruit représente 0,4% du PIB au Royaume-Uni, 0,25% du PIB aux Etats Unis et 0,46% du PIB en Europe.

Pays	Source	Méthode	% PIB
Royaume-Uni			
	Bouladon, 1991 *		0,5
	Tinch report, 1995 ***	PH+ MC	0,31
Etats Unis			
	Kanafani, 1983 ***	synthèse	0,06-0,12
	Bouladon, 1991 *		0,1
	the going rate, 1992 *		0,2
Europe			
France	Hanson et Marckman, 1992 ***	PH	0,4
	compte transport idf, 1998 **	CE	0,3
	rapport CADAS, 1998 **	PH	0,39
	IWW/INFRAS, 2000 **	CD	0,61
Suisse	Jeanrenaud, 1993 *	PH	0,3
Allemagne	Weinberger, 1992 *	MC	1,4
Suède	Hanson et Marckman, 1992 *	PH	0,4
Finlande	Himanen et al, 1992 *	DP	0,3
PH: prix hédoniste, MC: méthode contingente, CE: coût d'évitement, CD: coût dommage, DP: dépense de protection			

* Cité par Quinet (1994), ** Cité par CNTV (2001), *** Cité par Navrud (2002)

Tableau 6: Coût du bruit en % PIB

6.1.4 Le coût des accidents en % PIB selon différentes études internationales

Les travaux recueillis sur l'évaluation des accidents en pourcentage de PIB montrent que le coût des accidents est très élevé aux Etats-Unis (4,6% de PIB). En revanche, il ne représente que 2,1% de PIB au Royaume-Uni et entre 0,5%-2,7% en Europe.

Pays	Source	Méthode	%PIB
Royaume-Uni	The causality report 1998 *	MC	2,1
Etats Unis	NHTSA technical report 1994 *	MC	4,6
Suède	Elvik 1999 *	MC	2,7
Allemagne	Elvik 1999 *	CH	1,3
Denmark	Elvik 1999 *	CH	1,1
France	M. Le Net 1994 **	CH	0,5
France	L. Brossier 1997 **	CH	0,6
MC: méthode contingente, CH: capital humain			

* Jacobs G. et al. (2000), ** CNTV, (2001)

Tableau 7: Coût des accidents en % PIB

6.2 La monétarisation des effets des externalités : Résultats numériques

Nous présentons dans ce qui suit une information plus fine sur la valorisation monétaire des externalités de transports. Il s'agit d'une synthèse des études antérieures à l'échelle d'une région, d'une ville ou d'un

mode de transport, d'une période de déplacement. Ceci éclaire les débats publics sur le coût réel que devraient payer les usagers des transports et sur les choix d'investissements.

6.2.1 La monétarisation de la congestion

L'évaluation monétaire de la congestion se fait par des méthodes différentes. La congestion peut être déterminée par la différence entre la vitesse mesurée et une vitesse considérée acceptable (Compte Transport National, 1990). La congestion est déterminée aussi par la différence entre la vitesse mesurée et la vitesse sur une route vide (CEC, 1995 et Quinet, 1990). Une autre méthode utilisée dans la littérature économique pour évaluer la congestion par le biais d'une taxe internalisante. Cette taxe, calculée sur la base de coût marginal, permet de ramener l'optimum individuel à l'optimum social. Sept études sur la valorisation monétaire des coûts marginaux de congestion ont été sélectionnées dans le tableau ci-après. Les résultats divergent en fonction de la ville étudiée. Notons que ces différences peuvent provenir de nombreux facteurs comme les caractéristiques de la zone d'étude (urbain ou interurbain, qualités des réseaux de transport, niveaux de vie, cultures, etc.), l'année de l'étude, les types de modèles utilisés et les caractéristiques de déplacement (mode de transport utilisé, heures de déplacement et types de route).

études	pays	caractéristiques	résultats
Pierson et al. (1990)	Royaume-Uni	voiture, heure de pointe	2,751€/veh.km
		voiture, heure creuse	0,301€/veh.km
		voiture, interurbain	0,155€/veh.km
Brossier (1992)	France	voiture	0,323€/veh.km
Boniver et Thiry (1994)	Belgique	voiture, heure de pointe	0,289€/veh.km
		voiture, heure creuse	0,038€/veh.km
		bus, heure de pointe	0,655€/veh.km
		bus, heure creuse	0,077€/veh.km
		tram, heure de pointe	0,655€/veh.km
		tram, heure creuse	0,077€/veh.km
Hansson (1995)	Suède	voiture, urbain	0,1-1€/veh.km
		voiture, interurbain	0,003€/veh.km
Mayeres et al. (1996)	Belgique	voiture essence, heure de pointe	0,0342€/veh.km
		voiture diesel, heure creuse	0,0342€/veh.km
		bus, heure de pointe	0,068€/veh.km
		bus, heure creuse	0,0002€/veh.km
		tram, heure de pointe	0,068€/veh.km
		tram, heure creuse	0,0002€/veh.km
Hamende et Hermesse (2000)	Belgique	voiture, heure de pointe	0,228€/veh.km
		voiture, heure creuse	0,042€/veh.km
		bus, heure de pointe	0,457€/veh.km
		bus, heure creuse	0,084€/veh.km
IWW/INFRAS (2000)	Europe	ville, trafic fluide	0,026€/veh.km
		ville, trafic dense	2,708€/veh.km
		ville, congestion	3,096€/veh.km
		autoroute, trafic fluide	0,011€/veh.km
		autoroute, trafic dense	1,907€/veh.km
		autoroute, congestion	2,032€/veh.km

Tableau 8 : Revue de la littérature des estimations de coût marginal de la congestion

6.2.2 La monétarisation des effets de la pollution atmosphérique

La revue de la littérature effectuée sur la monétarisation des effets de la pollution atmosphérique nous a permis de collecter 21 études. On fait une classification de ces travaux selon la méthode utilisée et selon l'effet à évaluer. On distingue entre la morbidité à court terme et à long terme, la mortalité à court terme et à long terme, les bâtiments et la visibilité.

La morbidité à court terme : trois études valorisent la morbidité à court terme. Les résultats obtenus dans plusieurs études couvrent l'ensemble de symptômes morbides à savoir : toux, rhume, sinusite, nausée, migraine, bronchite aiguë, crise d'asthme, cause cardio-vasculaire, cause respiratoire, gêne à la poitrine.

- Rabl et al. (1998) utilisent la méthode contingente pour évaluer les effets associés à une réduction des polluants en Ile-de-France. En effet le consentement à payer pour une diminution de 50% de la pollution est estimé à 50\$ pour la gêne à la poitrine, à 150\$ pour la bronchite aiguë

et à 30\$ pour l'asthme.

- Spadro et al. (1998), dans une étude menée sur la France, évaluent le consentement à payer à 5\$ pour éviter les toux et 207\$ pour éviter le bronchite aiguë.

- Rabl et al. (1997) estiment les effets aigus de la morbidité en utilisant les méthodes de perte de production et de coût de dommage.

La morbidité à long terme : la morbidité à long terme prend en compte les effets à long terme associés à la bronchite chronique, aux jours d'activité restreinte et aux cancers.

- Sommer et al. (1999) estiment le consentement à payer pour la réduction des PM_{10} à une valeur de 436\$/an/personne dans trois pays d'arc alpin (Autriche, France et Suisse).

- Zmirou et al. (1997) évaluent les impacts de la morbidité de long terme à une valeur comprise entre 19\$/an/habitant et 20\$/an/habitant pour les agglomérations de Chambéry Grenoble et Lyon, en utilisant les méthodes de la perte de production et de coût de dommage.

La mortalité court terme : elle correspond à un décès survenant dans un laps de temps très court après l'exposition.

- Pearce (1996) évalue le bénéfice sanitaire résultant de la suppression des particules en Chine à 65,5\$/an/personne et le bénéfice de la suppression des particules des NO_x et du plomb à 31,4\$/an/personne dans la ville de Jakarta.

- Lanoie et al. (1995) montrent que les résultats obtenus pour la valeur d'une vie statistique via la méthode hédoniste sont nettement inférieurs d'environ 25% aux résultats obtenus par la méthode contingente.

La mortalité de long terme : elle correspond à un décès qui s'effectue dans un délai variant de quelques années à quelques dizaines d'années après l'exposition. Ceci se traduit par des effets cumulatifs sur certains organes suite à une exposition continue à la pollution atmosphérique.

- Küzli et al. (2000) montrent que la perte d'espérance de vie par décès est de l'ordre d'une dizaine d'année.

- Chanel et al. (2001) effectuent une enquête dans les Bouches-du-Rhône pour réduire le risque de décès associé à l'exposition à la pollution atmosphérique. Ils obtiennent des estimations pour la valeur d'évitement des décès : 0,25 M\$ pour un taux d'actualisation de 8% et de 0,7 M\$ pour un taux d'actualisation de 1%.

Mortalité et morbidité : deux études traitent les effets sanitaires de court et de long terme. Ecoplan (1996) évalue à 203\$/pers/an les coûts sani-

taires des particules émises par les transports routiers en Suisse. McCubbin et Delucchi (1996) évaluent les effets sanitaires de PM et O_3 pour la région de Los Angeles, ils obtiennent des valeurs comprises entre 8,8 et 99 milliards de dollars.

Effets sur les bâtiments : par exemple, Fally et al. (1996) évaluent le coût de la pollution acide à environ 20\$/an/pers sur les bâtiments à Bruxelles.

Effets sur la visibilité : Austin et Krupnick (1999) évaluent à 4\$/an/pers les effets d'une réduction des émissions de SO_2 sur la visibilité dans les Etats de Maryland.

Plusieurs impacts : Manière (2000) et Quinet (2004)) utilisent la méta-analyse. Cette méthode regroupe les différents effets de la pollution atmosphérique ainsi que les différentes méthodes d'évaluation. Elle constitue une analyse quantitative ou qualitative des résultats établis dans la littérature empirique. En effet, les résultats obtenus à travers ces deux études constituent une réponse à la variabilité des estimations du coût de la pollution atmosphérique.

	prix hédoniste	méthode contingente	perte de production	coût de dommage
<i>morbidité CT</i>		Rabl et al. (1998)		
		Spadaro et al. (1998)		
			Rabl et al. (1997)	
<i>morbidité LT</i>		Holland et King (1998)		
		Sommer et al. (1999)		
			Willinger et Masson (1996)	
			Zmirou et al. (1997)	
<i>mortalité CT</i>		Lanoie et al. (1995)*		
		Alberini et al. (1999)		
		Krupnick (1999)		
			Pearce (1996)	
<i>mortalité LT</i>		Chanel et al. (2000)		
		Künzli et al. (2000)		
			Ranson et pope (1995)	
<i>mortalité + morbidité CT +LT</i>		McCubbin et Delucchi (1996)		
			Ecoplan (1996)*	
<i>Bâtiments</i>		Grosclaude et al. (1994)*		
			Fally et al. (1996)	
<i>Visibilité</i>		Austin et Krupnick (1999)		
<i>Plusieurs impacts</i>		Manière (2000) méta-analyse*		
		Quinet (2004) méta-analyse		

* Cités par J-P Nicolas et al., 2002

Tableau 9: Revue de la littérature sur les estimations de coût de la pollution atmosphérique

6.2.3 La monétarisation des effets du bruit

On a retenu 15 études sur la monétarisation du bruit. Ils sont représentatifs des différentes méthodes d'évaluation et des différents origines du bruit.

On a collecté six études sur l'évaluation de bruit issu de transport routier. Hamende et Hermesse (2000) utilisent la méthode des prix hédonistes pour évaluer le coût externe des nuisances sonores en Belgique. Ils montrent qu'un véhicule-kilomètre supplémentaire effectué aux heures creuses engendre un coût du bruit supérieur à celui des heures de pointe. Ceci s'explique par le fait que le niveau sonore pour un véhicule-kilomètre est beaucoup plus perceptible durant les heures creuses puisque le trafic est moins important durant cette période de la journée.

D'autres études évaluent le coût de bruit par la méthode contingente : Saelensmide (1999) effectue une étude sur la région de Norvège et obtient une valeur de 72€/dB(A)/pers/an. Dans une étude française, Lambert et al. (2001) montrent que le consentement à payer pour réduire le bruit sur les routes est de l'ordre de 7€/dB(A)/pers/an.

On a sélectionné quatre études sur la valorisation monétaire de bruit dû au transport ferroviaire. Par exemple, Boniver et Thiry (1994) estiment le coût marginal du bruit provoqué par un véhicule additionnel en milieu urbain, seuls les modes de transport public sont envisagés (bus, rail et tram). Les coûts marginaux externes de bruit sont plus élevés aux heures creuses qu'aux heures de pointe. Navrud (2000) utilise la méthode contingente pour estimer le coût de bruit sur les rails, il trouve que le coût de bruit est de 27,5€/dB(A)/pers/an.

Quatre études s'intéressent à l'évaluation du coût du bruit des avions. Levesque (1994) utilise la méthode des prix hédonistes. Il montre que le bruit des avions dans la région de Winnipeg est estimé à 1,3%. En effet, la valeur de la maison baisse de 1,3% pour une augmentation de 1dB(A). Yamaguchi utilise la même méthode pour évaluer le coût de bruit des avions à Londres. Il trouve que la valeur de la maison baisse de 1,51% si le niveau de bruit augmente de 1dB(A). Faburel et Luchini (2000) effectue une application de la méthode d'évaluation contingente au bruit des avions à Orly. Ils montrent que le coût social du bruit des avions s'élève à plus de 2,3 millions d'€/an pour six communes du Val-de-Marne fortement exposées.

	prix hédoniste	méthode contingente	coût d'évitement	coût de dommage
<i>Bruit de la route</i>	Hamende et Hermesse (2000)			
		Wibe (1995)		
		Saelensmide (1999)		
		Lambert et al. (2001)		
		Dogs et al. (1991)		
				IWW/INFRAS (2000)
<i>Bruit sur les rails</i>	Boniver et Thiry (1994)			
	Strand and Vagnes (2001)			
		Navrud (2000b)		
		Dogs et al. (1991)		
<i>Bruit des avions</i>	Levesque (1994)			
	Yamaguchi (1996)			
		Thune-Larsen (1995)		
		Faburel et Luchini (2000)		
<i>Autres types de bruit</i>		Navrud (2000b)		

Tableau 10 : Revue de la littérature sur les estimations de coût de bruit

6.2.4 La monétarisation des effets des accidents

Lors d'une revue de la littérature sur la valorisation monétaire des accidents de transport, on constate que plusieurs études ne font que citer une valeur d'évitement d'un décès déjà existante. Boniver et Thiry (1994) utilisent la valeur de 1M\$ issue de l'étude de Jones-Lee (1990) sur les accidents de la route. Chanel et al. (1996) utilisent la valeur de 1,1M\$, issue d'une évaluation contingente menée par le NET (1994) sur les accidents de la route. Leksell (2000) fait référence à une valeur d'évitement de décès de 2,4M\$ utilisée en Suède pour les accidents de la route et il propose une valeur d'année de vie de 0,12 M\$ pour un taux d'actualisation de 3% par an.

D'autres études calculent explicitement une valeur d'évitement d'un décès par l'une des méthodes évoquées précédemment. Johannesson et al. (1996) étudient la valeur d'évitement d'un décès par une méthode contingente. Ils trouvent respectivement 4,5-8,8 M\$ (transport privé) et 2,6-7,3 M\$ (transport public). Desaignes et Rabl (1994) étudient la réduction du nombre de vies perdues dans les accidents routiers en France. Ils obtiennent une valeur de 1,1 M\$.

Source	Méthode	Commentaires
Desaignes et Rabl (1995)	méthode contingente	une analyse économétrique du CAP pour réduire le nombre de vies perdues dans les accidents de la route en France
Johannesson et al. (1996)	méthode contingente	ils étudient une valeur d'évitement de décès d'un accident en transport privé et public
Beattie et al. (1998)	méthode contingente	une étude sur la réduction du nombre de décès et la réduction du risque de mortalité associée aux accidents de la route
Leksell (2000)	méthode contingente	il déduit la valeur d'année de vie perdue pour les accidents de la route
Le Net (1992)	capital humain	la somme que les individus sont prêts à dépenser pour éviter un risque de décès supplémentaire
Hall (1996)	prix hédoniste	il utilise une valeur centrale 4,8M\$ d'une fourchette issue de la méthode de prix hédoniste (3,6-10,9 M\$)
Pearce (1996)	prix hédoniste	il utilise une valeur d'évitement de décès de 0,448 M\$
De Blaeij et al. (2003)	méta-analyse	constitue une synthèse de la littérature empirique sur la valeur statistique d'une vie humaine

Tableau 11: Revue de la littérature sur les estimations de coût d'accidents

7 Conclusion

A travers ce papier nous avons fait une revue de la littérature sur la valorisation monétaire des différentes externalités de transport à savoir la congestion, la pollution atmosphérique, le bruit et les accidents. Nous avons présenté les résultats d'estimation publiés par différents auteurs au cours de ces dix dernières années. On a illustré à la fois, des résultats numériques obtenus par une approche globale (en % de PIB) et des résultats numériques présentant une information plus fine sur la monétarisation des externalités (par mode de transport, par période de déplacement ou par types d'effet).

Dans ce travail bibliographique on a montré qu'il faut connaître, non seulement la valeur monétaire des externalités de transport mais aussi les paramètres dont elles dépendent et la façon dont elles varient. Ces paramètres sont liés aux choix méthodologiques, aux types d'effet, à la méthode utilisée, aux caractéristiques économiques et géographiques des pays étudiés mais aussi aux modes de transport, à la période de déplacement et à la zone d'étude (urbaine ou interurbaine).

Cette étude donne un bon éclairage pour les choix d'investissements, de tarification mais aussi pour les choix des politiques de mobilité durable. Elle permet aux chercheurs ainsi qu'aux praticiens de développer divers modèles d'analyse de la tarification des externalités et d'appliquer des modèles de choix des déplacements.

References

- [1] ALBERINI A., et al., 1999, Mortality risk valuation for environmental policy, Resources for the Future, discussion paper 99-47.
- [2] ARNOTT R., de PALMA A. and LINDSEY R., 1990, "Economics of bottleneck", Journal of urban economics, vol. 27(1), pp. 111-130.
- [3] ARNOTT R., de PALMA A. and LINDSEY R., 1993, "The welfare effects of congestion tolls with heterogeneous commuters", Boston College Working Papers in Economics 231, Boston College Department of Economics.
- [4] ARNOTT R., de PALMA A. and LINDSEY R., 1999, "Information and time-of-usage decisions in the bottleneck model with stochastic capacity and demand", European Economic Review, Vol. 43 (3), pp. 525-548.
- [5] AUSTIN, D., KRUPNICK A., BURTRAW D. and STOESELL T., 1999, "The Benefits of Air Pollutant Reductions in Maryland : Results from the Maryland Externalities Screening and Valuation Model", RFF Discussion Paper 99-05.
- [6] BOITEUX M., 2000, Transports : pour un meilleur choix des investissements, Commissariat Général Du Plan.
- [7] BONIVER V., THIRY B., 1994, « Les coûts marginaux externes du transport public de personnes en milieu urbain -estimations chiffrées pour la Belgique », cahiers économiques de Bruxelles, N° 142.
- [8] BOULADON G., 1991, "La mobilité en zone urbaine : apprendre l'économie des transports", Rapport OCDE, Paris.
- [9] BRANSTON D., 1975, "Link capacity Functions : A Review", Transportation Research,
- [10] Vol. 10, pp. 223-236.
- [11] BROSSIER C. et LEUXE A., 1991, « Imputation des charges d'infrastructures routières pour l'année 1997 », Conseil Général des Ponts et Chaussées.
- [12] BRANSTON D., 1976, « Link capacity functions : a review », Transportation Research 10, pp. 223-236.
- [13] BROSSIER C. et LEUXE A., 1999, « Imputation des charges d'infrastructures routières pour l'année 1997 », Conseil Général des Ponts et Chaussées.
- [14] CERTU, 1999, DU CREST Thierry et DUPREZ Fabien, « Note sur les travaux de R. PRUD'HOMME et M.S. YUE sur le coût de la congestion », Note de travail.
- [15] CHANEL O., GENIAUX G., RYCHEN F., DENIAU C. et GHATTAS B., 1996, "Evaluation monétaire des effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé : application à l'Ile-de-France », Rapport GREQAM pour le compte du ministère de l'environne-

ment.

- [16] CHANEL O., SCAPECCHI P. and VERGNAUD J.C., 2000, Long term health effects and economic valuation of public policies : an application to air pollution in France, Document de travail Eurequa-Greqam.
- [17] CHANEL O. et VERGNAUD J-C., 2001, «Monétarisation des effets de la pollution atmosphérique : un état de l'art pluridisciplinaire», DRAST-Ministère des Transports-PREDIT.
- [18] CLUZEL G., 1998, «Un bilan complet des coûts externes des transports en France et en Île-de-France _ application du barème SNCF de coûts externes», mémoire D.E.A. Transport, Marne-La-Vallée.
- [19] COMMISSION DES COMPTES DES TRANSPORTS DE LA NATION, 1999, « Les Transports en 1998 », 36ème rapport Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (DAEI/SES), IN-SEE.
- [20] Compte National du Transport de Voyageurs, 2001, Les coûts externes du transport de voyageurs, Rapport au ministre de l'équipement, des transports et du logement.
- [21] DE BLAEIJ A., RAYMOND J.G, FLORAX M., RIETVELD P. and VERHOEF E., 2003, "The value of statistical life in road safety : a meta-analysis", Accident Analysis and Prevention, 35 pp. 973-986.
- [22] DE PALMA A. et FONTAN C., 2001, "Éléments d'analyse de la composante horaire des déplacements : le cas de la région d'Ile-de-France", les cahiers scientifiques du transport, N° 39, pp. 55-86.
- [23] DE PALMA A., LINDSEY R. and PROOST S., 2006, Investment and the Use of Tax and Toll Revenues in the Transport Sector, Elsevier Science, à paraître.
- [24] DESAIGUES B. and RABL A., 1995, Reference values for human life : an econometric analysis of a contingent valuation in France. In : Schwab Christe, N.G., Soguel, N.C. (Eds.), Contingent Valuation, Transport Safety and the Value of Life. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 85-112.
- [25] ECOPLAN, 1996, "Monétarisation des coûts externes de la santé imputables aux transports", Rapport de synthèse pour le compte du service d'étude des transports du département fédéral des transports, des communications et de l'énergie Suisse.
- [26] FABUREL G. et LUCHINI S., 2000, "évaluation du coût social du bruit des transports : application de l'évaluation contingente au bruit des avions à Orly", Région et Développement 12.
- [27] FALLY S., JOANNES D., LEDUC D., SCHARLL M. F., 1996, La pollution atmosphérique, ses effets et ses coûts en région de Bruxelles-Capitale, Université libre de Bruxelles.

- [28] FONTAN C., 2003, Choix de l'heure de départ et coûts des délais : enquête et estimations en Ile-de-France, Thèse Doctorat-Université de Cergy-Pontoise.
- [29] HALL F., HURDLE V.F. et BANKS J.H., 1992, « Synthesis of recent work in the nature of speed-flow and flow-occupancy (or density) relationship on freeways », Transportation Research Record 1365, TRB, National Research Council, Whashington D.C., pp. 12-18.
- [30] HALL J., 1996, "Estimating environmental health benefits : implications for social decision making", International journal of social economics, vol. 23(4/5/6), pp. 282-295.
- [31] HAMENDE V. et HERMESSE A., 2000, Les coûts marginaux externes des transports de personnes sur les routes urbaines en Région wallonne, Centre International de Recherches et d'Information sur l'Economie Publique, Sociale et Coopérative.
- [32] ifen, Notes de méthode N°14, 2004 Les coûts environnementaux de l'automobile, une mise en perspective de l'évaluation.
- [33] INFRAS/IWW, 2000. External Costs of Transport : Accident, Environmental and Congestion Costs of Transport in Western Europe, report for the IRU-UIC, Paris.
- [34] JACOBS G., AERON-THOMAS A. and ASTROP A., 2000, Estimating global road fatalities, Report 445, ISSN 0968-4107, Transport Research Laboratory.
- [35] JOHANNESSON M., JOHANSSON P. O., O'CONOR R., 1996, "The value of private safety versus the value of public safety". Journal of Risk and Uncertainty 13, pp. 263-275.
- [36] JONES-LEE M. W., 1990, "The value of transport safety", Oxford Review of Economic Policy, vol. 6, pp. 39-60.
- [37] KUNZLI N., KAIZER R., MEDINA S., STUDNICKA M., CHANNEL O., HERRY M., HORAK F., PUYBONNIEUX-TEXIER V., QUENEL P., SCHNEIDER J., SEETHALER R., VERGNAUD J-C. and SOMMER H., 2000, "Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution : a European assessment", Lancet, 356, pp. 795-801.
- [38] LAMBERT J., 2001, "Le bruit des transports en Europe- Exposition de la population, risques pour la santé et coût pour la collectivité". Echo bruit, (96 - Numéro spécial le bruit en Europe), ISSN 0755-4397, pp. 6-11.
- [39] LANOIE P., PEDRO C., LATOUR R., 1995, "The value of a statistical life : a comparison of two approaches", Journal of Risk and Uncertainty, Vol. 10, pp. 235-257.
- [40] LEKSELL I., 2000, Health costs of particle emissions-Economic va-

- valuation of increased mortality due to exhaust emissions of fine particles, Chalmers University of Technology, Göteborg University, Sweden, Department of physical resource theory - Goteborg University.
- [41] LE NET, M. 1992, Prix de la vie humaine, application à l'évaluation du coût économique de l'insécurité, Commissariat Général du Plan, Ministère de l'équipement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
 - [42] LEVESQUE T. J., 1994, "Modelling the effects of airport noise on residential housing markets : a case study of Winnipeg International Airport", *Journal of Transport Economics and Policy*, pp. 199-210.
 - [43] LIVRE BLANC, 1998, Des redevances équitables pour l'utilisation des infrastructures : une approche par étapes pour l'établissement d'un cadre commun en matière de tarification des infrastructures de transport dans l'UE, Commission Européenne, Brussels.
 - [44] LIVRE VERT, 1995, Vers une tarification équitable et efficace dans les transports, Commission Européenne.
 - [45] MANIERE D., 2000, "Les estimations du coût de la pollution atmosphérique : divergence et premiers éléments de réponse d'une méta-analyse", *Revue région et développement*, 12.
 - [46] MAYERES I., OCHELEN S. and PROOST S., 1996, "The marginal external costs of urban transport", *Transportation Research D*, pp. 111-130.
 - [47] McCUBBIN D. R. et DELUCCHI M. A., 1999, "The health costs of motor-vehicle-related air pollution", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol 33 part. 3, pp. 253-86.
 - [48] Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (DAEI/SES), INSEE, 1999, Les Transports en 1998, 36ème rapport de la Commission des Comptes des Transports de la Nation CCTN.
 - [49] NAVRUD S., 2002, The State-of-the-Art on economic valuation of noise, Final Report to European Commission DG Environment.
 - [50] NICOLAS J-P., DUPREZ F., DURAND S., POISSON F., AUBERT P-L., CHIRON M., CROZET Y. et LAMBERT J., 2002, Dix ans de monétarisation des effets locaux de la pollution atmosphérique, Document Travail, CERTU, INRETS, LET.
 - [51] PEARCE D., 1996, "Economic valuation and health damage from air pollution in developing world", *Energy Policy*, Vol 24(7), pp. 627-630.
 - [52] PRUDHOMME R., 1999, "Les coûts de la congestion dans la région parisienne", *Revue d'économie politique*, 109(4), pp. 425-441.
 - [53] QUNJET E., 1990, Le coût social des transports terrestres, Monographie OCDE, Paris.

- [54] QUINET E., 1994, Les coûts sociaux des transports : évaluation et liens avec les politiques d'internalisation des effets externes, in : CEMT, « Internaliser les coûts sociaux des transports », OCDE, Paris.
- [55] QUINET E., 1997, full social cost of transportation in Europe, in Greene, Jones and Delucchi, the full social costs and benefits of transportation, Springer-Verlag.
- [56] QUINET E., 2004, "A meta-analysis of Western European external costs estimates", Transportation Research Part D : Transport and Environment, vol. 9, Issue 6, pp. 465-476.
- [57] RABL A., SPADARO J.V., 1997, Les coûts environnementaux de l'énergie, Rapport final, Ecole des Mines de Paris-ARMINES.
- [58] RABL A., SPADARO J.V. et DESAIGUES B., 1998, Analyse coût-bénéfice des politiques de la lutte contre la pollution : validation d'outils à partir du cas de la pollution particulaire de l'air en Ile-de-France, Rapport final du Centre d'énergétique.
- [59] RANSON M. R. et POPE A.C., 1995, "External health costs of a steel mill", Contemporary economic policy, vol. 13(2), pp. 86-97.
- [60] RICCI A., 2004, Evaluation des coûts externes et définition des politiques, in de Palma A. et Quinet E., La tarification des transports : enjeux et défis, Economica, pp. 179-196.
- [61] SAELENSMINDE K., 1999, "Stated choice valuation of urban traffic air pollution and noise", Transportation Research Part D, N°4, 13-27.
- [62] SANTOS G., 2004, Effets de la tarification dans quelques villes anglaises, in de Palma A. et Quinet E., La tarification des transports : enjeux et défis, Economica, pp. 197-221.
- [63] SEGONE C., 1998, Comportements de choix d'itinéraires : le cas des automobilistes marseillais confrontés au péage urbain de financement, Thèse doctorat-Université Lumière Lyon 2.
- [64] SOMMER H., SEETHALER R., CHANEL O., HERRY M., MASSON S. et VERGNAUD J-C., 1999, Health costs due to road traffic-related air pollution, Technical Report TEH07 on Economy prepared for the WHO Ministerial Conference on environment and health, London, June.
- [65] SPADARO J.V., RABL A., JOURDAIN E. and COUSSY P., 1998, "External costs of air pollution : case study and results for transport between Paris and Lyon", International Journal of Vehicle Design, Vol.20, No.1-4, pp. 274-282.
- [66] THUNE-LARSEN H. 1995, Charges on air traffic noise by means of conjoint analysis, TOI Report 289/1995.
- [67] TISSON O., 1997, « Une évaluation globale de la congestion à partir

- de l'enquête transport» Recherche Transports Sécurité, n° 57.
- [68] VICKREY W. S., 1969, "Congestion theory and transport investment", American Economic Review, 59, pp. 251-260.
 - [69] YAMAGUCHI Y., 1996, Estimating the cost of aircraft noise around airports in London, unpublished MSc dissertation, University College London.
 - [70] WILLINGER M. et MASSON S., 1996, Evaluation des coûts de la pollution atmosphérique sur la santé en Ile de France, Dossier documentaire les Mercredis de l'ADEME, ADEME-BETA.
 - [71] ZMIROU D., DELORAINE A., BALDUCCI F., BOUDET C., LEQUETTE C. et DECHENAUX J., 1997, Costing health effects of particulate air pollution, Document de travail.