

COMMISSARIAT GENERAL

DU PLAN

**Transports : choix des investissements
et coût des nuisances**

Président

Marcel Boiteux

Rapporteur général

Luc Baumstark

juin 2001

AVANT-PROPOS

*par Jean-Michel Charpin,
Commissaire au Plan*

Il y a sept ans, le Commissariat général du Plan rendait public un rapport sur la prise en compte de l'environnement et de la sécurité dans les choix d'investissements de transports, intitulé *Transports : pour un meilleur choix des investissements*. Le « rapport Boiteux » devait rapidement devenir une référence dans ce domaine. L'utilisation qui en fut faite est celle qu'espère tout président de groupe de travail : quelques mois plus tard, le gouvernement émettait une circulaire qui rendait effectives ses principales recommandations.

Ce résultat était d'autant plus remarquable que la matière, par nature, se prêtait difficilement au consensus. Il s'agissait de se mettre d'accord sur les valeurs monétaires à attribuer à des phénomènes rebelles au chiffrage : impact du bruit des trafics sur la santé, effets nocifs de la pollution atmosphérique, vies humaines épargnées, temps gagné.

Sur ces points, le calcul économique propose certes des méthodes claires, mais sa mise en œuvre est semée d'embûches. Chaque chiffrage est le résultat d'une démarche en plusieurs étapes, et à chaque étape il faut mobiliser des études provenant des sciences médicales, physiques et sociales, toutes disciplines qui ont leurs méthodes propres et peu d'occasions de dialoguer. Les estimations obtenues sont inévitablement imparfaites. Elles prêtent donc à controverse.

Pour autant, on ne saurait renoncer à les calculer. Le domaine des transports est désormais le secteur marchand où l'investissement public est le plus important. Cette circonstance s'explique par l'ampleur des avantages non marchands que les transports procurent. Elle a justifié de développer avec une précision et un effort d'exhaustivité ailleurs inconnus des calculs de rentabilité élargie, incorporant autant que possible tous les avantages et tous les coûts ressentis par la collectivité du fait des investissements réalisés. Dans bien des cas, ces coûts et avantages influencent de façon décisive la décision d'investir. C'est pourquoi on a perfectionné inlassablement les outils qui permettent de prendre en compte le temps gagné par les usagers, les nuisances subies par les riverains, les vies

- Avant-propos -

humaines sauvées ou perdues. Chaque fois qu'un avantage ou une nuisance se trouvent monétarisés, on a la certitude qu'ils influenceront sur le choix final, car la rentabilité attribuée au projet portera leur trace. Chaque fois que c'est jugé impossible, en raison des controverses ou par excès de scrupules, cette influence est fatalement moindre.

Récemment, le gouvernement a souhaité approfondir les résultats du travail de 1994. Marcel Boiteux a bien voulu accepter cette mission difficile, qu'il avait si remarquablement menée à bien il y a sept ans. Je tiens à le remercier très vivement, ainsi que le rapporteur général Luc Baumstark et les nombreux experts qui ont préparé les séances et rédigé les documents préparatoires.

Comparé à celui de 1994, le rapport de 2001 va plus loin. Il le fait de deux manières. En premier lieu, il explore des domaines précédemment jugés peu accessibles à l'analyse économique, comme la congestion urbaine ou l'occupation de l'espace. Dans ces domaines, l'état de l'art ne permet pas toujours de proposer des chiffres précis. Le rapport recommande alors des études complémentaires et suggère des méthodes. En second lieu, il revient sur un certain nombre de domaines où la science a progressé. Cela le conduit souvent, ainsi pour le bruit ou la valeur accordée au temps, à préconiser des jeux de valeurs qui collent de plus près qu'auparavant à la réalité des phénomènes et des comportements. Cela l'amène aussi, comme pour la pollution ou la vie humaine, à incorporer les résultats des très nombreuses études entreprises en France et à l'étranger au cours des dernières années. Les valeurs recommandées peuvent alors différer de celles qui sont en vigueur aujourd'hui.

Cela n'a rien d'étonnant. La façon dont on prend en compte les avantages et les nuisances dépend inévitablement de l'état des connaissances, et celles-ci progressent en fonction de l'intérêt que la société accorde à l'environnement, au temps libre, à la santé et à la sécurité. Chaque rapport est marqué par son époque : il reflète les préférences du moment et les progrès accomplis. Ce « rapport Boiteux n° 2 » intègre l'ensemble des avancées réalisées dans l'analyse des nuisances et de leurs conséquences. Lorsque ses préconisations seront mises en œuvre, il contribuera à améliorer la préparation des décisions d'investissement dans les transports.

SOMMAIRE

Introduction.....	13
--------------------------	-----------

Chapitre Premier - LA CONTRAINTE DE RARETÉ DU PÉTROLE ET LES RISQUES LIÉS À L'EFFET DE SERRE	25
---	-----------

1. La contrainte de rareté des ressources pétrolières	26
1.1. Anticiper l'évolution du prix du pétrole	26
1.2. Le prix du pétrole à retenir dans les évaluations	28
2. Les risques liés à l'effet de serre.....	28
2.1. Anticiper l'évolution du prix du carbone	28
2.2. Le prix du carbone à retenir dans les évaluations	32

Chapitre II - LA VALEUR DU TEMPS DANS L'ÉVALUATION DES PROJETS.....	35
--	-----------

1. Le concept théorique et pratique de la valeur du temps.....	35
1.1. L'amélioration des modèles de prévision de trafic.....	37
1.2. Des valeurs du temps normalisées.....	39
2. Recommandations	41
2.1. Les valeurs du temps normalisées en milieu urbain	41
2.2. Les valeurs du temps normalisées pour les voyageurs interurbains	43
2.3. Première approche des valeurs du temps pour les transports de marchandises	44
2.4. La mise en application de ces valeurs du temps	47
2.5. Les modèles de trafic et leur utilisation dans l'évaluation des rentabilités.....	49

**Chapitre III - CONGESTION URBAINE ET INTERACTIONS
ENTRE LA CIRCULATION DES VÉHICULES PARTICULIERS
ET LES AUTRES USAGES DE LA VOIRIE..... 51**

1.	Appréhender la congestion en milieu urbain.....	52
1.1.	La congestion urbaine et les interactions entre circulation automobile et autres usages de la voirie.....	52
1.2.	Complexités conceptuelles et difficultés de mesure.....	53
2.	Comment améliorer les évaluations de projets de transport en commun en milieu urbain.....	56
2.1.	Mieux appréhender les effets de la congestion dans les transports collectifs urbains.....	56
2.2.	Mieux apprécier la situation de référence	58
2.3.	Améliorer les connaissances sur les gênes engendrées	59
2.4.	Distinguer l'évaluation d'un projet localisé et celle d'une politique stratégique	60

**Chapitre IV - PRISE EN COMPTE DE L'OCCUPATION
DE L'ESPACE DANS LES ÉVALUATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES
DES PROJETS DE TRANSPORTS URBAINS 63**

1.	Approche économique des effets de coupure.....	63
2.	Affectation des espaces publics	66
2.1.	La rareté de l'espace public	66
2.2.	Coût des emprises foncières.....	67
2.3.	Affectation de l'espace entre usages internes au secteur des transports.....	69
3.	Effets sur les paysages : description et monétarisation.....	72
4.	Recommandations pour les dossiers d'évaluation.....	73

**Chapitre V - LA VALORISATION DU BRUIT
DANS LES ÉVALUATIONS DE PROJETS DE TRANSPORT 77**

1. Les valeurs à retenir dans les projets de transport	78
1.1. Évaluation du bruit par la méthode des préférences révélées	78
1.2. Coûts unitaires du bruit, périodes et niveaux d'exposition.....	80
1.3. L'acceptabilité sociale de l'évaluation du bruit : utilisation de valeurs moyennes.....	83
2. Recommandations particulières.....	84
2.1. Différenciation intermodale de l'évaluation.....	84
2.2. Prise en compte des effets à long terme sur la santé.....	85
2.3. Prise en compte du bruit en l'absence de tracé suffisamment défini.....	86
2.4. Prise en compte du bruit pour les bâtiments publics et les zones non habitées	88
2.5. Les études que le groupe recommande d'entreprendre	89

Chapitre VI - LA VALEUR DE LA VIE HUMAINE..... 91

1. Les méthodes d'évaluation	92
2. Analyse des études récentes et pratiques étrangères.....	95
3. Recommandations	98
3.1. Une valeur de la vie humaine unique pour les décisions publiques	98
3.2. Proposition de nouvelles valeurs	102
3.3. La valorisation des blessés graves et légers.....	103

**Chapitre VII - PRISE EN COMPTE DE LA POLLUTION
ATMOSPHÉRIQUE LIÉE AUX TRANSPORTS 107**

1. Les effets externes liés à la pollution atmosphérique des transports : un état des lieux	108
1.1. Méthodologie	108

- Sommaire -

1.2.	L'analyse faite dans le rapport de 1994	110
1.3.	Les effets sanitaires.....	111
1.4.	Les résultats des principales études.....	114
2.	L'évaluation des effets sanitaires.....	119
2.1.	Le processus.....	119
2.2.	Les relations dose-réponse	120
2.3.	Les principes de calcul retenus	123
2.4.	Calcul des valeurs résultantes	127
3.	Conclusions et recommandations	128
3.1.	Les valeurs de référence.....	128
3.2.	Évolution des paramètres	132
3.3.	Considérant l'insuffisance des données sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, le groupe propose d'engager des études dans trois directions.....	134

Chapitre VIII - RÉCAPITULATIF DES PRINCIPALES RECOMMANDATIONS	137
--	------------

Chapitre IX - LES ÉTUDES QUE LE GROUPE DE TRAVAIL RECOMMANDE D'ENTREPRENDRE.....	141
---	------------

ANNEXES

Annexe 1 - Prix du pétrole, prix du carbone et règle de Hotelling	147
1. La règle de Hotelling.....	149
2. La prise en compte de l'effet de l'incertitude et des irréversibilités : application au prix du carbone	151
3. Définir la trajectoire temporelle du prix du pétrole	151
4. Définir la trajectoire intertemporelle du prix du carbone	153
5. Recommandations	160

Annexe 2 - La valeur du temps dans l'évaluation des projets	165
1. La valeur du temps : considérations générales	167
2. Modèles et valeur du temps	175
3. La mise en œuvre d'une méthode d'évaluation standardisée	179
4. Recommandations	190

Annexe 3 - Congestion urbaine et interaction entre la circulation des véhicules particuliers et les autres usages de la voirie.....	209
1. Congestion : complexités conceptuelles et difficultés de mesure.....	212
2. Mesures de la congestion en milieu urbain	215
3. Recommandations	219

Annexe 4 - Prise en compte de l'occupation de l'espace dans les évaluations socio-économiques des projets de transports urbains	225
1. Effets de coupure.....	227
2. Affectation des espaces publics.....	233

- Sommaire -

3.	Effets sur les paysages	237
4.	Recommandations pour les dossiers d'évaluation.....	238

**Annexe 5 - La valorisation du bruit
dans les évaluations de projets de transport..... 241**

1.	Les valeurs à retenir dans les projets de transport.....	244
2.	Recommandations particulières	263

**Annexe 6 - Valeur de la vie humaine et transport
Pratiques et études 273**

1.	Quelques chiffres	275
2.	La pratique française.....	277
3.	Les valeurs « officielles » européennes	278
4.	Les résultats provenant d'études scientifiques	281

**Annexe 7 - Prise en compte de la pollution atmosphérique
liée aux transports..... 289**

1.	Quelques éléments sur les transports et la pollution atmosphérique	291
2.	Les principales études européennes récentes	301

Composition du groupe de travail 315

Mandat du groupe 323

INTRODUCTION

par Marcel Boiteux

Le ministre de l'Équipement, des Transports et du Logement, et la ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, ont souhaité que soient mis à jour ou complétés certains des chiffrages qui avaient été proposés dans un rapport antérieur¹ pour évaluer les principaux impacts des nuisances à prendre en compte dans les bilans socio-économiques de projets d'infrastructure de transport.

Quatre points ont été spécialement soumis à l'examen du groupe de travail :

- l'utilisation de la règle de Hotelling pour valoriser les effets irréversibles affectant des ressources non renouvelables (modification du climat par les gaz à effet de serre et épuisement des réserves pétrolières) ;
- l'évaluation, en zone urbaine, des effets de la congestion sur les autres modes de transport que la voiture, l'évaluation des effets de coupures et celle des surfaces occupées ;
- la valorisation du bruit, surtout en zone urbaine ;
- la valeur du temps ;

À ces thèmes ont été ajoutées ultérieurement :

- l'évaluation de l'effet des pollutions classiques ;
- la valorisation de la vie humaine.

Cette démarche de monétarisation, qui avait déjà donné lieu de la part de l'Administration à d'importantes suites opérationnelles après le rapport de 1994, s'inscrit dans la préoccupation générale de valoriser les avantages et

(1) « *Transports : pour un meilleur choix des investissements* », Commissariat général du Plan, 1994.

- Introduction -

inconvénients non marchands d'un projet, afin de fournir aux décideurs une évaluation complète des gains et des coûts engendrés par les diverses opérations et variantes entre lesquelles ils ont à choisir.

Le système des prix et le jeu des marchés ne méritent en effet la réputation à laquelle ils prétendent de contribuer à la prospérité publique que dans la mesure où les coûts pour le décideur représentent réellement les coûts pour la collectivité. Ces coûts doivent donc inclure de façon aussi exhaustive que possible l'évaluation des nuisances nettes – c'est-à-dire aménités déduites – qui accompagnent les dépenses marchandes.

À une époque où l'on s'inquiète de plus en plus de la congestion des transports dans les zones urbaines, et de la croissance des cortèges de poids lourds qui défilent sur les voies interurbaines, on est fondé à s'interroger sur les raisons de cet état de chose. Dans les villes, le partage du trafic entre automobiles et transports en commun ne serait-il pas différent si chaque mode de transport supportait les coûts non marchands qu'il inflige à la collectivité ? N'en serait-il pas de même pour le partage du trafic entre le train et les poids lourds, pour le transport interurbain des marchandises ?

D'aucuns contestent que, dans cette concurrence entre modes de transport, chacun supporte bien sa juste part de dépenses marchandes. La question sort de l'objet de ce rapport. Mais il importe aussi de savoir ce que chaque mode devrait supporter au titre des nuisances et aménités non marchandes qu'il génère, pour savoir ce que serait le partage du trafic s'il en était ainsi, et chercher les moyens d'y parvenir.

Même s'il ne couvre pas la totalité du sujet (tel que gaz à effet de serre autre que le CO₂, congestion en rase compagnie, choix du taux d'actualisation, etc.), le présent rapport traite de l'essentiel des éléments non marchands, mais monétarisables, susceptibles d'être pris en compte dans le calcul de l'utilité économique des projets d'infrastructures et d'intervenir ainsi dans le choix des modes de transport.

Mais, que ce rapport soit axé sur les problèmes de transport n'implique en aucune manière que la valorisation proposée des nuisances (et leur taxation éventuelle) ne vaille que pour ce secteur d'activité. L'impact d'une nuisance a le même coût non marchand pour la société quelle qu'en soit l'origine et, même si ce coût est parfois difficile à déterminer, la valeur « tutélaire » que les pouvoirs publics décideront d'attribuer à l'unité d'impact d'une nuisance, après étude des spécialistes, ne saurait être différente suivant les secteurs. Qu'il n'en soit pas ainsi dans la réalité, que la valeur *ex-ante* d'une vie sauvée s'avère

différente sur le réseau routier et dans les hôpitaux, que certains polluent dans la plus parfaite immunité alors que d'autres sont taxés, ne fait que traduire l'imperfection de nos comportements. Mais le principe demeure. Aussi, bien que certaines approches évoquées dans ce rapport soient spécifiques au monde du transport, la vocation des normes proposées n'en reste pas moins de caractère général.

Bilan socio-économique et analyse multicritères

L'estimation monétaire des nuisances, faute d'être validée par un marché, est nécessairement incertaine. D'autre part, le poids de la valeur affectée au temps gagné (ou perdu) s'avère généralement prépondérant dans les bilans socio-économiques d'investissements de transport, ce qui suscite un débat récurrent sur la portée elle-même de ces bilans : les incertitudes sur l'évaluation du temps gagné y sont souvent du même ordre de grandeur que les valeurs attribuées aux autres effets, et ces valeurs font elles-mêmes l'objet de critiques – encore que ces critiques portent désormais davantage sur les bases empiriques utilisées pour les calculs que sur la légitimité de la démarche. Aussi a-t-il été envisagé, et parfois décidé, d'abandonner les bilans socio-économiques, pour recourir à des analyses multicritères où les différents facteurs de la décision sont successivement exposés, et chiffrés si possible, sans chercher à en faire une pondération monétaire qui permettrait de déterminer la solution prétendument la meilleure.

Il apparaît en réalité que cette opposition entre les bilans socio-économiques et les analyses multicritères est largement factice, le résultat monétarisé d'un bilan ne prétendant pas plus dicter la décision que l'analyse multicritères n'impliquerait une pondération quasi uniforme des divers critères examinés.

Au surplus, dans des dossiers qui sont de plus en plus fournis, la tendance est bien aujourd'hui d'introduire des développements où sont comparés en termes monétaires chaque fois que possible, et selon des procédures de plus en plus normalisées, les avantages et les coûts liés au projet.

Il est clair, en tout cas, que les facteurs du choix d'un investissement ne sauraient avoir tous le même statut. On peut distinguer, d'une part ce qui fait l'objet d'évaluation marchande à base de coûts et de prix observés ou prévisibles, d'autre part ce qui fait l'objet d'évaluations non marchandes par le biais de monétarisations du type de celles qu'on trouvera ci-après, enfin ce qui n'est vraiment pas (ou peu) monétarisable en l'état actuel des connaissances et des mœurs. De même qu'apparaîtront sous la première rubrique – l'évaluation

- Introduction -

marchande – des variantes techniques et des marges d'incertitudes sur les prix, il conviendra, sous la deuxième rubrique, de procéder à des tests de sensibilité d'autant plus étalés que l'évaluation non marchande de la nuisance visée est moins solidement établie. Et, multicritères ou pas, il faudra bien, dans tous les dossiers, évoquer au titre de la troisième rubrique les avantages et les inconvénients auxquels on n'a pas su attacher une valeur monétaire, même approximative.

Encore convient-il, dans cette approche par étape, de veiller à éviter les doubles comptes. C'est ainsi, par exemple, que le coût non marchand d'une nuisance se trouve en partie « internalisé », donc déjà compté dans les coûts, lorsque la réglementation oblige l'investisseur à respecter certaines normes visant à limiter à un seuil défini la nuisance rémanente de son projet. De même ne peut-on compter à la fois, au titre des avantages, les « surplus » dont vont bénéficier les usagers d'une nouvelle infrastructure, et l'accroissement de la valeur foncière de ceux des terrains alentours qui seront ainsi mieux desservis.

Mais l'intérêt de faire du bilan socio-économique, non le critère mais le noyau de l'estimation de la valeur d'un projet, c'est de permettre une analyse des raisons pour lesquelles on est conduit à s'écarter de la solution à laquelle ce seul bilan aurait conduit, et de pouvoir ainsi chiffrer le surcoût de la décision : si telle préoccupation d'urbanisme conduit à préférer, pour un investissement de transport, une solution qui coûtera cinquante millions de plus que la solution dont le bilan socio-économique était apparemment le meilleur, on peut alors se poser utilement la question de savoir si, avec ces cinquante millions, on ne pourrait faire mieux encore, autrement et ailleurs, pour ce même urbanisme.

Valorisation et taxation des nuisances

S'il s'agit de décisions à prendre dans la sphère publique, ce qui est généralement le cas pour les infrastructures de transport, la monétarisation des nuisances peut ne faire l'objet que de directives pour l'évaluation économique des opérations à juger. En revanche, dans la sphère privée, les entreprises n'ont le devoir de maximiser – durablement – que leurs profits marchands, tant au bénéfice de leurs actionnaires que pour financer leur développement. Cela n'exclut pas, dans une vision longue de leur existence, qu'elles se préoccupent des nuisances que leurs activités engendrent, dans la mesure où celles-ci pourraient susciter protestations et campagnes de presse. Cela n'exclut pas non plus que l'autorité publique leur impose des normes ou négocie avec elles des dispositifs aptes à limiter ces nuisances. Mais la manière la plus sûre de doser exactement l'incitation à bien faire, ou d'accompagner les directives prises à

cette fin, c'est de créer une taxe, une écotaxe, qui transformera en coût marchand pour l'entreprise ce qui était préoccupation de sa « Dircom » ou pression des autorités publiques : si éviter la nuisance coûte moins cher que payer la taxe, on évite ; si cela coûte plus cher, on n'évite pas et on paye.

Cette internalisation des nuisances par la taxation a deux mérites, que l'on sous-estime parfois.

Le premier, c'est de pousser à l'égalisation de l'effort marginal d'évitement. S'il suffit, ici, de dépenser 100 F pour éviter l'émission d'une tonne de carbone alors que, là, il en faudrait 1 000, mieux vaut y renoncer là et consacrer ces 1 000 F à éviter ici l'émission de dix tonnes : une tonne de plus là, qu'on aurait économisée, dix tonnes de moins ici, qu'on va économiser, le gain est de neuf tonnes à dépense égale. Il y a donc un intérêt puissant à sélectionner les évitements les moins coûteux, jusqu'à arriver à une situation où les coûts d'un évitement supplémentaire ici ou là, les « coûts d'évitement marginaux », seront les mêmes partout, et égaux en l'occurrence au montant de la taxe.

On illustrera cette problématique en s'arrêtant un instant sur le thème, immédiatement sensible pour tous, de la sécurité et du « prix de la vie humaine ». L'objectif est de préserver le maximum de vies humaines à dépense égale, et donc de répartir les efforts de sécurité jusqu'à égaliser partout le coût d'évitement d'une mort supplémentaire. Plutôt que d'organiser, comme on l'envisage pour les « permis de polluer » par le gaz carbonique, un marché des « permis de tuer » – ce qui susciterait une opposition indignée¹ – mieux vaut édicter de façon volontariste une valeur commune, valeur que les spécialistes appellent dans leur jargon « valeur du mort » mais dont il ne faut pas oublier la signification : c'est, pour sauver le plus possible de vies humaines dans le cadre de contraintes financières qui sont ce qu'elles sont, le maximum acceptable de coût d'évitement d'une mort supplémentaire anonyme. Négliger cette égalisation, c'est consentir à des morts supplémentaires.

Mais cette convergence souhaitable des coûts d'évitement s'entend à aversion égale pour le risque. Dans le cas limite de ceux qui risquent volontairement leur vie – compétitions, sports extrêmes, comportements dangereux – la satisfaction qu'ils éprouvent vient en déduction de la valeur de la vie humaine sur laquelle

(1) Les questions de vocabulaire sont de première importance dans ces domaines controversés et il est sûr que l'idée d'un marché des « permis de polluer » aurait été mieux accueillie si, passant de l'acheteur au vendeur, on les avait appelés certificats de dépollution.

- Introduction -

la société doit se fonder pour mettre en place les moyens de les sauver en cas de besoin. Ce qui n'empêche pas, le jour venu, quand il ne s'agit plus de l'homme statistique mais d'une personne déterminée, de faire tout ce que l'on pourra pour sauver l'accidenté... avec les moyens disponibles.

On voit pourtant, pour revenir au gaz carbonique, de bons esprits se préoccuper de l'iniquité d'un système qui va faire supporter de lourdes charges aux industries qui polluent beaucoup, à l'avantage de celles qui polluent peu. Ne pourrait-on pas se contenter de négocier des réductions d'émission raisonnables, sans aller jusqu'à la taxe ?

Le fait est que les industries très polluantes sont à peu près d'accord pour mettre fin progressivement aux pollutions dont le coût d'évitement apparaîtrait inférieur à ce que serait le niveau envisageable d'une taxe, mais demandent à être exonérées de ladite taxe pour les pollutions qui subsisteront puisque celles-ci auraient subsisté de toute manière avec une taxation effective. Autrement dit, l'industrie en cause s'engage à faire ce qu'elle aurait dû faire avec l'instauration d'une taxe ; dès lors qu'elle le fait, pourquoi lui faire payer la taxe pour les pollutions rémanentes ?

Il y a là un contresens qui conduit à souligner le deuxième mérite de la taxation : celui d'internaliser dans les coûts du producteur la valeur des nuisances qu'il engendre (en l'occurrence, celles qui subsistent après taxation). Le prix du produit se trouve ainsi majoré de la taxe représentant le coût pour la collectivité des nuisances engendrées, et cette majoration va se répercuter tout au long de la chaîne des productions et des nuisances qui aboutit au produit final. Ainsi le consommateur ultime verra lui-même ses choix orientés par des prix qui incorporeront l'exacte fraction de toutes les nuisances dont il se rendra responsable en choisissant tel objet plutôt que tel autre.

Cela dit, on ne peut ignorer l'alourdissement des coûts qu'impliquent, le long des chaînes de production, la suppression accumulée des nuisances et la taxation des nuisances rémanentes. Pleinement justifiés dans un monde clos où la règle est la même pour tous, ces alourdissements pèsent sur la compétitivité des industriels qui sont en concurrence avec des producteurs non soumis aux mêmes obligations et taxations. S'il s'agit de nuisances locales – pollution chimique, bruit, etc. – d'aucuns trouveront dans ce système une incitation heureuse à voir les industries polluantes s'installer ailleurs, là où ces pollutions sont acceptées ou ignorées. Mais il faut tenir compte des conséquences locales, en emploi et en valeur ajoutée, de telles expatriations. Et s'il s'agit de pollutions mondiales – telles que l'accroissement de l'effet de serre – la délocalisation des industries nationales se ferait en pure perte.

Force est donc, après avoir compris les mérites de l'écotaxation, d'en arbitrer les avantages de principe avec les inconvénients de fait. Mais savoir ce que l'on devrait faire si on le pouvait reste une référence indispensable pour consentir aux meilleurs arbitrages.

Valeur tutélaire ¹ et confrontation pollueur-pollué

Ce qui précède s'entend pour les nuisances qui peuvent être évaluées et/ou taxées à l'unité : les tonnes de carbone, les émissions d'oxydes de soufre et d'azote, le nombre de vies humaines statistiquement épargnées, etc.

D'autre part, par opposition au cas où la monétarisation de la nuisance peut résulter de la confrontation directe entre le pollueur et le pollué (confrontation qui devrait engendrer l'égalisation des valeurs marginales d'évitement de la nuisance, côté émission, avec les valeurs marginales de réparation ou d'indemnisation, côté réception), il s'agissait de valeurs tutélaires, fixées par la puissance publique.

En effet, dans le cas du gaz carbonique par exemple, la confrontation ne peut avoir lieu avec nos petits-enfants et leurs descendants, sur qui pèseront dans le monde entier les conséquences redoutées de l'effet de serre : une puissance publique aussi mondiale que possible doit les représenter pour fixer une « valeur tutélaire » de la tonne marginale non émise et la transformer en taxe, ou organiser un marché des permis d'émission dont l'équilibre s'établira, par dualité, à ce niveau. De même, pour les émissions de particules et de gaz toxiques, oxydes de soufre ou d'azote : outre nos poumons, doivent être représentés par les collectivités intéressées les monuments publics et forêts agressés par ces pollutions. Quant à la valeur marginale du mort anonyme, elle devrait résulter d'un débat parlementaire éclairé, puisque tous les citoyens soumis à la même autorité politique sont intéressés ; à défaut, c'est

(1) On a conservé dans ce rapport l'expression habituelle de « valeur tutélaire ». Mais alors que cette notion s'appliquait dans le passé à une valorisation que l'État, dans sa sagesse, promulguait pour le bien de ses administrés sans avoir nécessairement à épouser leur point de vue, il s'agit ici d'une valeur que l'on s'efforce de fixer en analysant le comportement des gens (valeurs révélées) ou leurs réponses à des enquêtes (valeurs déclarées). Ces études conduisant à des ordres de grandeur ou à des fourchettes, mais pas à des valeurs précises, l'État intervient pour en normaliser les résultats et faire en sorte que tous les intéressés utilisent, jusqu'à nouvel ordre, la même valeur. Le dit État ne cherche donc pas à se placer au-dessus de ce que révèle l'étude des comportements et des opinions des gens, il normalise les résultats de ces analyses.

- Introduction -

l'Administration qui, par dualité des contraintes financières qu'elle supporte, doit proposer à l'autorité politique une valeur tutélaire de la vie humaine assurant l'égalisation dans toute l'économie du coût d'évitement d'une mort marginale.

En revanche, pour d'autres types de nuisance, la confrontation est concevable alors que la fixation tutélaire d'un seuil unitaire, ou la taxation, ne l'est guère. C'est notamment le cas pour le bruit : de la confrontation entre l'émetteur et ses victimes peut résulter, après débat, un accord assurant idéalement à la marge l'égalité entre le coût d'évitement d'un côté (enfouissement, digues, panneaux antibruits, etc.) et, de l'autre, le coût de réparation (doubles-vitrages, rideaux d'arbustes) ou d'indemnisation (baisse de la valeur foncière).

Mais on peut imaginer que dans tel contexte particulier cet équilibre s'établisse pour un coût élevé à la charge des pouvoirs publics, au profit d'un petit nombre de personnes qui seront pratiquement protégées de tout bruit. Un problème d'équité se pose alors. Si, dans la région, on peut avec la même somme épargner à dix fois plus de personnes un bruit insupportable, là encore, à défaut de pouvoir se contenter de confrontations locales, la collectivité va intervenir pour tenter d'apprécier et de péréquer sur une large zone ce que serait un équilibre accepté entre coût d'évitement et coûts de réparation-indemnisation, et donc pour fixer des seuils et des modes de calcul normalisés des nuisances.

Des normes proposées sur des bases souvent incertaines

C'est à ce genre de tâches que s'est attelé le groupe de travail, soit pour fixer des prix unitaires de nuisance, soit pour édicter des seuils et des modes de calcul normalisés.

Mais, sitôt qu'il s'agit de passer des principes à la monétarisation, on est envahi par le sentiment que les données, les études, sont encore dramatiquement insuffisantes pour faire un travail scientifique vraiment solide. On aimerait attendre encore, probablement très longtemps.

Et pourtant, si l'on recule, certaines nuisances continueront à être écartées des bilans, donc comptées pour zéro dans les calculs faute de savoir quel chiffre retenir entre huit et douze. Et là où certaines corporations y trouveront intérêt, rien ne les empêchera de continuer à introduire dans leurs calculs des valeurs très élevées alors qu'on se contentera ailleurs de valeurs beaucoup plus faibles, trop faibles sans doute si ce n'est nulles, d'où des incohérences fâcheuses.

Force est donc de se jeter à l'eau.

Mais deux types de considérations peuvent aider les responsables de ces évaluations à vaincre leurs scrupules.

La première, c'est que les prix engendrés par la concurrence dans le secteur marchand ne sont pas non plus exempts de critiques. Censés refléter la rareté relative des choses et des talents, il faudrait que les marchés soient parfaits, au sens de la théorie, pour que leur verdict satisfasse pleinement cette exigence. En fait, le mérite des prix du secteur marchand, en l'occurrence, c'est qu'ils sont objectifs, en ce sens qu'ils ne sont pas construits consciemment par des groupes de travail ou des administrations, mais résultent d'un processus impersonnel et faisant intervenir généralement un grand nombre d'acteurs. Ils ne sont pas nécessairement parfaits pour autant.

Au surplus, pour nombre de décisions, c'est moins le prix actuel du marché que son évolution qu'il faut supputer et, là, on aborde le champ des incertitudes. Sans doute, si l'entreprise se trompe lourdement sur l'évolution de prix significatifs pour elle, elle fera faillite et la Bourse, subodorant cette issue fatale, fera baisser dès maintenant le cours de ses actions. Mais cet heureux mécanisme, qui donne une information anticipée sur la faillite ultérieure de celui-ci et pas de celui-là, ne suffit pas pour déterminer à coup sûr ce que sera la véritable évolution des prix !

Incertain sur la formation des prix de marché, incertain sur leur évolution, le secteur marchand ne saurait être auréolé d'une sorte de perfection intrinsèque qui, par comparaison, devrait inhiber les constructeurs de prix du secteur non marchand. Mais il est vrai que la tâche de ces derniers est plus difficile que celle des acteurs du marché dès lors qu'il s'agit, non de se substituer à chacun d'eux, mais à leur globalité ; et il est vrai aussi que leurs erreurs ne seront sanctionnées ni par la faillite, ni par la Bourse, ni, le jour venu et tout étant oublié, par les responsables de leur avancement.

La seconde considération susceptible de désinhiber les constructeurs de prix non marchands, c'est que leur verdict doit être considéré, à l'image de la formation des prix sur les marchés (mais sans doute sur une échelle de temps beaucoup plus longue), comme une étape d'un processus d'erreurs et de corrections successives.

À partir du jour où une valeur est fixée, à destination des administrations, pour la « valeur de la vie humaine » – *id est*, le coût maximum d'évitement d'une mort supplémentaire – les calculs d'infrastructure feront ressortir concrètement

- Introduction -

les conséquences de ce choix, conséquences qui seront ressenties, discutées, admises ici et refusées là compte tenu des contraintes financières régnantes. Et les critiques compétentes tendront à converger peu à peu vers une nouvelle valorisation, laquelle sera un jour édictée à son tour par un nouveau groupe de travail.

Autrement dit, au lieu de poursuivre dans le vide des débats sans issue, où le meilleur orateur risque de l'emporter dans le désordre, l'édition d'une valeur ou d'une norme qui va être effectivement utilisée dans les processus décisionnels ne manquera pas de susciter de nouveaux débats, mais des débats qui seront alors informés et constructifs, et qui permettront, d'étapes en étapes, de converger vers un barème suscitant un consensus de plus en plus général.

C'est dans cet esprit, et dans ces limites, qu'il convient d'aborder prix et normes figurant dans le présent rapport.



La préparation de chacun des thèmes traités en séance plénière a été confiée à des groupes de travail coordonnés respectivement par :

Jean-Pierre Amigues, université de Toulouse-I ;

Alain Bonnafous, université Lumière-Lyon-II ;

Jean-Paul Coindet, INRETS ;

Christian Gollier, université de Toulouse-I ;

Jacques Lambert, INRETS ;

Émile Quinet, ENPC ;

avec l'aide plus particulière de :

Olivier Beaumais, Commissariat général du Plan ;

Dominique Bureau, Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement ;

Vincent Chagnaud, Scetauroute/Groupe Egis ;

Gautier Chatelus, Direction de la Prévision, ministère de l'Économie et des Finances ;

Olivier Coutard, CNRS-LATTS ;

Jean-Michel Kail, Conseil général des Ponts-et-Chaussées ;

Jacques Lapeyre, Commissariat général du Plan ;

Jean-Claude Meteyer, Direction des affaires économiques et internationales du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement ;

Alain Morcheoine, ADEME ;

Olivier Paul-Dubois-Taine, Direction des affaires économiques et internationales du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement ;

Bernard Seligmann, inspecteur général, Conseil général des Ponts-et-Chaussées.

Au moment où leurs missions s'achèvent, je veux remercier ces personnalités pour le travail qu'elles ont accompli, les remercier aussi pour la patience avec laquelle elles ont supporté mes interventions, parfois tatillonnes, tant sur le fond que sur la forme de leurs rapports. Mes remerciements vont aussi aux membres de notre groupe, qui ont accepté de contribuer à l'établissement d'un consensus, chapitre par chapitre, malgré des convictions initiales parfois divergentes et sans qu'il ait fallu trop souvent mentionner des positions minoritaires dans les recommandations finales de chaque chapitre. Ils vont surtout à notre rapporteur général, Luc Baumstark, qui n'a pas ménagé sa peine pour rassembler, concilier, mettre en forme les textes et les points de vue, avec beaucoup de finesse et d'efficacité.

Mais, répétons-le, ce rapport ne constitue qu'une étape, et partielle, dans la voie qui aboutira un jour, de retouches en retouches, à des valeurs de mieux en mieux fondées.

Car on ne saurait trop souligner que le travail ici présenté est intrinsèquement imparfait, périodiquement révisable, mais tout à fait indispensable.

Chapitre Premier

LA CONTRAINTE DE RARETÉ DU PÉTROLE ET LES RISQUES LIÉS À L'EFFET DE SERRE

Les choix d'investissement pour les infrastructures de transport doivent tenir compte de certains effets de long terme qui, bien qu'appréciés avec plus d'incertitudes que des effets plus immédiats comme les gains de temps procurés aux usagers, n'en demeurent pas moins bien réels.

Or, l'outil traditionnel d'aide à la décision qu'est le calcul économique met en œuvre un taux d'actualisation qui, reflétant par nature une préférence sociale pour le présent, a tendance à déprécier d'autant plus les gains et les pertes que ceux-ci seront obtenus dans un avenir lointain. Cette approche classique pose problème lorsque le calcul en vient à minorer des effets irréversibles mal appréciés par les agents économiques.

Parmi ces effets, deux sont plus particulièrement préoccupants dans le secteur des transports. Le premier concerne l'évolution des ressources en pétrole, dont le transport est un gros consommateur ; le second est lié aux risques que font courir à la planète les émissions de gaz carboniques dans l'atmosphère, émissions dont le secteur est un des principaux contributeurs.

Ces deux effets, bien que de nature différente, peuvent faire l'objet d'une interrogation similaire : ne vont-ils pas se traduire par des augmentations de prix importantes alors que, les ressources en pétrole s'amenuisant, la contrainte de rareté se fera plus forte et que, les conséquences de l'effet de serre se révélant plus manifestes, la réduction des émissions de CO₂ se fera plus urgente ? Si tel devait être le cas, il y aurait un risque à engager des investissements et, ce faisant, le développement du secteur des transports, sur la base de signaux économiques erronés.

Les travaux d'économie théorique menés sur cette question, dont Hotelling a été l'initiateur, apportent des réponses précises à ces préoccupations. Pour résumer, on considère que, face à des ressources non renouvelables, il existe une rente de

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

rareté associée à l'épuisement de la ressource puisqu'une consommation faite aujourd'hui ne pourra plus l'être demain. On montre alors qu'une gestion optimale de cette ressource sera obtenue si le prix de la ressource croît à un taux égal au taux d'intérêt.

Toutefois, la portée pratique de cette proposition reste, comme telle, limitée. Si elle indique bien une règle d'évolution optimale des prix, elle ne dit rien sur le niveau optimal du prix initial. D'autre part, cette proposition suppose clairement définie la notion de ressources épuisables. Paradoxalement, dans bien des cas pratiques, cela ne va pas de soi. Il faut, en effet, tenir compte d'éléments qui peuvent alléger la contrainte de rareté : abaissement des coûts d'exploitation de la ressource ; effets de nouvelles découvertes, du progrès technique ou de l'apparition de substituts à la ressource non renouvelable considérée ; possibilités de recyclage de la ressource ou des matériaux qui en sont issus. Ces éléments importants ont conduit les théoriciens à étendre la règle d'Hotelling à un cadre d'hypothèses plus complexes et à considérer que le prix des ressources non renouvelables devait sans doute croître, mais à un taux généralement inférieur au taux d'intérêt. Ce que confirment, au moins pour partie, les quelques études empiriques disponibles.

1. La contrainte de rareté des ressources pétrolières

1.1. Anticiper l'évolution du prix du pétrole

Pour éclairer les décisions publiques en matière d'infrastructures de transport, il convient d'intégrer dans le calcul économique des trajectoires temporelles du prix du pétrole, tâche difficile puisque l'évolution de ce prix à court et moyen terme répond à des paramètres que l'on ne sait guère anticiper et que les modèles ne savent pas bien prendre en compte, tandis que, sur le long terme, l'évolution du prix du pétrole est hors de portée des modèles de prévision actuellement disponibles.

Dans l'état actuel des connaissances, il ne semble pas y avoir de contrainte à brève échéance sur les ressources pétrolières : depuis vingt-cinq ans, sous la double influence du progrès technique et des découvertes, le stock a progressé plus rapidement que les prélèvements. Malgré tout, il est bien clair que cette progression se heurtera un jour à une limite physique, selon un schéma proche de celui développé dans le prolongement des travaux de Hotelling. Tout le problème réside donc dans l'identification de l'horizon auquel cette contrainte

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

se resserrera. S'il s'agit de 80 ou 100 ans, le recours à la règle de Hotelling pour définir l'évolution du prix du pétrole n'est pas pertinent. S'il s'agit de 40 ans, l'application de la règle de Hotelling au-delà de cette échéance pourrait être justifiée, mais elle n'influencerait sans doute que marginalement les calculs économiques portant sur les choix des infrastructures de transport à construire aujourd'hui. Au surplus, il y a également lieu de tenir compte, à terme, d'évolutions technologiques probables concernant la motorisation des véhicules, dont certaines ouvriront des perspectives de substitution au pétrole au moins pour partie, si ce n'est en totalité.

Il ressort des travaux du groupe « Énergie 2010-2020 » du Commissariat général du Plan ¹ que le prix du pétrole devrait être borné pendant longtemps par le prix probable de la mise en œuvre des pétroles non conventionnels, qui serait de l'ordre de 30 dollars 1995 par baril. Néanmoins, comme on ignore la date d'épuisement définitif des réserves pétrolières et la date de disponibilité d'énergies alternatives, le prix du pétrole doit inclure à ce titre une prime de risque dont l'imputation aura pour effet d'en augmenter la valeur initiale. Cette imputation se justifie également par la nécessité de prendre en compte d'autres facteurs de risques, notamment de nature géopolitique : si l'on souhaite s'assurer une bonne adaptabilité à un éventuel choc énergétique, il faut susciter un système de prix qui élimine de l'économie les alternatives de production dont le coût d'adaptation à un tel choc serait trop élevé. Au surplus, le choix d'un prix du pétrole trop faible conduirait à privilégier, lors des choix d'infrastructures, des solutions dont l'intensité énergétique et l'inertie limiteraient les marges de manœuvre futures.

Par ailleurs, l'utilisation à des fins principalement énergétiques de molécules de la qualité chimique qu'est celle du pétrole mérite que l'on considère également l'opportunité d'imputer une valeur d'option aux actions qui préservent les réserves pétrolières. Cette utilisation prive en effet les générations futures d'une ressource qui recèle un potentiel de valorisation chimique élevée. En conséquence, l'irréversibilité liée à l'épuisement progressif de la ressource ne se résume pas uniquement à une irréversibilité énergétique, que le prix de marché du pétrole intègre vraisemblablement, mais aussi à une irréversibilité qualitative, que ce prix intègre sans doute moins bien.

(1) « Énergie 2010-2020 », rapport de l'atelier « Trois scénarios énergétiques pour la France », édité par le Commissariat général du Plan, septembre 1998.

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

1.2. Le prix du pétrole à retenir dans les évaluations

Compte tenu des travaux d'expertise menés au sein du groupe « Énergie 2010-2020 » du Commissariat général du Plan, et sans sous-estimer les incertitudes qui pèsent sur le sujet, le groupe recommande pour les projets d'infrastructures, dans un souci de cohérence, l'adoption d'un prix du pétrole (hors taxes) qui, partant de 24 dollars (1995) par baril en 2005, progresserait régulièrement jusqu'à 30 dollars (1995) en 2020¹. Pour les calculs économiques qui se prolongent au-delà de 2020, le groupe préconise de faire progresser le prix du pétrole à un taux égal à 2 % par an. Ce taux, en retrait par rapport à celui qui découlerait de la règle de Hotelling sous sa forme la plus simple, intègre la double influence du progrès technique et de la mise en exploitation des pétroles non conventionnels.

Le prix ainsi proposé, et son évolution, correspondent à l'hypothèse la plus haute avancée lors des travaux du groupe « Énergie 2010-2020 ». De leur côté, les professionnels du raffinage privilégiaient une hypothèse sensiblement plus basse, à 17 dollars par baril. L'évaluation proposée apparaît donc plutôt haute, mais on doit se rappeler qu'elle tient compte de la nécessité d'intégrer une prime de risque énergétique et une « valeur d'option » chimique dans le prix du pétrole utilisé pour les calculs économiques.

Toutefois, l'incertitude qui pèse tant sur la trajectoire du progrès technique que sur les conditions de mise en exploitation des pétroles non conventionnels conduit le groupe à préconiser aussi la réalisation d'un test de sensibilité qui reposerait sur l'hypothèse d'un taux de progression du prix du pétrole égal à 5 % après 2020.

2. Les risques liés à l'effet de serre

2.1. Anticiper l'évolution du prix du carbone

Les mécanismes de l'effet de serre ne sont pas appréhendés correctement par la réflexion théorique sur les ressources non renouvelables exposée en préambule de ce chapitre. On ne peut en effet considérer que l'écart entre les

(1) Que ce niveau de 30 \$ ait été atteint et même dépassé en 2000 sur le marché mondial ne doit pas faire illusion. Instable par nature, ce prix a connu et connaîtra encore des hauts et des bas. Ce qu'on recherche ici, c'est une tendance moyenne.

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

concentrations actuelles de gaz à effet de serre et les objectifs fixés dans le protocole de Kyoto constitue une sorte de stock de carbone à émettre. Car les bénéfices liés à la prévention de l'effet de serre additionnel ne dépendent pas directement du flux d'apport en carbone, mais bien du stock de carbone présent dans l'atmosphère. Il s'agit donc d'une externalité de stock et non de flux, ce qui fait sortir du champ d'application de la règle de Hotelling. En théorie, il faudrait alors calculer un coût d'opportunité lié à l'accumulation du carbone, ce qui présente de réelles difficultés pratiques. Par ailleurs, il n'y a a priori aucune raison de penser que ce coût devrait croître au taux d'intérêt. La règle de Hotelling, tant dans sa formulation initiale que dans ses généralisations, ne peut donc pas s'appliquer telle quelle au « prix du carbone » à utiliser pour facturer la tonne émise.

L'intégration des coûts externes liés à l'effet de serre additionnel dans les calculs d'investissement implique qu'on se prononce néanmoins, en l'absence de marché, sur une procédure de définition et de révision de l'évolution de ce prix du carbone émis.

Les engagements pris à Kyoto¹ reposent sur une approche quantitative qui définit les plafonds d'émission que chaque pays ou groupe de pays devra respecter. En l'absence d'un système de permis d'émission négociables pour le carbone, et en l'absence d'évaluation fiable des coûts externes liés à l'effet de serre additionnel, la définition d'une trajectoire intertemporelle du prix du carbone passe par une approche coût-efficacité. Cette approche revient à fixer un prix pour le carbone émis qui permette de respecter au moindre coût les contraintes quantitatives fixées. Pour ce faire, on dispose aujourd'hui de travaux documentés et convergents sur la valeur du carbone à introduire dans l'ensemble du système économique pour respecter les engagements de Kyoto. Toutefois, les valeurs à retenir dépendent de divers facteurs.

2.1.1. L'influence de la flexibilité

Une revue des travaux sur la valeur de la tonne de carbone évitée², réalisée à la demande du Commissariat général du Plan, tend à montrer que cette valeur s'établit entre 70 et 215 dollars par tonne de carbone, soit environ 8 à 24 dollars

(1) Pour une présentation du protocole de Kyoto, voir « Fiscalité de l'environnement », rapport du Conseil d'analyse économique, La Documentation française, 1998.

(2) « Le concept de valeur du carbone, évaluation et applications dans les politiques de lutte contre le changement climatique », Odile Blanchard, Patrick Criqui, rapport au Commissariat général du Plan, juin 1999.

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

par baril d'équivalent pétrole, et que, dans cette fourchette, la valeur du carbone est fortement influencée par le degré de flexibilité du dispositif destiné à faire respecter les contraintes d'émission.

Plusieurs facteurs de flexibilité, en effet, agissent fortement sur le prix du carbone : l'étendue géographique du dispositif mis en place pour respecter le plafond global d'émission et, à l'intérieur d'un pays, la répartition intersectorielle de l'effort de réduction des émissions. Dans l'hypothèse d'un système de permis d'émission négociables qui concernerait, outre les pays développés, les pays en transition et les principaux pays en développement, le prix du carbone pourrait tomber à 25 dollars la tonne. La prise en compte, au côté du dioxyde de carbone, d'autres gaz à effet de serre comme le prévoit le protocole de Kyoto introduirait une flexibilité supplémentaire ; mais, dans l'état actuel des connaissances, il paraît exclu de raisonner sur l'ensemble des émissions.

Enfin, avec un système de permis d'émission négociables tel qu'il est envisagé dans le protocole de Kyoto, la possibilité de mise en réserve de permis pour une utilisation ultérieure doit également être prise en considération. Sans doute tirerait-elle le prix du carbone vers le bas.

2.1.2. L'influence de sources d'énergie alternatives et du progrès technologique

Puisqu'on raisonne sur des horizons temporels éloignés (au moins trente ans), on ne peut faire l'économie d'une réflexion sur le progrès technique et sur l'apparition de sources d'énergie alternatives. Généralement, dans les modèles dont on tire une valeur du carbone, la représentation du progrès technique et des sources d'énergie alternatives est fruste : le progrès technique y intervient comme une tendance exogène, les sources d'énergie alternatives apparaissent à une date prédéterminée, en quantité illimitée, à un prix connu. En fait, plusieurs sources d'énergie coexistent à une même date. Cela étant, une trajectoire temporelle du prix du carbone n'aura de sens que dans un cadre d'hypothèses qui précisent notamment les influences du progrès technique et de l'apparition de nouvelles sources d'énergie.

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

2.1.3. *L'influence de l'incertitude, l'application du principe de précaution*

La nature du phénomène de l'effet de serre additionnel, longtemps controversée, reste entachée d'incertitudes. Sans dresser une liste exhaustive de celles-ci, il est utile de rappeler que le lien entre l'élévation des concentrations en carbone dans l'atmosphère et la température du globe n'est pas connu avec précision, et qu'on n'en sait peu encore sur l'ampleur des dommages à attendre du changement climatique induit.

Aussi la présence de ces incertitudes doit-elle conduire à ajouter une prime de risque au prix du carbone lorsque celui-ci est tiré d'un système déterministe (ce qui est le cas de la plupart des modèles dont sont issues les valeurs du carbone).

Par ailleurs, la forte inertie du phénomène de l'effet de serre additionnel implique qu'on impute une valeur d'option positive aux actions qui sont susceptibles d'accroître les marges de manœuvre dans l'avenir. Là encore, même si les valeurs que l'on obtient à partir des modèles se fondent sur des hypothèses concernant la flexibilité du dispositif mis en place pour respecter les contraintes quantitatives d'émission, elles n'intègrent pas directement de valeurs d'option. Certes, le fait de fixer un plafond d'émission sans considération de son optimalité correspond à une démarche collective fondée implicitement sur une sorte de principe de précaution qui révèle les préférences collectives en la matière. Il n'est pas certain, cependant, que les évaluations actuelles de la valeur du carbone, qui s'appuient sur les engagements de Kyoto, répondent pleinement au principe de précaution, car celui-ci va au-delà du calendrier défini à Kyoto et interpelle sur l'après Kyoto.

En conséquence, les valeurs du carbone fournies par les modèles doivent être comprises comme des bornes basses de prix pour le problème qui nous occupe.

2.1.4. *Le problème de la compétitivité*

La fixation d'un prix du carbone et de son évolution dans le temps pose le problème de la compétitivité-prix de l'économie française : si les valeurs du carbone choisies en France sont trop différentes de celles retenues par ses principaux partenaires commerciaux, il peut en résulter, du fait des modes de production retenus en conséquence, une perte sensible de compétitivité-prix. Il en irait ainsi, *a fortiori*, si ce prix du carbone était internalisé sous la forme d'une taxe – une écotaxe – frappant les émissions de carbone subsistantes. Ce à quoi d'aucuns opposeront que cette perte de compétitivité, dont les

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

conséquences sont difficiles à appréhender (elles se déclinent surtout en termes de trajectoires technologiques), peut être considérée, si elle est entérinée, comme l'expression d'un choix de politique économique.

2.1.5. L'après Kyoto

Les facteurs que l'on vient de citer jouent, à l'évidence, tant sur la période qui va de 2000 à 2012 que sur la période dite de « l'après Kyoto », au-delà de 2012. Pour l'après Kyoto, deux points supplémentaires méritent d'être soulignés.

Tout d'abord, la valeur future du carbone sera fortement influencée par le seuil de concentration dans l'atmosphère que l'on s'engagera à ne pas dépasser et par la rapidité avec laquelle on souhaitera converger vers ce seuil.

D'autre part, les règles futures d'allocation des quotas commanderont dans une large mesure le fonctionnement des mécanismes de flexibilité ; cela vaut particulièrement pour l'entrée des pays en voie de développement dans le système des permis négociables, qui devrait tirer le prix du carbone à la baisse.

2.1.6. Prix du carbone et prix du pétrole

Enfin, le comportement des émetteurs de carbone sera surtout sensible au prix total de l'énergie et pas au seul prix implicite du carbone qui y serait ajouté. En d'autres termes, dans une approche coût-efficacité, le prix à introduire pour le carbone sera influencé par l'évolution elle-même des prix du pétrole et du gaz. Pour un niveau de limite quantitative donnée, le prix implicite du carbone sera d'autant plus faible que le prix des énergies à fort contenu en carbone sera plus élevé. Cela implique, pour le calcul économique, que les trajectoires intertemporelles retenues pour le prix du carbone devront être cohérentes avec l'évolution admise pour le prix du pétrole.

2.2. Le prix du carbone à retenir dans les évaluations

Au regard de ce qui précède, il est clair qu'il ne peut exister de règle simple pour définir une trajectoire temporelle du prix du carbone, et l'on doit reconnaître que cet exercice n'est pas purement technique, mais aussi politique.

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

Le plan national de lutte contre le changement climatique¹ prévoit l'instauration d'une taxe sur le carbone qui s'établira progressivement à 500 F/tonne de carbone². La compatibilité de cette valeur avec les engagements de Kyoto suppose la mise en place effective d'un système de permis d'émission négociables au niveau international.

Compte tenu de l'horizon temporel des investissements en infrastructures de transport et de la durée de leur exploitation, qui va au-delà de la période 2008-2012 visée par les accords de Kyoto, la prudence pousse à retenir une valeur un peu plus élevée. Sans toutefois être parvenu à un consensus total, le groupe fait quatre recommandations.

Tout d'abord, il est proposé d'appliquer dans les calculs économiques concernant les choix publics d'infrastructures de transport un prix de 100 € par tonne de carbone pour la période qui va de 2000 à 2010. Ce prix³ correspond à la valeur du carbone que l'on obtient dans l'hypothèse d'un recours progressif aux mécanismes de flexibilité à l'échelle internationale ; il comprend par ailleurs une prime de risque et tient compte du fait que l'on doit imputer une valeur d'option positive aux actions, notamment d'investissements, qui ouvrent des marges de manœuvre futures à la société. Certains membres du groupe ont estimé cependant que l'Union européenne, notamment, ne pourrait recourir que de manière limitée aux mécanismes de flexibilité. Si tel devait être le cas, un prix de l'ordre de 150 €/tC leur apparaîtrait plus approprié. Ce prix poserait sans doute des problèmes de cohérence avec le niveau de la taxe sur le carbone proposée dans le cadre du plan national de lutte contre le changement climatique, mais la différence se justifierait à leurs yeux par la nature et les objectifs sensiblement différents des deux instruments d'action publique : la taxation prend effet dès maintenant sur des émissions qui sont ce qu'elles sont alors que l'introduction d'un prix non marchand dans le calcul économique des projets d'infrastructures vise à infléchir les émissions futures.

(1) « Programme national de lutte contre le changement climatique 2000-2010 » sous la direction de la Mission interministérielle de l'effet de serre, p. 38-39.

(2) Cette valeur a été obtenue pour un prix du baril de 24 dollars en 2010 et une parité franc-dollar de 5,10 francs pour un dollar, soit 0,75 euros pour un dollar.

(3) Les tonnes de carbone produites dans le secteur des transports peuvent être exprimées en litres de carburant (indistinctement essence ou diesel pour une première approximation). En utilisant un coefficient de 0,83 tC par Tep (tonne équivalent pétrole) soit encore 0,71 kgC par litre de carburant, une taxe internalisant la valeur de 100 € la tonne de carbone s'élèverait à 46 centimes par litre.

- La contrainte de rareté du pétrole et les risques liés à l'effet de serre -

Le groupe souligne enfin que le problème de l'effet de serre se pose pour toutes les activités génératrices de gaz carboniques et que, dès lors, le prix à retenir pour la tonne de carbone doit être le même pour les transports et les autres activités (industrie – secteur tertiaire – habitat).

Le groupe propose pour la suite de retenir, après 2010, un taux de croissance modéré du prix du carbone, égal à 3 % par an¹. Un tel taux correspond à un scénario dans lequel le monde recourrait plus qu'aujourd'hui aux mécanismes de flexibilité (participation effective d'un plus grand nombre de pays, extension du système de permis d'émission négociables, mécanismes de développement propre) et continuerait à exploiter l'énergie nucléaire.

Il propose par ailleurs de prévoir une révision périodique de ces valeurs, notamment si celles-ci ne sont pas internalisées progressivement soit par la taxation soit par l'extension d'un système de permis d'émissions négociables, ou si le prix du pétrole croissait moins vite que prévu. Il conviendra, en tout état de cause, de tenir compte des décisions qui seront prises sur ces mécanismes au cours des prochaines négociations internationales.

Le groupe recommande enfin d'approfondir le recensement des études existantes et de susciter de nouvelles études sur le prix du carbone et sur sa dynamique.

(1) Les études qui fournissent des résultats sur la dynamique du prix du carbone sont loin d'être homogènes. Certaines font apparaître une stabilisation du prix après 2010, d'autres une croissance sensible. Ces divergences s'expliquent principalement par les hypothèses retenues, dans les exercices de prospective, sur le fonctionnement et l'étendue des mécanismes de flexibilité. Lors des discussions au sein du groupe, plusieurs opinions contrastées se sont exprimées à ce propos. Certains souhaitaient retenir un taux de croissance net de 2 % par an, égal à un taux de croissance du prix du carbone de 4 %, diminué d'un effet du progrès technique estimé à 2 % par an. D'autres, moins nombreux, considérant les difficultés que l'on rencontre à étendre les mécanismes de flexibilité au niveau international, proposent au contraire de retenir un taux de croissance du prix du carbone égal à 5 % par an. L'impossibilité de trancher entre ces deux visions du futur a conduit à proposer une valeur intermédiaire de 3 % par an.

Chapitre II

LA VALEUR DU TEMPS DANS L'ÉVALUATION DES PROJETS

Les gains de temps sont une des motivations majeures des investissements de transport, et leur valorisation représente un enjeu fondamental du calcul de la rentabilité de ces investissements. Cette valorisation s'effectue en recourant à la notion de valeur du temps, qui a fait l'objet de nombreux débats et d'évaluations contradictoires. Le présent chapitre présente des recommandations pour les valeurs du temps à adopter et la manière de les utiliser dans l'évaluation des projets.

1. Le concept théorique et pratique de la valeur du temps

L'analyse économique vise à fournir une définition précise de la valeur du temps. Les premières réflexions sur la valeur du temps portaient sur sa rareté, les agents économiques étant obligés d'arbitrer entre leur consommation et leur activité en fonction de leur temps disponible. Ainsi, le temps passé dans les transports était considéré comme autant de temps perdu qui aurait permis de vaquer à d'autres occupations.

Cette approche, en donnant au temps une valeur unique, est apparue beaucoup trop restrictive. L'analyse s'est alors affinée pour mieux saisir la relation que l'individu entretient avec le temps : l'utilité ressentie par le consommateur dépend non seulement des biens qu'il consomme mais aussi du temps qu'il y consacre. Pour prendre des exemples dans le domaine des transports, le temps de transport n'est pas apprécié de la même manière selon que l'on est debout et serré, ou confortablement assis avec la possibilité de déjeuner ou de travailler. Aussi, très tôt, les premiers modèles comportant une seule contrainte de temps ont été remplacés par des modèles dans lesquels il y a autant de contraintes de temps qu'il y a d'activités de consommation, et donc autant de valeurs du temps qu'il y a de manières de le passer.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

Cette approche théorique a ainsi conduit à dissocier la valeur du temps de transport hors déplacements professionnels (tous motifs) de la valeur du temps de transport professionnel.

La première dépend du motif de déplacement dont elle traduit le coût d'opportunité. Elle recouvre non seulement le temps au sens de la durée, mais aussi la manière dont ce temps est passé : agrément, confort, esthétique, possibilité d'autres activités menées parallèlement au transport, etc.

La seconde, relative aux déplacements professionnels, est appréciée sur la base du salaire horaire, qui constitue une référence dont la valeur du temps s'écartera selon la pénibilité relative du travail et du transport, la quantité de travail effectuée durant le transport, et l'amélioration de la productivité qui résulte du gain de temps de transport.

Ces formulations théoriques de l'utilité ont été ensuite introduites dans des modèles appliqués, générant ainsi des fonctions de demande qui, dans les transports, prennent le nom de modèles de prévision de trafic et se trouvent à la base des évaluations des projets de transport.

La valeur du temps apparaît dans ces modèles non comme une donnée mais comme une batterie de paramètres dont la valeur est déterminée en ajustant les résultats du modèle à la situation constatée. Ainsi, en reconstruisant le trafic constaté, les modèles de simulation révèlent le comportement des individus et leurs arbitrages face au temps de transport, relativement aux autres variables représentées dans le modèle. Les valeurs des paramètres obtenues par calibrage dépendent notamment du choix des variables explicatives et de la représentation mathématique de leurs influences. Cette batterie de paramètres ne comprend donc pas seulement ce qu'on appelle la valeur du temps, même si celle-ci est prédominante, mais tout un ensemble composite de bonus et malus liés à la qualité, la sécurité du déplacement, etc. Les modèles ne donnent donc pas de valeurs « pures » du temps.

En fait, on obtient une grande diversité de résultats, liée à la diversité des marchés de transport : diversité de l'offre selon les caractéristiques des réseaux ; diversité des comportements des usagers selon la période, le pays, la région, et diversité des modèles utilisés pour les reproduire. De ce fait, les paramètres des modèles ne sont guère transférables d'un cas particulier à l'autre.

Par ailleurs, les erreurs de simulations de trafic, qui peuvent être très élevées, sont inhérentes à l'incertitude même des hypothèses. Les valeurs du temps

calculées par calibrage des modèles restent donc entachées des mêmes imprécisions.

Il se trouve enfin que certains des paramètres de la batterie « valeur du temps » ont une faible influence sur les trafics et sont donc mal déterminés par l'ajustement aux trafics constatés, mais ont une influence forte sur les surplus calculés en cohérence avec le modèle de trafic.

Si donc l'évaluation des avantages pour l'utilisateur par des procédures cohérentes avec le modèle de trafic utilisé est certes satisfaisante sur le plan de la logique économique, de nombreuses sources d'erreurs, de biais et d'incertitudes, qui affectent sérieusement la fiabilité des résultats, rendent l'utilisation de cette méthode délicate.

On peut alors essayer de pallier les inconvénients des modèles quant aux préférences révélées qu'ils concrétisent, en estimant les valeurs du temps à travers des méthodes d'enquêtes dites de préférences déclarées. Par ces méthodes, en effet, on contrôle mieux les variables, leurs effets pouvant être isolés. Mais ces méthodes présentent à leur tour de nombreux biais : la disposition à payer déclarée est fictive ; les questionnaires administrés ne fournissent pas directement les valeurs cherchées ; et, avec les méthodes les plus élaborées où la personne interrogée est mise en situation d'arbitrage, la valeur du temps est obtenue indirectement par un modèle interprétatif. Au total, si les méthodes de préférences déclarées ne comportent pas les mêmes inconvénients que les méthodes de préférences révélées, elles en ont d'autres de même importance.

Les difficultés de ces méthodes incitent donc, d'une part, à examiner les possibilités de rendre plus fiables les modèles et leur utilisation pour le calcul des surplus et, d'autre part, à rechercher une autre méthode d'évaluation des avantages, laquelle sera certes moins satisfaisante sur le plan de la logique économique mais offrira à la fois davantage de précision et moins de risques de biais.

1.1. L'amélioration des modèles de prévision de trafic

L'utilisation des modèles actuels de trafic interurbain ou urbain dans les évaluations socio-économiques peut être améliorée.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

1.1.1. Les modèles interurbains

Actuellement en France, pour les transports interurbains, les maîtres d'ouvrage imposent ou appliquent des modèles de trafic très divers. Ces modèles, différents selon le mode, sont généralement monomodaux – seul le modèle MATISSE (INRETS) prend en compte explicitement les trois modes : air, fer, route – et, à l'intérieur d'un même mode, différents selon les réseaux.

Dans leur strict domaine d'application et, pour autant qu'on fasse appel à des modélisateurs expérimentés, ces divers modèles semblent en mesure de prévoir assez bien les trafics totaux sur l'infrastructure examinée. Des divergences non négligeables apparaissent toutefois lorsqu'on analyse la structure des trafics, origine-destination par origine-destination, ou selon les motifs de déplacement.

Enfin, si l'on veut comparer les différentes valeurs du temps obtenues par ces modèles, la tâche s'avère quasi insurmontable puisque certains modèles comportent une valeur du temps unique alors que d'autres introduisent des valeurs du temps distribuées et différentes selon les modes.

1.1.2. Les modèles urbains

Pour les transports urbains, l'Île-de-France occupe une place particulière.

Les agglomérations de province utilisent des modèles très variés avec des valeurs du temps uniques ou distribuées, distinguées ou non par motif ou par mode, et avec des formes mathématiques diverses. Le choix dépend de la nature du problème traité et des données disponibles.

En région Île-de-France, la Direction régionale de l'équipement (DREIF), la RATP, la SNCF et le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF)¹ utilisent des modèles qui diffèrent selon qu'on compare des grands réseaux ou qu'on évalue des infrastructures isolées, et selon qu'on étudie des investissements routiers ou de transport en commun. Dans ces modèles, les valeurs du temps sont en général distinguées par motif et par mode, parfois avec un grand niveau de détail. Ces valeurs suivent des lois probabilistes dans la version du modèle

(1) La loi du 13 décembre 2000 (« JO » du 14 décembre 2000) relative à la solidarité et au renouvellement urbains a changé le nom du STP (Syndicat des transports parisiens) qui devient le STIF (Syndicat des transports d'Île-de-France).

de la DREIF utilisée pour tester les ouvrages routiers à péages. Elles sont uniques dans les autres modèles, mais s'accompagnent de « malus » variés.

Comme pour les approches interurbaines, les résultats des modèles urbains font apparaître des divergences souvent difficiles à expliquer. En outre, leur mise en œuvre comporte des hypothèses complémentaires. Celles-ci sont nécessaires pour adapter les formules théoriques aux données disponibles ou pour pallier les insuffisances des modèles, notamment pour ce qui concerne les parties terminales des trajets comme la marche à pied ou la recherche de stationnement. Or, ces hypothèses secondes pèsent notablement dans la détermination des trafics, et sans doute encore plus dans celle des avantages d'un projet.

En conclusion, le calcul de rentabilité mené en cohérence logique avec les modèles de trafic apparaît exposé à de nombreuses sources d'erreur qui motivent les recommandations que l'on trouvera plus loin (cf. § 2, p. 41).

1.2. Des valeurs du temps normalisées

En attendant les résultats d'une réflexion plus approfondie sur les modèles de trafic, il convient d'envisager une méthode d'évaluation de la rentabilité des projets qui, tout en se fondant sur les résultats des études de trafics en termes de gains de temps et de flux de trafics, mette ensuite en jeu des valeurs du temps normalisées. Ces valeurs doivent être choisies, comme le font de nombreux pays, en s'appuyant au plus près sur ce que l'on sait du comportement des usagers à travers le calage des modèles ou les enquêtes.

1.2.1. Politique des transports et valeurs du temps

Par construction, un calcul des valeurs du temps fondé sur l'étude des comportements des usagers ne permet pas de prendre en considération des exigences d'équité géographique ou sociale, ni de favoriser un mode de transport au détriment d'un autre. Quand de telles considérations doivent peser sur les choix, il est loisible de pondérer l'ensemble des gains et des pertes (et pas seulement les gains et pertes de temps) de façon que certaines catégories ou zones soient plus favorisées, ou de différencier les seuils de rentabilité par type de projet. Mais la connaissance des disponibilités à payer demeure utile car, outre les éléments d'information qu'elle apporte pour fixer des valeurs normalisées, elle seule permet de mesurer ce que l'on sacrifie à l'équité en termes d'efficacité.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

1.2.2. Enseignements issus des expériences et études étrangères

Les valeurs du temps retenues officiellement à l'étranger présentent une certaine hétérogénéité qui ne s'explique pas seulement par les différences de revenus entre pays. On voit néanmoins apparaître certains traits : les valeurs du temps professionnel sont voisines des coûts salariaux horaires et les valeurs du temps pour autres motifs leur sont très inférieures ; pour les motifs professionnels, les valeurs du temps en chemin de fer sont supérieures, bien que de peu, à celles concernant la route ; pour les déplacements personnels, les valeurs retenues pour les routes et les chemins de fer sont similaires.

Quant aux études de préférences révélées ou déclarées, elles sont nombreuses, mais leurs résultats sont très dispersés. On peut néanmoins confronter ces résultats et les synthétiser pour en tirer de grandes tendances et des valeurs moyennes. Les résultats les plus clairs sont les suivants :

- selon les motifs : la valeur du temps pour motifs professionnels se situe aux alentours (et très généralement en dessous) du coût salarial ; elle est supérieure à la valeur du temps pour motif domicile-travail, elle-même habituellement supérieure à la valeur du temps de loisir¹ ;
- selon les modes (en gardant à l'esprit que le choix du mode résulte à la fois du revenu et du motif de déplacement) : la valeur du temps « avion » est supérieure à la valeur moyenne du temps « fer 1^{re} classe », elle-même supérieure à la valeur moyenne du temps « fer 2^e classe », qui est supérieure à la valeur du temps « route » ;
- la valeur du temps semble croître avec le revenu, mais plutôt moins vite (élasticité de 0,5 à 1) ;
- la valeur du temps pour les trajets urbains est inférieure à la valeur du temps pour les trafics interurbains ;
- la valeur du temps augmente avec la durée du déplacement ;
- enfin la valeur du temps dépend des conditions de déplacement (pénibilité) : rapportée à ce qu'elle est dans les conditions d'un confort normal, la valeur

(1) Plus précisément : les valeurs du temps pour déplacements professionnels sont de l'ordre de 70 % à 80 % du coût salarial total ; les valeurs du temps pour déplacements domicile-travail de l'ordre des $\frac{3}{4}$ de la valeur du temps de déplacement professionnel ; les valeurs du temps pour déplacements « autres motifs » de 30 à 50 % de la valeur du temps de déplacement professionnel.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

du temps augmente avec l'inconfort et double à peu près pour les temps d'attente aux correspondances ou les temps de marche.

2. Recommandations

2.1. Les valeurs du temps normalisées en milieu urbain

2.1.1. Une valeur du temps réajustée

Dans le rapport de 1994, puis dans celui de l'instance d'évaluation de la politique des transports en Île-de-France (rapport du 5 février 1999), était rappelé le principe selon lequel la valeur monétaire utilisée dans les évaluations socio-économiques pour rendre compte du coût du temps passé dans les transports devait refléter la moyenne des valeurs révélées par les comportements individuels des usagers. Ces rapports invitaient à engager des études supplémentaires pour arriver, en dépit de la diversité des modèles et de la réalité, à une procédure unifiée de valorisation des avantages.

Il convient, d'autre part, pour des raisons de commodité, de retenir dans l'évaluation des investissements de transport en milieu urbain des barèmes de valeurs du temps relativement simples, et ce même si certaines études démontrent la grande dispersion de ces valeurs.

Dans ces conditions, il est proposé d'opter pour le barème suivant, qui différencie trois motifs de déplacement (déplacement professionnel, déplacement domicile-travail et autres déplacements). Ces valeurs ont été choisies à la lumière de diverses études étrangères et de celle concernant le tunnel de Prado-Carénage¹. Elles sont sensiblement inférieures à celles actuellement employées, qui sont fixées non par motif de déplacements, mais par mode², et sont fondées sur la référence au salaire horaire net, alors que le

(1) Le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU) propose une synthèse chiffrée des études menées à Marseille autour du péage du tunnel de Prado-Carénage.

(2) En Île-de-France, le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF) impose une valeur de 80,87 F 1998/h pour les projets de transport collectif. Cette valeur est appliquée par la SNCF, la RATP et les bureaux d'études dans les évaluations des projets. La valeur du temps retenue correspond au salaire horaire net moyen de la région Île-de-France.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

tableau suivant se rapporte au coût salarial (1^{re} colonne), ou au salaire brut (2^e colonne).

Valeur du temps proposée en milieu urbain par voyageur (euros 1998/h)

Mode de déplacement	% du coût salarial	% du salaire brut	France entière (euros 1998/h)	Île-de-France (euros 1998/h) ¹
Déplacement professionnel	61 %	85 %	10,5 €	13 €
Déplacement domicile-travail	55 %	77 %	9,5 €	11,6 €
Autres déplacements (achat, loisir, tourisme, etc.)	30 %	42 %	5,2 €	6,4 €
Lorsqu'on ne dispose pas du détail des trafics par motifs, prendre une valeur moyenne pour tous les déplacements	42 %	59 %	7,2 €	8,8 €

2.1.2. Une meilleure prise en compte des éléments de confort

Dès lors que l'on souhaite refléter pleinement les préférences des usagers des transports collectifs, il faut prendre davantage en compte certains éléments de confort. C'est ce que suggèrent les nombreux éléments qualitatifs mis en évidence dans les études du *London Transport* ² (propreté, informations, service, sécurité en station, confort de déplacement, etc.) ou encore dans les enquêtes menées par la RATP auprès de la clientèle ³.

On dispose de quelques études étrangères sur ce point, et certains éléments sont déjà pris en compte dans les modèles de simulation de trafic, mais il reste indispensable de mener encore des études importantes sur ce sujet. Il serait notamment souhaitable, comme l'a proposé l'instance d'évaluation de la politique des transports en Île-de-France, qu'une commission soit chargée de mettre au point des méthodes d'évaluation de ces éléments de confort et de

(1) Les valeurs du temps, initialement fixées en francs au sein du groupe, sont systématiquement données en euros.

(2) Jean-Paul Coindet, « Valorisation de la qualité de service dans les transports collectifs. Les méthodes du London Transport », INRETS, janvier 1999.

(3) L'enquête de préférences déclarées menée pour la RATP par le Cabinet MVA auprès d'un échantillon de 300 usagers montre comment l'incertitude sur les temps d'attente des usagers, l'irrégularité des temps de transport et les conditions même du transport participent de façon interactive à la perception du temps de déplacement global en bus, perception qui ne se limite donc pas aux gains de temps sur le trajet lui-même.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

qualité de service, d'une part, et de recommander des valeurs de référence, d'autre part. Cela présenterait notamment un grand intérêt pour évaluer ceux des projets d'investissement dont l'impact principal porte moins sur la vitesse que sur les temps d'attente, la régularité des lignes, la fiabilité des horaires et le confort à bord des bus.

En attendant de disposer d'éléments plus précis, le groupe recommande, pour les différents scénarios qui sont comparés, de tenir compte des temps d'attente et de marche à pied pour l'accès aux stations et les correspondances, ainsi que des parcours effectués debout ou dans des véhicules très chargés (cette dernière estimation demande d'analyser spécifiquement les heures de pointe et les heures creuses). On introduira dans les évaluations un coût de pénibilité ou d'inconfort, proportionnel à la durée, sur la base des valeurs normatives suivantes :

- une demi fois le coût du temps passé pour les situations de congestion dans les transports collectifs ;
- une fois le coût du temps pour les temps d'attente et les temps de marche à pied que nécessitent l'accès aux stations et les correspondances.

2.2. Les valeurs du temps normalisées pour les voyageurs interurbains ¹

Les modèles de trafics indiquent que la valeur du temps augmente avec la distance dès le premier kilomètre, mais moins que proportionnellement à la distance.

Le groupe propose, pour simplifier, de retenir une variation linéaire de la valeur du temps en fonction de la distance. Toutefois, pour éviter les valeurs dépourvues de signification auxquelles aboutirait l'application d'une formule linéaire aux petites et grandes distances, il convient de borner cette variation en stabilisant les valeurs du temps, d'une part pour les faibles distances (50 km pour la route et 150 km pour le fer), d'autre part au-dessus de 400 kilomètres.

Ceci conduit à retenir les valeurs résumées dans le tableau suivant :

(1) Voir dans l'annexe sur la valeur du temps une synthèse des valeurs actuellement utilisées.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

Valeur du temps en interurbain (1998) par voyageur (en euros par heure)

Mode	pour des distances inférieures à		Pour les distances d comprises entre 50 km ou 150 km et 400 km	Stabilisation pour les distances supérieures à 400 km
	50 km	150 km		
Route	8,4 €	-	50 km < d VDT= (d/10+50).1/6,56	13,7 €
Fer 2° Cl.	-	10,7 €	150 km < d VDT=1/7(3d/10+445) .1/6,56	12,3 €
Fer 1° Cl.	-	27,4 €	150 km < d VDT=1/7(9d/10+1125) .1/6,56	32,3 €
Aérien	-	-	45,7 €	45,7 €

Ce tableau ne propose pas de valeurs du temps pour les passagers transportés par mer, aucune étude n'ayant pu être examinée par le groupe sur ce point particulier. Des travaux devront être engagés pour préciser ces valeurs, celles-ci pouvant être intéressantes pour évaluer certains aménagements portuaires selon qu'ils s'adressent à tel ou tel type de trafic (ferries classiques, ferries rapides, croisière, etc.).

Par ailleurs, pour la prise en compte de la qualité de l'offre sur un mode interurbain, le groupe retient le principe d'un ajustement de la valeur du temps à l'aide de malus/bonus. En particulier, on prendra en compte les différentiels de qualité des infrastructures routières en matière de confort de conduite, et les effets de fréquence pour les transports collectifs ¹.

Enfin, cet ensemble de valeurs du temps évoluera d'une année à l'autre en fonction de la dépense de consommation des ménages par tête, avec une élasticité de 0,7.

2.3. Première approche des valeurs du temps pour les transports de marchandises

En transport de marchandises, les valeurs du temps doivent être appréciées en prenant en compte successivement l'avantage pour le transporteur et l'avantage pour le chargeur. Ces deux avantages s'additionnent : ils correspondent respectivement au surplus du producteur et au surplus du consommateur.

Les évaluations de projets de transport faites en France ne valorisent ni les gains ou pertes de temps pour les marchandises, ni les gains de fiabilité et de sûreté,

(1) L'annexe « Valeur du temps » précise les modalités de calcul retenues actuellement par la Direction des Routes, et celles retenues par la SNCF, qui n'ont pas pu être expertisées par le groupe.

ces gains étant implicitement intégrés dans les lois de choix modal pour le transport de marchandises. On y retient par contre la réduction des coûts de transports, qui se décompose en deux termes :

- un terme lié aux gains de temps pour le transporteur, terme improprement appelé jusqu'à présent « valeur du temps marchandises » ;
- un terme lié à la distance et tenant aux économies de carburant et d'entretien des véhicules.

Il convient d'ajouter dorénavant à ces deux termes relatifs aux transporteurs une valorisation du temps pour les chargeurs. Au-delà de la seule diminution de la durée du transport, ces derniers attachent une valeur aux éléments de qualité de service que constituent la fiabilité, la minimisation du risque de dommages et de pertes des marchandises, la ponctualité, la fréquence, l'adaptabilité aux variations des besoins de transports et la qualité de l'information. Chacune de ces valeurs devrait être intégrée, sans double compte, dans le calcul économique. Des études restent toutefois à mener sur ce point.

D'autre part, à des fins pratiques, on fera en sorte qu'on aboutisse à des valeurs exprimées dans des unités compatibles tant avec les statistiques disponibles qu'avec les projections de la demande de transport. Il est important de préciser que si la valeur du temps pour les marchandises ne dépend pas du mode de transport, mais de la nature de ce qui est transporté ainsi que de la chaîne logistique dans laquelle s'insère la marchandise, c'est en raison de la répartition du trafic entre les modes que la valeur du temps-marchandise peut être, en moyenne, significativement différente d'un mode à l'autre.

Le groupe demande instamment que des études et recherches soient lancées pour aboutir à une méthodologie adaptée aux divers types de marchandises comme aux divers modes de transport. Sans attendre le résultat de ces études, le groupe recommande de retenir, à titre expérimental, trois valeurs du temps selon le niveau de valeur des marchandises.

Pour les marchandises transportées par la route, un certain nombre d'études menées sur la valeur du temps pour les chargeurs conduisent à une fourchette allant de 30 F à 250 F par heure et par envoi. Les évaluations appartenant au bas de fourchette isolent bien la valeur du temps de celle de la fiabilité ou du risque. Comme elle correspond à des envois dont la taille est inférieure à un chargement ordinaire de poids lourd, elle représente donc un minorant de la valeur du temps exprimée en heure et par véhicule. Sur cette base, il est proposé de retenir une valeur du temps, prudente, de 0,45 € par tonne et par heure. Cette

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

valeur, qu'on peut retenir en moyenne pour le mode routier (même si ce mode assure aussi le transport de marchandises à très faible valeur ajoutée), s'appliquerait également au transport combiné, aux trafics de conteneurs maritimes pour autant que les trafics concernés ne soient pas de simples rotations de caisses vides¹, aux transports ferroviaires de haute valeur comme la messagerie ou les transports frigorifiques, et aussi à la route roulante, ou encore au trafic roulier².

Pour les marchandises courantes transportées par fer ou par voies maritime et fluviale, le groupe propose de retenir une valeur, également prudente, de 0,15 € par heure et par tonne, les études montrant que cette valeur doit être nettement inférieure, en moyenne, à celle adoptée pour la route.

Pour les autres marchandises en vrac à faible valeur, comme les granulats, on retiendra une valeur plus faible encore de 0,01 €

Enfin, de manière générale, lorsque l'évaluation d'un investissement nécessite de prendre en compte une desserte terminale assurée par un autre mode de transport que le mode principal, on retiendra pour cette partie du transport la valeur du temps retenue pour le mode principal.

Ces valeurs du temps devraient être stables d'une année à l'autre ou évoluer faiblement à raison des deux tiers de l'évolution du produit intérieur brut (PIB).

En ce qui concerne la réduction des coûts d'exploitation des transporteurs due aux gains de temps, le groupe recommande, pour les modes de transport autres que la route, de les estimer au cas par cas. Pour la route, et en l'état actuel des études, il n'y a pas lieu de remettre en cause la valeur figurant dans l'instruction

(1) Le groupe attire l'attention sur l'aspect transitoire de la proposition retenue ici eu égard aux difficultés que l'on rencontre encore à établir une règle générale pour le trafic multimodal sans avoir pu procéder au préalable à des études plus poussées. L'étude de la valeur du temps-marchandises d'un parcours multimodal suppose, en effet, de prendre en compte les ruptures de charge, les temps d'attente, les reconditionnements en zone portuaire, l'existence de solutions alternatives s'offrant aux transporteurs, etc.

(2) Le trafic roulier désigne, en pratique, le transport maritime de remorques routières et ensembles routiers, transportant ou non des conteneurs, mais aussi les conteneurs déposés à bord par roulage, etc. En attendant de pouvoir identifier plus finement les sous-catégories de ce trafic relevant réellement de la catégorie des marchandises à haute valeur, on retiendra, en première approche, pour l'intégralité des trafics rouliers, la valeur de 0,45 € par tonne et par heure.

routière, à savoir 193 F/h 1994 (31 € (1998)), pour la réduction des coûts de transport par véhicule lourd (autocars ou poids lourds). Il n'y a pas lieu non plus d'indexer cette valeur, qui devrait donc rester la même en francs constants dans l'avenir : c'est la pratique actuelle, et cela revient à estimer que des gains de productivité compenseront les augmentations de charges dues à un meilleur respect des réglementations routières et sociales.

2.4. La mise en application de ces valeurs du temps

L'application des valeurs du temps proposées peut parfois se heurter dans la pratique à quelques difficultés. Le groupe attire l'attention sur deux points particuliers, celui des parcours terminaux d'un trafic intermodal, et celui des trafics transférés d'un mode à un autre.

2.4.1. Le cas des parcours terminaux d'un trafic intermodal

En règle générale, la valeur du temps retenue pour un usager doit être la même tout le long du parcours. On retiendra celle du mode principal lorsque le ou les autres modes sont visiblement utilisés pour des parcours terminaux, avant ou après emploi d'un mode principal clairement identifié (par exemple pour le parcours terminal d'un trajet en TGV, on retiendra la valeur du temps TGV de la classe correspondante, et non la valeur du temps urbaine). Néanmoins, lorsqu'un usager doit utiliser deux modes, mais qu'on ne sait pas dans la pratique repérer précisément cet usager sur ces deux modes, on assimilera le dit usager, sur chacun des modes, à l'usager moyen du mode, lui affectant ainsi des valeurs du temps différentes en fonction des modes employés.

2.4.2. Le cas des trafics transférés et induits

La modélisation des trafics d'un mode de transport fournit en général, par relation origine-destination et pour chaque scénario d'offre, les flux de déplacements, les temps de parcours et les autres termes du coût généralisé. Pour désigner le trafic nouveau, on parle généralement de trafic induit ; ce trafic correspond, sur une relation donnée, à l'augmentation du volume de trafic attendue entre le scénario de référence et le scénario de projet. On considère donc là, dans un même ensemble, tous les voyageurs qui, dans le scénario de référence, se déplaçaient moins souvent, ailleurs, par un autre mode de transport, ou pas du tout.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

Pour les trafics induits ainsi définis, le surplus d'un nouvel usager sera obtenu en prenant la moitié de la différence entre le coût généralisé de transport (comprenant le prix et le temps du transport) dans le scénario de référence et le coût généralisé dans le scénario de projet. Certes, ce mode de calcul néglige le fait que les usagers induits ont une valeur du temps qui peut être différente de celle des usagers moyens du mode ; de plus, il est mal adapté lorsqu'on est en présence d'une amélioration considérable du service. Néanmoins, dans bien des cas, il n'y a pas de meilleure approche.

Il existe toutefois des situations dans lesquelles on sait qu'une partie du trafic nouveau est détournée d'un autre mode – ce trafic étant qualifié alors de transféré. C'est le cas notamment lorsque l'évaluateur peut s'appuyer sur une modélisation réellement multimodale, qui décrit explicitement l'offre des modes concurrents et le mécanisme de choix modal. Sans doute cette approche peut-elle conduire à retenir pour ces projets des valeurs du temps *ad hoc* venant remettre en cause l'homogénéité des évaluations. Elle peut aussi être la source de manipulations et de contestations. Il n'en demeure pas moins que l'information obtenue par ce biais présente un réel intérêt. Au surplus, ce type d'approche est indispensable pour apprécier les bilans environnementaux liés aux transferts modaux. Lorsqu'on est ainsi amené à isoler cette catégorie de nouveaux usagers, dits transférés, deux solutions se présentent : dans l'une, on fait la différence entre les coûts généralisés des deux modes, par exemple la route en situation de référence et le fer en projet ; dans l'autre, on retient le mode final (par exemple le fer) tant pour la situation de référence que pour le projet, en prenant en compte la moitié du gain en coût généralisé. Le choix entre ces deux possibilités devra être fait en fonction du type de projet évalué et du degré d'information dont disposent les évaluateurs. Dans les deux cas, il conviendra de faire apparaître précisément dans le bilan de l'évaluation la part monétaire des avantages liés aux gains de temps et celle des autres avantages.

Le groupe recommande de retenir en général la méthode normalisée simplifiée présentée plus haut pour les trafics induits. Néanmoins, si cette approche simplifiée ici recommandée est contestée parce qu'elle conduit à des résultats jugés trop divergents, si ce n'est incohérents, au regard de ceux qui découleraient du calage des modèles, une commission de suivi des évaluations, rattachée à celle suggérée ci-après pour l'évaluation des modèles dans le cas des projets les plus importants, pourrait analyser les raisons de ces écarts et procéder à des ajustements si ceux-ci s'avéraient nécessaires une fois considérées la fiabilité des modèles, la marge des incertitudes et la complexité des transferts de trafic en jeu.

2.4.3. *Les points à approfondir*

Les propositions ainsi faites appellent de nombreux approfondissements. Le groupe recommande notamment d'engager des études sur les valeurs du temps pour les marchandises (selon les catégories de produit), qui restent très insuffisamment étayées, sur la valorisation des éléments de confort et de qualité de service pour le transport collectif (fiabilité, régularité, information, sécurité, etc.) et sur l'évaluation des gains de décongestion.

Le groupe recommande enfin qu'un programme de recherche sur la valeur du temps en milieu urbain soit engagé afin de pouvoir, à l'avenir, asseoir les recommandations en la matière sur des bases mieux étayées.

2.5. Les modèles de trafic et leur utilisation dans l'évaluation des rentabilités

Quelle que soit l'approche retenue pour les valeurs du temps, les calculs de rentabilité reposent sur des modèles de trafic.

Le groupe propose d'utiliser un même modèle pour hiérarchiser les projets d'un même mode. Si les pratiques de paramétrages de modèles sont harmonisées, on peut ainsi espérer éliminer l'effet des biais systématiques et aboutir à une bonne précision dans le classement des projets obtenu.

Toutefois, il n'est pas toujours possible d'utiliser un même modèle de trafic, notamment lorsqu'on compare les rentabilités de projets concernant des modes différents. Dans ce cas, les comparaisons doivent être menées avec une vigilance accrue.

Il est souhaitable, d'autre part, de confronter les résultats issus de plusieurs modèles ; la recherche de l'explication des écarts permet non seulement d'améliorer l'évaluation du projet examiné, mais fournit aussi des enseignements sur les voies d'amélioration futures des modèles utilisés.

Une réflexion doit enfin être menée sur les modèles eux-mêmes pour juger de leur pertinence dans l'évaluation des projets et pour fixer les règles minimales à observer lors de leur utilisation (informations à fournir, précautions d'emploi à faire respecter). De nombreuses questions demeurent, en effet, sur les études de trafic ; elles incitent à s'interroger sur les procédures d'audit auxquelles les études de trafic devraient être soumises, ainsi que sur les informations statistiques dont il conviendrait de disposer pour les améliorer.

- La valeur du temps dans l'évaluation des projets -

Notons pour conclure que cette recommandation sur les modèles rejoint l'une de celles présentées dans le rapport de 1994, qui n'a guère eu d'écho. Il conviendrait qu'une commission soit constituée pour y donner suite ; l'une de ses premières tâches serait d'expertiser et de comparer les performances des modèles actuels, et ce tant pour les voyageurs que pour les marchandises.

Chapitre III

CONGESTION URBAINE ET INTERACTIONS ENTRE LA CIRCULATION DES VÉHICULES PARTICULIERS ET LES AUTRES USAGES DE LA VOIRIE

La congestion occupe une place toute particulière dans l'évaluation socio-économique des projets d'infrastructures de transport, et cela sous deux aspects. D'une part, l'étude de la congestion ne trouve tout son sens du point de vue économique que dans une démarche qui couvre à la fois l'optimisation des investissements, la tarification de l'infrastructure et le niveau de la qualité du service offert. D'autre part, la congestion doit être appréhendée comme un effet externe d'une catégorie d'utilisateurs sur d'autres, la voirie publique étant le lieu de multiples usages qui ne se limitent pas à la seule circulation. Dès lors, l'évaluation socio-économique d'un projet doit clairement distinguer les effets de la congestion purement liés au transport, comme les gains ou les pertes de temps des véhicules, et les effets plus larges sur les autres fonctions de la voirie. Ces derniers, assez mal appréhendés par les méthodes actuelles d'évaluation, seront abordés plus précisément dans le chapitre suivant concernant la prise en compte de l'espace dans les évaluations.

Le présent chapitre est indissociable du précédent sur la valeur du temps dès lors que la majeure partie des coûts de congestion est mesurée par la valorisation des pertes de temps que cette congestion entraîne. Il s'agit donc moins, ici, d'évaluer des coûts que d'éclaircir de nombreux points qui font difficulté quand on s'attaque au calcul économique de ces phénomènes de congestion.

C'est ainsi qu'on reviendra sur le rôle essentiel que joue la situation de référence dans les évaluations, et sur les précautions élémentaires qu'il convient de prendre dans ce domaine dès lors que les gains liés à la décongestion constituent une part très importante de la rentabilité des projets à évaluer. On trouvera également dans ce chapitre quelques pistes de réflexion pour diversifier

- Prise en compte de la congestion urbaine -

les approches des phénomènes de congestion dans les transports collectifs et pour mieux saisir, notamment, certains éléments de qualité de service.

Mais le présent chapitre ne prétend pas traiter de tous les aspects de la congestion. Conformément au mandat du groupe, l'accent y est mis essentiellement sur le milieu urbain et les effets de la congestion automobile sur les autres modes de transport.

1. Appréhender la congestion en milieu urbain

1.1. La congestion urbaine et les interactions entre circulation automobile et autres usages de la voirie

D'une façon générale, les études permettant d'établir de manière précise ce que sont les interactions entre les véhicules particuliers¹ et les autres usages de la voirie, et notamment celles relatives à l'impact de la congestion routière² sur les transports collectifs, ne sont pas très nombreuses. Les éléments disponibles, qualitatifs et quantitatifs, restent encore très succincts et sujets à caution, alors que la connaissance de ces interactions est indispensable pour évaluer l'intérêt collectif de certains investissements dont l'objet est d'améliorer la qualité de service des transports en commun ou de promouvoir un nouveau partage de la voirie dans un espace où s'exercent des conflits d'usages. Cette connaissance est également nécessaire pour apprécier des actions combinées portant à la fois sur des contournements routiers et sur des restrictions de l'espace affecté à la circulation des véhicules particuliers en zone urbaine dense.

L'importance des interactions entre la circulation routière et l'exploitation des réseaux de bus, point que le groupe était spécialement invité à approfondir, incite aujourd'hui les responsables à envisager la réalisation de sites propres. Or, la solution qui consiste à isoler les transports en commun en partageant la voirie, si elle est avantageuse pour les usagers des transports collectifs, est souvent coûteuse, en argent ou en temps perdu, pour les usagers de la chaussée

(1) On emploie ici l'expression « véhicules particuliers » pour désigner l'ensemble des véhicules automobiles autres que ceux qui sont affectés aux transports collectifs.

(2) Bien que le concept de « route » concerne plus généralement les voies de liaisons rurales et n'exclut pas les autobus, on conservera ici, à défaut de mot approprié, l'adjectif « routier » utilisé traditionnellement dans le débat rail-route pour désigner tout ce qui concerne les véhicules particuliers.

subsistante. Elle ne peut être systématiquement généralisée, même pour les projets les plus simples comme les couloirs réservés, qui imposent de réduire la voie libre. La question du partage optimal de la voirie apparaît donc comme incontournable.

Outre la valeur à attribuer aux espaces occupés (voir chapitre suivant), l'évaluation de ce type de projet exige de bien connaître, dans les différentes situations de congestion, les effets économiques d'une modification du partage de la voirie sur chaque catégorie d'usagers (véhicules particuliers, transports collectifs, piétons...), afin de s'assurer que les gains nets obtenus sont supérieurs au coût des investissements nécessaires.

L'état actuel des études ne permet de recommander ni des méthodes avérées ni des valeurs susceptibles d'être utilisées dès maintenant dans les évaluations socio-économiques. Les réflexions du groupe, recadrées dans une approche théorique générale, permettent toutefois de proposer des recommandations d'ordre méthodologique, ainsi que la mise en œuvre d'études spécifiques.

1.2. Complexités conceptuelles et difficultés de mesure

La congestion reste en France un phénomène en large partie urbain même si on peut l'observer sur les grandes infrastructures interurbaines en certains nœuds du réseau et à certaines occasions limitées dans le temps. Ses effets se manifestent par une dégradation des conditions de transport : allongement des temps de parcours, dégradation de la fiabilité des temps de déplacement, surconsommation de carburant, pollution supplémentaire et augmentation des coûts d'exploitation des véhicules, lesquels se trouvent sollicités davantage pour une distance parcourue identique, etc.

1.2.1. Notions théoriques usuelles

Dans une première approche, la congestion se définit comme la gêne que les véhicules s'imposent les uns aux autres en raison de la relation qui existe entre la densité de circulation sur un itinéraire ou sur un réseau (concentration des véhicules) et la vitesse d'écoulement des trafics, compte tenu de la capacité (ou du débit maximal possible).

Au-delà de cette approche, l'expression a de nombreuses acceptions. On adoptera ici le point de vue de l'économiste, qui considère à la fois les caractéristiques de la route et la demande des usagers, à la différence du point

- Prise en compte de la congestion urbaine -

de vue de l'ingénieur fondé sur les seules caractéristiques de débit et de vitesse de la voie.

Le coût économique de la congestion peut être défini en théorie comme la différence entre l'utilité effectivement retirée de l'usage de l'infrastructure et l'utilité qui en serait retirée si elle était utilisée de façon optimale.

La congestion n'a donc de sens précis que rapportée à une situation optimale eu égard à un objectif déterminé de qualité de service¹. Ceci conduit à définir le coût de la congestion – plus précisément son coût marginal – comme égal aux pertes qu'un utilisateur impose aux autres lorsqu'il vient s'ajouter au trafic correspondant à la capacité de l'infrastructure qui est optimale pour cette qualité de service.

Les interactions sont assez nombreuses entre les voitures particulières, les transports en commun, les taxis, les poids lourds et les véhicules utilitaires, les deux-roues, les rollers et les piétons. Sans nier l'importance de certaines interactions (qui mériteraient d'être analysées pour elles-mêmes), on se concentrera ici sur les interactions qui existent entre les véhicules particuliers et les transports en commun, compte tenu du niveau de la congestion et du partage de la voirie entre les différents usages. Ces interactions font en effet l'objet aujourd'hui d'une attention particulière dès que l'on cherche à dynamiser l'offre de transports collectifs dans les grandes agglomérations.

Les notions théoriques qu'on vient d'évoquer sont souvent complexes, et difficiles à appliquer. Leur mise en œuvre se heurte par ailleurs à la difficulté d'établir une situation de référence qui ait une signification économique au sens indiqué ci-dessus.

1.2.2. Méthodes pratiques utilisées

La congestion peut être caractérisée, en pratique, par la différence entre la vitesse mesurée des véhicules sur une infrastructure pendant une période déterminée (heures de pointe, notamment) et une certaine vitesse de référence.

(1) Sur une infrastructure donnée et exploitée au mieux eu égard aux dispositions effectivement applicables, la situation est optimale lorsque le coût de l'investissement additionnel qui serait nécessaire pour maintenir la qualité de service est égal au prix qu'accepterait de payer l'utilisateur supplémentaire.

Mais cette vitesse de référence ne peut être celle que l'on constaterait sur une route vide au même instant, sous la seule limitation du respect de la réglementation. Avec une telle situation de référence, l'évaluation serait surestimée car la dite référence, d'un point de vue économique, ne saurait être une situation de fluidité maximale (véhicule seul sur la route). Cette situation de référence irréaliste entraînerait des investissements injustifiés.

On peut alors songer à la différence entre la vitesse mesurée et une vitesse de référence considérée comme acceptable. Cette méthode paraît plus assurée que la précédente d'un point de vue théorique, puisque la congestion est rapportée à une situation de référence définie par un niveau de qualité de service. Toutefois, le terme trop flou d'« acceptable » est bien peu opératoire et sujet à de multiples interprétations, tant pour ce qui est de la vitesse commerciale des transports collectifs, que de la vitesse de déplacement des véhicules particuliers.

La congestion peut encore être déterminée par différence entre la vitesse mesurée et la vitesse correspondant au débit maximal sur la route considérée. Cependant, l'ingénierie du trafic montre que ce débit maximal – ou capacité de la route – peut être obtenu (ou maintenu) avec des vitesses assez variables, moyennant des files d'attentes (bouchons) plus ou moins importantes ; on considère implicitement comme un optimum technique l'état de la route (densité de circulation) qui assure le débit maximal avec la vitesse la plus élevée possible. Cette méthode classique, qui a l'intérêt d'être opérationnelle, repose sur l'hypothèse qu'en maximisant le débit de l'infrastructure, on maximise effectivement l'intérêt collectif – ce qui suppose, implicitement, que tous les usagers retirent la même satisfaction d'un service identique, alors qu'il n'y a pas de relation simple entre le débit et la valorisation du temps passé sur une infrastructure.

La méthode se heurte aussi à la difficulté d'étendre les résultats obtenus pour une infrastructure particulière à l'ensemble d'un réseau urbain, et notamment de déterminer la vitesse optimale de fonctionnement de ce réseau au voisinage du débit maximum. S'il est possible de trouver la vitesse qui maximise le débit par types de grandes infrastructures interurbaines, cela reste beaucoup plus difficile pour les voiries urbaines, notamment du fait que le débit résulte d'une interaction complexe entre l'offre, la demande et certains paramètres extérieurs.

Quant à l'approche inspirée de la théorie économique, elle consisterait à évaluer la congestion par le produit d'une taxe fixée de manière à faire supporter à chaque usager l'accroissement de coût que sa présence sur l'infrastructure occasionne aux autres usagers. Cette démarche, qui reste très théorique, peut néanmoins trouver des applications pratiques. À titre d'exemple, un calcul

- Prise en compte de la congestion urbaine -

théorique de file d'attente montre que, sur un réseau saturé fonctionnant à débit Q constant (exploitation optimisée), la durée de parcours T d'un véhicule est proportionnelle à la densité de circulation (nombre N de véhicules présents sur le réseau) avec la relation $Q = N / T$. Un véhicule supplémentaire qui s'introduit sur ce réseau fait donc supporter à l'ensemble des N autres véhicules une perte de temps totale égale à sa durée T de présence sur le réseau (coût marginal de congestion). En soi préférable, cette démarche reste encore très théorique.

2. Comment améliorer les évaluations de projets de transport en commun en milieu urbain

2.1. Mieux appréhender les effets de la congestion dans les transports collectifs urbains

En milieu urbain, quelques données très globales donnent un premier aperçu de l'ampleur du temps perdu par les usagers des réseaux d'autobus. On peut rappeler l'appréciation proposée par le Syndicat des transports d'Île-de-France, qui estime à environ 39 millions d'heures par an le temps perdu par les usagers des autobus par rapport à une situation de fluidité, pour la seule région Île-de-France. À ce temps perdu par les usagers, s'ajoute le surcoût d'exploitation des entreprises de transport en commun (surdimensionnement du parc, des effectifs et des charges par rapport à la situation de fluidité souhaitée).

Ces interactions entre les voitures particulières et les transports en commun n'avaient pas donné lieu dans le rapport de 1994 à des développements particuliers. Le dit rapport citait la DREIF¹ qui, s'appuyant sur une étude ancienne (rapport Hautreux de 1969), estimait que les gains pouvaient être valorisés par le temps que gagnait l'ensemble des usagers lorsqu'on retirait un véhicule-km d'un itinéraire encombré. Elle proposait d'appliquer une norme moyenne de 0,065 heure par véhicule-km, en pondérant celle-ci par des coefficients spécifiques pour tenir compte des particularités de certaines zones. Le rapporteur s'interrogeait sur la pertinence des valeurs utilisées ; il demandait que soit vérifiée la validité de cette loi sur quelques itinéraires, et qu'on établisse une carte représentative des vitesses actuelles sur les principaux axes de circulation aux différentes périodes de la journée. Une telle recommandation était notamment motivée par le fait que, les transferts entre transports en

(1) Direction régionale de l'Équipement de l'Île-de-France.

commun et véhicules particuliers étant en général faibles, les avantages des projets de transports en commun étaient fortement influencés par la valorisation, jusqu'alors imprécise, des gains de décongestion dont pourraient bénéficier les véhicules particuliers. Cette recommandation n'a pas été suivie d'effet.

Le groupe constate que les ordres de grandeurs doivent être précisés davantage. Les études actuellement disponibles sur ces interactions entre voitures particulières et transports en commun, peu nombreuses et souvent anciennes, mériteraient donc d'être reprises. Le groupe suggère en particulier d'engager des études sur les effets que peut avoir une transformation d'usage de la voirie sur la circulation générale, comme par exemple l'effet sur la congestion automobile de la suppression d'une voie de circulation (transformée en voie réservée pour bus ou tramway).

Toutefois si, pour les voitures particulières, la congestion se traduit par l'allongement des temps de parcours, il n'en est pas de même dans les transports en commun. La dégradation des conditions de circulation s'y accompagne en effet, dans la plupart des cas, d'une dégradation du confort, le temps de déplacement pouvant éventuellement rester le même. Cette asymétrie impose donc de ne pas traiter les problèmes de congestion uniquement par la valorisation des temps perdus.

Il semble tout à fait nécessaire à cet égard de mieux mesurer les coûts de l'inconfort engendré par de mauvaises conditions de transport. Des études doivent être entreprises sans trop tarder sur ces aspects plus qualitatifs des exigences de la demande (insécurité, fréquence, etc.), en s'appuyant notamment sur des enquêtes menées auprès des usagers et sur les études faites à l'étranger.

Par ailleurs, des études devraient également être entreprises pour mieux saisir les effets externes positifs qui apparaissent lorsque l'augmentation du trafic d'un transport en commun conduit l'opérateur à augmenter la fréquence des passages. Ce faisant, il augmente la qualité de service, et les usagers anciens du transport en commun voient leur situation s'améliorer.

Enfin, le groupe attire l'attention sur le fait que l'analyse des interactions entre les véhicules particuliers et les transports en commun ne doit pas se limiter à une approche en termes de congestion. Certains projets de transports en commun s'apprécient autant par le confort ou le temps qu'ils font gagner aux usagers ou par l'amélioration de la fluidité de la circulation qu'ils permettent que par l'impact qu'ils peuvent avoir sur la qualité de l'espace urbain, notamment celui des centres villes (limitation de la circulation, réaffectation de la voirie aux piétons). Les méthodes actuelles d'évaluation, si elles se limitent

- Prise en compte de la congestion urbaine -

aux seules valorisations des gains de temps, risquent de conduire à rejeter tout investissement qui réduit la voirie urbaine au profit de sites propres, ou la création de zones piétonnes, alors qu'on s'accorde généralement à dire qu'une politique de la ville réussie passe par ce type de décision.

Les recommandations de ce chapitre viennent donc en complément des approches plus complexes développées dans le chapitre suivant sur la valorisation de l'espace.

2.2. Mieux apprécier la situation de référence

À défaut de savoir définir une situation d'utilisation du réseau qu'on puisse considérer comme optimale sur le plan économique, compte tenu des difficultés conceptuelles et pratiques analysées ci-dessus, il convient, pour apprécier à un instant donné les effets des interactions entre les voitures particulières et les transports en commun, de se rapporter à des situations de référence qui soient significatives du point de vue économique.

Sans vouloir être exhaustif, il apparaît nécessaire de disposer au moins d'une série d'informations relatives au fonctionnement de l'infrastructure dans différentes situations observables – vitesse des véhicules, débits et densité du trafic (concentration) – compte tenu des conditions d'exploitation. Les gains ou les pertes de temps liés au projet sont à évaluer par rapport à ces situations de référence, en isolant certains contextes d'exploitation. Il paraît important, en particulier, de mieux appréhender l'intérêt de certains investissements propres au transport en commun, et notamment les gains qui pourraient être obtenus par le biais de systèmes ad hoc de régulation et d'exploitation.

À cette fin, certains référentiels de vitesse conventionnels, tels que la vitesse de bus en site propre, doivent être remplacés par d'autres plus proches de ce que sont ou pourraient devenir les conditions d'exploitation réelles optimisées. Cela nécessitera des investigations plus poussées, lesquelles pourraient être menées en constituant, puis en exploitant, des bases de données établies à partir d'opérations de régulation globale (comme celles instaurées dans certaines zones à Paris) ou particulière, menées sur certains axes. À ces éléments peuvent s'en ajouter d'autres obtenus en mettant en place des réglementations (axes rouges, protection d'itinéraires de bus, etc.). L'objectif est de connaître les vitesses (vitesse cible) qui pourraient être obtenues après certains investissements ou certaines décisions de réglementation, d'exploitation ou de partage de la voirie.

- Prise en compte de la congestion urbaine -

À ces référentiels, doivent être ajoutées des données précises sur les vitesses commerciales actuelles des bus et des voitures particulières, et sur leurs évolutions relatives. Ces données, qui devraient être distinguées notamment par périodes horaires et par types de zones ou d'infrastructures, peuvent être obtenues en exploitant et complétant des données existantes.

Il est indispensable enfin que ce soit bien par référence à la situation optimisée la plus probable en l'absence du projet que l'évaluation des investissements nouveaux soit établie.

En effet, certains investissements peuvent apparaître très rentables alors qu'avec une tarification économiquement correcte l'évaluation révélerait, dans bien des cas, des rentabilités socio-économiques plus faibles ; il ne sert à rien d'internaliser la congestion dans un système de gaspillage généralisé. On doit donc raisonner par comparaison avec un système correctement géré, sous peine d'encourager des investissements dont l'utilité sociale serait très contestable : plus la situation de référence est mauvaise, plus un projet médiocre paraît gratifiant par comparaison.

Il convient donc que l'intérêt des projets d'investissement de transport urbain, souvent coûteux, soit analysé au regard d'une situation de référence dans laquelle l'ensemble des moyens de régulation de la mobilité effectivement utilisables auraient été localement mis en œuvre. Cet ensemble comprend notamment les politiques de tarification de la circulation et les politiques réglementaires.

La situation de référence implique également que soient mises en œuvre, dans le cadre de ces différentes politiques, les mesures d'exploitation de la circulation générale (gestion des feux de signalisation, par exemple), et des transports collectifs, destinées à limiter au mieux les effets négatifs de la congestion en s'efforçant de maintenir les débits au niveau offert par l'infrastructure malgré l'accumulation des véhicules (optimisation de l'exploitation).

Les remarques précédentes conduisent à préconiser que l'évaluation des projets soit faite dans le cadre de plusieurs politiques de transport.

2.3. Améliorer les connaissances sur les gênes engendrées

Les interactions entre véhicules particuliers et transports en commun doivent être traitées dans le cadre plus général du partage de la voirie (tramways, autobus, taxis, deux-roues, rollers, piétons, etc.).

- Prise en compte de la congestion urbaine -

L'évaluation de la congestion urbaine est à améliorer. Il convient tout d'abord d'actualiser les relations observables sur un itinéraire entre la densité de circulation (concentration des véhicules), le débit de l'infrastructure et la vitesse de parcours des différents usagers. Toutefois, l'utilisation de ces relations, faute de prendre en compte les effets de réseaux (reports d'itinéraires, de modes, etc.) reste d'une portée limitée pour appréhender les effets économiques de la congestion urbaine. Cela invite à utiliser des modèles de simulation du trafic qui tiennent compte de ces effets. Réalisées sur plusieurs agglomérations, de telles simulations permettraient de converger vers des ratios susceptibles d'être utilisés ensuite dans les évaluations. Il faudrait aussi se donner les moyens de tenir compte des différents niveaux de congestion selon les heures de la journée (ou de la semaine), ainsi que des décalages d'heure de départ que les usagers s'imposent pour éviter les heures les plus chargées ; ces décalages représentent un coût très significatif.

Il convient, d'autre part, de mieux appréhender les effets de décongestion de la voirie liés à l'amélioration des services de transports collectifs, au lieu de conserver les coefficients historiques issues du rapport Hautreux (1969), comme on le fait actuellement en Île-de-France, faute de mieux.

Les transports en commun – et plus généralement les mesures de partage de la voirie – peuvent, dans certains cas, imposer aux voitures particulières diverses contraintes (carrefours, arrêts, limitation des voies de circulation...) qu'il conviendrait de mieux mesurer. Il en va de même pour les effets positifs de décongestion dont bénéficie le trafic des véhicules particuliers, avec la fréquentation accrue des transports collectifs.

Ces interactions doivent être identifiées avec précision, par types d'infrastructures et par types de zones, en fonction de la densité de circulation (concentration des véhicules) et de la capacité de l'infrastructure. Il convient notamment de bien différencier les zones denses où le trafic est relativement bien stabilisé, et les zones en forte mutation où se fait l'essentiel des progressions de trafic : la question des effets interactifs entre les véhicules particuliers et les transports en commun, et celle du partage de la voirie, ne peuvent pas y être appréhendées de la même manière.

2.4. Distinguer l'évaluation d'un projet localisé et celle d'une politique stratégique

Les deux échelles de l'évaluation (projet localisé ou politique stratégique) ne peuvent faire l'objet de recommandations identiques en termes opérationnels,

du fait de la diversité des problèmes et du mode d'établissement de la situation de référence. L'évaluation d'un plan de déplacements urbains, par exemple, et celle d'un projet en site propre où l'aire d'influence du partage de l'espace public est limitée, appellent des approches pratiques différentes.

Ainsi, les évaluations de projets, tels que les investissements de transport en commun qui impliquent un partage de la voirie, pourront-ils faire l'objet de bilans dans lesquels figureront bien, face au coût de l'investissement, le temps perdu ou gagné par les utilisateurs de véhicules particuliers, outre le temps gagné par les usagers, nouveaux et anciens, des transports en commun. Ces gains ou pertes de temps seront évalués pour les différents niveaux de congestion (selon l'heure de la journée ou de la semaine) caractérisant la situation de référence, et en supposant optimisée l'exploitation des réseaux de circulation (maintien d'un débit de l'infrastructure proche du maximum malgré l'accumulation des véhicules). Les calculs seront conduits dans le cadre d'une (ou plusieurs) politique générale des déplacements précisant notamment les mesures retenues de réglementation et de tarification des transports, et leurs effets sur la demande.

L'évaluation de politiques stratégiques, telles que des choix alternatifs de réglementation ou de tarification des transports sur l'ensemble d'une agglomération (élaboration d'un plan de déplacements urbains, par exemple), relève d'une approche plus macro-économique des mécanismes d'ajustement de l'offre et de la demande. Le calcul des gains ou pertes de temps pour les différentes catégories d'usagers devient beaucoup plus difficile, en raison des effets de ces choix sur la demande globale et sur la redistribution de celle-ci entre les destinations, les modes de transport et les horaires de la journée ou de la semaine, effets que l'on ne peut plus considérer comme marginaux. La situation de référence ne peut-être que l'une des politiques alternatives servant de point de comparaison, en principe la moins coûteuse en investissement. Sous réserve de modèles de simulation appropriés, ces comparaisons pourraient s'exprimer selon des indicateurs globaux d'accessibilité, de qualité de service (vitesse, confort, fiabilité...) ou de cadre de vie (niveau de bruit, de pollution...) dont certains restent à établir et à tester sur des cas concrets.

Pour conclure, si ce chapitre ne propose pas de valeurs unitaires de la congestion en milieu urbain, le groupe ayant considéré que les interactions entre les différents usages de la voirie restaient encore des phénomènes mal connus et mal mesurés, on y rappelle et précise toutefois plusieurs points importants qu'il est nécessaire de prendre en compte pour approcher les problèmes de congestion dans le calcul économique des travaux d'infrastructure. Le groupe a particulièrement insisté, notamment, sur les principes qui doivent présider au

- Prise en compte de la congestion urbaine -

choix de la solution de référence. Par ailleurs, parmi les nombreuses études que le groupe considère comme incontournables, on rappellera, en priorité, celles concernant les interactions entre les véhicules particuliers et les transports collectifs, interactions appréhendées encore aujourd'hui sur la base d'études très anciennes. Ces études doivent être renouvelées, ainsi que celles relatives à la mesure de la qualité de service dans les transports collectifs, qualité qui peut être profondément affectée par les situations de congestion sur la voirie.

Chapitre IV

PRISE EN COMPTE DE L'OCCUPATION DE L'ESPACE DANS LES ÉVALUATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES DES PROJETS DE TRANSPORTS URBAINS

On traitera d'abord des effets de coupure avant d'examiner les problèmes que posent l'affectation optimale des espaces publics et les effets des transports sur les paysages.

1. Approche économique des effets de coupure

L'évaluation des projets de transport en milieu urbain ¹ doit intégrer, dans le coût de l'occupation de l'espace, celui qu'engendrent les effets de coupure. On notera toutefois qu'il existe entre la consommation d'espace, les coûts de congestion et la valeur marchande du sol des liens théoriques susceptibles, si l'on n'y prend pas garde, de provoquer des doubles comptes.

Ces effets de coupure doivent être pris en considération aussi bien pour les nouvelles infrastructures de voirie ou les sites propres de transport collectif qui rompent une continuité spatiale, que pour les investissements de réparation destinés à reconstituer cette continuité. Si ces effets restent encore mal connus,

(1) Les développements de ce chapitre se limitent aux effets de coupure produits par les infrastructures urbaines et ne traitent pas des effets de coupure et des impacts sur les paysages qu'engendrent les infrastructures en rase campagne, alors que ceux-ci sont à l'origine d'investissements importants (intégration de l'infrastructure dans le site ; enfouissement, aménagements paysagers ; franchissements, etc.). La prise en compte de ces effets dans le calcul économique des infrastructures de rase campagne mériterait une réflexion spécifique.

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

le recensement récent de l'IFRESI¹ (1999) sur ce sujet, complet et détaillé, permet de dégager un ensemble de recommandations.

Les coupures provoquées lors de la réalisation des infrastructures se caractérisent davantage par leurs conséquences et les actions correctives qu'elles requièrent, que par leur nature (coupure naturelle ou artificielle, linéaire ou surfacique, physique ou dangereuse, ancienne ou récente, liées au caractère infranchissable ou impraticable des voies). On retiendra, s'agissant des voies de circulation, que les deux principaux paramètres qui déterminent « l'intensité » d'une coupure sont, d'une part, le trafic supporté par la voie et, d'autre part, la fréquence des aménagements de franchissement sans risque.

Les conséquences de ces coupures sont essentiellement :

- à court terme, l'accroissement des temps d'attente, de la longueur des parcours et de l'insécurité ; cela concerne principalement les cyclistes et les piétons (en particulier les enfants – nécessité accrue d'accompagnement – et les personnes âgées ou handicapées) ; les usagers motorisés sont peu affectés ;
- à moyen terme, la diminution des relations de voisinage et la séparation des communautés ;
- à long terme, des modifications du fonctionnement même de la ville, en induisant sinon la déstructuration du tissu urbain, du moins la distension des liens sociaux de quartier.

À ces effets, il faut ajouter les interactions qui peuvent survenir sur une même infrastructure entre les trafics locaux assurant une accessibilité de proximité et les trafics à longue distance correspondant à une accessibilité plus large. Le cas peut se présenter aussi bien sur une infrastructure routière que ferroviaire. En effet, cette « mixité des trafics » sur les infrastructures n'est pas sans conséquences sur l'espace, puisque les trafics longue distance viennent perturber le système de transport local.

Ces perturbations réciproques entre les différents types de trafic doivent être évaluées en comparant les gains d'accessibilité de longue distance retirés par certains usagers aux pertes que subissent d'autres usagers du fait de la dégradation de la qualité des déplacements de proximité (ou de l'accessibilité).

(1) Institut fédératif de recherche sur les économies et les sociétés industrielles.

À l'inverse, lorsqu'un effet de coupure se trouve atténué, par exemple à la faveur d'un contournement d'agglomération, les deux avantages peuvent se cumuler. Dans ce cas, en effet, une nouvelle infrastructure est susceptible d'apporter un remède aux effets de coupure en différenciant les fonctions diverses des voies (grandes artères permettant l'accès au centre, voies à basse vitesse et à plus faible trafic réservées à la desserte micro-locale du quartier traversé, larges trottoirs pour les piétons, voies réservées aux cyclistes et autres rollers) et par l'insertion urbanistique de ces voies (qualité du mobilier urbain, promenades plantées, etc.). Or, l'usage et les difficultés de mesure veulent que, jusqu'ici, seuls les gains offerts par les transports de longue distance aient été pris en compte ¹.

Ces effets étant précisés, la question se pose de les monétariser. De nombreuses tentatives ont vu le jour pour lui apporter des éléments de réponse en utilisant tour à tour l'ensemble des outils disponibles pour évaluer les coûts externes des transports. Ces méthodes sont très diverses : la méthode dite des valeurs révélées ; la méthode des valeurs déclarées ; l'évaluation par le coût des dommages directs et indirects ; l'évaluation par le coût d'évitement ; l'évaluation par le coût de réparation. Parmi elles, seules les trois premières, fondées sur les valeurs révélées ou déclarées d'une part, sur l'estimation directe des dommages d'autre part, seront retenues ici. Les deux dernières, en effet, posent des problèmes théoriques : la valeur économique de la suppression (ou de la réduction) d'une nuisance n'est pas donnée par le coût des aménagements à effectuer pour supprimer (réduire) cette nuisance, mais par ce que les victimes de la nuisance sont prêtes à payer pour sa suppression (ou sa réduction).

Quant aux deux premières méthodes, on retiendra qu'elles présentent avantages et inconvénients. La méthode des valeurs révélées, qui bénéficie d'un fort crédit scientifique et a été appliquée avec succès à plusieurs reprises, est suspendue à l'existence d'un marché de substitution, et d'informations sur un nombre suffisant de transactions, lesquelles font souvent défaut. La méthode des valeurs déclarées, en générant ses propres données, peut fournir des estimations là où les autres techniques restent impuissantes ; elle est fortement critiquée, elle aussi, parce qu'elle expose à des biais dus à l'aspect hypothétique de la transaction proposée et aux comportements stratégiques qui peuvent apparaître chez les personnes interrogées. Plusieurs études ont été menées sur la base de

(1) Encore faut-il noter que ces contournements peuvent, à leurs tour, engendrer des effets de coupure, là où ils sont implantés, effets qui seront d'autant plus préjudiciables qu'une nouvelle urbanisation peut se développer autour de ces itinéraires. Ce dont il conviendra de tenir compte également.

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

ces méthodes pour valoriser les effets de coupures. Les résultats obtenus, même s'ils présentent un grand intérêt, sont difficilement généralisables et ont suscité de nombreuses critiques. Ces travaux ne sont donc guère mobilisables pour proposer des valeurs à intégrer dans les bilans.

Pour résumer, les coupures produites par les infrastructures de transport (liées à leur caractère infranchissable ou difficilement franchissable, impraticable ou dangereux) peuvent constituer une source de nuisances réelles, affectant notamment les piétons et les cyclistes. Sans doute est-il vraisemblable que, généralement, ces effets pèsent relativement peu dans le bilan d'une infrastructure nouvelle. Il n'en reste pas moins que l'ordre de grandeur du coût des coupures, tel qu'estimé dans la littérature, semble justifier au moins le traitement des principaux « points noirs » d'une agglomération ou d'un site local (ou, en tout cas, la réalisation d'études spécifiques).

Des méthodes d'évaluation, globale ou partielle, du coût d'un effet de coupure existent, mais elles sont lourdes et leurs résultats se prêtent assez mal à la généralisation. C'est pourquoi, en l'état des choses, le groupe recommande de procéder à une évaluation spécifique chaque fois qu'une coupure significative du territoire local est envisagée, avec, au minimum, une estimation par défaut des dommages qui affectent la mobilité du trafic non motorisé, dommages appréciés par la perte de surplus des usagers concernés.

Par ailleurs, chaque fois que cela est possible, les investissements envisagés pour réduire les effets de coupure des infrastructures doivent être conçus de manière à réduire au maximum la différence entre le coût des ouvrages et le consentement à payer des personnes qui subissent ces effets.

2. Affectation des espaces publics

2.1. La rareté de l'espace public

L'espace public est une ressource limitée et souvent rare, notamment dans les zones urbaines. Son affectation doit être répartie, d'une part entre les transports et les autres usages possibles et, d'autre part, pour les transports, entre des usages alternatifs de la voirie impliquant différents modes de transport et, notamment, pour le mode automobile (y compris le fret urbain), entre la circulation et le stationnement.

La recherche par le calcul économique de l'affectation optimale de l'espace public au secteur des transports, et entre usages de transport, soulève toutefois une double difficulté.

D'une part, physiquement, les infrastructures de transport sont, pour ainsi dire, à la fois des producteurs et des consommateurs d'espace : des consommateurs par l'étendue de leurs emprises, mais aussi des producteurs par les gains d'accessibilité qu'elles procurent, ainsi que par les espaces nouveaux qu'une infrastructure nouvelle ouvre à l'urbanisation, ou dont elle renforce l'attractivité et la constructibilité¹. Par ailleurs, les infrastructures ont un impact non seulement sur la part d'espace à leur allouer globalement, mais aussi sur la concurrence entre les modes de transport qui se répartissent cet espace.

D'autre part, sur le plan économique, les transports concourent à modifier les valeurs foncières et immobilières des zones qu'ils desservent. Le problème du « juste prix » de l'occupation de l'espace se décompose dès lors en deux questions :

- le coût d'une infrastructure inclut-il un coût d'acquisition de l'emprise foncière qui reflète la « rareté sociale » du terrain ainsi utilisé (ce qui devrait conduire à distinguer les infrastructures nouvelles des infrastructures anciennes) ? En particulier, la valeur du sol occupé par l'infrastructure doit-elle être prise égale à la valeur marchande des terrains voisins, valeur qui serait sans doute différente si l'infrastructure n'existait pas ?
- les utilisateurs de l'infrastructure (globalement et par type d'usage) supportent-ils effectivement ce coût social d'occupation de l'espace ?

2.2. Coût des emprises foncières

S'agissant de la première question, on peut admettre pour les voies nouvelles que le coût d'expropriation est suffisamment proche du coût du marché avant la réalisation de l'infrastructure pour refléter assez fidèlement la rareté initiale du sol. Si tel n'était pas le cas, il serait légitime d'intégrer dans le calcul le coût social qui n'aurait pas été pris en compte. Dans certaines circonstances, en effet, le prix du sol ne reflète pas sa rareté sociale : emprise réservée de longue date,

(1) Généralement opportunes si elles participent utilement à la politique d'extension de la ville, ces créations d'espace urbanisable doivent être valorisées négativement lorsqu'elles contribuent à un éparpillement nuisible des zones de construction.

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

acquise à un coût sans relation avec celui du foncier limitrophe au moment de la réalisation du projet ; espace naturel, comme les forêts, dont la valeur ne peut pas être appréciée par le marché foncier, etc.

Les évaluations doivent notamment traiter le problème du gel des terrains proches de la nouvelle infrastructure, comme certains espaces, souvent vastes, situés dans les zones de bruit autour des aéroports et qui ne peuvent plus être urbanisés.

Pour les voies anciennes, la question ne se pose que si l'on envisage de modifier, en tout ou partie, l'usage auquel le sol est affecté. La valeur économique qui doit alors être retenue pour le sol est le coût optimisé des répercussions de l'usage envisagé sur l'usage alternatif le plus avantageux socio-économiquement. Il n'est pas interdit d'admettre que cet autre usage le plus avantageux était l'usage antérieur, ce qui conduit, sauf évidence contraire, à se référer aux répercussions du nouvel usage sur l'ancien. On devra toutefois s'interroger sur l'existence éventuelle d'avantages non marchands, tant dans la situation antérieure que dans la nouvelle.

Reste un cas de figure important qui semble avoir été totalement négligé dans la littérature¹ : l'usage de l'espace souterrain. D'une part, l'affectation d'une portion d'espace souterrain ne fait l'objet d'aucun paiement spécifique, comme si le coût du terrain se réduisait au coût d'excavation, ce qui n'a aucune raison d'être le cas. D'autre part, il n'existe pas (ou pas encore) un marché même embryonnaire de l'espace souterrain ; cela complique la tâche de qui voudrait estimer la valeur économique de cet espace, mais ne signifie pas pour autant que cette valeur est nulle, ni a fortiori qu'elle le restera à l'avenir. Notons cependant que les experts semblent d'accord pour considérer que la valeur de l'espace souterrain est aujourd'hui négligeable en Île-de-France (et *a fortiori* dans le reste de la France) au-delà de dix mètres de profondeur.

En conclusion, et réserve faite de cette rareté du sous-sol et d'adaptations nécessaires dans le cas de certains investissements, le problème des infrastructures consommatrices de surfaces supplémentaires semble convenablement réglé en prenant en compte pour les infrastructures nouvelles les valeurs foncières consommées (ou éventuellement restituées) et, pour les infrastructures anciennes dont on envisagerait de modifier l'usage, le coût des répercussions de cette modification sur l'usage antérieur de l'infrastructure.

(1) On peut noter qu'il existe des questions similaires concernant la valorisation de l'espace aérien, pour lequel il n'existe pas non plus de marché.

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

Reste une question à évoquer qui est celle de la création et de la récupération éventuelle de la rente foncière créée par l'amélioration de la desserte résultant, soit d'une infrastructure de transport nouvelle, soit de l'amélioration d'une infrastructure existante (par exemple au droit d'un échangeur nouvellement créé ou d'une nouvelle station de métro). Il est clair, et communément admis, que de telles plus-values ne doivent pas être prises en compte au titre des avantages d'un projet, car elles peuvent être interprétées comme une internalisation par les propriétaires des alentours d'avantages déjà pris en compte dans l'évaluation, tels les gains de temps. Le problème de la récupération de ces rentes par la puissance publique ne s'en pose pas moins ; il sort de l'objet du présent rapport.

2.3. Affectation de l'espace entre usages internes au secteur des transports

Le second problème, relatif à l'affectation de l'espace entre les différents usages de la voirie, paraît beaucoup plus délicat. Jusqu'à aujourd'hui, cette question a été principalement abordée en termes de consommation d'espace. Les travaux assez anciens de L. Marchand (RATP), qui ont été repris par la suite, ont apporté un premier éclairage en permettant d'intégrer dans un même indicateur les consommations d'espace des véhicules en circulation et en stationnement, consommations qui avaient été auparavant étudiées de manière séparées. L'innovation de Marchand a consisté à interpréter la consommation d'espace à travers le temps comme une consommation d'espace-temps (mesurée en $m^2 \times h$). De cette manière, la consommation d'espace des véhicules en mouvement et celle des véhicules à l'arrêt devenait commensurable.

Les calculs comparatifs effectués sur cette base (pour un trajet typique, d'une distance donnée, effectué à une vitesse donnée et complété par un stationnement de durée variable selon le motif) révèlent systématiquement un avantage comparatif considérable des transports collectifs sur la voiture particulière (et dans une moindre mesure sur les deux-roues) en termes de consommation d'espace-temps : les transports collectifs s'avèrent, selon l'objet du déplacement, de 2,5 à 30 fois moins consommateurs d'espace-temps¹.

(1) Néanmoins, cette affirmation doit être nuancée sous deux aspects : pour les transports collectifs ferrés, l'espace nécessaire est beaucoup plus important qu'il ne paraît en raison du besoin d'interdistance entre deux rames. Et en terme de consommation d'espace pour la totalité du trajet (y compris parking), il faut prendre en compte un coût différencié de l'espace. C'est ainsi qu'il y a des cas dans lesquels le

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

Sur la base de ces calculs, il est ensuite possible de monétariser l'occupation d'espace-temps de voirie. Remarquant que la valeur économique du $m^2 \times h$ sur voirie existante, telle que révélée par la tarification du stationnement, était du même ordre de grandeur que la valeur du $m^2 \times h$ d'infrastructures nouvelles (coût actualisé de création d'un m^2 , tenant compte du nombre total d'heures d'utilisation de ce m^2 sur sa durée de vie), Marchand a proposé de retenir une valeur du m^2 de la voirie existante égale à celle du m^2 d'une infrastructure de remplacement.

Cette méthode a été fortement contestée. Le raisonnement suppose que le prix du stationnement reflète le coût social de l'espace de voirie existant ; or, il n'y a pas de raison *a priori* pour que ce soit le cas (notamment parce que la tarification du stationnement sur voirie poursuit d'autres objectifs que de refléter ce coût). D'autre part, la méthode souffre d'une lacune fondamentale : elle ne distingue pas le $m^2 \times h$ d'heure creuse (dont le coût économique d'usage est nul ou presque) et le $m^2 \times h$ d'heure de pointe (dont le coût économique d'usage est égal au coût marginal de congestion de la voirie et peut être très élevé).

Mais, à supposer que la distinction soit faite entre les $m^2 \times h$ de voirie fluide et congestionnée, le problème reste encore entier. En effet, si l'on était en état de moduler les valeurs du $m^2 \times h$ selon la congestion, on pourrait envisager d'utiliser les coefficients de consommation d'espace des différents modes de transport pour asseoir la régulation économique du trafic. En situation de saturation de l'espace viaire, il serait alors efficace de taxer les modes consommateurs d'espace au bénéfice de ceux qui en sont économes. Idéalement, on pourrait même espérer que, tarifée à son coût économique (coût marginal social), la consommation d'espace soit économiquement optimale, conduisant à des niveaux de congestion eux-mêmes optimaux.

Toutefois, ce type de calcul pose un problème dans la mesure où l'analyse économique des projets prend en compte d'autres effets qui interfèrent pour partie avec la consommation de l'espace. De ce fait, si ce type d'approche permet bien une première estimation, très approchée, des performances des différents modes de transport en termes de consommation d'espace-temps, il ne saurait en revanche être utilisé, sans double compte, dans un calcul économique

même espace de voirie permet d'acheminer plus de passagers en voitures qu'en tramway (effet interdistançe) ; ou qu'un parking en centre-ville vaut sûrement aussi cher en termes d'espace que l'utilisation de la voirie, mais pas dans une zone commerciale.

où sont déjà intégrées, dans le bilan coût-avantage, les répercussions de l'opération envisagée sur les conditions antérieures d'utilisation de l'espace.

La question de l'affectation optimale des usages de la voirie devrait faire l'objet de réflexions théoriques renouvelées afin de proposer de nouvelles méthodes opérationnelles plus robustes. Déjà, en l'attente d'outils plus sophistiqués de régulation de la mobilité urbaine, les tarifications de stationnement constituent des instruments acceptables pour internaliser la congestion urbaine. Ils pourraient être utilisés pour apprécier l'optimalité du partage des usages de la voirie.

En théorie, le coût d'affectation de la voirie à un usage particulier devrait être égal, à l'optimum, au coût marginal des autres usages en concurrence. Ainsi, si l'on suppose que le foncier est complètement fongible à long terme entre ses différentes utilisations (voirie, bâti, espace récréatif, etc.), on peut considérer que le prix du foncier révèle le prix de l'espace en ville quelle que soit son affectation. Dans ce cas, l'affectation d'une partie de la voirie au stationnement devrait être étendue jusqu'à ce que le coût de la congestion due au ralentissement provoqué par le rétrécissement de la voirie soit égal au prix du sol¹.

Tel serait du moins l'optimum si, à défaut de pouvoir recourir à un péage urbain, il ne fallait tenir compte, dans une perspective à long terme, des effets de dissuasion sur la circulation qu'engendrent les difficultés de stationnement.

Il pourrait être possible également d'apprécier la valorisation de l'espace de la voirie en observant les modifications de prix du foncier que provoquent des changements d'affectation. De tels éléments de valorisation fourniraient des bases plus générales d'appréciation pour les projets de requalification urbaine qui accompagnent certains projets de transport collectif, ou sur les projets de réaménagement de l'usage de la voirie (zones piétonnes, etc.), qui sont généralement considérés comme des décisions très positives alors que cela n'apparaît pas dans les évaluations habituelles.

(1) La Direction de la Prévision propose par exemple, sur la base de ce principe, une analyse de la tarification du stationnement à Paris, et une réflexion sur l'affectation au stationnement de la voirie parisienne, ce qui lui permet de conclure à des recommandations pratiques en matière de tarif et de stationnement. Travaux de Cécile Segonne, 24 septembre 1999 et 27 octobre 1999.

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

On peut également mentionner pour l'utilisation de la voiture les différences importantes de consommation d'espace par voyageur selon le taux de remplissage, différences qui justifient dans certains pays des réservations de voirie en faveur des véhicules transportant plusieurs personnes.

L'affectation optimale de l'espace entre différents usages constitue encore pour la recherche théorique comme appliquée un vaste champ d'investigation qui reste à approfondir.

3. Effets sur les paysages : description et monétarisation

Plusieurs types principaux d'impact des transports sur le paysage, notamment urbain, apparaissent dans la littérature : les infrastructures modifient le paysage urbain, tant pour les usagers que pour les riverains ; le cadre de vie de la rue souffre d'une circulation excessive des véhicules ¹ ; en l'absence de mesures de protection, le paysage des entrées de ville peut être fortement dégradé ; le patrimoine urbain est affecté.

D'ores et déjà, la prise en compte de la valeur des sites et des paysages a conduit à définir des infrastructures dont le tracé et les caractéristiques géométriques et paysagères réduisent les impacts négatifs sur les paysages, et puissent même contribuer à sa recomposition et à sa mise en valeur

Mais, on s'est peu attaché jusqu'à maintenant à monétariser ces effets des transports. Ce type d'approche se heurte en effet à des difficultés méthodologiques, ne serait-ce que parce qu'il est difficile de dissocier les effets sur les paysages d'autres effets qui sont déjà pris en compte par ailleurs. C'est le cas par exemple pour les études consacrées aux effets de la pollution sur la dégradation des bâtiments.

Dans l'état actuel des choses, le caractère esthétique ou inesthétique des aménagements de transport n'entre encore dans le champ du calcul économique qu'à travers l'internalisation que représentent les dépenses supplémentaires supportées par un projet pour réduire à un niveau jugé acceptable son impact sur les sites et paysages. Toutefois, les méthodes de préférences révélées (tourisme, foncier, coûts de transports), comme les méthodes de préférences déclarées,

(1) Voir le chapitre précédent sur les interactions entre les transports collectifs et les voitures particulières.

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

sont déjà utilisées pour apprécier la valeur de paysages identifiés¹. Une valorisation des paysages peut, par ailleurs, être indirectement donnée par la valeur des mesures de protection (modifications de tracé, mesures d'insertion) déjà prises pour le protéger : la connaissance des choix passés fournit donc, en théorie, des valeurs implicites et assure une certaine cohérence des choix publics.

Reste la spécificité d'un paysage local difficilement substituable à un autre. Des études devraient être entreprises pour caractériser et valoriser des paysages types. À défaut de disposer d'éléments suffisants pour intégrer totalement ces effets sur le paysage dans le calcul économique, il convient, pour éclairer le choix final, de faire figurer dans le dossier d'évaluation d'un projet les documents nécessaires pour juger de ses qualités esthétiques, et de ses effets sur les paysages, comme l'exige d'ailleurs la réglementation sur les études d'impact.

4. Recommandations pour les dossiers d'évaluation

Assurer la conformité des pratiques d'évaluation avec les principes de base du calcul économique

Un nouvel espace affecté au système de transport (voies de circulation, zones de stationnement, etc.) doit être monétarisé à son coût foncier *ex-ante* ; ce coût sera porté au débit de l'évaluation socio-économique du projet.

À l'inverse, un espace restitué à d'autres usages que celui des transports (par exemple à l'occasion de la couverture d'une voie routière ou ferroviaire) doit être monétarisé à sa valeur foncière et/ou immobilière ; ce bénéfice sera porté au crédit du projet dans l'évaluation socio-économique.

En cas de coupure, il convient d'abord d'en réduire les effets en choisissant le tracé du projet et l'emplacement des ouvrages de franchissement. En principe, cet effort de réduction doit être mené jusqu'au niveau où le coût d'une réduction supplémentaire égale la valeur qu'attachent les populations concernées à l'atténuation de leur gêne. Cela fait, l'équivalent monétaire de la gêne

(1) On trouve par exemple au Canada une utilisation des méthodes de préférences déclarées pour l'évaluation d'investissements paysagers comme la mise en souterrain de lignes électriques.

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

subsistante doit être mis au débit du projet. Qu'il s'agisse de l'une ou de l'autre démarche, on devra opérer au cas par cas pour évaluer les effets de la coupure, en recourant à la méthode des valeurs révélées ou, à défaut, déclarées. Les études à mener devront permettre de proposer des valeurs de référence. En l'absence de telles références, les études préalables à des aménagements « coupants » devront *a minima* estimer les effets de l'aménagement sur les déplacements pédestres, cyclistes et, le cas échéant, motorisés de la population concernée (accroissement des temps de trajet ou réduction de mobilité notamment). Pour les éléments non monétarisables, des développements complémentaires devront être prévus en s'inspirant de la méthodologie et des procédures des études d'impact.

Plus précisément, une évaluation complète des coûts associés à l'effet de coupure d'une infrastructure devrait intégrer des éléments comme le coût de renoncement à des déplacements en modes non motorisés ; les pertes de temps liées à des déplacements d'accompagnement de personnes vulnérables ; les pertes de temps, tant des usagers non motorisés que motorisés, pour contourner les voies coupantes (pertes qui devraient être pondérées par un coefficient de pénibilité à définir).

De manière nécessairement plus qualitative, l'évaluation intégrera également le coût social lié à la diminution des relations de voisinage à proximité d'infrastructures coupantes, ou à l'enclavement de certains quartiers, comme, inversement, l'avantage social pouvant résulter de la création d'infrastructures de contournement.

Le groupe recommande qu'une base de référents français soit constituée sur ces principaux indicateurs, en spécifiant notamment ceux-ci par types de voiries et en fonction de l'intensité des trafics. Cette base de données devrait être actualisée en permanence à l'occasion de la réalisation des nouvelles infrastructures.

Mieux prendre en considération, dans les variantes des projets évalués, les diverses modalités possibles de traitement des coupures

L'effet de coupure peut être réduit de diverses manières et il importe d'avoir à l'esprit l'ensemble des solutions possibles lorsqu'on élabore les diverses variantes d'un projet. Outre l'optimisation du choix du tracé et, bien entendu, plus en amont, la planification urbaine destinée à optimiser les relations entre les infrastructures de transport, les zones construites et les espaces à protéger, on peut citer parmi les solutions à envisager : la création ou le rétablissement

- Prise en compte de l'occupation de l'espace -

d'aménagements cyclables (bandes ou pistes selon l'importance et la vitesse du trafic sur la voie concernée) ou de cheminements piétons (aidant à longer et/ou à franchir les voies à trafic important) ; la construction de passages dénivelés ou protégés ; le transfert du trafic qui est à l'origine des effets de coupure (par la réalisation de déviations routières et, lorsque le site l'exige, par des viaducs ou même des tunnels) ; le retraitement des artères en boulevards urbains, la modération de la circulation et la hiérarchisation¹ des voies.

Intégrer dans le calcul économique davantage d'éléments liés à l'occupation de l'espace public

Tout changement d'affectation (entre circulations, y compris transports collectifs et modes non motorisés, sites propres et stationnement) d'un espace dédié au transport doit, autant que possible, être monétarisé et intégré dans l'évaluation socio-économique.

En particulier, la spécialisation d'un espace dédié au transport (par exemple l'instauration d'un site propre pour les transports en commun) doit être monétarisée, et intégrée dans l'évaluation socio-économique par le biais, notamment, de ses répercussions sur le trafic affecté.

Analyser et présenter les aspects non monétarisables en complément du calcul économique

Le dossier d'évaluation d'un projet doit inclure des documents permettant de juger de ses qualités esthétiques et de la qualité de son insertion dans le site, au-delà de ce qui a déjà pu être pris en compte dans les calculs.

Favoriser la cohérence de la régulation tarifaire avec les préconisations précédentes

Les différents modes de circulation devraient supporter le coût marginal de congestion qu'ils induisent ; à défaut de le pouvoir en tout ou partie, il convient de conserver cette règle à l'esprit pour porter un jugement sur les actions à entreprendre.

(1) Cette hiérarchisation vise à distinguer les voies de desserte locale, les voies de distribution, les voies artérielles et les voies rapides urbaines, et à éviter qu'une voie d'un type donné ait à assumer des fonctions associées à un autre type.

Chapitre V

LA VALORISATION DU BRUIT DANS LES ÉVALUATIONS DE PROJETS DE TRANSPORT

Le bruit des transports est une des nuisances les plus intensément ressenties par les populations, qu'elles soient urbaines ou rurales et proches de grandes infrastructures. Son importance va grandissant en raison d'une sensibilité de plus en plus aiguë à cette nuisance, et de la croissance continue des trafics de voyageurs et de marchandises.

Mais, les phénomènes de bruit en cause sont complexes et leurs impacts restent encore difficiles à mesurer. On peut déjà noter que la réglementation relative au bruit des infrastructures de transport évolue vers une plus grande sévérité, comme le montrent les arrêtés les plus récents : celui du 5 mai 1995 pour les infrastructures routières et celui du 8 novembre 1999 pour les infrastructures ferroviaires. Cette réglementation oblige à prendre en compte le bruit dès la conception des ouvrages pour réduire l'impact des nuisances sonores au voisinage d'un projet à un niveau inférieur ou égal aux seuils réglementaires.

Ces textes conduisent à internaliser dans un projet l'essentiel des nuisances sonores sur le site par le biais des investissements à prévoir (coûts d'évitement) pour respecter les seuils de bruit réglementaires. Mais la nuisance doit être également prise en compte hors du site, lors de la création d'infrastructures nouvelles ou encore lors de la modification d'infrastructures existantes, au titre des modifications à attendre de l'exposition sonore sur l'ensemble de la zone d'étude après réalisation du projet.

Outre les coûts unitaires à retenir pour le bruit suivant les niveaux et les périodes d'exposition, d'autres questions se posent comme celles de la différenciation des valeurs à utiliser pour les différents modes de transport, la prise en compte des effets à long terme sur la santé, les problèmes d'évaluation du bruit en amont des projets et le traitement des zones non habitées.

- Prise en compte du bruit -

1. Les valeurs à retenir dans les projets de transport

Une nouvelle tentative d'évaluation monétarisée du bruit dans les transports avait été engagée par le Commissariat général du Plan dans le rapport 1994. La méthode retenue, qui ne visait qu'un ordre de grandeur, était basée sur une estimation globale du coût du bruit au niveau national, en pourcentage du produit intérieur brut (0,3 % du PIB), rapportée à un dénombrement approximatif des personnes gênées. D'où une évaluation moyenne du coût annuel pour la personne gênée (900 F valeur 1992). Dès lors, en décomptant pour un projet la variation du nombre des individus exposés et gênés, on pouvait en déduire un impact monétaire du bruit et l'intégrer à la valorisation socio-économique du projet. C'est à partir de cette méthode qu'ont été conçus le paragraphe sur le bruit de l'instruction-cadre du secrétariat d'État aux Transports du 3 octobre 1995, dite « circulaire Idrac », ainsi que l'annexe 11 de la circulaire relative aux méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne élaborée par la Direction des Routes en octobre 1998 ¹.

Ces textes marquent un progrès sensible. Cependant, les méthodes ainsi préconisées, et les applications qui en sont faites, présentent une certaine imprécision, ne serait-ce que parce que le coût total du bruit retenu pour la France, qui sert à déterminer la valeur de la gêne liée au bruit par habitant, provient d'une moyenne de résultats issus d'approches différentes menées en Europe. Au surplus, il apparaît nécessaire aujourd'hui de s'engager vers des méthodes micro-économiques plus précises et mieux appropriées, du moins pour les évaluations de projets.

1.1. Évaluation du bruit par la méthode des préférences révélées

Depuis 1980, de nombreuses études ² ont été menées dans plusieurs pays pour estimer la valeur des nuisances dues au bruit en fonction du consentement à payer, soit directement par enquêtes auprès des habitants, soit indirectement à partir de l'observation des prix du marché des biens immobiliers. Ces dernières

(1) Voir une description de la méthodologie utilisée dans l'annexe « Bruit ».

(2) Voir sur ce point le rapport du CADAS qui propose une vaste synthèse sur les nuisances sonores dans le secteur des transports. Rapport du CADAS (Comité des applications de l'académie des sciences) « Évaluer les effets des transports sur l'environnement : le cas des nuisances sonores », J.-M. Kail, J. Lambert et E. Quinet, Rapport n° 16, Paris, CADAS, novembre 1999.

études mettent en évidence la corrélation qui existe entre le niveau de bruit et la dépréciation de l'immobilier, même si les résultats obtenus restent encore assez dispersés ¹.

Toujours est-il qu'entre les deux méthodes ² actuellement utilisées pour estimer le coût du bruit des transports, il paraît préférable à la majorité des membres du groupe de travail d'utiliser la méthode des préférences révélées, fondée sur l'observation des prix du marché immobilier. Celle-ci lui paraît en effet plus robuste et plus facile à mettre en œuvre que la méthode par enquêtes, dite des préférences déclarées, du moins en milieu urbain ³.

Cette méthode, basée sur l'évolution des prix (ou des loyers) des propriétés, part de l'hypothèse que le prix d'un logement ne reflète pas seulement son coût de construction, mais aussi (entre autres) les nuisances auxquelles peuvent être exposés les occupants. Elle postule, toutes choses étant égales par ailleurs, qu'un logement situé dans une zone peu exposée au bruit aura une valeur plus grande que le même logement situé dans une zone très exposée. Dans cette

(1) Le rapport du CADAS note que la comparaison de résultats obtenus par les différentes études entreprises depuis les années 1970 se heurte à des difficultés sérieuses relatives aux méthodes, aux champs couverts, et à la qualité des études. Les différences portent aussi bien sur l'objet immobilier considéré que sur son prix (prix de vente, prix de location), aussi bien sur la détermination du bruit (par mesure ou par calcul) que sur le nombre des observations, la nature des variables explicatives, la forme des fonctions hédonistes et le raffinement de l'analyse statistique. Il convient donc d'être extrêmement prudent dans de tels rapprochements. Toutefois, sur la période allant de 1967 à 1995, la recension des résultats des études proposée par le CADAS (encadré 3 dans l'annexe « Bruit ») montre que, selon les indicateurs retenus, la dépréciation variait approximativement, en moyenne, de 0,3 à un peu plus de 1 % par décibel. Il paraît manifeste également que cette dépréciation se rapproche de 1 % dans les études les plus récentes, dont les méthodologies s'affinent, cette évolution traduisant peut-être aussi une plus grande attention aux nuisances sonores de la part de la population.

(2) Notons que l'ensemble de ces méthodes paraît assez bien adapté pour mettre en évidence la valeur monétaire du coût des nuisances sonores lorsque le niveau de celles-ci évolue peu ou faiblement, ou lorsque la progression du niveau de bruit s'élève de manière continue, ce qui est fréquent en milieu urbain. Dans le cas d'une variation brutale et substantielle de l'environnement sonore, par exemple lors de la mise en service d'une nouvelle infrastructure, il se peut toutefois que les prix des biens immobiliers varient de façon différente.

(3) On notera que les résultats obtenus par ces méthodes ne devraient pas, en théorie, aboutir à des résultats trop différents du coût des mesures permettant de réduire la nuisance génératrice de la dépréciation du logement.

- Prise en compte du bruit -

approche, on tente donc d'établir la part du bruit dans les différences de prix entre les propriétés afin de déterminer la somme que les gens sont prêts à payer pour améliorer la qualité de leur environnement sonore. Dans la pratique, les études se heurtent à certaines difficultés, notamment du fait qu'un écart de prix peut subsister entre deux logements de caractéristiques semblables selon les situations locales du marché de l'immobilier.

Si l'on reprend les principaux résultats obtenus, notamment à Neuchâtel, la dépréciation du prix de transaction ou de la valeur locative des biens immobiliers s'établit entre 0,4 et 1,2 % par décibel. En moyenne, à partir d'un certain seuil d'exposition au bruit, la dépréciation est de l'ordre de 0,8 à 1 % par décibel. Le coût unitaire du bruit ainsi déterminé s'applique aux prix moyens de location par m² de surface occupée et exposée à des niveaux de bruit dépassant un certain seuil.

1.2. Coûts unitaires du bruit, périodes et niveaux d'exposition

Les études sur le coût du bruit en fonction des niveaux d'exposition permettent de conclure sur deux points ¹.

D'une part, si les études ne permettent pas de trancher quant au niveau à partir duquel apparaît la dépréciation des valeurs immobilières, elles montrent déjà que la croissance de cette dépréciation avec le niveau d'exposition au bruit n'est pas linéaire.

D'autre part, les études montrent que, même quand sont respectés les niveaux réglementaires actuels, il subsisterait un pourcentage significatif de personnes se déclarant gênées : de l'ordre de 20 % à 60 dB en période diurne pour le bruit routier ². Certes, ces conclusions doivent être exploitées avec prudence ; on trouvera toujours des personnes se déclarant gênées, même à des niveaux de bruit très faibles, la gêne exprimée pouvant alors s'interpréter comme le reflet d'une insatisfaction des individus vis-à-vis de leur environnement. Toutefois, le seuil réglementaire et celui du coût de la gêne occasionnée ne sauraient

(1) Dans la mesure du possible, on a limité dans ce paragraphe, comme dans les suivants, l'utilisation des termes techniques. L'ensemble de ceux qui subsistent dans ce chapitre est expliqué dans la première partie de l'annexe sur le bruit.

(2) Voir l'encadré 9 de l'annexe « Bruit » présentant la relation entre le pourcentage des personnes se déclarant gênées et le niveau sonore.

coïncider : du point de vue économique, la nuisance optimale ne peut pas être la nuisance nulle.

Dans le cadre de ce travail, le groupe n'a pas jugé utile de remettre en cause le seuil réglementaire actuel, qui est le fruit d'un compromis entre les différents acteurs sur les efforts à fournir pour réduire les nuisances. Tout en reconnaissant la réelle difficulté que présente la définition du seuil à partir duquel les dépréciations foncières et les gênes sont repérables, le groupe estime néanmoins qu'il n'est pas raisonnable de tenir pour nul le coût des nuisances sonores en dessous du seuil réglementaire de 60 dB(A) alors même qu'immédiatement au-dessus de ce seuil, les dépréciations immobilières sont déjà significatives. Dès lors, la majorité du groupe a retenu une dépréciation modérée de 0,4 % par décibel dans la tranche allant de 55 à 60 dB(A).

À partir des résultats des études et compte tenu de ce dernier compromis, le groupe propose donc de retenir pour les logements la relation simple suivante entre la dépréciation par décibel et les grandes classes de niveau d'exposition au bruit en période diurne :

**Dépréciation des valeurs immobilières
en fonction des niveaux d'exposition au bruit**

Leq ¹ de jour en façade en dB(A)	55 à 60	60 à 65	65 à 70	70 à 75	Au-delà de 75
% dépréciation /décibel	0,4 %	0,8 %	0,9 %	1 %	1,1 %

Concernant le transport aérien, l'application de cette méthode nécessitera des adaptations pour tenir compte des spécificités de ce mode de transport et, en particulier, du fait que les indices utilisés pour mesurer le bruit ne sont pas les mêmes que pour les autres modes. Les formules existantes d'équivalence entre indices doivent être considérées avec précaution. Des réflexions sont en cours sur cette question².

(1) Le niveau de bruit équivalent, exprimé en décibels A et noté $L_{Aeq}(T)$, représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit existant réellement pendant la période T considérée. Par convention, si le bruit est mesuré en décibel A, comme c'est le cas le plus fréquent pour le bruit routier et ferroviaire, on écrit indifféremment L_{Aeq} ou Leq en dB(A).

(2) Des évolutions de l'indice de bruit à utiliser dans le mode aérien pourraient intervenir dans l'avenir sous l'égide de l'Autorité de contrôle des nuisances sonores

- Prise en compte du bruit -

Par ailleurs, un progrès important dans l'évaluation du bruit consiste à différencier les périodes de nuit et de jour (circulaire de la Direction des Routes d'octobre 1998), ce qui est maintenant systématique dans la réglementation relative au bruit des transports terrestres (décrets n° 95-21 et n° 95-22 du 9 janvier 1995). Une telle distinction ne semble cependant pas avoir été opérée à ce jour dans les enquêtes destinées à attribuer une valeur monétaire aux nuisances sonores, enquêtes qui n'ont utilisé comme seul indicateur que le niveau sonore de jour. S'il existe un consensus pour dire qu'une même nuisance sonore gêne davantage la nuit que le jour, l'état des études ne permet guère encore de proposer un coefficient pour traduire ce différentiel. Toujours est-il que la plupart des pays dont la réglementation distingue les seuils de bruit selon le jour et la nuit ont retenu entre ces seuils un écart de 10 dB(A). C'est le cas notamment de l'Allemagne, de l'Autriche, de l'Italie, des Pays-Bas, du Portugal et de la Suisse. De son côté, la Commission européenne, dans son projet de directive, préconise d'évaluer le bruit sur 24 heures en distinguant trois périodes – jour, soir et nuit –, et en pondérant différemment le niveau d'exposition des trois périodes.

A contrario, les récentes recommandations de l'OMS, qui préconisent de ne pas dépasser un L_{Aeq} de 35 dB(A) de jour et de 30 dB(A) la nuit à l'intérieur des logements, avancent implicitement un différentiel de 5 dB(A) entre les deux périodes. Une étude relative à la gêne due au bruit routier en période nocturne, conduite par l'INRETS, a également conclu à un différentiel de l'ordre de 5 dB(A).

La nécessité de prendre en compte la période nocturne dans les évaluations conduit donc, à titre transitoire et dans l'attente d'études plus approfondies, à adopter une convention en la matière. Afin de conserver une bonne cohérence avec le dispositif réglementaire relatif au bruit des transports terrestres, il est proposé de considérer :

- que les valeurs présentées dans le tableau précédent se rapportent à des situations où le niveau sonore du bruit est inférieur de 5dB(A) au niveau sonore de jour, cet écart étant celui fixé entre les niveaux sonores maximaux de la réglementation française pour les deux périodes ;

aéroportuaires (ACNUSA), haute autorité indépendante compétente en matière de maîtrise des nuisances sonores autour des aéroports.

- Prise en compte du bruit -

- que la valeur de la nuisance en période nocturne pour un niveau sonore donné est identique à celle que l'on retiendrait en période diurne pour le même niveau sonore augmenté de 5dB(A) ;
- que, par convention, les nuisances en périodes diurne et nocturne sont prises en compte à parts égales dans la valeur totale.

Enfin, concernant le transport aérien, le calcul de l'indice de bruit utilisé (indice psophique) intègre une pondération par dix des vols de nuit. On peut donc considérer à ce stade que la prise en compte de la période nocturne est ainsi assurée.

Toutefois, l'ensemble de ces démarches destinées à prendre en compte les nuisances sonores nocturnes n'est pas pleinement satisfaisant et ne saurait être pérennisé. Des études relatives à la valorisation monétaire de la nuisance sonore prenant en compte la période nocturne, soit de façon spécifique soit en l'intégrant sur une période de 24 heures, devront être entreprises rapidement afin de fournir des éléments plus pertinents.

1.3. L'acceptabilité sociale de l'évaluation du bruit : utilisation de valeurs moyennes

La plupart des études de bruit menées sur le marché immobilier selon la méthode des valeurs révélées (prix hédonistes) aboutissent à des variations relatives du prix des logements et non à des valeurs absolues. Cela conduit pour un même bien¹ à des valeurs du bruit fortement dépendantes de la localisation de ce bien et donc des prix du marché (Paris ou province, ville ou campagne, ville en expansion ou en stagnation, etc.). En conséquence, des différences notables de rentabilité peuvent apparaître abusivement pour des projets semblables, mais dans un environnement différent.

En 1996, sur l'ensemble du parc locatif, tous secteurs locatifs confondus, le locataire acquitte un loyer moyen de 36 F par m². Toutefois, les montants des loyers sont très dispersés² et, en particulier, ils sont en moyenne près de quatre fois plus élevés à Paris que dans les communes rurales. Adopter une

(1) C'est-à-dire un logement de caractéristiques identiques et soumis à une même exposition sonore.

(2) DAEI/SES (1999) « Le compte du logement. La dispersion des loyers d'après l'enquête logement de 1996 ».

- Prise en compte du bruit -

valorisation du bruit proportionnelle au prix des biens immobiliers conduirait donc à la même dispersion, résultat qui a peu de chances d'être accepté par tous.

Le groupe de travail propose de fonder – par convention – le prix actuel des logements exposés au bruit d'un projet, ou d'un schéma, sur le loyer mensuel au m² du secteur locatif tel que l'INSEE ¹ le publie trimestriellement à l'échelle nationale.

Quant à l'évolution future des prix à prendre en considération dans les bilans coûts-avantages ou dans la comparaison des scénarios de schémas, il est proposé de s'appuyer sur la corrélation qui existe sur longue période entre le prix de l'immobilier d'habitation et le PIB ². Admettant que loyer et prix d'acquisition évoluent parallèlement, on raccordera donc l'évolution future des loyers à celle du PIB pour évaluer le coût du bruit dans les bilans comparatifs de projets d'infrastructures ou de schémas étalés dans le temps.

2. Recommandations particulières

2.1. Différenciation intermodale de l'évaluation

L'évaluation du coût du bruit s'applique aux projets d'infrastructure routiers et ferroviaires, aux projets aéroportuaires et, le cas échéant, aux secteurs des voies navigables et du transport maritime.

L'impact du bruit est différent selon les modes de transport. Les enquêtes psychosociales montrent par exemple qu'à niveau d'exposition au bruit identique, la gêne provoquée par le bruit ferroviaire est généralement moins élevée que celle due au bruit routier, ce qui peut expliquer la pratique dans certains pays de bonus de 3 à 7 décibels ³. En France, la récente réglementation

(1) INSEE, *Enquête trimestrielle loyers et charges*.

(2) Voir à ce sujet les conclusions de l'étude menée par Jacques Friggit « L'évolution du prix des logements en France depuis les années 50 », in « L'Observateur de l'Immobilier », n° 43, juillet 1999.

(3) La littérature sur ce sujet est assez abondante, voir notamment le rapport INRETS-LEN, n° 9 417. Pour résumer, si on se réfère au critère de gêne globale, le bonus serait de 3 à 7 dB(A) de jour et de 10 dB(A) en moyenne la nuit. En revanche, si on se réfère aux activités de communication, le bonus est négatif – malus de 1 à 4 dB(A) –, notamment pour le bruit des trains de marchandises. On pourra également se référer à une comparaison des courbes de gênes entre les trois modes de transport (route, rail,

(arrêté du 8 novembre 1999) officialise cette pratique en adoptant des niveaux sonores maximaux admissibles supérieurs de 3 dB(A) à ceux en vigueur pour les infrastructures routières dans le cas de lignes conventionnelles, mais pas pour les lignes nouvelles de TGV. En revanche, le bruit dû au trafic aérien est plus gênant que le bruit routier. Le malus est de l'ordre de 4 à 5 dB(A) si l'on considère la relation entre le pourcentage de personnes gênées et l'indice LDEN¹. Il y aurait lieu de vérifier la cohérence de ce dispositif avec les règles qu'il est proposé ici d'appliquer aux autres modes de transport.

2.2. Prise en compte des effets à long terme sur la santé

Les effets des nuisances sonores de toute nature sur la santé ont fait l'objet d'études approfondies. Celles-ci ont été passées en revue par l'Organisation mondiale de la santé (OMS)² qui relève ainsi toute une série d'effets directs et indirects allant du déficit auditif provoqué par des expositions à des niveaux de bruit élevés jusqu'aux interférences avec les communications entre les individus, en passant par les effets sur les comportements eux-mêmes.

Ces études apportent un éclairage sur l'impact sur la santé qu'a le bruit généré par les transports. Bien souvent, il est difficile de faire la part des effets dus aux bruits et de ceux imputables à d'autres variables plus ou moins corrélées. On note toutefois que deux effets reviennent plus fréquemment dans les débats : le premier concerne les perturbations du sommeil (difficulté d'endormissement, réveils fréquents, etc.) ; le second, qui survient à des niveaux d'exposition supérieurs à 70dB(A), concerne le stress et les maladies cardio-vasculaires que le bruit du transport peut contribuer à renforcer, soit directement, soit indirectement en raison de l'utilisation systématique de somnifères par exemple.

aérien), proposée par H. Diedeura, « Elements for a Position Paper on Relationships Between Transportation Noise and Annoyance », Rapport TNO, PG/VGZ/00.052, juillet 2000.

(1) Pour la caractérisation de la gêne, on rencontre parfois des indices agrégés, tels le LDEN (jour, soir, nuit) qui combinent les LAeq de plusieurs périodes de la journée en les pondérant pour prendre en compte l'influence relative de chaque période sur la gêne globale.

(2) Voir dans l'annexe « Bruit » le tableau du paragraphe 2.2. présentant les recommandations de l'OMS établies selon les environnements spécifiques et les effets critiques sur la santé. « Executive Summary of the Who Guidelines for Community Noise, Protection of Human Environment, Occupational and Environmental Health Series », World Health Organization, Sustainable Development and Healthy Environments, Genève, 2000.

- Prise en compte du bruit -

Il convient toutefois de bien distinguer les effets sur la santé proprement dite et la gêne ressentie, gêne qui est déjà prise en compte par ailleurs. Il s'agit ici de considérer, en sus de la gêne, des effets dont la gravité réelle n'est pas ressentie comme telle, et n'apparaît pas, dès lors, dans les enquêtes de préférences déclarées.

Les résultats fournis par l'observation des prix immobiliers doivent donc être corrigés pour tenir compte de ces effets du bruit sur la santé. Le coefficient de majoration à appliquer est difficile à évaluer car il s'agit d'un effet à long terme qui dépend des niveaux de bruit auxquels les personnes ont été successivement exposées, et qui reste encore mal connu. Compte tenu des quelques éléments disponibles ¹, et à titre conservatoire pour ne pas négliger cet effet important, il est proposé de majorer la valeur unitaire du coût du décibel de 30 % dans le cas d'une exposition au bruit supérieure à 70 dB(A) le jour, ou 65 dB(A) la nuit.

Malgré les difficultés prévisibles, des études complémentaires sont à mener pour affiner les valeurs ainsi proposées a priori.

2.3. Prise en compte du bruit en l'absence de tracé suffisamment défini

La réalisation d'un projet d'infrastructure induit des impacts sonores, d'une part aux bords de son tracé, d'autre part sur d'autres infrastructures dont le trafic est modifié par cette réalisation (itinéraires d'accès ou itinéraires concurrents). Le respect des textes réglementaires actuels assure que les nuisances au voisinage du tracé sont pour l'essentiel internalisées dans le coût du projet. L'évaluation économique des impacts sonores du projet consiste donc surtout à étudier les variations de trafic qu'il provoquerait aux alentours sur le réseau préexistant et à valoriser la modification des nuisances subies par les populations riveraines.

(1) Peu d'études ont encore été faites sur ce sujet : M. Weinberger (Allemagne, 1991) conclut à une majoration du coût de l'ordre de 30 %. Un groupe de travail européen qui étudie les relations entre les doses de bruit et leurs effets confirme, dans son rapport d'avancement (WG2- « Dose/Effect, First Year Progress Report », novembre 1999), le manque d'informations concernant les effets du bruit des transports sur la santé, à l'exception des maladies cardio-vasculaires. Concernant ces dernières, une étude de Babisch, Elwood et Ising (Congrès Noise and Man, 1993) montre toutefois que les effets du bruit routier sur la santé n'ont pu être mis en évidence qu'à partir de la tranche 65-70dB(A) en champ libre, soit 68-73 dB(A) en façade (voir dans l'annexe « Bruit » les définitions de ces dernières notions).

Une telle démarche ne nécessite pas que le tracé du projet soit défini avec une grande précision. Une fois identifiés les itinéraires et les zones bâties concernés par une variation de trafic significative au plan acoustique, le nombre de logements et d'habitants susceptibles d'être exposés peut être recensé, ou évalué de façon statistique, en recourant aux systèmes d'informations géographiques ou à d'autres données disponibles. Les modèles de calcul acoustique en usage, au besoin simplifiés s'ils doivent être appliqués à des zones très étendues, permettent ensuite de déduire, de la description des sites sur la zone d'étude, l'exposition sonore des populations avant et après la réalisation du projet.

Une démarche similaire peut être mise en œuvre pour l'étude d'un schéma d'infrastructure, moyennant l'adoption de conventions supplémentaires liées à son caractère macroscopique.

C'est ainsi que pour évaluer l'empreinte sonore sur la zone concernée par un projet, on pourra s'inspirer de la méthode préconisée par l'annexe 11 « Empreinte sonore en espace extérieur » de la circulaire de la Direction des Routes d'octobre 1998. Cette méthode, basée sur des calculs de propagation simplifiés, permet d'apprécier la variation de la surface de l'empreinte sonore avant et après la réalisation de l'infrastructure¹. L'analyse prendra en compte la nature des différentes surfaces évaluées (habitat, espaces privilégiés de détente et de loisirs, massifs forestiers, zones touristiques, espaces naturels préservés, etc.).

Concernant le mode aérien, la méthode qui devra être utilisée pour calculer l'empreinte sonore sur la zone concernée par un projet aéroportuaire sera inspirée de celle des plans d'exposition au bruit et plan de gêne sonore, plans qui donnent d'ores et déjà des enveloppes de bruit.

En raison de son caractère nécessairement approximatif, ce genre d'évaluation quantitative devra être accompagné de commentaires spécifiques et il conviendra tout particulièrement de procéder à des études de sensibilité aux principaux paramètres retenus.

(1) Cette approche est précisée dans l'annexe « Bruit » au paragraphe 2.3 correspondant.

- Prise en compte du bruit -

2.4. Prise en compte du bruit pour les bâtiments publics et les zones non habitées

Le bruit créé par les transports peut causer des dommages dans des zones autres que d'habitation. En premier lieu, dans les zones d'activités de bureaux et d'établissements industriels, encore que les problèmes de bruit y soient souvent d'ordre interne. La gêne ou la perturbation des activités due au bruit extérieur n'y est généralement pas ressentie aussi intensément que dans les zones résidentielles. Dans les zones de bâtiments publics, la situation est plus complexe : la plupart des bâtiments sont assimilables à des bureaux, mais on doit traiter différemment les bâtiments particulièrement sensibles comme les établissements scolaires, de santé ou de soins. Des exigences réglementaires particulièrement sévères existent au demeurant pour la protection de ces bâtiments.

Dans l'état actuel des connaissances et des études, on reste encore démuné pour faire en la matière des propositions relativement précises sur la base de valeurs révélées. Il n'existe quasiment pas d'études hors zones d'habitat, ni de marché des transactions immobilières pour les bâtiments à usage public. Une simplification consiste à appliquer à ces derniers, comme le propose la Suisse, les mêmes valeurs qu'à l'habitat. Mais, pour tenir compte de l'inégale sensibilité au bruit, il est proposé d'appliquer alors aux valeurs ainsi estimées un coefficient supérieur à 1 pour les établissements publics réputés sensibles et un coefficient inférieur dans les autres cas. Dans un premier temps, ces coefficients seraient définis a priori, dans l'attente des études qui permettront de mieux cerner leurs valeurs. Le marché des transactions ou des prix de locations d'immeubles de bureaux devrait sans doute fournir quelques indications pertinentes à ce sujet. Mais, là encore, il faut souligner la limite de cette méthode : l'écart de prix entre deux types d'immeubles de bureaux (l'un situé en zone assez calme, l'autre en zone bruyante) peut s'avérer variable selon les situations locales du marché de l'immobilier et la qualité de l'isolation acoustique des bâtiments.

Toujours en s'appuyant sur les valeurs révélées pour les locaux d'habitation, une autre manière de procéder consisterait à moduler le niveau sonore à partir duquel les effets du bruit seront pris en compte : plus élevé pour les locaux d'activités et bâtiments publics ordinaires, plus faible pour les bâtiments publics réputés sensibles au bruit.

Dans les zones non habitées, les dommages causés par le bruit peuvent être négligés, sauf dans celles qui sont destinées à l'habitation à une échéance suffisamment prévisible et relativement proche. Toutefois, la valorisation du

bruit devra alors être affectée d'un coefficient d'abattement tenant compte du différé de la date prévisible de réalisation des habitations.

Enfin, dans les zones de détente et de promenade, la loi « bruit » et ses textes d'application prévoient que « les nuisances sonores soient limitées à des niveaux compatibles avec le mode d'occupation ou d'utilisation normale des espaces traversés ». Étant donné que les outils actuellement disponibles ne permettent pas de proposer des évaluations sérieuses de ce type de patrimoine, aucune valorisation monétaire ne sera encore appliquée. En attendant, l'impact des nuisances sonores sur ces espaces fera l'objet d'analyses spécifiques jointes au dossier d'évaluation. Ces analyses devront notamment identifier les zones concernées, et qualifier précisément l'impact des nuisances sonores par le biais, notamment, d'indicateurs d'impacts physiques.

2.5. Les études que le groupe recommande d'entreprendre

Le groupe de travail s'est heurté à l'insuffisance des études relatives aux conséquences du bruit émis par les transports terrestres. Parmi les nombreux points qui mériteraient un supplément d'investigation, le groupe insiste particulièrement sur la valorisation monétaire des nuisances sonores nocturnes ainsi que sur les effets du bruit sur la santé.

Il souligne également la nécessité d'entreprendre des études spécifiques sur les coefficients à appliquer au coût des nuisances selon que le bruit touche des bâtiments publics sensibles, des zones non habitées ou des zones de détente, et aux nuisances sonores selon le mode de transport qui les émet. Des études plus particulières s'avèrent également nécessaires sur les dépréciations et les gênes occasionnées lors de variations importantes des niveaux sonores moyens.

Enfin, le groupe recommande qu'on entreprenne de nouvelles études sur quelques points particuliers concernant les méthodes utilisées. Ces études pourraient concerner plus particulièrement : la part respective des nuisances de jour et de nuit dans les résultats obtenus par les enquêtes de préférences révélées ; l'influence de l'existence d'un espace extérieur privatif (jardin, terrasse) sur la valeur de la nuisance ; l'influence de l'existence éventuelle d'une protection acoustique de façade ; l'intérêt de travailler sur des coûts exprimés en valeur absolue (par m²) et non en valeur relative, afin de faire abstraction de la variabilité des prix du foncier d'une agglomération ou d'une région à l'autre ; et, pour finir, la comparaison des avantages, inconvénients, et résultats des méthodes de préférences révélées et de celles basées sur le consentement à payer.

Chapitre VI

LA VALEUR DE LA VIE HUMAINE

Dans le secteur des transports, les accidents engendrent de nombreuses conséquences négatives : des pertes de capacités productives, des coûts directs liés au traitement des accidents et, ce qui est à la fois important et difficile à apprécier, des coûts très lourds en termes de souffrances physiques et morales pour les victimes et leurs proches.

L'évaluation de l'ensemble de ces coûts s'impose à plusieurs titres, ne serait-ce que pour établir l'étendue des conséquences monétaires ou monétarisables des accidents, et apprécier leur poids relativement à d'autres coûts auxquels la société doit faire face.

Ici, il s'agit de disposer d'une valeur susceptible d'être utilisée dans le secteur des transports pour évaluer de façon cohérente diverses options d'investissement présentant des impacts différents sur la sécurité, et faire en sorte que l'utilisation des ressources disponibles soit la plus efficiente possible. Il s'agit moins à cette fin de déterminer la valeur en soi de la vie humaine, tâche bien délicate, que de fixer un montant tutélaire que la collectivité acceptera implicitement ou explicitement de prendre en compte pour une vie sauvée, ou fauchée, dans le secteur des transports.

Il n'est guère possible, dans ce rapport, de s'étendre en détail sur les problèmes fondamentaux auxquels se heurte ce type de calcul. On reviendra seulement sur les principales méthodes utilisées, avant de présenter les valeurs retenues dans les pays européens et les principaux résultats des études engagées sur ce sujet. Ainsi, devraient être confortés les choix du groupe, qui propose dans ce chapitre un relèvement significatif de la valeur tutélaire de la vie humaine ¹.

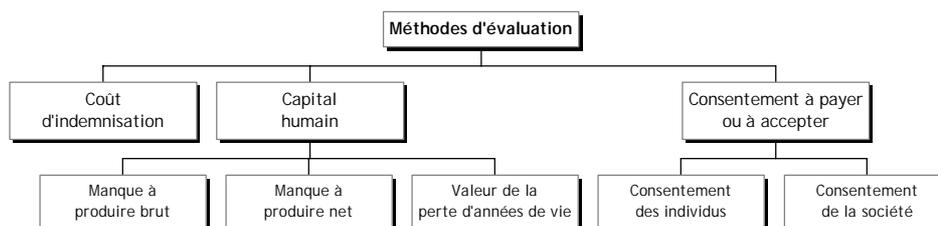
(1) La valeur d'une vie perdue dépend, en réalité, de l'âge de la victime. On se référera implicitement dans ce chapitre à la valeur de la vie restante à l'âge moyen des décès par accident de transports, qui est de l'ordre de quarante ans.

- La valeur de la vie humaine -

1. Les méthodes d'évaluation

Trois grandes catégories de méthodes¹ sont utilisées dans les études pour apprécier la valeur de la vie humaine.

Méthodes d'évaluation des coûts des accidents



Source : d'après COST 313

La première famille de méthodes est fondée sur l'étude des ressources qui sont engagées pour compenser les effets d'un accident. Les valeurs retenues, qui servent généralement au calcul des indemnités que versent les compagnies d'assurance aux victimes, reposent principalement sur les coûts directs (matériels et moraux) des accidents, coûts qui sont généralement révisés pour tenir compte du fait que ces indemnités ne couvrent que les préjudices assurés. Ils s'appuient sur des avis d'experts ou des décisions de justice.

La seconde famille de méthode englobe les approches dites de capital humain. Ces approches sont basées sur l'estimation des pertes que va subir la société du fait du décès ou des blessures d'une personne. Deux méthodes principales ont été utilisées. Elles partent de l'estimation des pertes actualisées de potentiel productif (la perte de production retenue étant, selon la méthode, brute ou nette de la consommation de l'individu accidenté). Elles y ajoutent les coûts non marchands que constituent les préjudices esthétiques, d'agrément, ainsi que le *pretium doloris*.

(1) Pour une présentation de ces méthodes, voir notamment :

- « Coûts socio-économiques des accidents de la route », COST 313, rapport final, Commission européenne, 1994.

- « Monétarisation des conséquences des accidents de la route », Collection Transports et Communication, n° 56, INRETS, 1996.

Une troisième méthode, reposant sur une approche différente, cherche à évaluer les satisfactions dont l'accident prive la victime et ses proches du fait des années de vie perdues.

Sans entrer ici dans les débats techniques des experts, on reviendra sur un point de théorie particulièrement débattu.

Ce point concerne la prise en compte, dans les méthodes du capital humain, de la consommation qu'aurait eue la victime, prise en compte qui n'est pas sans faire peser de sérieux risques de double compte. Ce débat peut être résumé de la manière suivante.

La méthode du « manque à produire net » permet principalement de mesurer la perte de biens et services futurs que subira la société du fait de la disparition d'une personne : le manque à produire brut doit alors être réduit de ce que la victime aurait personnellement consommé durant le reste de sa vie. Dans cette perspective, la valeur marchande de l'individu est donc réduite à sa seule production nette future. À cette estimation strictement marchande, que la collectivité ne considère d'ailleurs qu'en moyenne – elle ne se prononce pas sur la valeur de tel ou tel individu – il faut alors ajouter d'autres éléments non marchands qu'il convient d'apprécier par d'autres méthodes.

Toutefois, de nombreux auteurs ont proposé de s'en tenir à la production brute. Ils posent par là l'hypothèse implicite que la perte de jouissance d'une vie pour la victime et pour ses proches, perte qui n'est pas prise en compte dans le premier calcul, peut être approchée forfaitairement dans ce deuxième calcul par la valeur marchande des consommations de l'individu.

On se trouve ainsi devant l'alternative suivante. Soit on considère la production nette, et il faut alors ajouter d'autres éléments (pertes de jouissance de la vie, souffrance des proches), soit on considère la production brute, mais il ne faudrait pas alors prendre en compte ces autres éléments, du moins dans la mesure où ceux-ci l'ont déjà été par le biais de la consommation : une telle pratique ferait courir le risque de compter deux fois la même chose.

Cette approche en termes de capital humain a suscité diverses critiques dans la communauté scientifique, et a conduit certains chercheurs à explorer d'autres voies. La méthode dite de la « valeur des années de vie perdues » proposée par

- La valeur de la vie humaine -

H. Duval (INRETS) ¹ postule, ce qui est classique en économie du bien-être, que ce sont les variations du bien-être de chacun des individus qui sont à l'origine de la valeur sociale de sauvegarde d'une vie humaine. Ce changement de problématique, assez radical, conduit à retenir comme critère de mesure les satisfactions auxquelles un individu pouvait prétendre et dont l'accident le prive. Les méthodes de calcul proposées sont alors fondées sur les budgets-temps que les individus consacrent à différentes catégories d'activité sous plusieurs contraintes (espérance de vie, consommations obligées...). On s'efforce ainsi de déterminer, en plus de la valeur de la consommation et de l'épargne perdues (correspondant à la valeur du temps de travail perdu), un coût de la perte de temps libre et des autres préjudices moraux. L'intérêt de cette approche est d'offrir une analyse globale cohérente.

Toutes ces méthodes ont été de plus en plus concurrencées par une troisième famille de méthodes directement basées sur les préférences déclarées (consentement des personnes à payer, ou à accepter une indemnité ²). Suivant cette approche un programme public est jugé optimal en matière de sécurité lorsque le coût engagé pour sauver une vie de plus est égal au consentement marginal moyen de la collectivité à payer pour la sécurité, ce qui conduit à déterminer cette valeur par enquête, soit auprès des décideurs, soit auprès d'un échantillon de la population censé exprimer la position de la collectivité.

Ces méthodes de préférences déclarées, utiles pour évaluer les coûts en l'absence de marché, se heurtent, comme pour les autres externalités mesurées par la méthode du consentement à payer, à toute une série de difficultés (biais introduit dans les enquêtes, qualité de l'information...) encore accrues par celles que rencontre l'interviewé pour apprécier, et même comprendre, la notion de risque. Les experts s'accordent toutefois pour dire que des progrès très importants ont été réalisés dans la manière de mener ces enquêtes : les études

(1) La valeur publique de la sauvegarde d'une vie humaine est définie dans cette approche comme la somme actualisée des satisfactions que les personnes recueilleront dans le futur. On évalue à cette fin dix effets ayant trait aux variations de bien-être vécues tant par l'individu sauvé que par les autres individus de la communauté à laquelle il appartient.

(2) La méthode la plus répandue pour déterminer le consentement à payer pour un risque, ou le consentement à accepter un certain niveau d'indemnité pour un risque, consiste à procéder à des enquêtes dans lesquelles on demande, par exemple, la somme qui serait exigée pour compenser une probabilité accrue d'avoir un accident, les dépenses préventives acceptées pour diminuer la probabilité de subir un accident, ou encore la somme que l'enquêté serait prêt à dépenser pour réduire le nombre d'accident, etc.

s'affinent et les protocoles sont plus rigoureux. Ainsi, malgré les problèmes empiriques qu'elles soulèvent, ces méthodes d'enquête présentent l'intérêt de donner une idée de ce que les gens sont prêts à payer pour sauver une vie. Cette approche par le consentement à payer tend à apparaître aujourd'hui plus pertinente, voire plus démocratique, que celle du capital humain pour évaluer la rentabilité des investissements de sécurité dans le secteur des transports, en cohérence avec les préoccupations sécuritaires de plus en plus vives de la société¹.

Ces méthodes n'en présentent pas moins les faiblesses inhérentes à toute enquête de préférences déclarées. Il convient donc d'analyser et de comparer les résultats obtenus par les autres méthodes et d'examiner les valeurs tutélaires finalement retenues par les administrations étrangères.

2. Analyse des études récentes et pratiques étrangères

Pour mettre à jour les valeurs qui avaient été retenues dans le rapport du Commissariat général du Plan « Transports : pour un meilleur choix des investissements » présidé par Marcel Boiteux en 1994, on a procédé à une revue de la littérature publiée sur le sujet depuis 1994 et à l'étude des pratiques retenues par différentes administrations étrangères.

L'analyse systématique des études réalisées durant les années 1990 sur la valeur de la vie humaine, dont certaines sont présentées plus en détail en annexe², conduit à distinguer deux grandes catégories.

(1) Une des raisons qui ont poussé certains pays à retenir les méthodes de préférences déclarées tient sans doute à ce que ces méthodes conduisent généralement à des valeurs beaucoup plus élevées que celles obtenues avec les méthodes basées sur le seul coût marchand de la vie humaine, et qu'il était politiquement contestable, cela étant, de ne pas respecter l'expression des préférences déclarées par les citoyens.

(2) Notamment les études suivantes :

- Le Net (M.), « Le prix de la vie humaine. Calcul par la méthode des préférences individuelles », application à l'évaluation du coût économique de l'insécurité routière, tome II, ENPC – ICOS, 1994 ;

- Desaignes (B.) et Rabl (A.), « Reference Values for Human Life », in N. Schwab et N. Soguel (Eds), « Contingent Valuation, Transport Safety and Value of Life », Kluwer Academic Publishers, 1995 ;

- Schwab (N.) et Soguel (N.), « The Pain of Road-Accident Victims and the Bereavement of their Relatives : A contingent-Valuation Experiment », in N. Schwab et N. Soguel

- La valeur de la vie humaine -

La première rassemble de nombreuses études basées sur des enquêtes de préférences déclarées menées auprès du public¹. Les calculs opérés sur cette base ont été critiqués car ils fournissaient des résultats fragiles, dont l'interprétation était délicate et trop dépendante du contexte particulier dans lequel chacune des enquêtes avait été faite. Il paraissait donc difficile d'utiliser ces études pour définir une ou des valeurs de référence. Les efforts des chercheurs se sont alors portés sur la méthodologie, et sur la sensibilité des résultats au contexte des enquêtes. Ces approfondissements et ces critiques ont favorisé l'élaboration de nouveaux protocoles d'enquête visant à préciser davantage l'objet du consentement à payer. Toutefois, si ces approfondissements ont incontestablement amélioré la qualité des études, ils n'ont pas pour autant réduit les écarts que l'on observe dans les résultats, comme le résume le tableau ci-après, ce qui ne facilite toujours pas la comparaison entre ces résultats dont la pertinence reste difficile à apprécier.

C'est pour contourner ces difficultés que certains chercheurs, sans procéder à des études nouvelles, se sont livrés à des évaluations systématiques. Cette approche, appelée méta-analyse, tenant chaque étude comme une observation particulière, fait appel à l'outil économétrique pour comparer les résultats obtenus dans des contextes très différents. L'important travail de référence mené par Ted Miller² à partir d'études couvrant 12 pays et 68 évaluations, conduit pour les études européennes, en valeur « 1995 », à une fourchette de valeurs centrales encore assez large de 1,9 à 2,7 millions d'euros par tête. Cette étude met notamment en évidence une certaine stabilité du ratio « valeur de la vie humaine rapportée au PIB *per capita* », les valeurs de la vie humaine obtenues sur cette base tournant autour de 120 fois le produit intérieur brut par tête.

Au vue du tableau ci-après, proposé dans l'étude INFRAS/IWW³ pour l'UIC (Union internationale des chemins de fer), qui synthétise les principaux résultats

(Eds), « *Contingent Valuation, Transport Safety and Value of Life* », Kluwer Academic Publishers, 1995.

(1) Voir dans l'annexe « Valeur de la vie humaine » la description de plusieurs d'entre elles.

(2) Miller (T.) « *Variations Between Countries in Value of Statistical Life* », « *Journal of Transport Economics and Policy* », volume 34, 2^e partie, mai 2000. Voir dans l'annexe « Valeur de la vie humaine » quelques éléments conclusifs de ce travail.

(3) INFRAS/IWW « *External Costs of Transport - Accident, Environmental and Congestion in Western Europe* », Zürich and Karlsruhe, 2000.

- La valeur de la vie humaine -

obtenus par analyse de préférences déclarées au cours de ces dernières années ¹, et en gardant à l'esprit les difficultés méthodologiques que pose ce type de comparaison, on constate que les valeurs de la vie humaine s'échelonnent entre 0,5 et 2 M€ pour la médiane, et entre 1,7 et 4 M€ pour la moyenne.

Vue d'ensemble du consentement à payer pour une vie statistique sauvée (M€ 1995)

Auteur	Pays, date	Valeur statistique de la vie humaine		Ratio VH/PIB/tête
		Médiane	Moyenne	
Études européennes en préférences déclarées				
1985 Jones-Lee <i>et al.</i>	UK 1982	1,2	3,4	76
1989 Maier	AU 1988		3,8	217
1992 Persson	S 1986	1,3	2,9	87
1995 Desaignes, Rabl	F 1993	0,9		56
1995 Kidholm	DK 1993	2,0	2,5	122
1995 Persson <i>et al.</i>	S 1993	1,5	4,0	95
1996 Schwab, Soguel	CH 1994	1,1	2,7	85
1998 Persson	S 1998		2,0	
1999 Jones-Lee	UK 1997	0,5	1,7	
Moyenne UE-17		1,0 *	2,0 *	
Meta-analyses empiriques				
1993 Elvik	Moyenne des études retenues		1,3	81
1995 ExternE	Moyenne des études retenues		3,1	193
1996 Calthrop	Moyenne des études retenues		2,9	
1998 ECMT	Moyenne des valeurs officielles retenues		1,7	103
Moyenne			2,3	125
<i>(*) Moyenne pondérée par les parités de pouvoir d'achat et le nombre de tués</i>				

Tableau tiré de l'étude Infrac/IWW, « External Costs of Transport »

Enfin, s'agissant des valeurs retenues officiellement par les administrations pour l'établissement des bilans coût-avantages, valeurs que la littérature qualifie tantôt de tutélaires, tantôt d'officielles, ou encore d'institutionnelles, le tableau suivant montre, là aussi, des valeurs assez contrastées ². On constatera qu'en moyenne ces valeurs se situent plutôt dans le bas de la fourchette précédente. Mis à part les cas des Pays-Bas, de la Grèce et de la Belgique, où sont retenus

(1) L'UIC tranche en faveur de la valeur proposée par la récente étude suédoise de 1999 (soit 1,63 M€ 1999).

(2) On trouvera précisées dans l'annexe « Valeur de la vie humaine » les principales raisons des différences constatées.

- La valeur de la vie humaine -

des montants très faibles, ces valeurs se situent dans un intervalle de l'ordre de 0,5 à 1,5 million d'écus par tête.

Les valeurs « officielles » de la vie humaine routière en 1994

PAYS	Année de base	Valeur tutélaire en millions d'unités de monnaie nationale	en millions d'écus de 1994
Allemagne	1989	1,32	0,79
Autriche	1994	18,80	1,39
Belgique	1993	14,26	0,37
Danemark	1992	5,23	0,72
Finlande	1995	7,80	1,21
France	1994	3,70	0,56
Grèce	1992	30 000	0,13
Irlande	1994	0,75	0,95
Pays-Bas	1992	0,23	0,11
Royaume-Uni	1994	0,78	1,01
Suède	1998	14,20	1,64

Source : travaux de Bristow et Nellthorp effectués dans le cadre du projet EUNET et publiés dans Transport Policy de janvier 2000

Même si l'ensemble de ces valeurs (officielles et scientifiques) reste très contrasté, il constitue néanmoins une base d'information importante pour reconsidérer les valeurs retenues en 1994.

3. Recommandations

Les recommandations ci-après abordent trois points particuliers : la valeur publique d'une vie sauvée, la question de la spécificité des transports collectifs, et la valeur à retenir pour les blessés graves ou légers, pour lesquels les travaux sont beaucoup moins nombreux.

3.1. Une valeur de la vie humaine unique pour les décisions publiques

Le groupe estime que, pour l'évaluation des investissements publics, seul doit être retenu le point de vue de la collectivité. Pour optimiser leur programmation, les pouvoirs publics doivent théoriquement faire en sorte que la valeur de la vie humaine « marginale » – c'est-à-dire, plus précisément, le coût à consentir pour éviter une mort supplémentaire – soit la même pour tous les investissements publics. Ne pas y parvenir conduit à accepter une situation dans laquelle les

pouvoirs publics se trouveraient consacrer des sommes considérables pour sauver quelques vies ici, alors que cette même somme pourrait en sauver beaucoup plus là. Le principe qui consiste à retenir pour les investissements publics des valeurs de la vie humaine différentes selon les modes de transport doit donc être rejeté. Il ne peut exister qu'une valeur de la vie humaine et donc du coût à consentir pour éviter un risque mortel, et cette règle devrait en principe être étendue à toutes les évaluations de décisions publiques.

Or, si l'on considère les valeurs implicites de la valeur de la vie humaine qu'impliquent les dépenses faites par les exploitants du secteur aérien ou ferroviaire, on s'aperçoit que celles-ci sont généralement très élevées et sans commune mesure avec les valeurs tutélaires pratiquées dans les différents pays ¹.

Sans porter aucun jugement sur la pertinence des dépenses d'investissement de plus en plus élevées faites par les exploitants au titre de la sécurité, et ce pour répondre à l'attente de l'opinion publique et créer avec leurs clients une relation de confiance, le groupe considère que cette préoccupation n'a pas à être prise en compte dans le calcul public, sauf à admettre qu'il existerait pour tel ou tel mode une mission spécifique de service public portant sur la sécurité des déplacements.

Il convient donc de bien séparer les points de vue, celui de la personne qui se déplace, celui du gestionnaire de l'infrastructure ou de l'exploitant du transport (pour qui la sécurité est un élément fondamental de ses obligations de transporteur ainsi qu'un élément clé de sa politique commerciale visant à répondre à la demande de sécurité du client), et enfin le point de vue de la collectivité traduit, le cas échéant, dans les prescriptions de la puissance publique.

Ayant rappelé ces principes, il est néanmoins possible de mettre en avant divers arguments qui justifient que l'on retienne dans les calculs, pour le coût d'évitement d'une mort supplémentaire, des valeurs différenciées. Car, s'il n'existe qu'une valeur de la vie humaine, le coût accepté par la société pour

(1) En comparant, par exemple, les résultats d'évaluations contingentes avec les estimations ex-post fournies par l'analyse des décisions prises pour la sécurité ferroviaire, on arrive à des rapports qui peuvent aller de 1 à 100. Voir sur ce sujet l'étude d'É. Quinet et C. Galland, « Les dépenses de sécurité et la valeur de la vie dans les transports collectifs de voyageurs », rapport pour le compte du ministère de l'Équipement – DTT, ENPC – CERAS (1995 ou 1996).

- La valeur de la vie humaine -

éviter un risque mortel peut être différent selon les cas, notamment si une partie du risque se trouve assumée par l'éventuelle victime.

Le fait est, en tout cas, que les approches que l'on peut faire de la valeur qu'attachent les gens à éviter un accident mortel, qu'il s'agisse d'interpréter leur comportement ou de s'enquérir de leur consentement à payer, font apparaître une valeur plus élevée pour les transports en commun que pour les véhicules individuels. Les résultats de ces études sont certes incertains et dispersés, mais l'existence de cet écart paraît peu contestable. Dès lors qu'il s'agit ici de fixer des valeurs qui traduisent l'attitude effective de la collectivité, et non ce qu'elle devrait être au nom d'un intérêt supérieur dont l'État se ferait le juge, le groupe de travail a finalement considéré qu'il devait entériner l'existence de cet écart. Encore convenait-il de s'assurer que cette différenciation entre les modes de transport individuel et collectif bénéficiait d'une certaine rationalité. Divers arguments ont pu être trouvés en ce sens dans la littérature.

On notera en particulier que, pour les véhicules individuels, les exigences de sécurité sont partagées entre le responsable des infrastructures et l'automobiliste lui-même, soit du fait des dispositifs de sécurité de la voiture qu'il achète (coussins gonflables, freins, etc.), soit du fait de sa manière même de conduire qui affecte la probabilité d'un accident. L'usager des transports en commun, lui, est totalement passif et ne peut faire appel à un quelconque dispositif personnel dont il ferait l'acquisition pour améliorer sa propre sécurité¹.

Une autre raison que l'on peut invoquer pour justifier l'utilisation d'une valeur plus faible dans les transports individuels tient aux différences de caractéristiques socio-économiques (et notamment de revenus) des usagers des différents modes de transport, les voyageurs qui accordent une valeur importante à la sécurité étant ceux qui, en moyenne, choisissent le mode le plus sûr. Ce motif semble néanmoins ne pas devoir être retenu pour des raisons éthiques.

En revanche, on est fondé à tenir compte de la corrélation qui peut exister entre les efforts de réduction du risque consentis par les automobilistes dans leur façon de conduire, et leur disposition à payer. Une amélioration de la sécurité se traduira en effet par une réduction du risque plus forte pour ceux qui attachent

(1) Le cas des longs tunnels routiers, surtout les moins larges, où les véhicules sont enfermés sans guère de possibilités de réagir en cas d'incendie, pourrait être assimilé, au moins en partie, à celui des transports collectifs pour ce type de risque contre lequel l'usager ne peut se prémunir.

une valeur élevée à la vie humaine que pour les autres qui, par exemple, convertiraient en gain de temps le gain de sécurité proposé.

Enfin, les accidents impliquant des transports collectifs marquent davantage l'opinion publique en raison de l'effet de masse : un accident de chemin de fer ou d'avion qui cause des dizaines, voire des centaines de morts à la fois attire beaucoup plus l'attention et les revendications de sécurité, que l'hécatombe rituelle du week-end routier, beaucoup plus disséminée. La charge émotive que suscitent ces accidents collectifs, mais également les risques que ces accidents font porter sur les responsables publics (poursuites judiciaires, arrêt de carrière administrative ou politique, risque commercial) entraînent naturellement les décideurs publics à investir dans la sécurité bien au-delà de ce qu'impliquerait la prise en compte de la valeur de référence de la vie humaine ¹.

Mais tous ces éléments d'explication doivent être considérés avec prudence, et mériteraient de nouvelles études théoriques et empiriques pour les approfondir. On notera cependant que plusieurs travaux ² font apparaître de légers écarts pour la valeur de la vie humaine, écarts qui vont tous dans le sens d'une valeur élevée pour les transports collectifs.

Quant aux pratiques des différents pays, on constate que celles-ci restent assez prudentes : l'Allemagne et la Finlande ont adopté une même valeur pour le rail et la route, mais le Royaume-Uni met en œuvre une politique de sécurité correspondant à une valeur de la vie humaine en transport collectif égale à cinq fois la valeur routière.

(1) Il se peut aussi que cette attitude devant l'accident collectif trouve une justification dans l'aversion pour le risque qu'expriment les gens quand on les interroge au sujet d'un accident impliquant plusieurs personnes à la fois. Dans ce cas, ils peuvent, dans des hypothèses vraisemblables de comportement individuel combinant aversion au risque et altruisme, préférer les conditions de sécurité offertes par un transport individuel moins sûr à celles offertes par les transports collectifs. L'aversion pour le risque permet d'expliquer qu'une personne redoute davantage un accident survenant avec une probabilité faible et tuant un certain nombre n de personnes, plutôt que n accidents entraînant la mort d'une personne et survenant pourtant avec une probabilité plus élevée.

(2) Voir les travaux de Jones-Lee (1995), par exemple, qui a procédé à des évaluations contingentes sur la valeur de la vie humaine en transport public (métro). Dans ce cas, il trouve une valeur supérieur de 50 % à la valeur de la vie humaine routière.

- La valeur de la vie humaine -

Sur la base de tous ces éléments, le groupe de travail propose de retenir pour les modes de transport individuels un abattement d'un tiers par rapport à la valeur standard de la vie humaine qui sera retenue pour le transport collectif.

3.2. Proposition de nouvelles valeurs

En 1994, dans le rapport « Transports : pour un meilleur choix des investissements », le groupe de travail présidé par Marcel Boiteux s'était rangé à la méthode du capital humain compensé. Ne disposant pas des résultats des travaux que le Commissariat général du Plan avait alors engagés, ils s'étaient appuyés, d'une part sur les valeurs retenues à l'étranger en se limitant à des pays dont le développement était proche de celui de la France et, d'autre part, sur les résultats concordants d'études utilisant des méthodologies différentes (les travaux de Le Net (ENPC, CERAS) ¹ et ceux de Duval (INRETS) (1993)). Par la suite, en retenant les valeurs proposées du rapport de 1994, la circulaire de 1998 de la Direction des Routes proposait un relèvement déjà très significatif des valeurs utilisées jusque là ².

On avait alors retenu une valeur de la vie humaine sur la route de 3,6 MF (0,55 M€) pour 1993, et avait proposé de se référer au taux d'accroissement de la consommation des ménages *per capita* de l'INSEE comme règle d'actualisation annuelle de cette valeur. En appliquant cette règle, on obtient une valeur de 4,42 MF (0,65 M€) ³ pour 1999 : la valeur de la vie humaine retenue actuellement en France se situe donc très nettement dans la partie basse de l'échelle des valeurs que le groupe a examiné lors de ses travaux.

Pour être en cohérence avec la tendance de fond qui se dégage de ces éléments très disparates, le groupe propose de rehausser à 1,5 million d'euros la valeur de la vie humaine à retenir dans le calcul socio-économique des projets de

(1) On peut également observer que la valeur donnée par l'étude Le Net fondée sur le capital humain, soit 3,26 MF en 1990, reposait essentiellement sur l'estimation des coûts marchands, les coûts non marchands (*pretium doloris* notamment) représentant moins de 5 % du total ce qui peut paraître très nettement sous-estimé dans une société où la valeur de la vie humaine ne se ramène pas qu'à des coûts marchands.

(2) Il s'agissait pratiquement d'un doublement par rapport à la valeur de la vie humaine qui était alors en vigueur – 0,27 M€ en valeur 1990 – depuis la précédente version de la circulaire de la Direction des Routes (1986).

(3) L'évolution de la consommation finale des ménages par tête sur la période retenue sur la période est de 18 %.

- La valeur de la vie humaine -

transport. Celle-ci se situe dans le haut de la fourchette des valeurs obtenues dans les enquêtes de préférence déclarée.

La valeur tutélaire de référence à prendre en compte par la puissance publique pour les projets routiers devra donc être égale à un million d'euros, soit les deux tiers de la valeur de référence du coût d'évitement de la perte d'une vie humaine. Pour les transports collectifs (et certains longs tunnels routiers), elle sera de 1,5 million d'euros.

Enfin, là où pour des raisons d'image un degré supérieur de sécurité est estimé nécessaire, il conviendrait que les entreprises gestionnaires d'infrastructures et les transporteurs, pour optimiser et rationaliser la programmation de leurs actions destinées à améliorer la sécurité, calculent la valeur implicite de la vie humaine afférente à chacune de ces actions, ne serait-ce que pour s'assurer que les valeurs ainsi obtenues sont bien du même ordre de grandeur.

Synthèse des valeurs 1994-2000

	Rapport 1994		Circulaire des routes 1994 (en euros 1994)	Valeurs 2000	
	Valeur 1993 (en euros 1993)	Valeur 1993 actualisée (en euros 1999)			
Tué	0,55 M€	0,65 M€	0,56 M€	1,5 M€	100 % projet Transports collectifs 66 % projet Routier (1 M€)

Le groupe recommande, par ailleurs, de conserver la règle d'évolution retenue en 1994, qui fait croître ces valeurs au même rythme que la dépense de consommation des ménages par tête.

3.3. La valorisation des blessés graves et légers

Quant aux valeurs à retenir pour les blessés graves et légers, le groupe ne dispose pas d'éléments suffisamment précis pour proposer des valeurs vraiment assises sur des études¹. En attendant les résultats d'investigations plus poussées, que le groupe recommande par ailleurs d'entreprendre, il est donc proposé de conserver le poids relatif de ces catégories par rapport à la valeur de la vie humaine tel qu'il apparaissait dans les propositions de 1994 (soit

(1) Voir dans l'annexe « Valeur de la vie humaine » quelques éléments chiffrés sur les valeurs tutélaires retenues dans quelques pays étrangers.

- La valeur de la vie humaine -

respectivement 10,3 % et 2,2 %), et donc de les augmenter en proportion de la revalorisation de la valeur de la vie humaine proposée dans ce chapitre.

Toutefois, sans attendre les résultats de travaux ultérieurs, le groupe estime raisonnable de majorer quelque peu la valeur du blessé grave en retenant, non pas 10,3 % de la valeur de la vie humaine comme en 1994, mais 15 %. Deux raisons principales peuvent être avancées pour motiver ce relèvement plus marqué de la valeur du blessé grave.

D'une part, les statistiques françaises ne comptabilisent actuellement comme tués dans un accident de la route que les personnes décédées dans un délai de 6 jours après l'accident¹, alors que la plupart des autres pays retiennent un délai de 30 jours. Tant qu'il en restera ainsi, ce différentiel entraîne mécaniquement pour la France une importance accrue du nombre de blessés graves qui seraient valorisés au coût du tué avec la norme européenne.

D'autre part, les progrès de la médecine permettent aujourd'hui de maintenir en vie des personnes accidentées qui, il y a quelques années, seraient mortes des suites de leur accident. L'augmentation de la valeur du blessé grave proposée ici traduit au moins qualitativement les augmentations de coûts qu'impliquent généralement les soins intensifs auxquels on procède sur ces blessés, et les augmentations de souffrances physiques et morales de toutes sortes résultant de séquelles irréversibles plus nombreuses.

En revanche, pour les blessés sans séquelle, la revalorisation parallèle à celle de la vie humaine conduit certainement à une valeur haute. Faute de données suffisantes pour procéder à une évaluation spécifique, on retiendra néanmoins cette approximation.

Ces éléments conduisent aux valeurs suivantes où, pour être cohérent avec le principe adopté pour la valeur de la vie humaine, on a retenu la totalité de ces valeurs pour les projets de transports collectifs et les deux tiers pour les projets routiers.

(1) Si l'on comptabilisait le nombre de tués en retenant le délai communément retenu en Europe, qui est d'un mois, le nombre de tués augmenterait en France d'environ 5,3 %.

Synthèse des valeurs du blessé grave et du blessé léger (1994-2000)
(en milliers d'euros)

	Rapport 1994		Circulaire des routes 1994	Nouvelles valeurs 2000	
	1993 (euros 93)	Valeur 1993 actualisée (en euros 99)		Transport collectif	Transport routier
Blessé grave	56,4 m€	66,5 m€	58 m€	225 m€	150 m€
Blessé léger	12 m€	14 m€	12,3 m€	33 m€	22 m€

Enfin, le groupe recommande d'entreprendre des investigations poussées, d'une part sur la valorisation des blessés graves et légers, d'autre part, sur le traitement particulier des modes de transport collectif. Par ailleurs, étant donné que la décision de relever la valeur de la vie humaine s'appuie essentiellement sur des études menées à l'étranger, le groupe demande que les travaux réalisés en France sur ce point soient renouvelés et recourent à plusieurs types de méthodes, de manière à voir si les résultats obtenus corroborent ceux des études récentes sur les préférences révélées. À cette occasion, une réflexion plus théorique devra être menée sur les méthodologies elles-mêmes.

Chapitre VII

PRISE EN COMPTE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE LIÉE AUX TRANSPORTS

La pollution de l'air porte atteinte à la santé, détériore le cadre de vie et, plus généralement encore, l'environnement et le climat. Elle résulte de très nombreux facteurs qui ne se limitent pas au seul secteur des transports : sont impliqués le chauffage, l'évaporation des solvants, les rejets de l'industrie, le tabagisme, mais aussi les phénomènes naturels. Par ailleurs, sans parler de l'habitat lui-même où les nuisances dépassent parfois celles de l'environnement extérieur ¹, la pollution peut affecter une zone géographique restreinte (les effets sur la santé de certaines particules émises par les moteurs) ou au contraire concerner toute une région (pluie acide, ozone...), voire l'ensemble de la planète (l'effet de serre dû aux émissions de dioxyde de carbone). L'imbrication des problèmes, la multiplicité des disciplines scientifiques mobilisées comme la diversité des échelles d'analyse ne favorisent pas une approche consensuelle de cette question controversée.

S'agissant d'actualiser les valeurs monétaires à utiliser dans le secteur des transports pour les calculs de rentabilité, le groupe de travail a limité son champ d'investigation à la seule pollution émise par les transports et, principalement, à l'impact de celle-ci sur la santé. Pour justifier les valeurs proposées en conclusion de ce chapitre, le groupe a passé en revue les principaux résultats

(1) Le Haut comité de la santé publique précise dans le résumé de son rapport sur les « Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé publique » (juillet 2000) qu'il ne serait ni cohérent ni véritablement efficace du point de vue de la santé publique de poursuivre les efforts de réduction des émissions de polluants dans l'air urbain, si étaient négligés en parallèle les espaces intérieurs, où les concentrations de polluants peuvent être très élevées et où l'homme moderne passe près de 90 % de son temps. Le rapport souligne plus loin que des accidents graves se produisent régulièrement en liaison avec la qualité de l'air intérieur, laquelle dépend de très nombreux paramètres : matériaux intérieurs, systèmes de renouvellement de l'air, activité humaine dans les locaux, produits d'entretien, etc.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

obtenus dans les études menées sur le sujet, en mettant en évidence les difficultés rencontrées. Celles-ci sont nombreuses : elles concernent les phénomènes de pollution atmosphérique et leur mesure ; elles portent sur les mécanismes d'action des divers polluants sur la santé et l'ampleur de leurs effets ; elles apparaissent également dans les méthodes utilisées pour en chiffrer le coût. Aussi, les valeurs forfaitaires proposées dans ce chapitre n'ont-elles d'autres ambitions que de fournir, faute de mieux, une première approximation des valeurs recherchées pour guider les choix, l'objectif étant de fournir une référence commune, dont l'absence est en effet la pire des choses du point de vue de l'efficacité économique et sociale.

1. Les effets externes liés à la pollution atmosphérique des transports : un état des lieux

1.1. Méthodologie

Les émissions de polluants atmosphériques des transports sont à l'origine d'effets externes très variés. Les études distinguent principalement les effets sanitaires, l'impact sur les bâtiments et les atteintes à la végétation. À ces effets s'en ajoutent d'autres, a priori moins importants et plus difficiles à apprécier, parmi lesquels on peut citer notamment la dégradation de la faune et les nuisances olfactives. On distingue d'autre part les polluants primaires, qui ont un impact avant tout local, des polluants secondaires (polluants formés par transformation chimique dans l'atmosphère, comme l'ozone) qui interviennent davantage à une échelle beaucoup plus grande.

L'évaluation monétaire des effets de la pollution, et l'estimation de son évolution dans le temps, supposent tout d'abord qu'on puisse mesurer la pollution elle-même, ce qui exige qu'on sache la caractériser correctement, et d'autre part, qu'on puisse cerner précisément les effets des différents polluants ou de leur combinaison. Or cela ne va pas de soi.

L'analyse de l'exposition aux différents polluants peut s'obtenir par des mesures directes de concentration, ou par des simulations. Certaines approches partent de la mesure des concentrations des polluants et évaluent par ailleurs, s'il y a lieu, la part qui relève des différentes activités (transports routiers par exemple). D'autres approches, au contraire, partent de l'analyse des sources de pollution et des émissions des différents polluants pour examiner ensuite leur dispersion, puis leur impact sur l'ensemble d'un territoire donné. On peut ainsi

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

évaluer, sur différentes zones plus ou moins denses en habitations, la hausse de concentration de certains polluants qu'engendre un trafic supplémentaire. La première approche permet d'obtenir des coûts totaux, la seconde est mieux appropriée pour calculer des coûts marginaux sur des trajets spécifiques et devrait être retenue en priorité pour les évaluations de projets.

Une fois les niveaux de concentration déterminés, il faut établir une relation entre la concentration des différents polluants étudiés et leur impact sur la santé, les monuments, la végétation, etc.

La valorisation des impacts de la pollution atmosphérique peut, ensuite, être obtenue, comme pour les autres effets externes décrits dans ce rapport, à l'aide des trois types de méthodes de monétarisation déjà évoqués, chaque effet de la pollution étant susceptible, d'ailleurs, de faire l'objet de méthodes différentes. Le calcul peut être mené sur la base du coût des dommages ; on comptabilisera par exemple les frais engagés à des titres divers (frais médicaux, pertes de production à partir de données de salaires ou de PIB par tête, coût d'entretien des bâtiments dont les façades sont dégradées, pertes de production liées au tourisme, etc.). Il est possible aussi d'utiliser des méthodes de préférences révélées en exploitant, par exemple, la perte de valeur, constatée sur le marché, des logements qui sont exposés à des salissures particulières. Enfin, la monétarisation de cette externalité peut être réalisée en se référant à des évaluations par les préférences déclarées. Cette méthode sera utilisée, par exemple, pour valoriser la perte de qualité de vie due à une bronchite chronique. En revanche, pour ce qui est des effets sur la mortalité, qui constituent le principal dommage causé par la pollution atmosphérique, les valeurs utilisées dans les évaluations doivent être en cohérence avec celles retenues par ailleurs pour la vie humaine à propos des accidents de la circulation, mais en les adaptant au nombre plus faible d'années perdues par les victimes, s'agissant généralement d'effets à long terme dont le cumul atteint des personnes relativement âgées. Quant aux autres dommages, si une partie d'entre eux est marchande (pertes agricoles et sylvicoles) et ne pose pas de problème de valorisation, les pertes d'aménités dues à la dégradation des sites doivent être évaluées par d'autres méthodes. On retrouve ici des problématiques semblables à celles rencontrées pour les effets de coupure des infrastructures.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

1.2. L'analyse faite dans le rapport de 1994 ¹

Les valeurs unitaires actuellement en vigueur pour la valorisation des coûts de pollution sont basées sur les recommandations faites en 1994. Elles diffèrent selon que le déplacement s'effectue en milieu urbain ou en rase campagne ; elles sont exprimées en voyageur-km ou en tonne-kilomètre pour tous les modes terrestres, et ne distinguent pas les effets sanitaires des effets sur les bâtiments et la végétation.

Ces valeurs avaient été retenues après plusieurs calculs basés sur deux approches différentes ² : un premier calcul avait été effectué à partir de la synthèse bibliographique d'un certain nombre d'études étrangères conduites sur la période 1980-1995 en vue d'estimer le coût de la pollution pour la santé, les dégâts matériels et la végétation ; les autres calculs, visant les coûts d'évitement, reposaient sur l'analyse de l'ensemble des moyens de réduction des émissions. On rappellera seulement que les valeurs proposées pour les poids lourds étaient accompagnées d'avertissements des experts qui attiraient l'attention sur le fait que ces valeurs moyennes couvraient des estimations susceptibles d'être fortement différenciées selon les conditions d'utilisation des véhicules.

Avec un taux d'occupation respectif de 1,2 et 2 voyageurs en parcours urbain et interurbain, un chargement moyen respectif de 7,5 tonnes et de 15 tonnes pour la catégorie « tous véhicules » et « maxicodes », le rapport proposait dans une annexe technique une règle simple de calcul pour préciser ces valeurs par unité-km transportée. Estimant par ailleurs, au vu des études disponibles, qu'en termes de toxicité la moitié de la pollution émise par une unité de trafic (SO₂ et NO_x) était de nature locale et l'autre moitié de nature régionale et, d'autre part, que le trafic urbain entraînait les deux types de pollution, le groupe de travail avait retenu dans ce précédent rapport, pour les véhicules-kilomètres et les tonnes-kilomètres, un rapport de 4/3 entre les valeurs en milieu urbain et en rase campagne.

Enfin, il était proposé de faire évoluer ces valeurs dans le temps en retenant deux hypothèses conjointes : les émissions seraient divisées par deux en 15 ans, d'où une réduction annuelle de 4,5 %, la perception du dommage

(1) « Transports : pour un meilleur choix des investissements », Commissariat général du Plan, 1994.

(2) Les méthodes testées sont explicitées dans l'annexe « Pollution atmosphérique » du rapport de 1994, *op. cit.* p. 111-122.

évoluerait dans le temps comme la dépense de consommation des ménages augmentée de 1 % ¹.

Les connaissances ont profondément évolué depuis quelques années, tant en ce qui concerne les études épidémiologiques sur les effets sanitaires de la pollution que la dispersion des polluants. Ces études ont mis en évidence, depuis les travaux de Dockery et Pope ², l'impact des effets de long terme, et cela tant en matière de mortalité (essentiellement cardio-pulmonaire) que de morbidité. Il en résulte que les coûts sanitaires de la pollution, toutes choses égales par ailleurs, devront désormais être évalués à des montants sensiblement plus élevés qu'au début des années 1990. On considère aujourd'hui que ces coûts sanitaires représentent l'essentiel des coûts liés à la pollution car l'évaluation des autres dommages, notamment les dommages forestiers liés aux pluies acides, est revue à la baisse en raison de la diminution des émissions.

1.3. Les effets sanitaires

Dans le secteur des transports, deux polluants sont matière à préoccupation pour la santé : d'une part, les particules émises par les moteurs thermiques, qui provoquent des réactions inflammatoires et dont certains constituants sont probablement cancérigènes ³, d'autre part les oxydes d'azote qui, avec les

(1) La dépense de consommation finale des ménages en volume a augmenté de 8,2 % (15,8 % à prix courants) sur la période 1994-1999, soit un rythme annuel moyen de 1,6 %.

(2) - Dockery (D.), Pope (A.), Xu (X.), et al., « An Association Between Air Pollution and Mortality in Six US Cities », *N. Engl. J. Med.*, 1993; 329:1753-59.

- Pope (A.), Thun (M.), Namboodiri (M.), et al., « Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults », *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151: 669-74.

(3) Les particules constituent un ensemble très hétérogène à la fois par leur nature et par leur dimension. Alors que par le passé les particules présentes dans l'air urbain étaient essentiellement issues de la combustion des charbons et produits pétroliers, et conjuguées nocivement avec les produits soufrés, elles proviennent principalement aujourd'hui des moteurs des véhicules, et tout particulièrement des véhicules à motorisation diesel. Par ailleurs, les particules émises par le secteur des transports contiennent un nombre élevé de particules fines, propres à ces émissions, qui sont les plus dangereuses pour la santé : plus ténues, elles restent durablement en suspension dans l'air et pénètrent dans les poumons plus facilement en franchissant les protections naturelles de l'organisme ; de nombreux travaux toxicologiques et épidémiologiques montrent la nocivité particulière de ces émissions ultra-fines. Mais, les mesures

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

composés organiques volatils (COV), jouent un rôle déterminant dans la production d'ozone¹. Les autres polluants, par contre, ne présentent pas, ou ne présentent plus, un risque majeur en l'état actuel des connaissances : certains sont présents dans des proportions encore faibles qui ne semblent pas présenter un réel danger² ; d'autres ont vu leur présence dans l'atmosphère fortement diminuer sous l'impulsion des politiques publiques et du fait des progrès technologiques³.

Il convient, pour ce qui est des effets sur la santé⁴, de bien distinguer la pollution de fond (ensemble complexe de polluants pouvant interagir entre eux), dont les polluants réglementés ne sont que des indicateurs, et les variations à court terme de la concentration des polluants (« pointes de pollution »). Les travaux récents tendent à établir que les effets les plus sérieux de la pollution atmosphérique sont reliés à la pollution de fond, dont les pointes de pollution ne sont que des épisodes aggravants.

En l'état actuel des connaissances scientifiques, il apparaît que la pollution atmosphérique exerce sur la mortalité des effets à la fois à court terme, du fait

actuelles, en donnant en masse la concentration des particules dans l'atmosphère, ne permettent pas de les dénombrer correctement.

(1) En ce qui concerne le dioxyde d'azote, selon le rapport du Haut conseil de santé publique – voir l'annexe « Pollution atmosphérique » synthétisant les résultats des études menées sur les effets des polluants –, les études expérimentales et épidémiologiques suggèrent une relation entre les crises d'asthme et l'exposition aux NO_x pour les concentrations habituellement rencontrées dans le milieu intérieur. Mais il est fait observer que les résultats sont peu stables d'une étude à l'autre, et sont parfois associés à la présence d'autres polluants. Le rapport insiste sur le fait que ce polluant est un indicateur de sources de pollution complexe, tout spécialement dans l'air extérieur.

(2) C'est le cas par exemple pour les composés organiques volatils, dont le benzène et les aldéhydes. Le premier est un cancérigène ; certains composés aldéhydiques sont des cancérigènes probables ou possibles, selon la terminologie du CIRC, mais cette démonstration n'a été faite que pour des concentrations beaucoup plus importantes que celles observées dans l'atmosphère.

(3) Il en est ainsi pour la pollution par le plomb avec la diffusion de l'essence sans plomb, pour le monoxyde de carbone avec la mise en place des catalyseurs, ou encore du dioxyde de soufre avec la désulfuration progressive des carburants. Il faut cependant demeurer attentif au fait que des progrès obtenus sur certains polluants peuvent être associés de manière imprévue à l'émergence de nouveaux problèmes environnementaux.

(4) On trouvera dans l'annexe « Pollution atmosphérique » un tableau qui synthétise les principaux effets sanitaires des polluants primaires et secondaires.

des variations rapides des teneurs dans l'air, et à long terme, du fait d'une exposition cumulée à la pollution pendant plusieurs années. Dans le premier cas, il s'agit de décès pour lesquels la pollution atmosphérique constitue très probablement un facteur de risque qui s'ajoute à d'autres et qui précipite le décès ou la survenue de manifestations morbides chez des personnes déjà fragilisées (enfants, personnes âgées, malades du cœur ou des poumons). Dans le second cas, il s'agit du risque de développer ou d'aggraver des maladies chroniques ou des cancers, touchant notamment les systèmes cardio-vasculaires ou respiratoires, qui peuvent conduire à des décès « prématurés » réduisant l'espérance de vie des personnes décédées.

Plusieurs points peuvent être notés. D'une part, sur la longue période, la pollution de fond, tous polluants et sources confondus, s'est considérablement améliorée dans les villes, notamment du fait de la réduction de la pollution industrielle et de celle liée au chauffage domestique, même si les exigences des populations se sont également accrues. Par ailleurs on assiste¹, ces dernières années, à une réduction des polluants émis par les transports (ou à une stagnation pour les émissions de particules) du fait des mesures prises qui ont permis la diffusion de progrès technologiques importants réalisés dans la composition des carburants et dans la conception des moteurs. Il en résulte

(1) Les statistiques établies par le CITEPA (Série Coralie) et présentées dans les comptes des transports en 1999 montrent que la part du transport baisse pour la plupart des polluants. Ceux-ci passent, entre 1990 et 1998, de 11,9 % à 6,4 % pour les émissions de SO₂, de 59,1 % à 52,2 % pour les NO_x, de 41,4 % à 32,9 % pour les composés organiques volatils, à l'exclusion du méthane (COVNM) de 60,2 % à 46,7 % pour le CO.

Par contre, en ce qui concerne les particules, la situation est un peu différente puisque, d'après les statistiques de l'IFP reprises dans le rapport du CADAS dont on fera état plus loin, on observe que si les émissions anthropiques de particules, mesurées en masse, ont diminué de plus de moitié entre 1980 et 1995, passant d'un peu moins de 450 kt à un peu plus de 200 kt, les émissions des transports ont quant à elle doublé sur la même période, la part des transports atteignant en 1995 près de 40 % alors qu'elle ne représentait qu'un peu plus de 8 % en 1980. Par ailleurs, les travaux de la commission font apparaître qu'en dix ans la part du transport routier dans ces émissions a tendance à stagner : elle était de 24 % en 1990 et s'établissait à 25 % en 2000 après avoir atteint 28 % en 1995. Mais cette mesure en masse ne permet pas de se prononcer aussi nettement sur l'évolution des particules les plus fines, qui atteignent les voies respiratoires profondes et sont les plus nocives. À titre de comparaison, des travaux conduits en Grande-Bretagne et en Allemagne suggèrent que la réduction des particules les plus grosses, marque du succès des politiques de maîtrise des sources fixes de combustion, peut se traduire par un accroissement des ultrafines, en raison de la perte du pouvoir d'agrégation des grosses particules.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

souvent (mais pas toujours car cela dépend des efforts réalisés dans les autres secteurs) une baisse de la part des transports dans la pollution de l'air. Quant aux effets sanitaires de ces pollutions, des incertitudes demeurent sur la nature des polluants en cause, et sur l'inégale gravité et ampleur de leurs effets : les conclusions des études, encore peu nombreuses, sont discutées.

Enfin, tout en reconnaissant que des risques réels ont été mis en évidence, certains soulignent qu'il faut aussi situer ces risques par rapport à d'autres importantes causes de décès, souvent mieux établies, comme le tabagisme ou les accidents, ne serait-ce que pour vérifier que les efforts d'évitement sont convenablement harmonisés entre ces différentes sources de risques.

1.4. Les résultats des principales études

Les différentes études disponibles exacerbent ces controverses dans la mesure où elles présentent des diversités importantes dans leur méthode et dans leur champ d'analyse, qui renforcent encore l'hétérogénéité des résultats. Par exemple, les effets de long terme ne sont pas toujours pris en compte, et la comparaison des différents résultats, trop souvent exprimés très globalement en pourcentage du PIB, présente de ce fait des difficultés insurmontables.

Trois études ont été principalement présentées au groupe de travail¹, l'étude réalisée pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé – dite étude OMS² –, le rapport INFRAS-IWW 2000 et le rapport établi par une commission émanant du Conseil pour les applications de l'académie des sciences – dit rapport CADAS³. On insistera plus spécialement ici sur les éléments qui ont été retenus pour établir les recommandations qui seront faites à la fin de ce chapitre.

(1) On citera également les travaux issus du programme de recherche « ExternE », lancé par la DG-XII en 1994. On trouvera dans cette dernière une description plus détaillée des études commentées ci-après, ainsi qu'une synthèse des principales valeurs auxquelles aboutissent ces travaux. On notera qu'il existe peu d'études de base – difficiles à réaliser – mais de nombreux travaux dérivés, qui aboutissent à des valorisations globales comprises entre 0,5 et 2 % du PIB.

(2) « Health Costs Due to Road Traffic-Related Air Pollution », Organisation mondiale de la santé, bureau régional de l'Europe, juin 1999.

(3) « Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique », rapport commun n° 12 coordonné par Bernard Tissot, académie des sciences, Comité pour les applications de l'académie des sciences, 1999.

C'est de l'**Organisation mondiale de la santé** qu'émanent les résultats les plus récents, assis sur des études épidémiologiques qui ouvrent la voie aux travaux à poursuivre pour étayer de mieux en mieux l'estimation des effets sanitaires des pollutions atmosphériques.

Après la publication en 1999 d'une étude sur les coûts sanitaires qu'engendrent les émissions du polluant PM_{10} ¹ dues au trafic routier, l'évaluation des risques qu'on peut en déduire a fait l'objet d'une importante publication en septembre 2000 dans la principale revue médicale internationale, « The Lancet »². L'éditorial associé, tout en mentionnant les incertitudes demeurant sur les estimations, mais aussi la prudence de certaines hypothèses et le souci de n'intégrer que les effets documentés, soulignait que cette étude était de nature à sensibiliser le public aux effets sanitaires substantiels de la pollution atmosphérique, y compris celle des transports, et ouvrait un débat utile. Il est intéressant de noter, eu égard à la nature de la revue, que la conclusion insistait non pas sur l'évaluation globale de la mortalité due à la pollution, mais sur l'intérêt que ce type de recherche présente pour orienter les réflexions en matière de politique des transports.

L'étude, du type « top-down », basée sur la double évaluation du coût des dommages et du consentement à payer, a été réalisée dans un même cadre méthodologique en Autriche, en Suisse et en France. On y prend en compte les effets de long terme et y utilise notamment une valeur de la vie humaine de 1,4 million d'euros, ramenée à 0,9 million d'euros pour tenir compte de l'âge relativement élevé des victimes. Les auteurs concluent pour la France à un nombre moyen de 31 600³ morts prématurées (compris dans une fourchette⁴ de 19 200 à 44 400), ce qui, compte tenu de l'espérance de vie perdue par décès

(1) Pour les particules en suspension, on retient généralement le PM_{10} qui mesure la fraction des particules de moins de 10 μm . Cet indicateur est global : les particules ont des diamètres, des compositions et donc des impacts sanitaires très variés.

(2) « Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution : a European Assessment », « The Lancet », vol. 356, septembre 2, 2000, p. 795-801.

(3) Selon l'approche qui a été retenue, ce chiffre correspond à ceux des décès annuels résultant des effets à long terme de la pollution particulaire qui pourraient être évités si les niveaux moyens de pollution des 365 jours de l'année étaient ramenés à un niveau inférieur à 7,5 $\mu g/m^3$.

(4) Comme le montre un des tableaux de cette étude repris dans l'annexe « Pollution atmosphérique », le nombre de cas de mortalité, comme de morbidité, attribuables à la pollution de l'air sont présentés avec un intervalle de confiance de 95 % qui, pour certains impacts, est très large. Pour les bronchites chroniques, le nombre de cas pourrait varier dans un rapport de 1 à 20.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

(de l'ordre de 10 ans en moyenne¹), se traduirait par 316 000 années de vies perdues chaque année du fait de la pollution de l'air, toutes origines confondues. La part des transports dans le total des décès s'élèverait en moyenne à 17 700 (10 681 à 24 680). Les coûts sociaux liés aux décès causés par la pollution représentent dans cette étude plus de 70 % du coût total imputable à la pollution atmosphérique issue du secteur des transports ; le reste se répartit principalement entre la valorisation des bronchites chroniques (20 %) et celle des activités perdues (6 %). L'étude OMS arrive ainsi pour les effets dus au transport routier en 1996 à un total de 21,6 G€² (142 milliards de francs), soit 1,8 % du PIB³, pour l'estimation moyenne. Outre le relèvement de la valeur de la vie humaine, l'élément décisif de cette réévaluation à la hausse des effets sanitaires de la pollution réside dans la prise en compte de ses effets à long terme. Ce résultat exprimé en pourcentage de PIB, est d'un ordre de grandeur significativement plus élevé que celui qu'on trouve habituellement dans la littérature (0,4 % à 1 %, mais plus proche désormais de 1 % dans les études les plus récentes) et plus élevé aussi que ceux auxquels on aboutirait sur la base du rapport de 1994 (0,4 % – 0,7 % selon le mode de calcul).

L'étude sur les « **coûts externes des transports** » dans les différents pays européens, réalisée par INFRAS et IWW⁴ pour le compte de l'UIC et publiée en mars 2000, reprend les résultats de l'étude réalisée en 1999 pour l'OMS dans sa partie relative aux effets sanitaires de la pollution, et l'extrapole aux autres pays sur la base d'une corrélation entre polluants. En revanche, les dommages apportés aux bâtiments (dépenses supplémentaires de ravalement notamment) et les pertes agricoles sont dérivés d'une étude relative à la Suisse

(1) Voir dans l'annexe « Pollution atmosphérique » la méthode utilisée pour déterminer ce chiffre.

(2) Cette valeur est celle qu'on obtient avec la méthode du consentement à payer, méthode que le groupe a retenue dans le chapitre précédent. Avec cette méthode (valeur de la vie humaine de 1,4 million d'euros), le coût de la pollution atmosphérique due au transport s'établit pour la seule mortalité dans un intervalle compris entre 9,6 G€ et 22,2 G€ ; avec la méthode des pertes de consommations (soit une valeur de 12 580 € par année de vie perdue), ce coût est compris entre 1,3 G€ et 3,1 G€. Pour la morbidité, dont le coût représente approximativement 30 % du coût de la mortalité, les intervalles sont plus importants, certains effets étant plus difficiles à apprécier. Sa valorisation monétaire varie entre 1,5 G€ et 10,3 G€ avec la méthode du consentement à payer, et entre 0,042 G€ et 0,297 G€ avec la méthode des pertes de consommation.

(3) Donc 3,2 % du PIB pour l'ensemble de la pollution de l'air si l'on considère toutes les sources d'émissions.

(4) « External Costs of Transport », INFRAS Zurich et IWW Karlsruhe (publié par l'Union internationale des chemin de fer), mars 2000.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

(INFRAS/Econcept/Prognos 1996), et l'impact sur les forêts est négligé, les résultats étant peu significatifs.

Cette étude INFRAS-IWW, qui présente une évaluation globale des coûts externes pour tous les modes de transport, indique que, pour l'ensemble des dix-sept pays étudiés, les coûts sanitaires représentent plus de 80 % du total des coûts liés à la pollution atmosphérique¹.

On y trouve ensuite, à un niveau plus désagrégé, des coûts kilométriques par unité transportée, en distinguant le coût sanitaire pour chaque mode et suivant les milieux traversés par les véhicules (urbain, interurbain, dense et dispersé). Cette approche descendante conduit respectivement pour les modes routier et ferroviaire à 9,57 et 1,44 centimes par voyageur-kilomètre pour 1995.

Paru avant l'article du « Lancet », le **rapport du CADAS** est d'une autre nature. Ses auteurs, après avoir examiné les études disponibles sur les effets de la pollution, tant en France qu'à l'étranger, s'attachent à en tirer ce qu'on peut en déduire pour la France.

Ils analysent les données connues à l'époque quant aux effets des polluants sur la santé, puis étudient la part des transports dans la pollution de l'air, pour aboutir à une estimation des effets de la pollution due aux transports sur la mortalité. Les résultats sont comparés à ceux qu'on obtient pour d'autres causes de décès, en raisonnant en termes d'espérance de vie pour comparer directement les différents risques sanitaires.

Les rapporteurs invitent à accueillir avec prudence les résultats des nombreuses études déjà menées sur le sujet, eu égard aux incertitudes qui demeurent quant à l'ampleur des effets de la pollution, à court comme à long terme, aux difficultés qu'on rencontre pour mesurer ces effets², et à la qualité des statistiques de mortalité.

(1) Les dommages aux bâtiments représentent, selon cette étude, 18 % du coût (soit beaucoup plus que les évaluations effectuées en complément dans le cadre du programme ExternE, jugées insuffisantes dans l'étude publiée par l'UIC), et les pertes agricoles seulement 1 %.

(2) Le rapporteur note par exemple qu'« alors que les comparaisons entre les régions de France montrent une corrélation très forte de la mortalité prématurée avec la consommation d'alcool et de tabac, on n'a pas mis en évidence un impact de l'ensemble des pollutions sur l'espérance de vie ou la fréquence des cancers, à l'échelle nationale ou régionale. Aucune corrélation n'apparaît, en France, entre l'évolution de

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

Pour les effets de court terme, qui touchent essentiellement des sujets déjà très fragilisés, le rapport s'arrête à une estimation de 500 décès par an¹, en faisant observer que ces effets ont fait l'objet de diverses évaluations. Comparé à d'autres effets sur la santé, un pareil résultat est relativement faible car ces décès à court terme sont considérés comme anticipés de seulement quelques semaines ou mois (en moyenne deux mois). L'impact correspondant se traduirait par environ 80 années de vie perdues (plus ou moins 40).

Pour les effets de long terme, le CADAS s'appuie sur la statistique des décès survenus en 1996, établie dans le rapport du Haut comité de la santé publique de 1998. Après avoir rappelé que les décès dus aux comportements (qui représentaient 44 % du total des décès pour les hommes), sont principalement causés par l'alcool et le tabac, le nombre de décès liés à la pollution étant de l'ordre de 1 %, il situe, en première approximation, le nombre annuel de morts anticipés dus à la pollution atmosphérique par le secteur des transports entre 500 et 2 500. Compte tenu de l'âge auquel survient le décès, les rapporteurs aboutissent aux ordres de grandeur suivants exprimés en nombre d'années de vie perdues : 500 000 pour les accidents de la circulation, 50 000 pour le tabagisme passif et, pour la pollution atmosphérique, avec une marge d'incertitude importante, entre 10 000 et 20 000 années perdues. Le CADAS insiste enfin sur les progrès considérables, et nullement négligeables, réalisés depuis vingt-cinq ans, les polluants réglementés ayant été réduits dans des rapports pouvant atteindre 50 (notamment pour l'ensemble CO et NO_x), et même pratiquement éradiqués en ce qui concerne les composés dangereux au plomb et au soufre.

Les résultats présentés dans ces différents documents sont très contrastés. On notera toutefois que, comme l'étude OMS, le rapport du CADAS et l'ensemble des études analysées ne mettent pas en doute la réalité d'effets sanitaires à long terme. Mais, surtout, ces résultats doivent être remis en perspective pour en apprécier la portée². À la fin des années 1970, on pensait qu'avec la réduction

l'espérance de vie et la pollution atmosphérique, puisque c'est en Île-de-France que l'espérance de vie est la plus longue alors que c'est la région la plus urbanisée et celle où la circulation est la plus importante. [...] Ces faits n'excluent pas un impact de la pollution sur la santé, mais suggèrent qu'il ne s'agit pas d'un déterminant majeur », p. 179.

(1) Le rapporteur se réfère aux travaux menés par Quenel (P.), Zmirou (D.), Le Tertre (A.), et al., « Impact de la pollution atmosphérique urbaine de type acido-particulaire sur la mortalité quotidienne à Lyon et dans l'agglomération parisienne », « Santé publique », 6, n° 4, 1995.

(2) Cf. « L'air et la ville », Dab (W.) et Roussel (I.), Hachette Littératures, 2001.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

des teneurs des principaux polluants, obtenue grâce aux premières politiques de prévention, la pollution atmosphérique n'avait plus d'impact sanitaire. Dans les années 1980, la question a été reprise en appliquant l'analyse des séries temporelles au nombre de décès survenant chaque jour dans une ville et en reliant ce nombre aux indicateurs de pollution. La plupart des études réalisées ont alors montré que, lorsque la pollution augmente, les indicateurs de santé (mortalité, morbidité) se dégradent. L'impact correspondant était mesuré sur le court terme (quelques jours) pour une exposition de courte durée (quelques heures à quelques jours). Plus récemment, des études lourdes, de cohorte, ont fait apparaître que le fait de vivre pendant des années dans une zone de pollution élevée modifierait les profils de mortalité dans la zone considérée. Cette observation a conduit à déplacer le champ des politiques de prévention, dès lors qu'il était établi que ce n'est plus tant les conséquences des pics ou des épisodes de brève durée (quelques jours) qui sont préoccupantes que l'exposition prolongée à des teneurs, même relativement faibles, de polluants. Mais les résultats disponibles, qui sont ceux qu'on a intégrés dans l'étude OMS, demeurent des estimations qui devront être confirmées, notamment dans le contexte français.

Dans un domaine où les connaissances sont évolutives, et donc aussi les controverses suscitées par les travaux de recherche, il importe en tout état de cause que le point soit régulièrement fait sur la nature des incertitudes qui demeurent ou apparaissent, de manière à ce que les décisions à prendre puissent être fondées sur le meilleur état de l'art et des connaissances. À cet égard, les expertises collectives ou conférences de consensus sont des instruments efficaces, notamment lorsque la dimension pluridisciplinaire du problème est forte.

2. L'évaluation des effets sanitaires

2.1. Le processus

Pour établir, en l'état actuel des connaissances, la meilleure valeur de référence pour les dommages sanitaires induits par les émissions polluantes de chaque type de transport, il convient de décomposer clairement les étapes de l'évaluation. Cela permet, à chaque étape, de préciser les informations disponibles, ou d'assurer la cohérence avec les valorisations retenues par ailleurs dans le rapport. On s'affranchit ainsi du fait que les trois études rappelées ci-dessus, qui sont des études à vocation globale, cumulent un grand nombre d'hypothèses qui, selon les cas, apparaissent plus ou moins pertinentes

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

dans l'absolu ou pour notre objet ; ou plus ou moins cohérentes avec les choix faits par ailleurs dans ce rapport.

Très schématiquement, l'évaluation à mener comprend deux étapes de nature distincte. La première relève de l'évaluation du risque. Elle consiste à apprécier l'impact des émissions polluantes des transports, en termes de morbidité et de mortalité, sur les différentes pathologies affectées. La seconde, de nature économique, consiste à monétariser ces effets. Cette deuxième étape pose les mêmes problèmes conceptuels que pour la sécurité routière, le point clef était d'estimer la valeur qu'il convient d'attribuer à une réduction du risque de décès ou à un allongement de l'espérance de vie. Bien évidemment, il faut tenir compte pour évaluer celle-ci de l'âge moyen et de l'état de santé au moment où intervient la surmortalité.

Les démarches à appliquer pour l'évaluation des risques ont été formalisées à l'aube des années 1980, aux États-Unis, à partir des travaux du Scientific Committee On Problems of the Environment. Ceux-ci visaient à « l'utilisation des faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses ». Son déroulement comporte quatre phases articulées : l'identification des dangers, la définition des relations dose-réponse (ces deux phases étant fréquemment intriquées), l'évaluation de l'exposition humaine, et la caractérisation des risques sanitaires.

2.2. Les relations dose-réponse

2.2.1. Les analyses épidémiologiques

On s'appuie spécialement ici sur des études épidémiologiques¹. Ces études, qui se déroulent dans les conditions réelles d'exposition de la population, constituent une approche privilégiée pour quantifier les risques sanitaires associés à la pollution atmosphérique : elles fournissent des fonctions « exposition-risque » qui reflètent la corrélation entre les données relatives aux niveaux de pollution et les indicateurs de santé de la population exposée. Mais l'interprétation des résultats nécessite de contrôler l'influence des facteurs

(1) Ces études ne fournissent pas directement d'informations sur les mécanismes biologiques et doivent donc être complétées par des études toxicologiques, nécessaires pour mieux établir les effets de certains polluants.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

susceptibles de fausser la signification de la relation (facteurs démographiques temporels, saisonniers, météorologiques, industriels, tabagisme, etc.). Des études sont menées de diverses manières pour s'efforcer d'y parvenir.

Indispensables pour apprécier les effets sanitaires de la pollution, les études épidémiologiques soulèvent encore des interrogations. Si les effets de court terme ont fait l'objet d'un très grand nombre d'études dans des contextes urbains et démographiques variés, les études concernant les effets de long terme nécessitent des protocoles lourds et sont encore rares. Associés aux études toxicologiques, ces travaux rendent néanmoins très plausibles les effets sur la santé d'une exposition prolongée à la pollution atmosphérique due aux transports. Mais ces effets demeurent l'objet de discussions sur divers points : le degré de précipitation des décès, la susceptibilité relative de populations particulières (sujets cardiaques, bronchitiques, enfants...) ou encore le rôle de cette exposition sur l'induction de maladies chroniques (cancer, asthme...).

Une récente revue ne recense pas moins de 57 études, menées dans 37 villes de 15 pays, sur les relations entre particules et mortalité cardio-pulmonaire, une relation significative étant trouvée dans 30 de ces études et 20 villes¹. Celle-ci rend plausible la validité et la causalité de cette relation. Elle souligne, en particulier, la constance de la relation, en dépit de la variation des sources d'émissions de particules au cours du temps et du niveau des émissions.

Face à un tel ensemble d'études, la méthode usuelle consiste à réaliser une synthèse des estimations (méta-analyse), la pondération accordée aux différentes études tenant compte de la précision des estimations. Toutefois, l'inclusion d'une étude dans la méta-analyse doit préalablement faire l'objet d'un examen de sa conformité à différents standards méthodologiques, de manière à ne pas agréger des résultats correspondants à des niveaux de preuves trop hétérogènes. Concrètement, ceci avait conduit les auteurs de l'article précité du *Lancet* à éliminer, par exemple, les études écologiques et à se concentrer sur les études de cohorte à long terme, en principe plus probantes.

L'inconvénient d'une telle approche tient au nombre limité de ces études, encore que les dites études, pour répondre aux critiques formulées initialement à leur encontre, aient fait l'objet d'un travail systématique de validation mené sous l'égide du Health Effects Institute. Celui-ci a confié en effet à une équipe

(1) Dab (W.) et al., « Air Pollution and Health : Correlation or Causality ? The Case of the Relationship between Exposure to Particles and Cardiopulmonary Mortality », « Journal of the Air », Waste Management Association, février 2001.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

de bio-statisticiens indépendants et expérimentés le soin de reproduire l'analyse des deux études « princeps » (*Six cities study* – Dockery et al., 1993 –, et l'étude de l'ACS – Pope et al., 1995 –). Après avoir cerné un certain nombre de facteurs importants à prendre en compte pour interpréter correctement l'étude ACS, les experts n'ont pas remis en cause substantiellement les résultats de ces travaux, et confirment avoir identifié des associations relativement robustes de la mortalité avec l'ensemble que constituent les particules fines, les sulfates et le dioxyde de soufre. De plus, en procédant à des analyses nouvelles que n'avaient pas faites les auteurs initiaux, cette équipe a montré que l'effet sanitaire serait hétérogène au sein de la population, les sujets de catégories sociales défavorisées manifestant des excès de risques plus élevés ; ce point est à mettre en relation avec l'hétérogénéité de l'exposition aux polluants, au sein d'un territoire urbain, selon les quartiers ou les types d'habitat. Ces travaux suscitent de nouvelles explications et ouvrent de nouvelles pistes de recherche.

Mais des travaux complémentaires restent nécessaires, ne serait-ce que pour préciser les mécanismes biologiques sous-jacents ou pour mieux établir le statut de l'indicateur PM₁₀ (s'agit-il d'un marqueur ou d'un facteur causal ?, par exemple).

2.2.2. *Incertitudes et débats*

Les incertitudes qui entourent encore le sujet ont suscité au sein du groupe de travail un long débat.

Pour les uns, si incertains qu'en soient les résultats, les travaux cités ci-dessus fournissent la meilleure relation dose-effet sur laquelle on puisse s'appuyer aujourd'hui ; celle-ci correspond (pour les adultes de plus de trente ans) à un effet sur le risque relatif de mortalité de 1,043 (1,026 – 1,061) pour un accroissement de 10 µg/m³ des particules PM₁₀. Ce genre d'effet est caractéristique des problèmes de santé et d'environnement, pour lesquels le risque relatif estimé, statistiquement significatif, est faible, mais s'applique à des populations très larges, – ici l'ensemble des populations urbaines –, et aboutit à des risques absolus non négligeables : la mortalité attribuable à la pollution due au transport est ainsi évaluée dans l'étude OMS à 17 600 décès par an, avec un intervalle de confiance – important, il est vrai – de plus ou moins 7 000.

Pour d'autres membres du groupe, de pareilles relations dose-effet conduisent à des valorisations si élevées des conséquences de la pollution qu'il faudrait être sûr de leur validité pour s'y rallier et renoncer à prendre en considération

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

d'autres estimations plus modérées, et ce même si le mode d'élaboration de celles-ci relève davantage d'un consensus entre scientifiques que d'une étude scientifique à proprement parler. Ils estiment discutable le parti pris dans l'étude OMS de transposer aujourd'hui en Europe des corrélations entre espérances de vie et pollution de l'air encore controversées, établies dans le contexte de villes industrielles des États-Unis et sur des données datant déjà de plus d'une dizaine d'années. Une expertise scientifique leur paraît nécessaire pour répondre aux objections et aux interrogations méthodologiques soulevées par cette étude. Ils font observer que le CADAS avait conclu à des nombres de décès anticipés beaucoup plus faibles.

Ce à quoi les premiers opposent que l'étude OMS est une étude parmi d'autres, qui ne sert ici que de référence pour proposer un chiffrage. En effet, les critères d'inclusion des études dose-effet dans ce travail visaient à ne retenir que les études fournissant a priori les meilleurs niveaux de preuve. Cela a conduit leurs auteurs à ne considérer que les deux études de Pope et de Dockery ; et à ignorer tous les autres résultats de la littérature, lesquels confirment qualitativement l'effet néfaste de la pollution atmosphérique mais – il est vrai – avec des estimations du risque qui peuvent se révéler plus modérées.

De ce débat, il résulte en tout cas que si le groupe de travail en venait à se référer aux résultats de l'étude OMS, la prudence exigerait, en attendant confirmation, de ne faire qu'une partie du chemin entre les valorisations actuelles et celles qui découleraient de l'utilisation de ces résultats.

2.3. Les principes de calcul retenus

Si l'ordre de grandeur de la relation de cause à effet entre la pollution atmosphérique et la santé, comme celui du poids des transports dans ces effets, ont fait l'objet de controverses, un consensus a pu être obtenu, en revanche, sur les principes d'élaboration des valeurs unitaires à en déduire pour les évaluations.

2.3.1. Tenir compte des progrès technologiques acquis et à venir

La réduction des émissions depuis 20 ou 30 ans se fait sentir en effet dès à présent, et les valeurs retenues dans les études réalisées à une époque où la pollution de l'air était plus importante doivent donc être corrigées. Pour la

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

France, l'étude réalisée par la CITEPA¹ pour l'évaluation environnementale des schémas de service fait apparaître de 1990 à 2000 une réduction totale des émissions de NO_x de 23 % en ville et de 35 % en rase campagne, de moitié pour le CO et une stabilité des émissions de particules. En 2000, les morts prématurées attribuables par unité de trafic, déduits des valeurs 1995 en fonction des réductions d'émissions unitaires, apparaissent ainsi en diminution de 42 % pour les véhicules légers et de 14 % pour les poids lourds.

L'analyse doit également prendre en compte les évolutions futures. Sur ce point, comme le met très bien en évidence le rapport « AutoOil 2 » de la Commission européenne, on assiste, et le phénomène va se renforcer, à une très forte réduction des émissions du transport routier : selon la Commission, les émissions autres que le CO₂ (pris en compte par ailleurs) devraient tomber en 2020, en dépit de la hausse prévue de la demande de transports, à moins de 20 % de leur niveau de 1995². De son côté, en intégrant les réglementations Euro 3, 4 et 5, le SES³ estime que le niveau des émissions d'oxydes d'azote et de particules observé en 1990 (tous véhicules routiers confondus) pourrait être divisé par cinq d'ici 2020 pour les oxydes d'azote, et par plus de six pour les particules – la réduction étant beaucoup plus forte en ville qu'en rase campagne⁴.

On peut donc anticiper une réduction progressive des émissions unitaires, résultant de la conjugaison des progrès techniques sur les carburants et les moteurs, du durcissement des normes européennes et nationales relatives aux émissions des véhicules neufs, du renforcement des réglementations en matière de contrôle technique et du rythme de renouvellement du parc de véhicules. Cette dynamique d'ensemble recouvre toutefois des évolutions sensiblement différentes selon qu'il s'agit de la réduction des émissions des poids lourds ou de celle des véhicules légers. On propose donc, sur la base des simulations proposées par le SES de retenir pour la période 2000-2020 un rythme annuel de

(1) Voir dans l'annexe « Pollution atmosphérique » un tableau présentant les évolutions en France des émissions des NO_x et des particules pour la période 1990-2020.

(2) Voir dans l'annexe « Pollution atmosphérique » un graphique synthétique des évolutions des émissions du transport routier en Europe de 1990 en 2020.

(3) Service des études et statistiques, Direction des affaires économiques et internationales, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement.

(4) Encore ce calcul ne tient-il pas compte des perspectives ouvertes par la généralisation de nouveaux filtres à particules, beaucoup plus efficaces que les précédents. On rappellera cependant que l'on ne peut pas, en l'état actuel des connaissances, établir une simple proportionnalité entre la réduction de la masse des particules émises et leurs effets sanitaires.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

réduction des émissions de 6,5 % pour les poids lourds, et de 9,4 % pour l'ensemble des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers ¹.

2.3.2. *Tenir compte de l'écart entre la ville et la rase campagne*

Les études aujourd'hui disponibles conduisent par ailleurs à mettre en évidence la très forte différenciation de l'impact de la pollution entre zones urbanisées et rase campagne. Le fait est que la plupart des experts auditionnés considèrent comme négligeable l'impact sanitaire de la pollution de l'air provoqué par les transports en zone rurale. D'une part, le nombre de personnes exposées en zone urbaine est beaucoup plus important du fait d'une densité supérieure à celle des zones de rase campagne. D'autre part, même si les mécanismes de diffusion des polluants restent encore mal connus, il apparaît peu contestable que la concentration des polluants décroît, en moyenne, avec la distance du lieu d'émission, et donc leur nocivité. Alors que le rapport de 1994 retenait un écart de l'ordre de 1 à 2 entre rase campagne et ville pour les valeurs retenues par passager-kilomètre et de 3 à 4 pour les valeurs exprimées en véhicules-kilomètres ou en tonnes-kilomètres utiles, il ressort des différentes études examinées que l'écart réel est beaucoup plus important. Le groupe propose donc de distinguer l'urbain dense, l'urbain diffus, et la rase campagne, et de renforcer la différence à retenir à ce titre entre les valeurs en milieux urbain et rural, en révisant le calcul des premières et en diminuant fortement les secondes.

Les coefficients de passage entre urbain dense, diffus et rural seront fondés en première approximation sur la densité de population ². Dans les calculs qui suivent, on a retenu comme seuil les aires urbaines de plus de 700 000 habitants pour distinguer les zones urbaines denses des zones urbaines diffuses (soit une densité moyenne de 489 habitants/km² pour les premières et de 228 habitants/km² pour les secondes). Quant à la rase campagne, les valeurs unitaires proposées dans la suite de ce chapitre reposent sur une densité

(1) *L'évaluation environnementale des schémas de service, établie en accord avec le ministère de l'Environnement, prévoit une division des émissions totales de particules et d'oxyde de carbone par un facteur supérieur à 5 pour la période de 1995 à 2020 soit, au véhicule-kilomètre, une réduction par un facteur 8.*

(2) *Les valeurs unitaires proposées à la fin de ce chapitre sont extrêmement sensibles aux définitions de l'aire urbaine retenue. Ces définitions interviennent à deux moments du raisonnement : d'une part, lors du calcul du rapport de densité entre l'urbain et le rural, d'autre part, lors de la répartition du trafic entre espace urbain et espace rural. (voir les statistiques proposées dans les comptes des transports de 1999, juin 2000, p. 222-225).*

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

moyenne de 37 habitants/km², en réduisant le résultat d'un facteur de 2,5 pour tenir compte de l'existence d'un effet de dispersion.

Il paraît nécessaire en outre de différencier aussi le traitement de zones particulières où la population et l'atmosphère sont très resserrées par la géographie et le climat, comme cela peut être le cas pour les vallées alpines. Dans ces zones, où l'impact n'est pas du tout le même qu'en rase campagne, on calculera des valeurs spécifiques basées sur les prévisions de pollution de l'air à attendre de l'évolution du trafic routier.

Il conviendra, d'une part, de s'inspirer de la différenciation entre urbain dense, urbain diffus et rase campagne pour rendre compte du degré de confinement et de proximité des populations, d'autre part, d'appliquer à la valorisation correspondante de la pollution un coefficient correcteur tenant compte de la pente.

L'Ademe a établi le tableau suivant :

Coefficients de correction	Interurbain ou vallées de montagne (plat)	Interurbain ou vallées de montagne, accidenté (pente assez faible 2 à 4 %)	Interurbain ou vallées de montagne, très accidenté (pente assez forte 4 à 6 %)
Véhicules légers	1,1	1,1	1,1
Poids lourds	0,95	1,5	2,1

Source : Ademe, 2001

Ce tableau conduira en pratique à majorer de 10 % les valeurs afférentes aux véhicules légers et, pour les poids lourds, à faire une majoration de 50 % à 100 % suivant l'importance de la pente.

2.3.3. Tenir compte de l'évaluation de la vie humaine à 1,5 M€

La valeur absolue à retenir pour les effets sanitaires doit être mise en cohérence avec la valeur de la vie humaine proposée au chapitre précédent ¹.

(1) La valeur de la vie humaine à prendre en compte est la valeur totale (1,5 million d'euros) et non la valeur retenue pour les projets routiers (1 million d'euros) puisque, pour la pollution, l'utilisateur n'a pas de moyen de se prémunir ou de s'assurer, même incomplètement, contre une partie du risque.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

Sans doute serait-il préférable de valoriser directement le nombre d'années de vies perdues lors d'un décès plutôt que de valoriser le décès lui-même sur la base de la valeur de la vie humaine retenue pour les accidents de la route, puis de corriger le résultat pour tenir compte de l'âge plus élevé des victimes : une personne décédant du fait d'un accident de la route voit son espérance de vie amputée de quarante ans, en moyenne, alors qu'une personne décédant du fait d'une exposition prolongée à la pollution – effet de long terme – pourrait perdre de l'ordre de 10 ans. Toutefois, une telle démarche supposerait que l'on puisse utiliser pour l'année de vie perdue à chaque âge une valeur monétaire de référence, au moins par grandes tranches d'âge, ce dont on ne dispose pas. En l'attente d'études spécifiques et sur la base des quelques données disponibles, le groupe propose d'utiliser pour l'évaluation des décès dus à la pollution une valeur correspondant à 35 % de la valeur moyenne de la vie humaine, telle que retenue pour les accidents du secteur des transports, soit un total de 525 millions d'euros toutes sources de pollution confondues.

Ce coefficient de 35 % recouvre deux effets. Tout d'abord l'écart de l'impact sur l'espérance de vie (réduction de 10 ans au lieu de 40 ans en moyenne) justifie un facteur correctif qui peut être évalué à 0,56 si on applique un taux d'actualisation réel à 8 %. D'autre part, relativement aux âges moyens, on a appliqué un coefficient de 0.6 à la valeur des années de vie aux âges élevés.

Par ailleurs, cette valeur ne sera utilisée que pour la part sanitaire (réduction d'espérance de vie) des coûts de la pollution. On retiendra pour fixer cette part le chiffre proposé par l'étude OMS, soit 70 %.

2.4. Calcul des valeurs résultantes

Le calcul part du nombre de décès imputables à la pollution due aux transports.

Ces décès sont monétarisés sur la base de la valeur de la vie humaine retenue. Par ailleurs, ces chiffres ne prenant en compte que la mortalité, il convient d'y ajouter de manière forfaitaire les coûts de la morbidité. En ordre de grandeur, et en s'inspirant des résultats de l'étude OMS, on peut évaluer ces derniers à 30 % de la valorisation de la mortalité.

Les coûts ainsi obtenus sont ensuite répartis par catégories de véhicule au prorata des parts modales, et en pondérant celles-ci par les consommations

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

unitaires de carburant des différents véhicules ou, lorsque cela est possible, par les niveaux d'émissions ¹.

Il convient, cela fait, de différencier les coûts pour chaque catégorie, selon que le déplacement a lieu en urbain dense, diffus ou en rase campagne.

Enfin, pour passer à l'année 2000, on appliquera à ces valeurs, d'une part une décote pour tenir compte du progrès technique (diminution des émissions de 4,5 % par an), ce qui revient à diminuer d'environ 20 % les valeurs de 1996, d'autre part une majoration de la partie des coûts (les coûts hors décès) qui sont réputés croître comme la dépense de consommation des ménages par tête.

3. Conclusions et recommandations

3.1. Les valeurs de référence

On l'a dit plus haut, le groupe s'est trouvé confronté aux résultats contrastés présentés dans les différentes études disponibles.

À défaut d'une position commune des membres du groupe, il n'y aurait pas grand sens à proposer une valeur moyenne.

Considérant qu'aucun élément ne permet d'infirmer l'existence d'un risque, et qu'il serait inacceptable et, au demeurant, contraire à l'avis de l'ensemble des membres du groupe de ne pas retenir de valeurs monétaires pour les effets de la pollution, ce qui conduirait à négliger ces effets, ou à leur donner des poids très différents suivant les projets,

et pour permettre au groupe de poursuivre ses travaux,

le président prend le parti de se référer à l'étude OMS, basée sur des études épidémiologiques qui, couplées avec des études toxicologiques, s'inscrivent dans la voie à suivre pour améliorer la connaissance du problème. Mais il

(1) Ces niveaux d'émissions étant très proches pour les voitures particulières et les véhicules légers, on considérera indistinctement par la suite l'ensemble constitué par ces catégories de véhicules. Sur la base du rapport des émissions, le coefficient d'équivalence par véhicule entre cet ensemble et les poids lourds sera fixé à 7 (base 95).

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

propose de retenir la borne inférieure de l'intervalle de confiance ressortant de cette étude afin de tempérer, en l'état des incertitudes, l'importante hausse à en attendre pour les valorisations, par rapport à celles en vigueur. Les résultats qui suivent sont donc établis sur la base forfaitaire de 10 600 cas annuels de décès prématurés attribuables en France à la pollution des transports. Mais cette proposition s'accompagne de la recommandation de faire des tests de sensibilité en se référant, soit à la moyenne OMS (17 600 morts), ce qui implique une majoration de 65 % des valorisations ci-après, soit à l'estimation inspirée du CADAS (3 000 morts), d'où une diminution de 72 %.

3.1.1. Valeurs pour le mode routier

En se plaçant à la borne inférieure de l'intervalle de confiance de l'étude OMS, le calcul conduit au tableau suivant ¹ (après arrondissement) :

Valeurs 2000 en véh.km (Euro/100 véh.km) ²

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

(1) En toute rigueur, pour mener l'évaluation d'un projet, il serait préférable de considérer l'impact de l'investissement envisagé sur le niveau de PM_{10} (pris comme indicateur d'une pollution plus complexe) auquel les populations seraient exposées. La valeur monétaire de référence pour le coût de la pollution ne devrait pas alors être ramenée au véhicule-kilomètre, comme il est proposé dans ce chapitre par souci de simplification, mais aux variations des niveaux de concentration des polluants selon une formule qui ne serait sans doute pas linéaire. C'est à défaut de pouvoir encore proposer une telle formule pour les effets directs et les effets cumulés de la pollution qu'on en est resté aux normes par véhicule-km, en différenciant seulement les aires urbaines denses, diffuses et la rase campagne.

(2) L'urbain diffus couvre ce qui est intermédiaire entre l'urbain dense et la rase campagne. Il est rappelé qu'à défaut de statistiques permettant de classer les diverses zones des agglomérations par densité de population, les valeurs de ce tableau sont établies en considérant comme « aire urbaine dense » les aires de plus de 700 000 habitants. Mais le centre d'une ville de 300 000 habitants constitue aussi une zone dense. Il conviendra donc, dans toute la mesure du possible, d'appliquer les valeurs du tableau ci-dessus en fonction de la densité de population des diverses aires d'une agglomération et non en ne retenant que la population totale de l'aire urbaine considérée. On admettra, à titre d'ordre de grandeur, que l'urbain dense s'entend au-delà d'une densité de 420 habitants/km², et la rase campagne en deçà d'une densité de 37 habitants/km².

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

Les tests de sensibilité recommandés consistent à faire des tests à plus ou moins 70 %¹.

Par rapport aux chiffres retenus en 1994, l'élément le plus marquant est la différenciation importante introduite entre rural et urbain, la valeur de la pollution étant réduite dans le premier cas, réévaluée dans le second. Cela étant, c'est essentiellement pour les choix de projets ou d'organisation des transports en milieu urbain, PDU par exemple, que la pollution se trouvera principalement prise en compte, ce qui apparaît pleinement justifié. À cet égard, les valeurs proposées sont de nature à permettre au calcul économique de jouer plus complètement son rôle, qui est d'éclairer ou d'orienter les choix.

3.1.2. Valeurs pour les bus, cars et autres modes de transport

On n'a pas étudié à nouveau l'impact des polluants émis par les bus et les cars ainsi que par les modes de transport terrestre autres que le mode routier, qui reste prépondérant pour ces phénomènes de pollution. Le groupe propose de déterminer les valeurs unitaires à appliquer en se référant aux valeurs retenues pour les voitures particulières et les poids lourds.

Pour les bus et les cars, en attendant le développement de travaux plus précis, des valeurs unitaires peuvent être calculées sur la seule base du rapport des consommations unitaires, assimilé à celui des émissions. En 1999, la consommation unitaire des bus et des cars était estimée à 33,26 l/100 km, alors qu'elle était de 37,69 l/100 km pour les poids lourds. En appliquant ce rapport de 0,88, on obtient 25 euros/100 km en urbain dense, 8,7 euros/100 km en urbain diffus et 0,6 euro/100 km en rase campagne. Pour les projets spécifiques aux transports en commun (renouvellement de flotte de bus, tramways, etc.) il conviendra de se référer aux performances réelles des flottes concernées.

Valeurs 2000 en véh.km (Euro/100 véh.km)

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

(1) Pour se situer exactement à la moyenne de l'étude OMS, il faudrait majorer de 65 % les valeurs de ce tableau, et les diminuer de 72 % pour se situer à la valeur moyenne dérivée du rapport du CADAS ; on a arrondi à plus ou moins 70 %.

Pour le transport ferroviaire, le précédent rapport de 1994 avait proposé des valeurs très faibles pour la traction électrique (0,12 centime par voyageur-kilomètre et 0,09 centime par tonne-kilomètre), mais une valeur huit fois plus importante pour la traction diesel, et une valeur plus importante encore, en urbain, pour le transport diesel de voyageurs (1,1 centime/voyageur-kilomètre). Le groupe propose de ne prendre en considération dorénavant que les trafics diesel. Étant très ancien, et seules certaines locomotives de manœuvre ayant été remotorisées avec des moteurs de camions récents, le parc des locomotives diesel de la SNCF n'a pas profité des gains technologiques observés pour les émissions dans le mode routier au cours de la récente période. Il existe ainsi des gains potentiels importants et les chiffres proposés devront donc être revus en fonction des décisions qui seront prises pour le renouvellement du parc ou l'électrification du réseau ¹.

Si la traction diesel pour les voyageurs urbains en Île-de-France a pratiquement disparu, elle demeure encore pour les transports régionaux. Les consommations unitaires sont en moyenne de 1,6 litre/tr.km pour les trains régionaux et de 4,9 litres/tr.km pour les grandes lignes. En attendant des travaux plus précis sur les émissions du parc, et par souci de simplification, on retiendra pour l'ensemble de ces trafics la valeur moyenne de 2,2 litres/tr.km, ce qui correspond à une consommation unitaire 5,8 fois supérieure à celle d'un poids lourd. Ce coefficient de passage conduit à retenir, respectivement pour l'urbain dense et diffus et la rase campagne, 164 euros/100 tr.km, 57 euros/100 tr.km et 4 euros/100 tr.km.

Pour les trains de fret diesel, il est proposé d'appliquer le même type de raisonnement que précédemment. La consommation unitaire moyenne de ce type de train étant de 6,1 litres/tr.km, on obtient un coefficient de passage de 16,2 qui conduit, pour l'urbain dense, pour l'urbain diffus et pour la rase campagne, à 457 euros/100 tr.km, 160 euros/100 tr.km et 11 euros/100 tr.km, respectivement.

(1) Il est à noter qu'en déduisant les valeurs à appliquer aux trafics diesel ferroviaires du rapport de consommation unitaire entre les poids lourds et les locomotives, on suppose implicitement qu'à consommation égale ces catégories de véhicule ont en moyenne le même niveau d'émission de polluants. C'est là sans doute une approximation discutable eu égard à l'écart entre les âges moyens de ces parcs. Les valeurs déduites ici pour les locomotives diesel sont donc des valeurs minorantes qu'il conviendra de revoir, le moment venu, sur la base des émissions réelles du parc.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

Pour le transport maritime enfin, on dispose de très peu d'éléments d'information sur les émissions. Outre la faiblesse relative des impacts, il est vrai que l'essentiel des émissions se produit loin des populations et de toute activité humaine. Les seuls taux d'émission explicites qui ont pu être trouvés dans la littérature sont ceux fournis par la Commission européenne (voir sur ce point la communication COM 1999 (317)). Pour le transport de marchandises, par exemple, on constate que les taux d'émission à la tonne-kilomètre sont environ dix fois moindres que pour le mode routier. Compte tenu de cette observation, et les projets de cabotage maritime national étant évalués comme une alternative au transport routier, la réduction du coût lié à la pollution atmosphérique grâce au cabotage correspondrait donc quasiment¹ au coût engendré par la pollution atmosphérique du mode routier. Il paraît donc préférable, pour l'instant, de considérer le solde – bien que non nul – comme négligeable. Il n'en serait pas moins opportun de développer dans ce secteur, comme pour tous les autres effets externes, des études spécifiques, notamment sur les émissions maritimes de NO_x et de SO_x. Une attention particulière pourra être portée au cas de la mise en place de transports en commun urbain sur voie d'eau (bateau-bus).

Valeurs 2000 en train-km (Euro/100 train.km)²

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

3.2. Évolution des paramètres

Pour l'avenir, l'augmentation des circulations et l'inquiétude croissante de la population à l'égard des phénomènes de pollution ne doivent pas faire oublier les progrès importants à attendre des techniques utilisées dans le secteur des

(1) Hors trajets terminaux terrestres, qui seront de toute façon à prendre en compte avec les taux du mode terrestre utilisé.

(2) Les valeurs unitaires en train-kilomètres proposées dans ce tableau ne doivent pas masquer, le fait que d'une part le poids des trains-kilomètres diesel dans l'ensemble du trafic ferroviaire en 1999 est très faible, aussi bien pour le fret (12 % des trains-kilomètres, ou 11 % en tonnes-kilomètres) que pour les voyageurs (20 % des trains-kilomètres, ou 7 % en voyageurs-kilomètres), et d'autre part que la part des émissions des NO_x dues au trafic ferroviaire ne représente en 1999 guère plus que 1 % des émissions du secteur des transports (voir les annexes des comptes des transports de 1999).

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

transports et, d'autre part, le fait que la lutte contre la pollution menée par les pouvoirs publics commence à porter ses fruits : certains coûts, internalisés sous forme de coût d'évitement (pots catalytiques), représentent un signal-prix que les marchés ont intégré. Des études complémentaires devraient être menées pour anticiper ces évolutions.

En attendant de disposer d'éléments plus précis, le groupe propose de faire évoluer les valeurs des tableaux ci-dessus selon deux critères. Le premier est relatif au progrès technique : admettant que le coût de la pollution évolue comme la concentration des polluants, ces valeurs devraient être réduites de 9,8 % par an sur la période 2000-2020 pour les véhicules légers (soit une division par 8 des émissions)¹ et de 6,5 % pour les poids lourds. Le second est relatif à l'évolution de la valeur du mort actée dans le précédent chapitre : cette valeur doit augmenter comme la dépense de consommation des ménages par tête. À titre indicatif, la réduction résultante pourrait être de 8 % par an, au lieu de 9,8 pour les véhicules légers.

Cela étant, la revalorisation proposée pour l'évaluation de la pollution urbaine va se trouver rapidement atténuée avec le temps. Il conviendra donc de s'assurer que les progrès anticipés se réalisent effectivement. À cet égard, la date de réalisation d'un projet devient un élément déterminant d'appréciation.

L'ensemble des valeurs proposées ici le sont à titre conservatoire. Les doutes sur l'ampleur et la nature des effets à long terme de la pollution, en nombre de décès et en perte d'espérance de vie, doivent être tranchés pour déterminer une valorisation monétaire mieux fondée de ces effets. Les valeurs ici proposées devront donc être reconsidérées dès que de nouveaux travaux auront permis de se faire une idée plus consensuelle du sujet.

Par ailleurs le groupe rappelle que des actions efficaces et rentables peuvent d'ores et déjà être entreprises et devraient être développées pour limiter davantage les émissions : généralisation des filtres à particules, action sur le renouvellement du parc (par le contrôle technique des véhicules notamment), développement des véhicules utilisant d'autres carburants que les produits pétroliers, action sur les comportements des automobilistes, etc.

(1) On se reportera à l'annexe « Pollution atmosphérique » pour consulter l'ensemble des éléments prévisionnels concernant l'évolution des émissions de polluants de source automobile.

- Prise en compte de la pollution atmosphérique liée aux transports -

3.3. Considérant l'insuffisance des données sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, le groupe propose d'engager des études dans trois directions

3.3.1. La mesure physique de la pollution atmosphérique

Les analyses d'impact de la pollution atmosphérique exigent des bases de données importantes. Le groupe recommande donc, comme le suggère l'étude OMS, de renforcer la surveillance des émissions de particules, notamment les plus fines, en faisant en sorte que les moyens mis en œuvre pour cette surveillance soient compatibles avec la nouvelle méthode de référence européenne et notamment avec les dernières données toxicologiques. Cela suppose la poursuite du processus de standardisation de la production et du recueil des données, ainsi que de la démarche visant à améliorer la qualité de ces données ; le maintien des stations « historiques » de mesure de la pollution de fond et l'implantation de nouvelles stations urbaines et suburbaines de fond ; le renforcement des moyens d'expertise statistique et de modélisation pour exploiter et analyser les données recueillies, en vue de construire des indicateurs d'exposition utilisés en épidémiologie ; l'utilisation de systèmes d'information géographiques intégrant les données de pollution, les techniques de modélisation statistique, la cartographie et les données sur la population.

3.3.2. L'appréciation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique

La plupart des études épidémiologiques menées jusqu'à présent ont montré l'existence d'effets à court terme de la pollution atmosphérique sur la santé. Il reste à améliorer le recueil et la qualité des indicateurs de mortalité et morbidité recueillis, et ce de manière coordonnée au niveau européen. Quant aux analyses d'effets de long terme, elles sont peu nombreuses et des recherches importantes devraient être entreprises, notamment en ce qui concerne l'impact de la pollution sur les bronchites ou l'asthme, ainsi que sur la mortalité à long terme. Enfin, l'évaluation de l'impact sanitaire de l'exposition aux particules (PM₁₀) devrait être élargie à des particules de tailles plus faibles et de différentes compositions, ainsi qu'à d'autres indicateurs de pollution, notamment les indicateurs de pollution photo-oxydante (NO₂ et O₃). Les études devraient porter non seulement sur la recherche des corrélations mais aussi sur celle des causalités.

3.3.3. *Le coût des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique*

Par ailleurs, en ce qui concerne plus particulièrement l'évaluation monétaire des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique, le groupe recommande d'entreprendre trois types de travaux. Le premier pour établir une valeur d'évitement des décès occasionnés par les effets accumulés de la pollution atmosphérique. Le second pour déterminer des valeurs représentant la perte de bien-être associée à un état de santé momentanément ou définitivement dégradé. Le troisième, enfin, pour mieux apprécier l'absentéisme professionnel lié à la pollution atmosphérique. Il apparaît également nécessaire d'entreprendre les études nécessaires pour différencier les coûts selon les polluants, sachant par exemple que les évolutions des émissions des principaux polluants seront contrastées dans le futur : il semble que dans un proche avenir les émissions de particules pourront être pratiquement éliminées par des filtres, alors que les réductions d'émissions des NO_x seront sans doute moins affirmées¹.

(1) Voir dans l'annexe « Pollution atmosphérique » les projections par polluants proposées par le ministère de l'Équipement jusqu'en 2020.

Chapitre VIII

RÉCAPITULATIF DES PRINCIPALES RECOMMANDATIONS

- Récapitulatif des principales recommandations -

Valorisation des effets externes dans les évaluations socio-économiques
(valeurs de la tonne de carbone, du bruit, de la vie humaine, de la pollution atmosphérique)

	2000-2005	2000-2010	2010-2020	après 2020	Remarques				
Valeur de la tonne de carbone									
Prix du pétrole HT (\$/baril)	-	24 € + 1,4 %/an		+ 2 %/an	Test de sensibilité pour un taux de croissance de 5 %/an après 2020				
Prix de la tonne de carbone (€/tC)	100 €/tC	100 €/tC	+ 3 %/an	+ 3 %/an	Révision périodique de ces valeurs				
Valeur du bruit									
Valorisation du bruit	Le coût unitaire du bruit est défini par la dépréciation des prix moyens de location par m ² de surface occupée et exposée à des niveaux de bruit dépassant un seuil. Loyer mensuel au m ² du secteur locatif publié par l'INSEE à l'échelle nationale								
Calcul de base	36 F m ² (1996)	Évolution du prix indexé sur le taux de croissance du PIB			55-60 0,4 %	60-65 0,8 %	65-70 0,9 %	70-75 1 %	+ de 75 1,1 %
Effet nuit	+ 5 dB(A)				Cela ne s'applique pas au transport aérien, l'effet nuit étant déjà intégré dans le calcul de l'indice propre au transport aérien.				
Effet sur la santé	+ 30 % au dessus de 70 dB(A) jour et de 65 dB(A) nuit				À titre conservatoire, en attendant le résultat d'études ultérieures.				
Espace non habité (bâtiments publics et zones d'activités)					On utilisera les mêmes valeurs que celles utilisées pour les habitations en appliquant un coefficient supérieur à 1 pour les établissements publics réputés sensibles et un coefficient inférieur à 1 dans les autres cas. Ces coefficients, fixés a priori, restent à préciser.				
Zones non bâties destinées à le devenir					Les dommages causés par le bruit seront négligés, sauf pour les zones destinées à l'habitation dans un avenir prévisible.				
Zones de détente					Pas de monétarisation de l'évaluation, qui restera qualitative.				
Tracé insuffisamment défini					L'évaluation concerne l'ensemble du réseau dans lequel un nouveau projet est envisagé (identification des différentes zones, utilisation de modèle simplifié de propagation du bruit). L'évaluation quantitative est accompagnée de commentaires spécifiques.				
Valeur de la vie humaine									
Tué									
Transports routiers	66 % (1,5 M€)	Ces valeurs devront croître au même rythme que les consommations des ménages par tête			Il est admis que la valeur unique de la vie humaine à retenir dans les calculs puissent être modulés entre les transports individuels et les transports collectifs sur la base de plusieurs arguments (relation au risque ; contexte, particularité des accidents collectifs, etc.).				
Transports collectifs	100 % (1,5 M€)								
Blessé grave									
Transports routiers	150 m€								
Transports collectifs	225 m€								
Blessé léger									
Transports routiers	22 m€								
Transports collectifs	33 m€								
Valeur de la pollution atmosphérique (euro par unités de trafic) €/100.veh.km ; €/100.train.km									
Valeur urbain dense									
VP	2,9	- Réduction de 6,5 % par an pour les PL et 9,4 % par an pour les VP et VUL			- Correction envisageable pour les zones présentant des caractéristiques très particulières (vallées de montagne, par exemple) ;				
PL	28,2								
Train diesel (fret)	458								
Train diesel (voy.)	164								
Bus	24,9								
Valeur urbain diffus									
VP	1	- Augmentation annuelle sur la base de l'évolution des dépenses de consommation des ménages			- Tests de sensibilité à plus ou moins 70 % ; - Révision de ces valeurs en fonction des travaux menés sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique et des progrès constatés dans le secteur des transports en matière d'émission de polluants.				
PL	9,9								
Train diesel (fret)	160								
Train diesel (voy.)	57								
Bus	8,7								
Valeur rase campagne									
VP	0,1								
PL	0,6								
Train diesel (fret)	11								
Train diesel (voy.)	4								
Bus	0,6								

- Récapitulatif des principales recommandations -

Valorisation des effets externes dans les évaluations socio-économiques
(les valeurs du temps)

Valeur du temps voyageur urbain et interurbain			
	2000	Règle d'évolution	Remarques
Valeur du temps voyageurs	Voir tableau ci-dessous	Evolution de la valeur du temps en fonction de la consommation des ménages par tête avec une élasticité de 0,7.	<p>En interurbain : on retient les principes suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - prise en compte des différentiels de qualité offerts par les infrastructures routières et des effets de fréquences des services ferroviaires, - pour les parcours terminaux d'un trafic intermodal, la valeur du temps à retenir est celle du mode principal, - utilisation des modèles multimodaux pour évaluer les gains des trafics transférés, sous le contrôle d'une commission, - indication dans le bilan de l'évaluation de la part monétaire des avantages liés aux gains de temps et de celle des autres avantages. <p>En urbain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - prise en compte des éléments de confort pour le transport collectif : à titre conservatoire, on retient un coefficient de 1,5 appliqué à la durée du déplacement en situation d'inconfort dans les transports collectifs, et un coefficient de 2 pour les temps d'attente et de marche à pied que nécessitent l'accès aux stations et les correspondances.

Valeur du temps en urbain par voyageur (euros 1998/h)				
Mode de déplacement	% du coût salarial	% du salaire brut	France entière 1998	Île-de-France 1998
Déplacement professionnel	61 %	85 %	10,5 €	13 €
Déplacement domicile-travail	55 %	77 %	9,5 €	11,6 €
Déplacements autres (achat, loisir, tourisme, etc.)	30 %	42 %	5,2 €	6,4 €
Lorsqu'on ne dispose pas du détail des trafics par motifs, prendre une valeur moyenne pour tous les déplacements	42 %	59 %	7,2 €	8,8 €

Valeur du temps en interurbain par voyageur (euros 1998/h)				
Mode	pour des distances inférieures à		Pour les distances d comprises entre 50 km ou 150 km et 400 km	Stabilisation pour les distances supérieures à 400 km
	50 km	150 km		
Route	8,4 €	-	50 km < d VDT=(d/10+50).1/6,56	13,7 €
Fer 2° Cl.	-	10,7 €	150 km < d VDT=1/7(3d/10+445) .1/6,56	12,3 €
Fer 1° Cl.	-	27,4 €	150 km < d VDT=1/7(9d/10+1125) .1/6,56	32,3 €
Aérien	-	-	45,7 €	45,7 €

Valeur du temps marchandises			
Valeur du temps marchandises	2000	Règle d'évolution	La valeur du temps marchandises ne dépend pas du mode de transport, mais de la nature de ce qui est transporté.
Marchandises à haute valeur	0,45 €/t/h	Évolution des valeurs à raison des 2/3 de l'évolution du PIB	Route, transport combiné, conteneurs maritimes, messagerie, transports frigorifiques, route roulante, trafic roulier, etc.
Marchandises courantes	0,15 €/t/h		Autres trafics ferroviaires, maritimes et fluviaux.
Marchandises à faible valeur	0,01 €/t/h		Vrac, granulats, etc.
Réduction de coût pour les exploitants route	31 €(1998)	Stable dans le temps en francs constants	

Chapitre IX

LES ÉTUDES QUE LE GROUPE DE TRAVAIL RECOMMANDE D'ENTREPRENDRE

Le groupe a fréquemment conclu que l'état des données existantes sur les différents effets externes du transport, particulièrement en milieu urbain, ne suffisait pas pour établir solidement un barème de valeurs à retenir dans les évaluations socio-économiques. Chaque fois que cela a été possible, le groupe a proposé des valeurs *a priori*. Mais, ces valeurs ont été prises à titre conservatoire et il importe que les pouvoirs publics engagent dans des délais assez brefs un ensemble de travaux pour conforter ou, le cas échéant, modifier ces premiers compromis.

- Sur le prix du pétrole et le prix de la tonne de carbone

Les études existantes sur le prix du carbone doivent être approfondies, notamment celles portant sur les dynamiques d'évolution de ce prix. Le groupe rappelle que la valeur retenue dans ce rapport devra être régulièrement réactualisée pour tenir compte des décisions concernant l'effet de serre qui pourront être prises par les États, notamment au titre de la flexibilité.

- Sur la valeur du temps

De nombreuses interrogations demeurent, notamment pour les études de trafic. Le groupe souhaite que les pouvoirs publics se donnent les moyens nécessaires pour auditer les études de trafic et réfléchissent aux informations statistiques qu'il serait souhaitable de promouvoir pour améliorer ces études. Le groupe recommande qu'un groupe de travail soit constitué à cet effet ; l'une de ses premières tâches serait d'expertiser les modèles actuels et d'en comparer les performances, et ce tant pour les voyageurs que pour les marchandises.

Les travaux du groupe sur la valeur du temps conduisent à recommander très vivement le lancement d'études sérieuses sur les valeurs à associer au confort et à la qualité de service, notamment en transport collectif urbain. Celles-ci

- Synthèse des études à entreprendre -

doivent refléter les exigences de la demande (sécurité, fréquence, etc.) en s'appuyant notamment, comme cela se fait dans certains pays étrangers, sur des enquêtes menées auprès des usagers. Même s'il existe quelques études étrangères sur ce point, et si certains éléments sont déjà pris en compte dans les modèles de simulation de trafic, il paraît indispensable, comme l'a proposé l'instance d'évaluation de la politique des transports en Île-de-France, qu'une commission soit chargée de mettre au point des méthodes d'évaluation de ces éléments de confort et de qualité de service, d'une part, et de recommander des valeurs de référence, d'autre part.

Les propositions retenues dans ce rapport appellent de nombreux approfondissements. Le groupe recommande notamment d'engager des études pour aboutir à une méthodologie adaptée aux divers types de marchandises comme aux divers modes de transport (transport terrestre, maritime et aérien, les transports multimodaux de manière générale), les études sur la valeur du temps pour les marchandises restant très insuffisamment étayées.

Enfin, le groupe recommande vivement qu'un programme de recherche sur la valeur du temps en milieu urbain soit engagé afin de pouvoir, à l'avenir, asseoir les recommandations concernant cette valeur sur des bases plus solides.

- Sur les interactions entre les véhicules particuliers et les transports en commun

Les études actuellement disponibles sur les interactions entre les voitures particulières et les transports collectifs sont peu nombreuses et souvent anciennes ; elles mériteraient d'être reprises, notamment celles permettant de traiter les phénomènes de décongestion. Le groupe invite à ne pas limiter les études aux seules interactions des voitures particulières avec les transports en commun, et à considérer plus largement l'ensemble des interactions qui existent entre les différents usagers de la voirie. Des études pourraient être menées dans cet esprit en mesurant les effets des investissements en transport collectif sur l'espace urbain. Elles pourraient être notamment envisagées sur les investissements en tramway qui ont été réalisés ces dernières années dans plusieurs agglomérations, et qui s'inscrivent généralement dans un projet de requalification de l'espace urbain.

Des études devraient être menées aussi pour mieux saisir les effets externes positifs (effets clubs) qui apparaissent lorsqu'en augmentant la capacité d'un transport pour faire face à l'accroissement du trafic, l'opérateur augmente la fréquence de ses services et améliore de ce fait la qualité de service pour tous les usagers. Inversement, il convient d'évaluer l'effet négatif que subissent les

usagers restants sur le réseau lorsque, pour adapter l'offre à la demande, on réduit les fréquences et donc la qualité de service.

Enfin, l'appréciation des coûts de congestion nécessite d'engager des études afin de mettre en évidence la ou les relation(s) qui existent entre le régime de circulation et la consommation globale de carburant.

- Sur les effets de coupure

Ces effets, notamment en milieu urbain, restent peu analysés d'un point de vue économique. Les premières études à mener en France devront avoir pour objet de proposer des valeurs de référence. En priorité, le groupe retient le coût du renoncement à des déplacements, ou à des modes de transport non motorisés, du fait du trafic automobile, les pertes de temps des piétons et des cyclistes, les pertes de temps dues aux déplacements d'accompagnement de personnes vulnérables, l'énergie supplémentaire dépensée par les usagers non motorisés pour contourner les voies coupantes et, de manière nécessairement plus qualitative, le coût social lié à la diminution des relations de voisinage à proximité d'infrastructures coupantes comme celui qu'engendre l'enclavement de certains quartiers.

Par ailleurs, des études doivent être entreprises pour mieux valoriser les espaces récréatifs en milieu urbain, ainsi que pour améliorer les données et les méthodes de valorisation des paysages.

- Sur le coût du bruit

Le groupe de travail s'est heurté à l'insuffisance des études relatives aux conséquences du bruit émis par les transports terrestres. Parmi les nombreux points qui mériteraient un supplément d'investigation, le groupe insiste particulièrement sur la valorisation monétaire des nuisances sonores nocturnes ainsi que sur les effets du bruit sur la santé.

Il souligne également la nécessité d'entreprendre, d'une part des études spécifiques sur les coefficients à appliquer au coût des nuisances selon que le bruit touche des bâtiments publics sensibles, des zones non habitées ou des zones de détente, et selon le mode de transport qui les émet, d'autre part des études plus particulières sur les dépréciations et les gênes occasionnées lors de variations importantes des niveaux sonores moyens.

Enfin, concernant les méthodes utilisées, le groupe recommande qu'on entreprenne de nouvelles études sur quelques points particuliers qui pourraient

- Synthèse des études à entreprendre -

concerner plus spécialement : la part respective des nuisances de jour et de nuit dans les résultats obtenus par les enquêtes de préférences révélées ; l'influence de l'existence d'un espace extérieur privatif (jardin, terrasse) sur la valeur de la nuisance ; l'influence de l'existence éventuelle d'une protection acoustique de façade ; l'intérêt de travailler sur des coûts exprimés en valeur absolue (par m²) et non en valeur relative, afin de faire abstraction de la variabilité des prix du foncier d'une agglomération ou d'une région à l'autre ; et, pour finir, la comparaison des avantages et inconvénients, et des résultats, des méthodes de préférences révélées ou du consentement à payer.

- Sur la valeur de la vie humaine

Il paraît indispensable de mener à nouveau en France une série de travaux empiriques sur la valeur de la vie humaine. Le groupe de travail propose d'entreprendre conjointement plusieurs études utilisant des méthodologies différentes et de mener à cette occasion une réflexion méthodologique.

Deux points nécessitent des investigations plus poussées. Le premier porte sur les raisons, encore insuffisamment étayées, qui ont amené le groupe à retenir une modulation de la valeur standard de la vie humaine. Il est indispensable de poursuivre la réflexion théorique et empirique sur ce point. Le second concerne les valorisations à utiliser pour les blessés graves et légers pour lesquels il existe encore très peu de travaux.

- Sur la pollution atmosphérique

Ce chapitre traite d'un sujet dans lequel il demeure de nombreuses et diverses incertitudes. Elles concernent les phénomènes de pollution et leur mesure, elles portent sur la réalité et l'ampleur des impacts de la pollution sur la santé, elles apparaissent également dans les méthodes utilisées pour les valoriser.

Les valeurs proposées dans ce chapitre sont les premières approximations, données faute de mieux, qui devront être reconsidérées avec les progrès de la connaissance. Le chapitre sur la pollution propose toute une série de points qui mériteraient d'être approfondis.

ANNEXES

Annexe 1

**PRIX DU PÉTROLE, PRIX DU CARBONE
ET RÈGLE DE HOTELLING**

Annexe 1

PRIX DU PÉTROLE, PRIX DU CARBONE ET RÈGLE DE HOTELLING

L'objet de ce chapitre, la règle de Hotelling, est de répondre à deux interrogations : la première porte sur la pertinence du recours à cette règle pour définir l'évolution du prix du pétrole à l'horizon des choix actuels d'infrastructures ; la seconde, plus complexe, porte sur la pertinence du recours à la règle de Hotelling pour la définition de trajectoires temporelles du prix à affecter aux émissions de carbone. Pour répondre à ces deux interrogations, les travaux du groupe étaient organisés en trois temps. Tout d'abord, un exposé de Jean-Pierre Amigues a permis de présenter de façon synthétique la règle de Hotelling et ses domaines d'application. Puis un exposé de Christian Gollier fut consacré à l'effet de la prise en compte de l'incertitude et des irréversibilités sur la valeur des bénéfices actualisés de la réduction de l'effet de serre additionnel. Ces interventions ont servi de base à la discussion et à la formulation de recommandations, dont la suite de ce chapitre rend compte.

1. La règle de Hotelling

L'analyse de Hotelling¹ répondait à une double préoccupation : d'une part, construire un indicateur de valeur lié au caractère épuisable des ressources non renouvelables, d'autre part, comparer les performances, en termes de conservation à long terme de ces ressources, des situations de concurrence pure et parfaite et des situations de monopole ou quasi-monopole. Les résultats de cette analyse peuvent être déclinés en deux points :

- Hotelling met en évidence l'existence d'une rente de rareté associée à l'épuisement d'une ressource non renouvelable. Une unité de ressources

(1) J.-P. Amigues, « La règle de Hotelling : une présentation synthétique », note pour la réunion de la commission Transports du 2 juillet 1999.

- Annexe 1 -

consommée aujourd'hui ne peut plus l'être dans le futur. Il est donc nécessaire d'introduire le temps dans la gestion de la ressource. On montre alors très simplement que le long d'un sentier optimal d'exploitation, le prix de la ressource doit croître à un taux égal au taux d'intérêt ;

- Hotelling étend par ailleurs l'analyse classique de la valeur d'un actif productif aux actifs naturels épuisables ; ainsi, le taux de croissance du prix de la ressource peut s'interpréter comme un taux de rendement du capital naturel.

Néanmoins, si la règle de Hotelling donne l'évolution du prix d'une ressource non renouvelable, y compris dans un système décentralisé, elle ne permet pas, dans ce dernier cas, de définir spontanément un prix initial optimal. En d'autres termes, les agents peuvent très bien se coordonner sur un prix initial qui ne mènera pas l'économie sur sa trajectoire optimale, même si leur comportement conduit à une règle d'évolution du prix conforme à la règle de Hotelling.

Ces résultats ont été complétés par la littérature économique, principalement dans trois directions ; la première vise à la prise en compte de coûts d'exploitation non nuls ; la deuxième porte sur l'intégration des effets de nouvelles découvertes, du progrès technique ou de l'apparition de substituts à la ressource non renouvelable considérée ; la troisième direction concerne la possibilité de recyclage de la ressource ou des matériaux qui en sont issus. Ces généralisations de la règle de Hotelling amènent à considérer que le prix des ressources non renouvelables devrait croître à un taux inférieur au taux d'intérêt, ce que confirment, au moins pour partie, les quelques études empiriques disponibles.

Peut-on considérer que le climat, ou en tout cas l'écart entre les concentrations actuelles de gaz à effet de serre et les objectifs fixés dans le protocole de Kyoto, constitue une sorte de ressource non renouvelable ? Les émissions de gaz à effet de serre seraient alors perçues comme le taux de réduction instantané de cette ressource. Jean-Pierre Amigues note cependant que les bénéfices liés à la prévention de l'effet de serre additionnel ne dépendent pas directement du flux d'apport en carbone, mais bien du stock de carbone présent dans l'atmosphère. Il s'agit donc d'une externalité de stock et non de flux, ce qui fait sortir du champ d'application de la règle de Hotelling. En théorie, il faudrait alors calculer un coût d'opportunité lié à l'accumulation du carbone, ce qui présente de réelles difficultés pratiques. Par ailleurs, il n'y a *a priori* aucune raison de penser que ce coût devrait croître au taux d'intérêt.

2. La prise en compte de l'effet de l'incertitude et des irréversibilités : application au prix du carbone

Christian Gollier¹, dans le cadre d'une analyse coûts-avantages, souligne en quoi la prise en compte de l'incertitude et des irréversibilités affecte les résultats d'un modèle simple construit sous l'hypothèse d'un système sans friction. Dans un monde stationnaire et sans incertitude, le coût externe des émissions de carbone (ou le bénéfice actualisé d'une réduction des émissions) est constant dans le temps.

Lorsque l'on intègre l'incertitude dans le raisonnement, il faut, sous des hypothèses usuelles concernant la nature du risque et le comportement de la société vis-à-vis de celui-ci, ajouter une prime de risque à la valeur actualisée espérée des bénéfices liés aux efforts de réduction. Cela signifie que le prix du carbone devrait être rehaussé d'une prime de risque.

Par ailleurs, le caractère irréversible des émissions de carbone implique que l'on doit imputer une valeur d'option positive aux actions qui ouvrent l'avenir, qui génèrent une plus grande flexibilité du futur, par exemple les actions de limitation des émissions de carbone.

Au total cependant, il est très difficile de déterminer comment la prime de risque et la valeur d'option fluctueront dans le temps, donc de déterminer une règle simple d'évolution des coûts externes liés à l'effet de serre additionnel. Bien des hypothèses sont possibles. C'est seulement dans celle où ces coûts seraient proportionnels aux revenus des ménages qu'il serait rationnel, selon Christian Gollier, de les faire évoluer au même taux que le PIB par tête.

3. Définir la trajectoire temporelle du prix du pétrole

3.1. Prix du pétrole et règle de Hotelling

L'évolution du prix international du pétrole (Brent) à un horizon de plus de trente ans reste difficile à saisir. En particulier, les modèles de prévision apparaissent peu fiables, et il ne semble pas possible de s'appuyer sur leurs

(1) C. Gollier, « Irréversibilité, épuisement des ressources naturelles et effet de serre », note pour la réunion de la commission Transports du 2 juillet 1999.

- Annexe 1 -

résultats (si tant est qu'ils en fournissent) pour fixer une ou plusieurs chroniques de prix du pétrole.

La définition d'une trajectoire intertemporelle du prix du pétrole va cependant, dans le cadre du présent rapport, au-delà du simple exercice de prospective. Il s'agit bien de déterminer une variable, et non des moindres, qui sera intégrée dans les calculs économiques visant à éclairer les choix d'infrastructure de transport, et de lui donner une valeur. Les points en débat sur le prix du pétrole ne reflètent donc pas uniquement des divergences d'appréciation de l'avenir, mais aussi des divergences d'appréciation quant à l'influence des prix sur la demande et l'offre de transports.

3.2. L'état des points en débats

Dans l'état actuel des connaissances, il ne semble pas y avoir de contrainte immédiate sur les ressources pétrolières : depuis vingt-cinq ans le stock, sous la double influence du progrès technique et des découvertes, a progressé plus rapidement que les prélèvements. Cependant, il est clair que cette progression se heurtera un jour à une limite physique, selon un schéma proche de celui développé dans le prolongement des travaux de Hotelling. Tout le problème réside donc dans l'identification de l'horizon auquel cette contrainte se resserrera. S'il s'agit de 80 ou 100 ans, le recours à la règle de Hotelling pour définir l'évolution du prix du pétrole n'est pas pertinent. S'il s'agit de 40 ans, l'application de la règle de Hotelling au-delà de cette échéance pourrait être justifiée, mais elle n'influencerait sans doute que marginalement les calculs économiques portant sur les choix des infrastructures de transport à construire aujourd'hui.

Il ressort des travaux du groupe « Énergie 2010-2020 » du Commissariat général du Plan que le prix du pétrole devrait être borné pendant longtemps par le prix probable de la mise en œuvre des pétroles non conventionnels¹. Dans l'état actuel des connaissances, il semblerait que l'exploitation de ces pétroles non conventionnels devienne rentable à partir d'un prix du pétrole égal à 30 dollars 1995 par baril.

On n'en ignore pas moins la date d'épuisement définitif des réserves pétrolières et la date de disponibilité d'énergies alternatives (*backstop technologies* selon la

(1) Voir sur ce point, le rapport final de l'atelier « Le contexte international » du groupe « Énergie 2010-2020 », p. 239-240.

terminologie anglo-saxonne) ; le prix du pétrole doit inclure à ce titre une prime de risque dont l'imputation aura pour effet d'en augmenter la valeur initiale.

Cette imputation se justifie également par la nécessité de prendre en compte d'autres facteurs de risques, notamment de nature géopolitique. La réponse de la société à un choc aléatoire extérieur tel qu'un choc pétrolier se trouve en grande partie conditionnée par l'organisation de son système productif. Celui-ci, à son tour, en dehors de tout choc aléatoire extérieur ou intérieur, est orienté par les signaux de prix (niveau des prix, prix relatifs, hors taxes, toutes taxes comprises etc.). Si l'on souhaite privilégier une bonne adaptabilité de l'économie à un éventuel choc énergétique, il faut donc susciter un système de prix qui élimine les solutions productives dont le coût d'adaptation à un tel choc serait trop élevé. L'expérience montre que les gains technologiques, les gains d'efficacité énergétique, ne prennent toute leur mesure que dans un contexte marqué par un prix de pétrole relativement élevé. Au surplus, le choix d'un prix du pétrole trop faible conduirait à privilégier, lors des choix d'infrastructures, des solutions dont l'intensité énergétique et l'inertie limiteraient les marges de manœuvre futures.

Par ailleurs, l'utilisation à des fins principalement énergétiques de molécules de la qualité chimique de celles du pétrole mérite que l'on considère également l'opportunité d'imputer une valeur d'option aux actions qui préservent les réserves pétrolières. Cette utilisation prive en effet les générations futures d'une ressource qui recèle un potentiel de valorisation chimique élevée. En conséquence, l'irréversibilité liée à l'épuisement progressif de la ressource ne se résume pas uniquement à une irréversibilité énergétique, que le prix de marché du pétrole intègre vraisemblablement, mais aussi à une irréversibilité qualitative, que ce prix intègre sans doute moins bien.

4. Définir la trajectoire intertemporelle du prix du carbone

Il ressort des présentations de Jean-Pierre Amigues et Christian Gollier, comme des discussions qui les ont suivies, que la règle de Hotelling, tant dans sa formulation initiale que dans ses généralisations, ne peut s'appliquer telle quelle au prix du carbone. Néanmoins, l'intégration des coûts externes liés à l'effet de serre additionnel dans les décisions d'investissement implique qu'on se prononce sur une procédure de définition, de révélation et de révision des trajectoires intertemporelles du prix du carbone.

4.1. L'abandon de l'approche coûts-avantages

En l'absence de marché, la base de calcul du prix du carbone à retenir doit être précisée. Même si l'on peut le regretter, les approches coûts-avantages ont été abandonnées pour l'effet de serre additionnel. Les engagements pris à Kyoto¹ reposent sur une approche quantitative qui définit les plafonds d'émissions que chaque pays ou groupe de pays doit respecter. Dès lors, la question n'est plus de savoir si l'on a ainsi bâti un système proche ou éloigné de l'optimum (au sens que la théorie économique donne à ce terme), mais de mettre en place un dispositif qui permette de respecter à moindre coût les contraintes d'émission de Kyoto. Il ne s'agit donc plus d'une approche coûts-avantages, mais d'une approche coûts-efficacité. Cependant, on ne peut pas exclure que les engagements pris à Kyoto soient révisés avant l'échéance vers davantage d'optimalité.

4.2. L'application de l'approche coûts-efficacité

Retenir l'approche coûts-efficacité revient à définir un prix implicite (ou dual) pour le carbone, celui qui permet de respecter au moindre coût les contraintes quantitatives fixées. Théoriquement, une telle démarche implique la définition de trajectoires intertemporelles de prix de carbone. En pratique, on dispose aujourd'hui de travaux documentés et convergents sur la valeur du carbone à introduire dans l'ensemble du système économique pour respecter les engagements de Kyoto ; mais il s'agit principalement d'évaluations statiques, et l'on doit s'interroger sur les facteurs qui les influencent. L'identification de ces facteurs conditionne, en retour, la nature de la procédure que l'on devra mettre en place pour fixer le niveau et l'évolution du prix du carbone.

4.2.1. L'influence de la flexibilité

Une revue des travaux actuellement disponibles sur la valeur du carbone² montre que celle-ci s'établit entre 70 et 215 dollars par tonne de carbone, soit

(1) Pour une présentation du protocole de Kyoto, voir « Fiscalité de l'environnement », rapport du Conseil d'analyse économique, La Documentation française, 1998.

(2) Odile Blanchard, Patrick Criqui, « Le concept de valeur du carbone, évaluation et applications dans les politiques de lutte contre le changement climatique », rapport au Commissariat général du Plan, juin 1999.

environ 8 à 24 dollars par baril d'équivalent pétrole¹. Ces données sont tirées de modèles, soit énergétiques, soit technico-économiques, souvent d'équilibre général calculable. Plus que de la structure du modèle, les écarts constatés entre les différentes études proviennent d'hypothèses divergentes sur les comptes de référence construits pour les exercices de modélisation et, plus spécifiquement, sur les projections de référence retenues pour les émissions de carbone.

Il apparaît, en revanche, que la valeur du carbone est fortement influencée par le degré de flexibilité retenu lors de la définition du dispositif destiné à respecter les contraintes d'émission. Cette flexibilité peut s'appréhender tant d'un point de vue intratemporel que d'un point de vue intertemporel.

D'un point de vue intratemporel, deux facteurs de flexibilité agissent fortement sur le prix du carbone : l'étendue géographique du dispositif mis en place pour respecter le plafond global d'émission et, à l'intérieur d'un pays, la répartition intersectorielle de l'effort de réduction des émissions. Sous l'hypothèse d'un système de permis d'émission négociables qui concernerait, outre les pays développés, les pays en transition et les principaux pays en développement, le prix du carbone pourrait tomber à 25 dollars la tonne. De même, la recherche d'une démarche efficace, au sens que la théorie économique donne à ce terme, plaide pour un prix de carbone appliqué de façon homogène à l'ensemble d'une économie. Enfin, la prise en compte, au côté du dioxyde de carbone, d'autres gaz à effet de serre, comme prévoit le protocole de Kyoto, introduit une flexibilité intratemporelle supplémentaire. Mais, on ne dispose pas, actuellement, d'exercices de modélisation qui reposent sur une représentation fiable des émissions de ces autres gaz à effet de serre². Dans l'état actuel des connaissances, il apparaît donc difficile de raisonner sur l'ensemble des émissions. À défaut, les mécanismes de flexibilité auxquels nous nous référerons dans la suite concernent uniquement les émissions de dioxyde de carbone.

D'un point de vue intertemporel, dans le cadre d'un système de permis d'émission négociables tel qu'il est envisagé dans le protocole de Kyoto, la possibilité de mise en réserve de permis pour une utilisation ultérieure doit

(1) Voir Blanchard (O.), Criqui (P.), *op. cit.*, p. 21 et p. 22. La fourchette de valeurs qui résulte de la revue de littérature est plus large que celle que nous proposons dans le texte. Les valeurs qui découlent d'une extension des mécanismes de flexibilité aux pays en voie de développement ou qui reposent sur la prise en compte de plusieurs gaz à effet de serre ont été exclues.

(2) Voir Blanchard (O.), Criqui (P.), *op. cit.*, p. 27.

- Annexe 1 -

également être considérée avec attention. Sans doute tirerait-elle le prix du carbone vers le bas.

4.2.2. L'influence de sources d'énergie alternatives et du progrès technologique

Puisque l'on raisonne sur des horizons temporels éloignés dans le temps (au moins 30 ans), on ne peut faire l'économie d'une réflexion sur le progrès technique et sur l'apparition de sources d'énergie alternative. Généralement, dans les modèles dont on tire une valeur du carbone, la représentation du progrès technique et des sources d'énergie alternative est fruste : le progrès technique y intervient comme une tendance, les sources d'énergie alternative apparaissent à une date prédéterminée, en quantité illimitée, à un prix connu. En pratique, plusieurs sources d'énergie coexistent à une même date. Cela étant, une trajectoire temporelle du prix du carbone ne peut prendre un sens qu'en référence à un cadre d'hypothèses qui précisent notamment l'influence du progrès technique et de l'apparition de nouvelles sources d'énergie.

4.2.3. L'influence de l'incertitude, l'application du principe de précaution

La nature du phénomène de l'effet de serre additionnel, longtemps controversée, reste entachée d'incertitudes. Sans dresser une liste exhaustive de celles-ci, il est utile de rappeler que le lien entre l'élévation des concentrations en carbone dans l'atmosphère et la température du globe n'est pas connu avec précision, et que l'on ignore largement l'ampleur des dommages que pourrait causer le changement climatique induit.

Aussi la présence de ces incertitudes devrait-elle nous conduire à ajouter une prime de risque au prix du carbone, lorsque celui-ci est tiré d'un système déterministe (ce qui est le cas de la plupart des modèles dont sont issues les valeurs carbone).

Par ailleurs, la forte inertie du phénomène de l'effet de serre additionnel implique que l'on doit imputer une valeur d'option positive aux actions qui accroissent les marges de manœuvre de l'avenir. Là encore, même si les valeurs que l'on obtient à partir des modèles se fondent sur des hypothèses concernant la flexibilité du dispositif mis en place pour respecter les contraintes quantitatives d'émission, elles n'intègrent pas directement de valeur d'option. Implicitement, néanmoins, on pourrait considérer que le fait de fixer un plafond

d'émission sans considération de son optimalité correspond à une démarche collective fondée sur une forme de principe de précaution (et qui révèle les préférences collectives en la matière). Il n'est pas certain, cependant, que les évaluations actuelles de la valeur du carbone, qui s'appuient sur les engagements de Kyoto, intègrent pleinement le principe de précaution, qui va au-delà du calendrier défini par Kyoto et interpelle sur l'après Kyoto (la méthodologie appliquée aux engagements de Kyoto peut cependant s'appliquer à l'après Kyoto, voir plus bas).

En conséquence, les valeurs du carbone fournies par les modèles doivent être comprises comme des bornes basses de prix pour le problème qui nous occupe.

4.2.4. Le problème de la compétitivité

La définition d'une trajectoire intertemporelle du prix du carbone pose le problème de la compétitivité-prix de l'économie française : si les valeurs du carbone choisies en France sont trop différentes de celles retenues chez ses principaux partenaires commerciaux, il peut en résulter un différentiel sensible de compétitivité-prix. Mais, ce différentiel de compétitivité, dont les conséquences sont difficiles à appréhender – elles se déclinent surtout en termes de trajectoires technologiques – pourrait être considéré, s'il était entériné, comme l'expression d'un choix de politique économique.

4.2.5. L'après Kyoto

Les facteurs que nous avons listés jouent, à l'évidence, tant sur la période qui va de 2000 à 2012 que sur la période de « l'après Kyoto », au-delà de 2012. Pour l'après Kyoto, trois points supplémentaires méritent d'être soulignés¹.

Tout d'abord, la valeur future du carbone sera fortement influencée par le seuil de concentration en carbone que l'on s'engagera à ne pas dépasser et la rapidité avec laquelle on souhaitera converger vers ce seuil. Pour une concentration de 650 ppm, le prix du carbone serait pratiquement nul ; il serait significatif pour 550 ppm (engagement actuel de l'Union européenne) et très élevé pour 450 ppm. Le prix du carbone augmente donc avec la rapidité de convergence vers la cible de concentration visée.

(1) Note de J.-C. Hourcade à la MIES, octobre 1999.

Ensuite, les règles futures d'allocation des quotas détermineront en grande partie le fonctionnement des mécanismes de flexibilité ; cela vaut particulièrement pour l'entrée des pays en voie de développement dans le système des permis négociables, qui tirerait le prix du carbone à la baisse.

4.2.6. *Prix du carbone et prix du pétrole*

Enfin, les comportements des émetteurs de carbone sont surtout sensibles au prix total de l'énergie et pas seulement au prix implicite du carbone. En d'autres termes, dans une approche coûts-efficacité, le prix du carbone peut être influencé par l'évolution du prix du pétrole et du gaz. Pour un niveau de limite quantitative donnée, le prix implicite du carbone sera d'autant plus faible que le prix des énergies à fort contenu en carbone sera élevé. Cela implique, pour le calcul économique, que les trajectoires intertemporelles du prix du carbone retenues devront être cohérentes avec l'évolution choisie du prix du pétrole ¹.

4.3. Conclusions

En l'absence d'un système de permis d'émission négociables pour le carbone et en l'absence d'évaluation fiable des coûts externes liés à l'effet de serre additionnel, la définition d'une trajectoire intertemporelle du prix du carbone passe par une approche coûts-efficacité. De même que l'on accepte l'idée de recourir à des valeurs tutélaires de la vie humaine, scientifiquement fondées, on peut aussi fixer une trajectoire intertemporelle tutélaire du prix du carbone, trajectoire que l'on déterminera selon une procédure qui prenne en compte les influences répertoriées plus haut. Cette prise en compte implique en retour que le prix du carbone restera fortement lié au contexte, au jeu d'hypothèses qui

(1) Ainsi, dans le plan national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) des calculs ont été menés pour évaluer le niveau de coût d'approvisionnement en énergie de l'économie française pour respecter les accords de Kyoto. Ces calculs ont conduit à évaluer une taxe de 500 francs par tonne de carbone à rajouter au coût du pétrole. Mais cette valeur a été obtenue pour un prix du baril atteignant 24 dollars en 2010 et une parité franc-dollar de 5,10 francs pour un dollar, soit 0,75 euros pour un dollar. Un calcul basé sur un baril à 36 dollars et une parité de 0,88 dollar pour 1 euro conduirait à une taxe quasiment nulle. Les deux éléments sont donc intimement liés.

aura sous-tendu sa définition. Aussi, ce contexte doit-il être exprimé le plus clairement possible, afin de faciliter les travaux futurs de révision de ce prix ¹.

4.3.1. Le recours indispensable aux résultats des travaux de modélisation

Les valeurs du carbone aujourd'hui disponibles reposent sur le recours à la modélisation, soit en équilibre partiel dans le cadre de modèles énergétiques détaillés, soit en équilibre général dans le cadre de modèles d'équilibre général calculable. Elles présentent l'avantage d'être lisibles, dans la mesure où les hypothèses qui y conduisent sont explicites (progrès technologique, mécanismes de flexibilité, etc.), et elles peuvent être révisées en fonction de l'avancement des connaissances.

4.3.2. La définition d'une prime de risque et d'une valeur d'option

Les valeurs du carbone tirées d'une revue internationale des exercices de modélisation ne peuvent constituer qu'une base, certes indispensable, de discussion ; en effet, ces valeurs n'intègrent qu'imparfaitement la dimension incertaine du phénomène de l'effet de serre additionnel et ne reflètent vraisemblablement qu'une version bridée du principe de précaution. Par ailleurs, il s'agit le plus souvent d'évaluations statiques du prix du carbone alors qu'il faudrait disposer d'évaluations intertemporelles. Celles-ci pourraient être tirées de modèles macro-économiques d'équilibre général qui assureraient la cohérence macro-économique d'ensemble des hypothèses retenues ; un recours aux modèles d'équilibre partiel, finement désagrégés, éclairerait par ailleurs les enjeux redistributifs des scénarios envisagés. De telles études devraient être entreprises sans attendre.

4.3.3. La nécessité d'un regard critique sur la procédure

L'expérience récente du système de permis négociables d'émissions de SO₂ aux États-Unis suggère cependant que l'on porte un regard critique sur les

(1) Ces travaux futurs seront réalisés à la lumière d'une analyse ex-post de la réaction du secteur des transports au prix pratiqué du carbone. Globalement, les décisions d'investissement dans le domaine des transports devraient au moins être cohérentes avec l'objectif de respecter les engagements de Kyoto.

évaluations *ex-ante*¹. Dans ce cas précis, nombre d'expertises avaient débouché, pour la première phase du programme de limitations des émissions de SO₂, à un prix à la tonne de SO₂ de l'ordre de 250 à 400 dollars. En réalité, lorsque le système d'échange des permis s'est mis en place, le prix du SO₂ s'est établi autour de 100 à 130 dollars la tonne. La différence s'explique principalement par l'influence d'un facteur qui avait été sous-estimé : la déréglementation du secteur des transports ferroviaires a abaissé le coût de transport sur longue distance du charbon à basse teneur en soufre, ce qui, en retour, a permis aux centrales électriques de modifier avantageusement leur approvisionnement en énergie.

5. Recommandations

Sur le prix du pétrole

Compte tenu des travaux d'expertise menés au sein du groupe « Énergie 2010-2020 » du Commissariat général du Plan², et sans sous-estimer les incertitudes qui pèsent sur le sujet, le groupe recommande dans un souci de cohérence pour les projets d'infrastructures l'adoption d'un prix du pétrole (hors taxes) qui, partant d'un prix égal à 24 dollars (1995)³ en 2005 par baril progresserait régulièrement jusqu'à 30 dollars (1995) par baril en 2020. Pour les calculs économiques qui se prolongent au-delà de 2020, le groupe préconise de faire progresser le prix du pétrole à un taux égal à 2 % par an. Ce taux, en retrait par rapport à celui qui découlerait d'une application de la règle de Hotelling sous sa forme simple, intègre la double influence du progrès technique et de la mise en exploitation des pétroles non conventionnels.

(1) Voir Bohi (D. R.), Burtraw (D.), « SO₂ Allowance Trading : How Experience and Expectations Measure Up », *Resources for the Future, discussion paper n° 97-24*.

(2) « Énergie 2010-2020 », rapport de l'atelier « Trois scénarios énergétiques pour la France », édité par le Commissariat général du Plan, septembre 1998.

(3) Le groupe a retenu la valeur arrondie de 24 \$ (1995) le baril en 2005 en considérant la moyenne des prix du pétrole (Brent), très volatils sur la période 1999-2000 : soit approximativement 23 \$. Cette valeur a été ensuite projetée en 2005 sur la base du taux de croissance annuel constant conduisant à 30 \$ en 2020. Enfin, ces valeurs ont été exprimées en dollars 1995 pour garder la cohérence avec les travaux menés au Plan par le groupe « Énergie 2010-2020 ». Celui-ci avait anticipé une évolution du prix du pétrole qui partait de 17 dollars par baril en 1995 pour atteindre, progressivement 24 dollars par baril en 2005. Fin 1999, le prix s'établissait à un peu plus de 24 dollars, valeur peu éloignée de ce rythme de progression.

Ce prix et son évolution correspondent à l'hypothèse la plus haute avancée lors des travaux du groupe « Énergie 2010-2020 ». De leur côté, les professionnels du raffinage privilégiaient une hypothèse sensiblement plus basse à 17 dollars par baril¹. L'évaluation proposée apparaît donc plutôt haute, mais on doit se rappeler qu'elle tient compte de la nécessité d'intégrer une prime de risque énergétique et une « valeur d'option » chimique dans le prix du pétrole utilisé pour les calculs économiques de choix d'infrastructures de transport.

Toutefois, l'incertitude qui pèse tant sur la trajectoire du progrès technique que sur les conditions de mise en exploitation des pétroles non conventionnels conduit également le groupe à préconiser la réalisation d'un test de sensibilité qui reposerait sur l'hypothèse d'un taux de progression du prix du pétrole, après 2020, égal à 5 %.

Sur le prix du carbone

Il n'y a pas de règle simple pour définir une trajectoire intertemporelle du prix du carbone, et l'on doit reconnaître la dimension politique et non seulement technique de cet exercice. Le plan national de lutte contre le changement climatique² prévoit l'instauration d'une taxe sur le carbone qui s'établira progressivement à 500 F/tonne de carbone. La compatibilité de cette valeur avec les engagements de Kyoto suppose la mise en place effective d'un système de permis d'émission négociables au niveau international³.

Cela étant, et compte tenu de l'horizon temporel des investissements en infrastructures de transport et de la durée de leur exploitation qui va au-delà de la période 2008-2012 visée par les accords de Kyoto, la prudence pousse à retenir une valeur un peu plus élevée. Sans toutefois être parvenu à un consensus complet, le groupe fait quatre recommandations.

Tout d'abord, le groupe propose d'appliquer dans les calculs économiques de choix public d'infrastructures de transport un prix égal à 100 € par tonne de

(1) Voir p. 103 du rapport du groupe « Énergie 2010-2020 ».

(2) L'évaluation du prix de référence du carbone est précisée dans le chapitre 2.3.2 du programme national de lutte contre le changement climatique. Ce document élaboré sous la direction de la Mission interministérielle de l'effet de serre et validé par la Commission interministérielle de l'effet de serre le 19 janvier 2000 n'était pas encore édité à la date de rédaction de cette note.

(3) Pays de l'annexe B, au moins, voir Blanchard (O.), Criqui (P.), *op. cit.*

carbone sur la période qui va de 2000 à 2010. Ce prix ¹ correspond à une valeur du carbone obtenue sous l'hypothèse d'un recours progressif aux mécanismes de flexibilité ² à l'échelle internationale, comprend une prime de risque et tient compte du fait que l'on doit imputer une valeur d'option positive aux actions, notamment d'investissements, qui ouvrent les marges de manœuvre futures de la société. Certains membres du groupe ont estimé cependant que l'Union européenne, notamment, ne pourrait recourir que de manière limitée aux mécanismes de flexibilité. Si tel devait être le cas, un prix de l'ordre de 150 €/tC leur apparaîtrait plus approprié. Ce prix poserait sans doute des problèmes de cohérence, avec le niveau de la taxe sur le carbone proposée dans le cadre du plan national de lutte contre le changement climatique, mais la différence se justifierait par la nature et les objectifs sensiblement différents des deux instruments d'action publique (taxe et prix du carbone).

Le groupe propose ensuite de retenir, après 2010, un taux de croissance modéré du prix du carbone, égal à 3 % par an ³. Un tel taux correspond à un scénario dans lequel le monde recourrait, plus qu'aujourd'hui, aux mécanismes de flexibilité (participation effective d'un plus grand nombre de pays, extension du système de permis d'émission négociables, mécanismes de développement propre) et continuerait à exploiter l'énergie nucléaire.

(1) Les tonnes de carbone produites dans le secteur des transports peuvent être exprimées en litres de carburant (indistinctement essence ou diesel pour une première approximation) en utilisant un coefficient de 0,83 tC par Tep (tonne équivalent pétrole) soit encore 0,71 kgC par litre de carburant. Une taxe internalisant la valeur de 100 € la tonne de carbone s'élèverait donc à 46 centimes par litre.

(2) Voir Blanchard (O.), Criqui (P.), *op. cit.*, page 22.

(3) Les études qui fournissent des résultats sur la dynamique du prix du carbone sont loin d'être homogènes (voir J.-C. Hourcade, *op. cit.*). Certaines font apparaître une stabilisation du prix après 2010, d'autres une croissance sensible. Ces divergences s'expliquent principalement par les hypothèses retenues, lors des exercices de prospective, sur le fonctionnement et l'étendue des mécanismes de flexibilité. Lors des discussions au sein du groupe, plusieurs opinions contrastées se sont exprimées à ce propos. Certains souhaitaient retenir un taux de croissance net égal à 2 % par an qui résulterait d'un taux de croissance du prix du carbone égal à 4 % diminué de l'effet du progrès technique estimé à 2 % par an.

D'autres, moins nombreux, considérant la difficulté d'étendre les mécanismes de flexibilité au niveau international, proposent au contraire de retenir un taux de croissance du prix du carbone égal à 5 % par an.

L'impossibilité de trancher entre ces deux visions du futur a conduit à proposer une valeur intermédiaire de 3 % par an.

Il propose par ailleurs de prévoir une révision périodique de ces valeurs, notamment si celles-ci ne sont pas internalisées progressivement, soit par la taxation soit par l'extension d'un système de permis d'émissions négociables, ou si le prix du pétrole croissait moins vite que prévu ;

Il recommande enfin de susciter de nouvelles études et d'approfondir le recensement des études existantes sur le prix du carbone et sur sa dynamique.

Annexe 2

**LA VALEUR DU TEMPS
DANS L'ÉVALUATION DES PROJETS**

Annexe 2

LA VALEUR DU TEMPS DANS L'ÉVALUATION DES PROJETS

Les gains de temps sont une des motivations majeures des investissements de transport et leur valorisation est un enjeu fondamental du calcul de rentabilité de ces investissements. Cette valorisation s'effectue en recourant à la notion de valeur du temps, concept introduit depuis longtemps dans l'analyse économique, et fait l'objet de nombreux débats et d'évaluations contradictoires. Le présent chapitre a pour objet d'élaborer des recommandations concernant les valeurs du temps à adopter et la manière de les utiliser pour l'évaluation des projets.

Dans une première section de considérations générales, on précisera le concept de valeur du temps et on montrera pourquoi les modèles de trafic qui en fournissent des valeurs numériques et qui, en toute logique, constituent la base du calcul des avantages des investissements, sont d'une précision limitée.

Quelques propositions seront formulées dans la deuxième section pour améliorer la fiabilité des calculs d'avantages issus de ces modèles de trafic.

Dans une troisième section, on explorera les possibilités de mettre sur pied un calcul des avantages fondé sur des valeurs du temps normalisées, moins satisfaisant sur le plan théorique, mais dans certaines conditions plus fiables que le calcul issu des modèles de trafic.

1. La valeur du temps : considérations générales

Le terme de valeur du temps est d'un usage courant, mais sa signification intuitive cache des acceptions floues. Un retour à l'analyse économique est nécessaire pour fournir une définition précise de ce concept et en déduire quelques propriétés. On présentera dans ce qui suit un rappel des conceptions qui ont présidé à la prise en compte du temps, en précisant la manière dont ces

conceptions se traduisent en termes de formules théoriques. On en déduira quelques propriétés de la valeur du temps. On examinera ensuite comment ces formules théoriques sont intégrées dans les modèles pratiques et peuvent se traduire en chiffres, pour finir sur quelques recommandations pour l'évaluation des projets.

1.1. Historique des conceptions de la valeur du temps

La notion de valeur du temps a été introduite dans l'analyse économique pour la première fois par Becker¹ et, en langue française, et sous une forme un peu différente, par J. Lesourne². Dans ces deux démarches théoriques, la valeur du temps résulte de la rareté du bien « temps ». On suppose que la consommation d'un bien prend du temps et que le temps nécessaire à cette consommation est proportionnel à la quantité du bien consommé. Or le temps journalier disponible pour la consommation est limité, puisqu'il ne peut dépasser les 24 heures d'une journée, heures auxquelles il faut retirer le temps de repos et le temps perdu dans les transports.

Cette contrainte conduit à faire apparaître dans le programme de maximisation de l'utilité du consommateur une valeur du temps (variable duale de la contrainte). Ainsi, lorsqu'un investissement de transport permet d'économiser une heure, c'est autant de gagné pour la consommation, et l'utilité du consommateur augmente de cette même valeur.

Dans ces conditions, il est clair que la valeur du temps pour un individu donné, à un moment donné, est unique et indépendante de l'activité à laquelle le temps est consacré.

Cette conception est vite apparue comme trop restrictive. Le temps de consommation d'un bien n'est pas proportionnel à la quantité consommée de ce bien ; une certaine latitude existe pour passer plus ou moins de temps à cette consommation et on est enclin à réduire ou augmenter ce temps selon le type d'activité et selon ses goûts. Pour prendre des exemples dans le domaine des transports, on cherchera à réduire le temps de transport lorsqu'on est debout et serré, beaucoup plus que si l'on est confortablement assis et qu'on a la possibilité de déjeuner (auquel cas on souhaitera même que le temps de

(1) « *A Theory of the Allocation of Time* », « *Economic Journal* », 1965.

(2) « *Le calcul économique* », Dunod, 1968.

transport dure suffisamment pour achever le déjeuner). Aussi, très tôt¹, le modèle avec une seule contrainte de temps a été remplacé par des modèles dans lesquels il y a autant de contraintes de temps qu'il y a d'activités de consommation, et donc autant de valeurs du temps qu'il y a de manières de le passer, ces considérations ne s'appliquant pas au temps de transport lié au travail. Cette valeur dépend du salaire horaire, tout en différant selon la possibilité de valoriser le temps de transport et selon les conditions de déplacements (confort, fatigue, etc.).

1.2. Formulations mathématiques

Pour ce qui concerne le temps de transport hors déplacements professionnels, plusieurs formulations ont été présentées à l'appui de la première conception de la valeur du temps, et un nombre considérable l'a été en illustration de la seconde². On se fondera ici sur les présentations de Lesourne (1968) et Small (1992) pour illustrer les deux démarches.

Dans la première conception, la valeur du temps est unique et le consommateur maximise son utilité sous deux contraintes : d'une part, la contrainte habituelle de revenu et, d'autre part, une contrainte de temps tenant au fait qu'il ne dispose que d'un temps limité pour consommer.

On montre dans ce cas que la valeur du temps est le rapport des variables duales des contraintes de temps et de revenu dans le programme de maximisation. Cette valeur est indépendante de la manière dont le gain de temps est réalisé et de ce à quoi il est utilisé ; elle ne traduit que la rareté de la ressource totale en temps.

(1) De Serpa, « *A Theory of the Economics of Time* », « *Economic Journal* », 1971 ; De Donnea, « *The Determinants of Transport Mode Choice in Dutch Cities* », Rotterdam University Press, 1971.

(2) On peut citer par exemple : MVA Consultancy, « *Value of Travel Time Savings* » 1987 ; Hensher, « *Behavioral Value of Travel time Savings in Personal and Commercial Automobile Travel* » in Greene, Jones et Delucchi, « *The Full Costs and Benefits of Transportation* », 1997 ; Small, « *Urban Transportation Economics* », 1992 ; Gonzalez, « *The Value of Time : A Theoretical Review* », 1997.

Encadré 1 - Modélisation à valeur du temps unique

Dans l'hypothèse d'une valeur du temps unique (Lesourne, 1968), le consommateur maximise son utilité avec deux contraintes, la contrainte de revenu et la contrainte de temps :

$$\text{Max } U (q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n)$$

avec les contraintes :

$$\sum_i p_i q_i \leq r$$

$$\sum_i t_i q_i \leq T$$

Dans ces expressions,

U est l'utilité du consommateur ;

q_i représente la quantité du bien i qu'il consomme ;

p_i est le prix du bien i ;

t_i est le temps nécessaire pour consommer une unité du bien i ;

r est le revenu du consommateur ;

T est son temps disponible pour la consommation.

Si l'on appelle λ la variable duale de la contrainte de revenu et μ la variable duale de la contrainte de temps, on voit que si on augmente de 1 le revenu r l'utilité augmente de λ , et si l'on augmente de 1 le temps disponible pour la consommation (par exemple en réalisant une amélioration de l'infrastructure qui permet ce gain de temps), l'utilité augmente de μ .

Ainsi le rapport :

$$\mu/\lambda$$

représente la valeur du temps.

Dans la seconde conception, l'utilité du consommateur dépend non seulement des quantités consommées, mais aussi des temps passés aux différentes activités possibles. Il y a autant de contraintes de temps qu'il y a d'activité de consommation, contraintes auxquelles s'ajoute une contrainte sur le temps de travail. La valeur du temps dépend donc de l'activité.

Encadré 2 - Modélisation à valeur du temps multiple

Dans l'autre conception (dont la présentation sera celle de Small, 1992), l'utilité du consommateur dépend, non seulement des quantités consommées, mais aussi des temps passés aux différentes activités possibles :

$$MaxU(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n; T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_m; T_w)$$

Avec les contraintes :

$$\begin{aligned} \sum_i p_i q_i &\leq r + wT_w \\ \sum_j T_j + T_w &\leq \bar{T} \\ T_w &\geq \bar{T}_w \\ T_j &\geq \bar{T}_j \end{aligned}$$

Dans ces formules, outre les variables déjà présentes dans le modèle précédent :

j les indices j représentent les activités possibles ;

T_j est le temps passé à l'activité j , au moins égal à \bar{T}_j

T_w est le temps de travail, au moins égal à \bar{T}_w , et correspondant à un salaire horaire de w ;

\bar{T} est le temps total disponible (24 heures par jour).

Appelons λ , μ , Φ , et Ψ_j les variables duales de ces différentes contraintes. On tire de la dérivation du lagrangien les égalités suivantes :

$$(1) \quad \frac{\partial U}{\partial T_j} = \mu - \Psi_j$$

$$(2) \quad \frac{\partial U}{\partial T_w} + \lambda w - \mu + \Phi = 0$$

$$(3) \quad \frac{\Psi_j}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \left(\mu - \frac{\partial U}{\partial T_j} \right) = w + \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\partial U}{\partial T_w} - \frac{\partial U}{\partial T_j} \right) + \frac{\Phi}{\lambda}$$

La dernière égalité définit la valeur monétaire d'un desserrement de la contrainte de temps correspondant à l'activité j , \bar{T}_j .

Quant au temps de transport lié aux déplacements professionnels, qui n'est pas pris en compte dans les formulations précédentes, une expression complète de la valeur du temps (VDT) a été fournie par Henscher (1997) :

- Annexe 2 -

$$VDT = (1 - r - pq) MP + \frac{1-r}{1-t} VW + \frac{r}{1-t} VL + MPF$$

où :

- r représente la proportion du temps gagné utilisée à des activités de loisir ;
- p représente la proportion du temps gagné venant en réduction du temps de travail passé pendant le transport ;
- q le rapport entre la productivité du travail en transport et la productivité du travail au bureau ;
- MP la productivité marginale du travail égale au salaire brut ;
- VL la différence entre la valeur du temps de loisir pour l'employé et la valeur du temps de transport ;
- VW la différence entre la valeur du temps de travail de l'employé à son bureau et la valeur du temps de transport ;
- MPF la production supplémentaire obtenue grâce à la réduction de la fatigue ;
 t le taux d'imposition de l'employé.

1.3. Conséquences

On peut tirer de ces formulations quelques conclusions générales.

1.3.1. *Pour la valeur du temps de transport hors déplacements professionnels*

Tout d'abord, la valeur du temps dépend du motif de déplacement dont elle traduit le coût d'opportunité. Elle recouvre non seulement le temps au sens de la durée, mais aussi la manière dont ce temps est passé : agrément, confort, esthétique, possibilité d'autres activités menées parallèlement au transport, etc.

Cette valeur n'est pas égale au salaire horaire, même si ce salaire horaire constitue un repère pour sa détermination. Elle en diffère par deux termes, dont l'expression est précisée dans l'expression 3 de l'encadré 2 :

- Le premier terme représente l'évaluation monétaire de la différence de pénibilité entre l'activité en cause et le travail ; si l'activité en cause est plus pénible que le travail, le prix du temps correspondant est supérieur au salaire, et réciproquement. Cette différence croît probablement avec le revenu.

- Le second terme est nul si le temps de travail est supérieur à la durée minimale. Il est positif si l'individu est contraint à travailler une durée supérieure à ce qu'il souhaiterait. Il diminue enfin avec le revenu.

On peut tirer de cette analyse quelques conclusions sur l'évolution de la valeur du temps avec le revenu, dans l'hypothèse où le revenu est essentiellement salarial. Comme l'impact du deuxième terme est faible par rapport aux autres, la valeur du temps doit croître avec le revenu, avec une élasticité que les considérations théoriques développées ici ne permettent pas de préciser.

Par ailleurs, lorsque le temps passé à une activité est non-contraint, alors la valeur du temps correspondante est nulle. La littérature appelle ces activités « de pur loisir » (« pure leisure activities »).

Enfin, on peut constater que le coût de la ressource « temps » n'intervient pas dans l'évaluation de la valeur du temps. Ceci peut se comprendre dans la mesure où la contrainte de temps globale (tenant au fait que la journée n'a que 24 heures) ne peut pas être modifiée.

1.3.2. Pour la valeur du temps de transport des déplacements professionnels

En ce qui concerne la valeur du temps de transport pour les déplacements professionnels, le salaire horaire constitue une référence dont elle différera selon la pénibilité relative du travail et du transport, selon la quantité de travail effectuée durant le transport et selon l'amélioration de la productivité qui résulte du gain de temps de transport.

1.4. L'utilisation dans les modèles appliqués

Les formulations théoriques de l'utilité qui viennent d'être esquissées peuvent être introduites dans des modèles appliqués pour aboutir à des fonctions de demande qui, dans les transports, prennent le nom de modèles de prévisions de trafic. De ces modèles de trafic eux-mêmes découlent des évaluations des surplus des consommateurs ¹.

(1) Dans le cas des modèles de trafic les plus fréquemment utilisés, ces évaluations sont complexifiées par le fait que, dans ces modèles, les utilités sont aléatoires et

- Annexe 2 -

La valeur du temps apparaît dans ces modèles comme un paramètre, ou plus exactement comme une batterie de paramètres qui sont déterminés en ajustant les résultats du modèle à la situation constatée. Cette batterie comprend non seulement ce qu'on appelle la valeur du temps, mais aussi des bonus et malus (coefficients de pénibilité appliqués au temps de transport). Si les lois du trafic étaient connues avec une précision suffisante, les problèmes d'évaluation de la valeur du temps pour les études de rentabilité ne se poseraient pas.

En fait, les modèles de trafic fournissent une grande diversité de résultats, liés à la diversité des marchés de transport : diversité de l'offre selon les caractéristiques des réseaux ; diversité des comportements des usagers selon la période, le pays, la région et diversité des modèles utilisés pour les reproduire. De ce fait, les paramètres des modèles ne sont guère transférables d'un cas particulier à l'autre.

En outre les erreurs de prévision de trafic sont élevées et peuvent atteindre 10 à 20 % du trafic total sur une infrastructure donnée. On connaît de nombreux cas où l'erreur est d'un ordre de grandeur bien supérieur. Les valeurs du temps qui sont calculées par calibrage des modèles sont donc entachées des mêmes imprécisions.

Il se trouve, par ailleurs, que certains des paramètres de la batterie « valeur du temps » ont une faible influence sur les trafics, et sont donc mal déterminés par l'ajustement aux trafics constatés, mais ont une influence forte sur les surplus calculés en cohérence avec le modèle de trafic. C'est parfois le cas de la dispersion des valeurs du temps dans les modèles de type prix-temps.

On peut essayer de pallier les inconvénients des modèles et la procédure des préférences révélées qu'ils concrétisent en estimant les valeurs du temps à travers des méthodes d'enquêtes dites de préférences déclarées. Par ces méthodes, on contrôle mieux les variables, leurs effets pouvant être isolés. On évite les co-linéarités et on peut établir des plans d'expérience. Mais ces méthodes présentent de nombreux biais : la disposition à payer déclarée est fictive ; les questionnaires administrés ne fournissent pas directement les valeurs cherchées ; et dans les méthodes les plus élaborées (analyse conjointe ou prix de transfert), dans lesquelles la personne interrogée est mise en situation

correspondent à des choix discrets. Le fait que les lois de trafic doivent être, comme toutes les lois de demande, dérivées de fonctions d'utilité implique des propriétés pour ces lois de trafic qu'il convient de vérifier.

d'arbitrage, la valeur du temps est obtenue indirectement par un modèle interprétatif.

Ainsi, si les méthodes de préférences déclarées ne comportent pas les mêmes inconvénients que les méthodes de préférences révélées, elles en ont d'autres de même importance.

1.5. Conclusions : conséquences pour l'évaluation des projets

Au total, l'évaluation des avantages de l'utilisateur par des procédures cohérentes avec le modèle de trafic utilisé est certes parfaite sur le plan de la logique économique, mais présente de nombreuses sources d'erreurs, de biais et d'incertitudes qui affectent sérieusement la fiabilité des résultats.

Cette situation incite donc à réfléchir dans deux directions :

- examiner les possibilités de rendre plus fiables les modèles et leur utilisation pour le calcul des surplus ;
- rechercher une autre méthode d'évaluation des avantages, qui certes serait moins satisfaisante sur le plan de la logique économique, mais qui offrirait davantage de précision et moins de risques de biais.

C'est ce à quoi vont être consacrées les deux sections suivantes.

2. Modèles et valeur du temps

L'utilisation des modèles actuels de trafic interurbains et urbains dans les évaluations socio-économiques peut être améliorée.

2.1. Les modèles interurbains

Actuellement en France, en matière de transport interurbain, les maîtres d'ouvrage imposent et/ou appliquent des modèles de trafic que l'on peut caractériser comme suit :

- ces modèles sont différents selon le mode : pour les routes nationales et autoroutes concédées (Direction des Routes), le progiciel Ariane repose sur une loi d'affectation logit logarithmique (dite « loi d'Abraham ») ; en

- Annexe 2 -

matière ferroviaire (SNCF), le modèle « prix-temps », comporte une distribution log-normale des valeurs du temps pour les reports de trafic aérien, et le reste du trafic obéit à une loi gravitaire ; dans le domaine aérien (Direction générale de l'Aviation civile), on procède à des études économiques restreintes pour les nouvelles liaisons et pour les modifications de fréquence (logique d'offre) ;

- ces modèles sont généralement monomodaux, sauf dans le cas de la SNCF dont le modèle est, partiellement, intermodal (prise en compte du fer et de l'aérien) ;
- ces modèles peuvent différer à l'intérieur d'un même mode ; ainsi, dans le secteur routier, seules les études de trafic pour des projets sur routes nationales relèvent d'une méthodologie normée (et donc d'un modèle normé) ; il n'existe pas de règle ¹ pour les opérations concernant les réseaux locaux ;
- ces modèles ne couvrent pas l'ensemble des déplacements d'un mode : pour les routes, le modèle « interurbain » de la Direction des Routes ne s'applique ni en Île-de-France, ni dans les villes ; en matière ferroviaire, le modèle « grandes lignes » de la SNCF n'est pas opérant pour les trains de banlieue (Île-de-France) ou pour les trains régionaux (TER).

Dans leur strict domaine d'application et, semble-t-il, sous réserve d'une utilisation par des modélisateurs expérimentés susceptibles d'intégrer certains effets que les équations de lois de comportement ne sont pas toujours en mesure de prendre en compte, ces divers modèles semblent posséder un pouvoir prédictif global de qualité raisonnable, tout au moins si l'on ne compare que les trafics totaux sur l'infrastructure examinée. Des divergences non négligeables apparaissent toutefois lorsque l'on analyse la structure des trafics, origine-destination par origine-destination, ou selon les motifs de déplacement. En outre, ces modèles sont essentiellement modaux. Le seul modèle français prenant en compte explicitement les trois modes (air, fer, route) est le modèle MATISSE développé par l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS). Ce modèle, dont les résultats sont relativement cohérents avec ceux des modèles modaux, présente aussi des divergences lorsqu'on compare les résultats non plus globalement mais par tranche de distance ou par motif.

(1) Même si, au moins pour les opérations importantes, les projets sur routes départementales sont souvent étudiés selon une approche calée sur celle applicable au réseau national.

Enfin, dans tous ces modèles, les batteries de paramètres représentatifs de la valorisation du temps diffèrent :

- le modèle ARIANE comporte une valeur du temps unique, avec des malus par type de route ;
- le modèle de la SNCF utilise des valeurs du temps réparties selon une loi log-normale pour les transferts modaux air-fer, et une valeur du temps moyenne, différente selon la 1^{re} et la 2^e classe pour les trafics détournés de la route et les trafics induits ;
- MATISSE comporte de nombreux malus, des pénalisations fixées pour l'usage de certains modes et pour certains types de trajets, et des valeurs du temps distribuées et différentes selon les modes.

2.2. Les modèles urbains

En matière de transport urbain, il faut distinguer la situation des agglomérations de province de celle de l'Île-de-France.

Les agglomérations de province utilisent les modèles courants du type TRIPS, EMME2, DAVIS, TERESE. Ces modèles comportent en général les quatre étapes classiques (génération, distribution, choix modal, affectation), mais permettent des choix sur la structure de chacune des étapes : désagrégée ou non, avec des valeurs du temps uniques ou distribuées, distinguées ou non par motif ou par mode, et avec des formes mathématiques diverses. Ces choix dépendent de la nature du problème traité et des données disponibles.

En région Île-de-France, la Direction régionale de l'équipement (DREIF), la RATP, la SNCF et le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF)¹ utilisent des modèles variés, fondés également pour certains sur le même principe des quatre étapes. Ces modèles diffèrent selon leur objectif : comparer de grands réseaux ou évaluer des infrastructures isolées, étudier des investissements routiers ou de transport en commun. Dans ces modèles, les valeurs du temps sont en général distinguées par motif et par mode, avec quelquefois un grand niveau de détail. Ces valeurs suivent des lois probabilistes dans la version du

(1) La loi du 13 décembre 2000 (« JO » du 14 décembre 2000) relative à la solidarité et au renouvellement urbains a changé le nom du STP (Syndicat des transports parisiens) qui devient le STIF (Syndicat des transports d'Île-de-France).

- Annexe 2 -

modèle de la DREIF utilisée pour tester les ouvrages routiers à péage ; elles sont uniques dans les autres modèles, mais s'accompagnent de malus variés.

Comme pour les approches interurbaines, les résultats des modèles urbains sont sujets à confrontation et font apparaître des divergences souvent difficiles à expliquer¹. En outre, leur mise en œuvre comporte des hypothèses complémentaires, nécessaires pour adapter les formules théoriques aux données disponibles ou pour pallier les insuffisances des modèles (notamment en ce qui concerne les parties terminales des trajets : marche à pied et recherche de stationnement). Ces hypothèses secondaires pèsent dans la détermination des trafics, et sans doute encore plus dans celle des avantages.

2.3. Conclusions

Cet état des lieux précise et complète les considérations générales énoncées dans la première section. Il montre combien le calcul de rentabilité mené en cohérence logique avec les modèles de trafic se trouve exposé à de nombreuses sources d'erreur, que les recommandations qui seront faites en conclusion cherchent à atténuer.

Par ailleurs, on peut penser que d'ici quelques années, le contexte concurrentiel se faisant plus prégnant, les opérateurs qui disposent de tels modèles ne fourniront plus d'informations suffisantes pour obtenir ces valeurs du temps et les contrôler.

(1) La diversité des résultats provient du fait que les études ne s'appliquent pas aux mêmes marchés (les populations concernées ne sont pas les mêmes, la contrepartie du service n'est pas identique, etc.). La diversité de certains résultats, notamment pour les enquêtes de préférences déclarées, peut s'expliquer en raison de la diversité des questionnaires et des protocoles utilisés. La diversité peut provenir également du système de transport sous-jacent à l'étude (mode, distance) ou encore en raison de facteurs temporels (qui posent la question de l'évolution de la valeur du temps) et géographiques. Enfin ces différences peuvent provenir des modèles eux-mêmes.

3. La mise en œuvre d'une méthode d'évaluation standardisée

En attendant les résultats d'une réflexion plus approfondie sur les modèles de trafic, il est risqué, pour évaluer la rentabilité des projets, de se fier uniquement aux calculs logiquement cohérents avec ces modèles.

Aussi il convient d'envisager une méthode d'évaluation de la rentabilité des projets qui, tout en se fondant, bien sûr, sur les résultats des études de trafics en terme de gains de temps et de flux de trafics, mette ensuite en jeu des valeurs du temps normalisées. Ces valeurs doivent être choisies en s'appuyant au plus près sur ce que l'on sait du comportement des usagers à travers le calage des modèles ou les enquêtes. C'est d'ailleurs la pratique de presque tous les pays, où sont édictées des règles d'évaluation des projets dans lesquelles les avantages des usagers sont calculés à partir de valeurs du temps imposées, et donc généralement différentes de celles résultant des modèles de trafic.

3.1. Les principes pour définir les valeurs du temps

Quelles valeurs du temps adopter pour cela, et comment effectuer à partir de celles-ci le calcul des avantages ?

Tout d'abord il convient de retenir des valeurs qui représentent ce que l'on sait du comportement des usagers à travers les calages de modèles ou les méthodes de préférences déclarées.

L'utilisation de valeurs du temps basées sur les comportements des usagers exclut qu'on puisse définir des valeurs du temps en fonction de considérations d'équité ou de choix tutélaires à l'égard de tel ou tel mode. Il est certain que les considérations d'équité ont toute leur légitimité, et que des arbitrages politiques peuvent s'exprimer en faveur de telle ou telle politique. Mais il n'y a pas de raison que ces préférences se traduisent sur les seuls gains de temps. Il en résulterait même des incohérences. Le bon moyen d'intégrer ces préoccupations est alors, soit de pondérer autrement la totalité des gains et pertes (et pas seulement les gains et pertes de temps) des catégories que l'on veut favoriser ou défavoriser, soit d'admettre un seuil de rentabilité différent pour les types de projets auxquels on veut consentir un sort particulier. Mais, même alors, la connaissance des disponibilités à payer reste nécessaire, car elle seule permet de mesurer ce que l'on sacrifie à l'équité en termes d'efficacité.

- Annexe 2 -

Les valeurs du temps choisies doivent être définies par ailleurs selon des classifications compatibles avec les informations statistiques couramment disponibles : il ne servirait à rien de définir une valeur du temps pour le motif de déplacement domicile-travail si on ne savait pas mesurer le nombre d'usagers se déplaçant pour ce motif.

Quel est donc l'état du savoir en ce domaine ? On examinera d'abord les enseignements issus des pratiques et des recherches étrangères, puis l'expérience française – le tout concernant les voyageurs –, avant d'aborder le cas des transports de marchandises, puis de conclure sur les modalités d'utilisation de ces valeurs du temps pour le calcul des avantages.

3.2. Les enseignements de l'étranger

L'observation de ce qui se fait à l'étranger peut porter soit sur les valeurs du temps imposées officiellement pour l'exécution des calculs de rentabilité, soit sur les enseignements des études de préférences révélées ou déclarées.

Les valeurs du temps officielles présentent une certaine hétérogénéité qui ne s'explique pas seulement par les différences de revenus entre pays. Pour réduire les écarts constatés entre ces valeurs, il faudrait isoler la part des facteurs contextuels propre à chaque estimation : les caractéristiques socio-économiques de la région : les mentalités, la densité de population, la répartition des revenus, les niveaux de prix, les besoins de déplacement (fréquence, distance, motif, nombre de personnes voyageant ensemble) ; la géographie physique de la région (vallée, plaine, etc.) ; les formes urbaines, la rareté ou la diversité de l'offre de transport (taux de motorisation, qualité des réseaux de TC, etc.) ; les caractéristiques des voyageurs (revenu, taille du groupe en voyage, âge, etc.).

On voit néanmoins apparaître certains traits : les valeurs du temps professionnelles sont de l'ordre de grandeur des coûts salariaux horaires et les valeurs du temps pour autres motifs leur sont très inférieures ; pour le motif professionnel, les valeurs du temps par chemin de fer sont supérieures, de peu, à celles concernant la route ; pour les déplacements personnels, les valeurs route et chemin de fer sont similaires.

Valeur du temps pour les déplacements professionnels en voiture ¹

Pays	PIB90 horaire	VT90/VP pers.	VT95/VP pers.
Allemagne	21,4	13,1	20,7
Belgique	18,7	n.c.	18,1
Danemark	16,8	16,2	21,8
Espagne	11,2	5,6	13,8
Finlande	16,5	20,6	22,9
Grèce	5,6	4,6	12,9
Irlande	15,1	9,1	13,9
Italie	18,3	n.c.	15,0
Luxembourg	17,3	n.c.	n.c.
Pays-Bas	17,4	16,8	21,3
Portugal	9,5	5,6	6,3
Royaume-Uni	14,3	14,1	16,7
Suède	18,5	20,6	17,6
Sources	Euret	Euret	Euret

Synthèse des valeurs du temps

Valeurs du temps pour les déplacements personnels en voiture	
VT « personnel » écus97/heure	Pays
1,5 à 2,5	Finlande
2,5 à 4,5	Allemagne, Danemark, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni
4,5 à 8,5	Irlande, Suède
Valeurs du temps pour les déplacements professionnels en train ²	
VT « professionnel » écus90/heure	Pays
5,2	Espagne
10,1 à 13	Danemark, Italie, Royaume-Uni, Allemagne, Irlande, Pays-Bas, Belgique.
17,2	Suède
24	Finlande
Valeurs du temps pour les déplacements personnels en train	
VT « personnel » écus90/heure	Pays
1,6 à 2,3	Danemark, Suède, Belgique, Allemagne, Finlande.
2,7 à 2,9	Espagne, Pays-Bas.
3,4 à 4,2	Royaume-Uni, Irlande, Italie.

Source : *Étude Euret (1996), Transport Research Concerted Action 1.1. Commission européenne, DG Transport*

(1) Le tableau regroupe les données recensées par le projet Euret de la Commission européenne, actualisées en écus 1990, et dont les travaux ont été publiés en 1996 ainsi que les mises à jour de ces dernières telles qu'elles ressortent du survey réalisé par Bristow et Nellthorp dans le cadre du projet Euret, en cours, en écus 1995.

(2) Éléments tirés de l'étude Euret.

Quant aux études de préférences révélées ou déclarées, elles sont nombreuses. Leurs résultats sont très dispersés. On peut toutefois confronter et synthétiser ces résultats pour en tirer les grandes tendances et des valeurs moyennes concernant la valeur du temps. Plusieurs de ces synthèses ont été faites, notamment par Wardmann (1998)¹, MVA (1989) et Small (1992). Les résultats les plus clairs sont les suivants :

- selon les motifs : la valeur du temps pour motifs professionnels se situe aux alentours (et très généralement en-dessous) du coût salarial ; elle est supérieure à la valeur du temps pour motif domicile-travail, elle-même en général supérieure à la valeur du temps de loisir. Plus précisément :
 - les valeurs du temps pour déplacements professionnels sont de l'ordre de 70 % à 80 % du coût salarial total ;
 - les valeurs du temps pour déplacements domicile-travail sont de l'ordre des $\frac{3}{4}$ de la valeur du temps de déplacement professionnel ;
 - les valeurs du temps pour déplacements « autres motifs » sont de l'ordre de 30 à 50 % de la valeur du temps de déplacement professionnel.
- selon les modes (en gardant à l'esprit que la classification par mode recoupe à la fois la classification par motif et par revenu) : la valeur du temps « avion » est supérieure à la valeur moyenne du temps « fer 1^{re} classe », elle-même supérieure à la valeur moyenne du temps « fer 2^e classe », elle-même supérieure à la valeur du temps « route » ;
- la valeur du temps semble croître avec le revenu, mais plutôt moins vite que le revenu (élasticité de 0,5 à 1) ;
- la valeur du temps pour les trajets urbains est inférieure à la valeur du temps pour les trafics interurbains ;
- la valeur du temps augmente avec la durée du déplacement ;
- enfin la valeur du temps dépend de la pénibilité. Elle est de l'ordre du double pour les temps d'attente aux correspondances ou les temps de marche. Elle dépend aussi des conditions du déplacement.

(1) Wardman (M.), « *The Value of Travel Time : A Review of British Evidence* », « *Journal of Transport Economics and Policy* », 32 (3), 1998, p. 285-316.

3.3. Les valeurs du temps des voyageurs en France

3.3.1. Transports interurbains

Pour les valeurs du temps comportemental interurbain telles qu'elles ressortent des modèles de trafic, le constat est assez simple. Il peut être synthétisé dans le tableau ci-après. L'interprétation des valeurs figurant dans ce tableau doit tenir compte, au-delà des valeurs du temps qui y figurent, des malus et pénalisations qui leur sont indissolublement liés.

**Pratiques, valeurs issues de modèles, recommandations
relatives aux valeurs du temps des déplacements interurbains de personnes**
(valeur du temps (VdT) en F/heure/voyageur)

Grandeur ->	VdT Moyenne (> 80 km)		VdT moyenne (dist. variable)		VdT « Idrac »		VdT SETRA		VdT SNCF
	MATISSE (h)		MATISSE		Multiples		ARIANE		Gravitaire SNCF
Champ d'application	Modèle trafic		Modèle trafic		Évaluation économique		Trafic + Évaluation		Trafic + Évaluation
Année d'établis.	1988		1997		1995		1995		1998
Valeur (année) (k)	1990	1998	1996	1998	1994	1998	1994	1998	1998
Voiture particulière	71	82	81 (c)	82	41 (e)	43	41 (e)	43	-
Train	-	-	94 (c')	96	-	-	-	-	-
Train 2 ^e classe	63	73	-	-	64	68	-	-	71 (i)
Train 1 ^{re} classe	188	218	-	-	163	172	-	-	180 (i)
Avion / train (j)	230	266	-	-	289	305	-	-	nd (j)
Avion	310	359	256 (c'')	261	-	-	-	-	-
Autres paramètres que le temps dans les avantages des usagers (l) (m) (o)	Environ 50 %		Environ 50 %		n.d.		Environ 30 %		Environ 20 % (n)
Source	CGP Boiteux (a)		INRETS (b)		« Idrac » (d)		SETRA (f)		SNCF (g)

- (a) « Transports : pour un meilleur choix des investissements », 1994, p. 36.
 (b) « Modèle MATISSE. Test de la version du 14/05/97 », INRETS, doc. technique, juillet 1997, p.147 et s.
 (c) Pour la tranche de distance de 100 à 200 km (156 F/h pour un véhicule).
 (c') Pour une tranche de distance de 200 à 400 km.
 (c'') Pour une tranche de distance de 400 à 800 km.
 (d) Instruction-cadre jointe à la circulaire du 3 octobre 1995 du secrétaire d'État aux Transports, annexe 1.

- Annexe 2 -

Notons que ce tableau fournit des valeurs assez cohérentes, sous réserve du plus bas niveau de la valeur routière dans ARIANE que dans MATISSE. Mais la différence est atténuée par le fait que la valeur d'ARIANE correspond aux trajets moyens routiers, très faibles (inférieurs à 100 km). Par ailleurs, les experts considèrent que la valeur du temps d'ARIANE est sous-évaluée.

MATISSE permet de distinguer les valeurs du temps selon le motif et la distance :

Déplacements courts inférieurs à 30 km	
tous motifs	65 F/heure
Déplacements interurbains de 100 à 200 km	
tous motifs	80,8 F/heure

Par ailleurs, la plupart des experts, se fondant sur leur expérience de la modélisation et sur leur analyse des erreurs, convergent vers les constatations suivantes, conformes aux conclusions des expériences étrangères (c.f. 3.2) :

-
- (e) *L'instruction de la Direction des Routes établit, pour un véhicule, une valeur de 74 F (1994), valeur à laquelle est associée pour la circulation sur autoroute une valeur du confort de 0,31 F/v.km. Ces deux valeurs sont indissociables.*
 - (f) *Instruction relative aux méthodes d'évaluation économique des inv. Routiers en rase campagne, sept. 1998, annexe 7, p. 4.*
 - (g) *Entretiens de novembre 1999.*
 - (h) *Sauf « avion/train » : sources SNCF et Air Inter.*
 - (i) *Seulement pour l'application du gravitaire SNCF (estimation globalisée de l'induction et des reports depuis la route).*
 - (j) *Il s'agit ici de la valeur moyenne de basculement de l'avion vers le train du modèle prix-temps SNCF. Elle est éminemment variable avec l'O-D (elle est fonction des conditions de concurrence sur chaque O-D) ; elle est jugée confidentielle par la SNCF car elle permet justement d'apprécier les conditions de concurrence sur une O-D donnée.*
 - (k) *Ces valeurs sont données en francs de l'année de référence, et en francs 1998.*
 - (l) *D'après « Transports : pour un meilleur choix des investissements », 1994, p. 38 et entretien de novembre 1999.*
 - (m) *Essentiellement : confort, sécurité et fiabilité.*
 - (n) *Part estimée des avantages issus de l'amélioration de l'offre (augmentation des fréquences, présence de correspondances, etc.).*
 - (o) *Majoration à apporter au titre des avantages autres que le temps (avantages pris en compte par des bonus et des malus) et aux avantages de temps « pur » utilisés dans les calculs économiques et présentés dans le tableau.*

- la valeur du temps est croissante avec la durée et la longueur du déplacement ;
- la valeur du temps est croissante avec le caractère « contraint » du déplacement ;
- la valeur du temps est croissante avec le revenu, mais avec une élasticité inférieure à l'unité ;
- la valeur du temps est croissante dans le temps, mais également avec une élasticité inférieure à l'unité par rapport à la consommation finale des ménages par tête ;
- la valeur du temps pour motif professionnel est sensiblement plus élevée que la valeur du temps pour déplacement domicile/travail ou pour autre motif personnel.

3.3.2. *Transports urbains*

En ce qui concerne les transports urbains, le « rapport Boiteux » (1994) avait rappelé le principe – également rappelé par l'instance d'évaluation de la politique des transports en Île-de-France (rapport du 5 février 1999) – selon lequel la valeur monétaire utilisée dans les évaluations socio-économiques pour rendre compte du coût du temps passé dans les transports devait refléter la moyenne des valeurs révélées par les comportements individuels des usagers ¹.

(1) Le rapport considérant que la définition de la valeur du temps n'est pas identique selon les modèles, selon les fonctions et les paramètres utilisés, les statistiques retenues, le champ analysé, et que cette valeur n'est pas prise en compte de la même manière dans les modèles, celle-ci pouvant être unique ou modulée selon les voyageurs, les motifs de déplacement, le revenu des usagers etc., celle-ci pouvant intégrer d'autres éléments comme des éléments de confort, renonce à proposer une valeur particulière. Face à cette diversité, le groupe avait en effet estimé que « cette valeur du temps ne pouvait provenir que d'une comparaison des modèles entre eux et avec la réalité, permettant de les améliorer espérant voir ces modèles converger vers une structure unifiée et des valeurs numériques similaires » (p. 38). Il retient dans ses annexes les valeurs du temps en milieu urbain utilisées à l'époque par la Direction régionale de l'équipement Île-de-France : 55 francs (1989) pour la valeur révélée (cette valeur correspond au salaire horaire net moyen), et 75 francs (valeur tutélaire).

Actuellement, le coût d'une heure passée dans les transports est pris, par convention, égal au salaire horaire net moyen dans la région ¹.

Le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF, anciennement STP) précise dans un rapport sur les méthodes d'évaluation des projets d'infrastructures de transport collectifs en région Île-de-France (mars 1998) que la valorisation des gains de temps se fait sur la base d'une valeur identique pour l'ensemble de la population. Les gains de temps totaux sont la somme des gains de temps des anciens utilisateurs de transport collectif utilisant la nouvelle infrastructure, de ceux des nouveaux utilisateurs de transport collectif venant de la voiture ou induits par la nouvelle infrastructure (gain de temps moyen égal à la moitié du gain des anciens utilisateurs), et de ceux des utilisateurs de la voiture particulière résultant de la décongestion provoquée par les reports vers le transport collectif ².

Toutefois, les rares études menées sur ce sujet ³, comme certains résultats issus des modèles de trafic ⁴ conduisent à penser que les valeurs actuellement retenues dans le calcul socio-économique des projets de transport urbain sont sensiblement plus élevées que les valeurs révélées par les comportements.

(1) L'instance d'évaluation de l'Île-de-France fait remarquer que la pratique actuelle s'écarte des conclusions de l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région parisienne qui, en 1966, proposait de retenir une valeur révélée de l'ordre de 75 % du salaire horaire net moyen.

(2) Dans les pratiques d'évaluation actuelles, un véhicule-kilomètre de moins sur une infrastructure procure un gain de temps de 0,125 heure aux autres véhicules. Ce chiffre est assez ancien et mériterait d'être mis à jour.

(3) Le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU) propose une synthèse chiffrée des études menées à Marseille autour du péage du tunnel de Prado-Carenage, « Comportements des automobilistes face au péage urbain, l'expérience du tunnel Prado-Carenage », CERTU/CETE, Dossiers du CERTU, février 1999.

(4) À la RATP, lors des prévisions de trafics et afin de déterminer la part de chacun des modes de transport proposés aux usagers sur chacune des liaisons origine-destination, on calcule un coût généralisé en affectant un coefficient à la valeur du temps. Dans le modèle « global », ce dernier est d'environ 3/4 du salaire horaire moyen net de la région Île-de-France. Il ne fait l'objet d'aucune segmentation, que ce soit par motifs, périodes ou encore par caractéristiques socio-économiques.

Cette valeur est une valeur composite, sorte de somme pondérée du coût monétaire, du temps de déplacements et d'éléments de confort tels que le temps de recherche d'une place de stationnement, le nombre de ruptures de charge, etc.

Les analyses de trafic menées autour du tunnel de Prado-Carénage à Marseille ont fait apparaître des valeurs du temps moyennes qui, selon F. Leurent cité par C. Ségonne¹, varient de 60 F à 70 F/heure par véhicule (coefficient d'occupation de 1,3 voyageur/véhicule) pour l'ensemble des motifs.

Le modèle MATISSE appliqué à des tranches de distance similaires à celles de Prado-Carénage permet de dégager une valeur tout motif de 67 F/heure et par personne.

Ajoutons qu'aujourd'hui, le Syndicat des transports d'Île-de-France prend en compte le confort dans les transports collectifs sur la base d'une analyse qualitative s'appuyant sur un indicateur d'occupation de l'espace dans les voitures (les normes actuellement en vigueur sont respectivement pour la SNCF et la RATP de 3 et 4 voyageurs au m²), et applique des pénalisations aux temps d'attente et de marche à pied, ce qui revient à accroître d'autant la valeur du temps de ces activités.

(1) Les conclusions tirées des enquêtes menées à Prado-Carenage lors de la mise en service du tunnel payant font l'objet de nombreux débats. Les enquêtes et les modélisations ont permis de dégager plusieurs valeurs du temps légèrement différentes. Si l'on considère les dispersions obtenues dans les différentes enquêtes de préférences déclarées, la médiane de la valeur du temps tourne autour de 46 F/h (cette valeur est plus élevée pour les déplacements professionnels). Si l'on considère les valeurs obtenues par différents modèles de trafic, et pour un même modèle, selon les hypothèses de calibrage, les valeurs du temps moyennes sont significativement plus élevées, de l'ordre de 60-67 F/h. Certains ont fait remarquer que ces dernières valeurs, une fois actualisées et adaptées au niveau moyen des rémunérations en Île-de-France, ne sont finalement pas très éloignées des valeurs utilisées aujourd'hui par le STP, voire même supérieures. Toutefois, sans entrer dans le détail technique des explications, il convient de rappeler que les valeurs constatées à Prado-Carenage et reconstruites par les modèles ne sont pas directement comparables avec celles du STP. D'abord, certaines de ces valeurs sont données par véhicule (il faudrait donc les diviser par un coefficient de 1,3 pour les ramener à l'individu). Par ailleurs, elles sont relatives à un jour ouvrable, alors que la valeur du temps utilisée par le STP correspond à un jour moyen annuel, incluant de ce fait davantage de déplacements pour des motifs de loisirs dont les valeurs du temps sont plus faibles. Il n'en reste pas moins que ces études sont encore insuffisantes pour pouvoir conclure avec certitude.

3.4. Les valeurs du temps en transport de marchandises

En transport de marchandises, les valeurs du temps doivent être appréciées en prenant en compte successivement l'avantage pour le transporteur (réductions de coûts liées au gain de temps) et l'avantage pour le chargeur (effets d'une diminution du temps de transport sur l'organisation logistique). Ces deux avantages s'additionnent, car ils correspondent respectivement au surplus du producteur et au surplus du consommateur¹. Les études et travaux de recherche restent encore peu nombreux en France comme à l'étranger

Aujourd'hui, les évaluations de projets de transport faites en France ne valorisent ni les gains ou pertes de temps pour les marchandises, ni les gains de fiabilité et de sûreté. Elles ne retiennent par contre que la réduction des coûts de transports². Cette réduction se décompose en deux termes :

- un terme lié aux gains de temps, terme improprement appelé jusqu'à présent « valeur du temps marchandises » ;

(1) Ce point mérite toutefois d'être traité avec prudence, car tout dépend des méthodes mises en œuvre pour déterminer, dans l'un et l'autre cas, les valeurs du temps. En effet, souvent les études proposent des valeurs du temps composites qui ne peuvent être additionnées sans double compte puisque chacune comporte une valorisation de mêmes effets. Il semble toutefois, qu'une réduction comptable du coût de transport liée à un gain de temps et une valorisation de ce gain pour la marchandise, déterminée par une méthode appropriée de préférences déclarées sont des avantages qui s'ajoutent sans double compte. Pour qu'il y ait donc additivité des valeurs, il faut que l'analyse des préférences déclarées conduise aux mêmes résultats qu'il y ait ou non réduction des coûts de transport. Ce sera en général le cas si les questions posées sont abstraites (pratique la plus courante actuellement), c'est-à-dire ne font pas référence à un quelconque procédé permettant d'économiser du temps. Dans leur grande majorité, les investissements publics, dans le secteur des transports de marchandises, ont pour effet de réduire les temps et les coûts de transport. Cette réduction vient naturellement s'ajouter dans le bilan socio-économique au supplément de coût que les chargeurs seraient prêts à supporter pour bénéficier d'un gain de temps.

(2) Voir sur ce point plusieurs travaux relatifs à la situation française : une étude du SETRA de 1995 qui détermine, à partir des postes de dépenses produits par la FNTR, l'économie que fait gagner au transporteur routier un gain de temps de conduite d'une heure ; et une thèse de Laura Winter qui, à partir d'une enquête en préférences déclarées auprès des transporteurs sur les choix faits entre un trajet routier ou un trajet autoroutier, propose une estimation de la valeur du temps des transporteurs routiers (cette thèse a fait l'objet d'un article paru dans le n° 44 de la revue « RTS » en septembre 1994). Enfin, ces travaux peuvent être complétés par les coûts journaliers des poids lourds calculés par le Conseil national routier.

- un terme lié à la distance et tenant aux économies d'énergie et d'entretien des véhicules.

Il convient d'ajouter à ces deux termes une valorisation du temps des chargeurs, qui correspond à l'intérêt qu'ils ont de pouvoir disposer plus tôt de la marchandise. La fiabilité, le risque de dommage ou de perte des marchandises et la qualité de l'information ont aussi une valeur pour les chargeurs. Chacune de ces valeurs devrait être intégrée, sans double compte, dans le calcul économique. D'autres études restent nécessaires pour les déterminer. L'utilisation opérationnelle des valeurs trouvées suppose également que les grandeurs physiques correspondantes aient été mesurées dans la situation initiale, et que leur évolution puisse être prédite.

Le tableau suivant résume les valeurs du temps trouvées dans différents pays.

Valeur du temps pour les chargeurs ¹

Pays	Auteurs	Année	VDT/envoi par heure ROUTE	VDT/tonne par heure FER
Danemark	Fosgerau	1996	180-410	
Pays-Bas	De Jong	1992	250	5
Pays-Bas	De Jong	1995	230-250	
Allemagne	De Jong	1995	190	
R.-U.	De Jong	1995	210-270	
R.-U.	Fowkes	1991		0,5-7,5
États-Unis	Vieira	1992		4
France	De Jong	1995	200	
Suède	Widlert	1992	40 *	0,2
Norvège	Fridstrom	1994	30	
Alpes	MVA	1999	60	
France	Jiang	1998	195	5

**par camion*

Source : De Jong 1997 ; Fridstrom ; MVA ; Jiang

Pour la valeur du temps des chargeurs, la plupart des études proposent des valeurs d'environ 200 F (1997) par heure et par envoi, et cela bien que les caractéristiques des envois varient notablement d'un pays à l'autre et d'une étude à l'autre. Les deux études concordantes portant spécialement sur la valeur du temps pour les marchandises de faible coût d'expédition fournissent, elles,

(1) Ces valeurs ont été estimées par des enquêtes en préférences déclarées auprès des chargeurs à l'exception d'une étude en préférences révélées menée par Jiang qui s'appuie sur l'enquête chargeurs réalisée en France en 1988.

- Annexe 2 -

des résultats compris entre 30 et 60 F par heure et par envoi. Par ailleurs, les valeurs du temps à la tonne sont plus faibles pour le fer que pour la route dans toutes les études retenant ces deux modes de transport.

Les estimations appartenant au bas de la fourchette devraient être privilégiées car elles isolent bien la valeur du temps de celles de la fiabilité ou du risque. Pour passer des valeurs par envoi à des valeurs prudentes par tonne, utilisables dans l'évaluation des projets, on peut retenir que, pour les estimations basses, la taille moyenne d'un envoi est inférieure au chargement moyen d'un poids lourd qui est en France de 12 tonnes. Les valeurs pour la route peuvent s'appliquer également aux transports combinés, aussi bien pour leur partie ferroviaire que pour leur partie routière.

Par comparaison, la valeur du temps ferroviaire par tonne transportée est nettement plus faible. Le poids moyen des envois est toutefois plus élevé pour ce mode et les gains de temps potentiels plus importants. Il en résulte que des projets de lignes spécialisées pour le fret ou l'attribution au fret de sillons performants procureraient aux chargeurs des avantages sensibles qui devraient être valorisés dans le calcul économique.

4. Recommandations

4.1. Concernant les modèles de trafic et leur utilisation dans l'évaluation des rentabilités

Le groupe propose d'utiliser un même modèle de trafic pour hiérarchiser les projets d'un même type, par exemple les projets d'un même mode. On peut espérer éliminer ainsi l'effet des biais systématiques et aboutir à une bonne précision dans le classement obtenu.

Il faut être vigilant, en revanche, dans la comparaison des rentabilités de projets différents évalués avec des modèles différents, par exemple des projets routiers évalués avec ARIANE et des projets ferroviaires évalués avec le modèle SNCF. Il conviendrait alors de comparer ces projets à travers le même modèle. Enfin, mais c'est là une ambition peut-être démesurée, il serait bon de confronter les résultats de plusieurs modèles ; la recherche de l'explication des écarts, non seulement permet d'améliorer l'évaluation du projet examiné, mais fournit aussi des enseignements sur les voies d'amélioration futures des modèles utilisés.

Il faut aussi mener une réflexion plus en amont sur les modèles actuellement existants. Dispose-t-on d'une boîte à outils permettant réellement de répondre aux besoins en termes d'évaluation économique ? Quelles règles minimales communes devraient respecter les modèles ? Quelles informations minimales faut-il faire apparaître quant à leur mise en œuvre ? Quelles devraient être les précautions d'emploi à faire respecter ? À quels audits devraient être soumises les études de trafic ? Quelles informations statistiques faut-il promouvoir ?

Cette recommandation sur les modèles rejoint l'une de celles présentées dans le « rapport Boiteux » de 1994, qui n'a guère eu de suite. On peut recommander qu'un groupe de travail qui assisterait des spécialistes soit constitué à cet effet ; l'une de ses premières tâches serait d'expertiser et de comparer les performances des modèles actuels, et ce tant pour les voyageurs que pour les marchandises.

4.2. Concernant les valeurs du temps normalisées

4.2.1. Pour les voyageurs en milieu urbain

Une valeur du temps revue à la baisse.

Compte tenu des travaux disponibles, il convient de retenir dans les évaluations des investissements de transport en milieu urbain des barèmes de valeurs du temps relativement simples et ce même si certaines études démontrent la grande dispersion de ces valeurs. Les travaux récents, comme les pratiques étrangères, conduisent à considérer que la valeur du temps actuellement utilisée dans les évaluations à valeur unique, et prise égale aux salaires horaires net¹, est trop élevée. Une différenciation par motif fondée sur les expériences française et étrangères amènerait aux chiffres suivants (valeur moyenne (1998) pour la France entière), cohérents à la fois avec les résultats étrangers et avec ceux de Prado-Carénage :

(1) La valeur du temps retenu par le Syndicat des transports d'Île-de-France pour les évaluations socio-économiques des projets de transport collectif en Île-de-France correspond au salaire horaire net moyen de la région Île-de-France. Cette valeur du temps unique pour tous motifs et toutes catégories socio-professionnelles (80,87 F) (98/h) est supposée évoluer de 1,5 % par an en francs constants. Cette valeur est appliquée par la SNCF, la RATP et les bureaux d'études dans les évaluations de projets.

Valeur du temps en milieu urbain ¹ (francs 98/h)

Mode de déplacement	% du coût salarial ²	% du salaire brut	France entière 1998 ³	Île-de-France 1998 ⁴
Déplacement professionnel ⁵	61 %	85 %	10,5 €	13 €
Déplacement domicile-travail	55 %	77 %	9,5 €	11,6 €
Déplacements autres (achat, loisir, tourisme, etc.)	30 %	42 %	5,2 €	6,4 €
Lorsqu'on ne dispose pas du détail des trafics par motifs, prendre une valeur moyenne pour tous les déplacements	42 %	59 %	7,2 €	8,8 €

Une meilleure prise en compte des éléments de confort.

Il paraît indispensable, alors que l'on propose par ailleurs de baisser la valeur du temps par rapport aux normes en vigueur, de prendre davantage en compte certains éléments de confort comme le suggèrent les nombreux éléments

(1) Ce tableau fait d'abord référence au coût salarial pour faciliter les comparaisons avec l'étranger, puis au salaire brut pour les applications en France.

(2) Le calcul de la valeur tout motif a été obtenu en retenant la pondération moyenne suivante : professionnel 10 %, domicile-travail 35 %, autres motifs 55 %.

(3) Ces valeurs ont été calculées sur la base du salaire mensuel moyen brut qui s'élève à 13 660 F/mois en 1998 (« Insee Première », n° 687, décembre 1999), d'une durée du travail de 39 heures par semaine. Le coût salarial est en moyenne de l'ordre de 1,4 fois le salaire brut. Ces valeurs évolueront comme le salaire horaire moyen.

(4) L'Insee fournit régulièrement le salaire net moyen en équivalent temps complet par région. En 1995, le salaire net moyen de l'Île-de-France était supérieur de 23 % à la moyenne nationale (« Insee Première », novembre 1997).

(5) Si le temps de transport est complètement perdu pour l'activité professionnelle et n'engendre ni fatigue, ni perte de productivité, ni possibilité de travail, alors un gain de temps dans les déplacements professionnels est égal pour l'employeur au coût salarial économisé. Mais le gain pour la collectivité se réduit au salaire net puisque les charges des systèmes sociaux (sécurité sociale, retraites, assurances chômage) continuent à courir. C'est seulement quand le temps gagné est réaffecté à une tâche professionnelle génératrice de cotisations sociales (soit directement, soit par le biais d'un proche) qu'on est fondé à considérer que le gain pour la collectivité est bien égal, comme pour l'employeur, au coût salarial. Cette éventualité étant peu fréquente, on en retiendra simplement que le salaire net constitue une estimation par défaut. Par rapport au salaire brut, cela conduit à retenir le pourcentage de 85 % figurant au tableau.

qualitatifs mis en évidence dans les études du *London Transport*¹ (propreté, informations, service, sécurité en station, confort de déplacement, etc.). Des valeurs normalisées devront être proposées. Même s'il existe quelques études étrangères sur ce point, et si certains éléments sont déjà pris en compte dans les modèles de simulation de trafic, il est indispensable de mener encore des études importantes sur ce sujet. Il paraît notamment souhaitable, comme l'a proposé l'instance d'évaluation de la politique des transports en Île-de-France, qu'une commission soit chargée de mettre au point des méthodes d'évaluation de ces éléments de confort et de qualité de service, d'une part, et de recommander des valeurs de référence, d'autre part. En attendant de disposer d'éléments plus précis, le groupe recommande, pour les différents scénarios qui sont comparés, de tenir compte des temps d'attente et de marche à pied pour l'accès aux stations et les correspondances, ainsi que des parcours effectués debout ou dans des véhicules très chargés (cette dernière estimation demande d'analyser spécifiquement les heures de pointe et les heures creuses). On introduira, dans les évaluations, un coût de pénibilité ou d'inconfort, proportionnel à la durée, sur la base des valeurs normatives suivantes :

- une demi fois le coût du temps passé pour les situations de congestion dans les transports collectifs ;
- une fois le coût du temps pour les temps d'attente et les temps de marche à pied que nécessitent l'accès aux stations et les correspondances.

Enfin, en ce qui concerne l'évolution de la valeur du temps, les travaux menés notamment autour du modèle MATISSE montrent que les valeurs (voir la note p. 197)² du temps évoluent comme la consommation finale des ménages, avec une élasticité variant selon la distance entre 0,4 et 1.

Pour l'urbain, les travaux d'extension du MATISSE aux courtes distances semblent confirmer que l'élasticité de la valeur moyenne du temps de la consommation finale des ménages est plus faible en urbain qu'en interurbain.

(1) Jean-Paul Coindet, « Valorisation de la qualité de service dans les transports collectifs. Les méthodes du London Transport », INRETS, janvier 1999.

(2) Il est préférable en effet de retenir des projections de consommation finale des ménages plutôt que du PIB pour faire évoluer la valeur du temps. D'une part, les déplacements correspondent pour leur grande majorité à des motifs personnels ou domicile-travail, et sont donc davantage liés à la consommation finale des ménages qu'au PIB. D'autre part, il n'y a pas de relation stable entre la croissance du PIB et la croissance de la consommation finale des ménages.

Toutefois, les travaux ne permettent pas encore de préciser avec certitude l'ordre de grandeur de cette élasticité. Il paraît donc préférable pour l'instant de retenir dans les évaluations des projets de transport urbain une évolution de la valeur du temps calée sur celle de la consommation finale des ménages avec une élasticité de 0,7 (ou un peu moins de 0,9 si l'on considère la consommation finale des ménages/tête ¹), ce qui représente une valeur haute.

4.2.2. *Pour les voyageurs interurbains*

Les modèles de trafics indiquent que la valeur du temps augmente avec la distance dès le premier kilomètre (ce que n'infirmant pas les analyses d'affectation des trafics, par plage de distance origine-destination, effectuées sur les données de Prado-Carénage), et que cette augmentation tend à décroître avec la distance ².

Le groupe propose, pour s'implifier, de retenir une variation linéaire de la valeur du temps en fonction de la distance. Toutefois, pour éviter les valeurs trop excentriques auxquelles aboutirait l'application d'une formule linéaire sur les petites et grandes distances, il convient de borner cette variation en stabilisant les valeurs du temps pour les faibles distances (50 km pour la route et 150 km pour le fer) et en stabilisant la valeur du temps au-dessus de 400 kilomètres ³.

(1) Cette élasticité inférieure à un est conforme à la majorité des résultats obtenus dans les principales études étrangères. Par ailleurs, il convient de noter que ces élasticités de 0,7 à la consommation finale des ménages ou 0,9 à la consommation finale des ménages par tête valent pour les 25 dernières années et que tout indique que celles-ci devraient diminuer à l'avenir. Retenir une élasticité égale à 1 conduirait donc à surévaluer la valeur des gains de temps dans les évaluations des projets futurs. Plusieurs arguments peuvent être avancés dans ce sens : la part croissante des inactifs dans la société (augmentation du nombre de retraités) ayant une valeur du temps moindre ; la baisse du temps de travail (qui accorde une part plus importante au temps de loisirs) ; un transfert progressif vers les modes de transport les plus rapides, qui fera que la valeur du temps de chaque mode de transport croîtra moins vite que la valeur du temps moyenne des voyageurs. En outre, la perception du temps dans les véhicules peut également être modifiée, grâce aux nouvelles technologies qui permettront d'utiliser le temps de transport à d'autres fins.

(2) L'élasticité de la valeur du temps est décroissante avec la distance.

(3) On retient un même seuil de 400 kilomètres pour tous les modes par souci de simplification, bien que le seuil de stabilisation de la valeur du temps ne soit pas strictement identique pour le mode ferroviaire et pour le mode routier.

Ce principe conduit à retenir les valeurs ¹ résumées dans le tableau suivant.

Valeur du temps en interurbain (1998) par voyageur (en euros par heure)

Mode	Pour des distances inférieures à		Pour les distances d comprises entre 50 km ou 150 km et 400 km		Stabilisation pour les distances supérieures à 400 km
	50 km	150 km			
Route	8,4 €	-	50 km < d	$VDT = (d/10+50).1/6,56$	13,7 €
Fer 2° Cl.	-	10,7 €	150 km < d	$VDT = 1/7(3d/10+445).1/6,56$	12,3 €
Fer 1° Cl.	-	27,4 €	150 km < d	$VDT = 1/7(9d/10+1125).1/6,56$	32,3 €
Aérien	-	-		45,7 €	45,7 €

Ce tableau ne propose pas de valeurs du temps pour les passagers transportés par mer, aucune étude n'ayant pu être examinée par le groupe sur ce point particulier. Des travaux devront être engagés pour préciser ces valeurs, celles-ci pouvant être intéressantes pour évaluer certains aménagements portuaires selon qu'ils s'adressent à tel ou tel type de trafic (ferries classiques, ferries rapides, croisière, etc.).

Par ailleurs, le groupe retient le principe qui consiste à prendre en compte la qualité de l'offre sur un mode interurbain en ajustant la valeur du temps à l'aide de malus/bonus. En particulier on prendra en compte les différentiels de qualité des infrastructures routières en matière de confort de conduite, et les effets de fréquence pour les transports collectifs ².

Les modalités de calcul retenues par la Direction des Routes et celles retenues par la SNCF sont présentées dans les deux encadrés suivants.

(1) Ces valeurs s'appliquent, tant pour le ferroviaire que pour l'aérien, à l'ensemble du temps de trajet, temps d'attente et temps d'approche compris.

(2) L'annexe II précise les modalités de calcul retenues actuellement par la Direction des Routes, et celles retenues par la SNCF, qui n'ont pas pu être expertisées par le groupe.

Encadré 3 - La valeur unitaire du malus d'inconfort

Pour les routes, la valeur unitaire du malus d'inconfort a été déterminée pour les véhicules légers, tout comme la valeur du temps, par l'analyse du comportement des usagers. Cette analyse a permis de déterminer un couple de valeurs (temps, malus d'inconfort). Cette valeur est utilisée dans le modèle d'affectation de trafic de la Direction des Routes et est cohérente avec la valeur du temps des véhicules légers définie dans la circulaire du 20/11/1998 sur l'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne. Ces valeurs qui évoluent en francs constants comme la valeur du temps sont les suivantes selon le type de route :

7 m ordinaire	0,31 F/véh. x km (valeur 1994)
7 m express	0,18 F/véh. x km (valeur 1994)
artère urbaine	0,13 F/véh. x km (valeur 1994)
2 x 2 voies express	0,04 F/véh. x km (valeur 1994)
autoroute	0 F/véh. x km (valeur 1994)

Source : SETRA

Encadré 4 - Prise en compte des fréquences dans les prévisions de trafic voyageurs ferroviaires

Dans le cadre de l'évaluation de projets, les modèles de prévision de trafic voyageurs ferroviaires étudient les trafics et leur comportement au niveau micro-économique de l'origine-destination. Qu'il s'agisse de déplacements urbains ou de déplacements interurbains, ils prennent en compte des paramètres autres que les prix et les temps de transport. La notion de temps généralisé, sur laquelle ils s'appuient, intègre en effet des facteurs tels que le nombre de fréquences ou le nombre de ruptures (changements de trains).

Les modèles de prévision de trafic voyageurs ferroviaires tiennent compte de la fréquence (nombre de trains pour une origine-destination) de la manière qui reflète le plus fidèlement possible la réaction des voyageurs à ce facteur explicatif, qui n'est bien sûr qu'un facteur parmi d'autres. Par exemple, pour les déplacements interurbains, le nombre de fréquences est en général pris en compte dans le temps généralisé sous la forme d'une fonction de l'écart moyen entre deux trains. La considération de la qualité de l'offre en termes de fréquences ne se fait pas de façon isolée, mais dans le cadre d'un modèle cohérent pour l'ensemble des paramètres de l'offre.

Pour l'évaluation de projet, la prévision de trafic prend en considération la variation du nombre de fréquences entre la situation de référence et la situation de projet en même temps que la variation de l'ensemble des autres paramètres. L'analyse socio-économique évalue de façon cohérente les variations de coûts généralisés engendrées par la réalisation du projet.

Source : SNCF

Enfin, l'ensemble des valeurs du temps pour les voyageurs varierait d'une année à l'autre en fonction de la consommation finale des ménages par tête, avec une élasticité de 0,7¹.

4.2.3. Pour les marchandises

En transport de marchandises, les valeurs du temps doivent être appréciées en prenant en compte successivement l'avantage pour le transporteur et l'avantage pour le chargeur. Ces deux avantages s'additionnent : ils correspondent respectivement au surplus du producteur et au surplus du consommateur.

Valeur du temps des chargeurs

Le groupe retient les propositions suivantes :

- La fiabilité et la sûreté du transport, qui ont une valeur pour les chargeurs, doivent être prises en compte dans le calcul économique.
- Des recherches sur cette valeur de la fiabilité et de la sûreté dans le transport de marchandises doivent être entreprises. Il conviendra également d'évaluer l'effet des investissements de transport sur ces grandeurs.
- Des investigations complémentaires devront être réalisées pour caractériser les études existantes sur la valeur du temps (type de questions posées, chargeurs concernés, description des envois, type de marchandises).
- D'autres travaux seront également nécessaires pour obtenir des valeurs du temps exprimées dans des unités compatibles avec les statistiques disponibles et les projections de la demande de transport.

Il est important de préciser que la valeur du temps des marchandises ne dépend pas du mode de transport, mais de la nature de ce qui est transporté ainsi que de

(1) Le rapport technique sur MATISSE (« Modèle MATISSE, test de la version du 14/05/97 », INRETS, document technique, juillet 1997) fait état de valeurs moyennes du temps qui, sur la période 1974-1996, présentent des élasticités à la consommation des ménages qui vont de + 0,4 pour une distance de trajet de quelques dizaines de kilomètres à + 1,1 pour une distance de l'ordre de 1 000 kilomètres. Ces élasticités sont validées indirectement. Elles correspondent aux valeurs qui permettent au modèle de reconstituer les trafics sur les réseaux aérien et autoroutier à péage empruntés plus particulièrement par les voyageurs à forte valeur du temps. C'est sur cette base qu'une élasticité unique de + 0,7 peut être retenue pour l'ensemble des distances.

la chaîne logistique dans laquelle s'insère la marchandise. C'est d'ailleurs en raison de la répartition du trafic entre les modes que la valeur du temps de la marchandise peut être, en moyenne, significativement différente d'un mode à l'autre.

Le groupe recommande instamment que des études et recherches soient lancées pour aboutir à une méthodologie adaptée aux divers types de marchandises comme aux divers modes de transport. Sans attendre le résultat de ces études, le groupe recommande de retenir, à titre expérimental, trois valeurs du temps selon le niveau de valeur des marchandises transportées.

Pour les marchandises transportées par la route, un certain nombre d'études menées sur la valeur du temps pour les chargeurs conduisent à une fourchette allant de 30 F à 250 F par heure et par envoi. Les évaluations appartenant au bas de fourchette, qui isolent bien la valeur du temps de celle de la fiabilité ou du risque, correspondent à des envois dont la taille est inférieure à un chargement ordinaire de poids lourd, et représentent donc un minorant. Avec une valeur du temps exprimée en heure et par véhicule (et non plus par envoi), il est proposé de retenir une valeur du temps, prudente, de 0,45 €/par tonne et par heure. Cette valeur, qu'on peut retenir en moyenne pour le mode routier (même si ce mode assure aussi le transport de marchandises à très faible valeur ajoutée), s'appliquerait également au transport combiné, aux trafics de conteneurs maritimes pour autant que les trafics concernés ne correspondent pas à de simples rotations de caisses vides¹, aux transports ferroviaires de haute valeur comme la messagerie ou les transports frigorifiques, et aussi à la route roulante, ou encore au trafic roulier².

(1) Le groupe attire l'attention sur l'aspect transitoire de la proposition retenue ici eu égard aux difficultés que l'on rencontre encore à établir une règle générale pour le trafic multimodal sans avoir pu procéder au préalable à des études plus poussées. L'étude de la valeur du temps des marchandises d'un parcours multimodal suppose, en effet, de prendre en compte les ruptures de charge, les temps d'attente, les reconditionnements en zone portuaire, l'existence de solutions alternatives s'offrant aux transporteurs, etc.

(2) Le trafic roulier désigne, en pratique, le transport maritime de remorques routières et ensembles routiers, transportant ou non des conteneurs, mais aussi les conteneurs déposés à bord par roulage, etc. En attendant de pouvoir identifier plus finement les sous-catégories de ce trafic relevant réellement de la catégorie des marchandises à haute valeur, on retiendra, en première approche, pour l'intégralité des trafics rouliers, la valeur de 0,45 € par tonne et par heure.

Pour les marchandises courantes transportées par fer et par voies maritime et fluviale, le groupe propose de retenir une valeur, également prudente, de 0,15 € par heure et par tonne, les études montrant que cette valeur doit être nettement inférieure, en moyenne, à celle adoptée pour la route.

Pour les autres marchandises en vrac à faible valeur, comme les granulats, on retiendra une valeur plus faible encore de 0,01 €

Enfin, de manière générale, lorsque l'évaluation d'un investissement nécessite de prendre en compte une desserte terminale assurée par un autre mode de transport que le mode principal, on retiendra pour cette partie du transport la valeur du temps retenue pour le mode principal.

Les valeurs du temps précédentes devraient être stables d'une année à l'autre ou évoluer faiblement à raison des deux tiers de l'évolution du produit intérieur brut (PIB)¹.

Réduction des coûts de l'exploitation des transporteurs liée aux gains de temps

Pour les modes de transport autres que la route, les réductions de coûts d'exploitation devront être estimées au cas par cas.

Pour la route, il n'y a pas lieu de remettre en cause la valeur actuelle de l'instruction routière, 193 F/h (1994) pour la réduction des coûts de transport par véhicule lourd (autocars ou poids lourds) liée à des gains de temps. Il n'y a pas lieu non plus d'indexer cette valeur, qui devrait donc rester la même en francs constants dans l'avenir ; c'est la pratique actuelle et cela revient à estimer que des gains de productivité compenseront les augmentations de charges liées à un meilleur respect des réglementations routières et sociales.

4.3. L'usage de ces valeurs

L'application des valeurs du temps proposées peut parfois se heurter dans la pratique à quelques difficultés. Le groupe attire l'attention sur deux points

(1) La valeur à la tonne des marchandises transportées par route en France a augmenté de 15 % de 1985 à 1995, d'après les résultats de la recherche européenne « REDEFINE », alors que le PIB français augmentait sur la même période de 24 %.

particuliers, celui des parcours terminaux d'un trafic intermodal, et celui des trafics transférés d'un mode à un autre.

En règle générale, la valeur du temps retenue pour un usager doit être la même tout le long du parcours. On retiendra celle du mode principal lorsque le ou les autres modes sont visiblement utilisés pour des parcours terminaux, avant ou après emploi, d'un mode principal clairement identifié (par exemple pour le parcours terminal d'un trajet en TGV, on retiendra la valeur du temps TGV de la classe correspondante, et non la valeur du temps urbaine). Néanmoins, lorsqu'un usager doit utiliser deux modes, mais qu'on ne sait pas dans la pratique repérer précisément cet usager sur ces deux modes, on assimilera cet usager, sur chacun des modes, à l'usager moyen du mode, lui affectant ainsi des valeurs du temps différentes en fonction des modes employés.

La modélisation des trafics d'un mode de transport fournit en général, par relation origine-destination, et pour chaque scénario d'offre, les flux de déplacements, les temps de parcours et les autres termes du coût généralisé. Pour désigner le trafic nouveau, on parle généralement de trafic induit ; ce trafic correspond, sur une relation donnée, à l'augmentation du volume de trafic attendue entre le scénario de référence et le scénario de projet. On considère donc là, dans un même ensemble, tous les voyageurs qui, dans le scénario de référence, se déplaçaient moins souvent, ailleurs, par un autre mode de transport, ou pas du tout.

Pour les trafics induits, ainsi définis, le surplus d'un nouvel usager sera obtenu en prenant la moitié de la différence entre le coût généralisé de transport (comprenant le prix et le temps du transport) dans le scénario de référence et le coût généralisé dans le scénario de projet. Certes, ce mode de calcul néglige le fait que les usagers induits ont une valeur du temps qui peut être différente de celle des usagers moyens du mode : de plus, il est mal adapté lorsqu'on est en présence d'une amélioration considérable du service. Néanmoins, dans bien des cas, il n'y a pas de meilleure approche.

Il existe toutefois des situations dans lesquelles on sait qu'une partie du trafic nouveau est détournée d'un autre mode – ce trafic étant qualifié alors de transféré. C'est le cas notamment lorsque l'évaluateur peut s'appuyer sur une modélisation réellement multimodale, qui décrit explicitement l'offre des modes concurrents et le mécanisme de choix modal. Sans doute cette approche peut-elle conduire à retenir pour ces projets des valeurs du temps *ad hoc* venant remettre en cause l'homogénéité des évaluations. Elle peut aussi être la source de manipulations et de contestations. Il n'en demeure pas moins que l'information obtenue par ce biais présente un réel intérêt. Au surplus, ce type

d'approche est indispensable pour apprécier les bilans environnementaux liés aux transferts modaux. Lorsqu'on est ainsi amené à isoler cette catégorie de nouveaux usagers, dits transférés, deux solutions se présentent : dans l'une, on fait la différence entre les coûts généralisés des deux modes, par exemple la route en situation de référence et le fer en projet ; dans l'autre, on retient le mode final (par exemple le fer) tant pour la situation de référence que pour le projet, en prenant en compte la moitié du gain en coût généralisé. Le choix entre ces deux possibilités devra être fait en fonction du type de projet évalué et du degré d'information dont disposent les évaluateurs. Dans les deux cas, il conviendra de faire apparaître précisément dans le bilan la part monétaire des autres avantages et celle liée aux gains de temps.

4.4. Attitude à tenir en situation de divergence d'évaluation

Lorsque l'évaluation résultant des modèles diverge de celle fournie par la méthode normalisée, il convient bien sûr d'analyser les causes de cette divergence. Après élimination des effets ainsi élucidés, et s'il reste des divergences fortes, il faut, pour trancher, garder à l'esprit que la méthode normalisée vise à donner des ordres de grandeur à partir de calculs simples fondés sur les trafics transférés. Aussi, la préférence devra être donnée à l'une ou l'autre procédure selon le caractère plus ou moins fiable du modèle de trafic mis en œuvre, selon la marge d'incertitude des valeurs du temps issues de ces modèles, dont ce n'est pas l'objet principal, et enfin selon la complexité des transferts de trafic impliqués par le projet (la méthode normalisée rend mal compte des situations où les transferts de trafic sont complexes et jouent de façon très différente selon les origines-destinations). Une commission de suivi, qui pourrait être simplement un avatar de la commission suggérée pour l'évaluation des modèles, devrait analyser sous cet angle les projets les plus importants.

4.5. Points à approfondir

Les propositions retenues dans ce rapport appellent de nombreux approfondissements. Le groupe recommande notamment d'engager des études sur les points suivants :

- la valeur du temps des marchandises,
- la valorisation des éléments de confort et de qualité de service (fiabilité, régularité, information, sécurité, etc.) notamment pour le transport collectif,

- Annexe 2 -

- l'évaluation des gains de décongestion.

Le groupe Boiteux recommande enfin vivement qu'un programme de recherche sur la valeur du temps en milieu urbain soit engagé afin de pouvoir à l'avenir, asseoir les recommandations sur des bases mieux assurées.

Document 1
Estimations empiriques de la valeur du temps de déplacement 1

Author	Country	VTTs as a % of Wage Rate	Trip Prupo	Mode
Dawson & Smith (1959)	UK	86 %	Interurban	Auto
Mohring (1960)	USA	22-43 %	Commuting	Auto, Transit
Claesson (1961)	Sweden	64 %	--- (g)	--- (g)
Claffey, et al (1961)	USA	65 %	Interurban	Auto
Becker (1965°)	USA	42 %	Commuting	Auto, Transit
Bessley, M. (1965)	UK	33-50 % (b)	Commuting	Auto
Lisco (1967)	USA	40-50 %	Commuting	Auto, Transit
Thomas (1967)	USA	72 %	Commuting	Auto
Quarmby, D. (1967)	UK	20-25 %	Commuting	Auto, Transit
Lave (1968)	USA	42 %	Commuting	Bus, Auto
Stopher, P. (1968)	UK	21-32 % (b)	Commuting	Auto, Transit
Oort, C. (1969)	USA	33 %	Commuting	Auto
Lee & Dalvi (1969)	UK	30 %	Commuting	Bus
Hansen (1970)	Norway	36 %	Commuting	Auto, Transit
Thomas & Thompson (1970)	USA	40-85 %	Interurban	Auto
Howe (1971)	Kenya	102 %	--- (g)	--- (g)
Lee & Dalvi (1971)	UK	40 %	Commuting	Auto
Wabe, J. (1971)	UK	43 %	Commuting	Subway, Rail
Charles River Associates (1972)	USA	32 %	Commuting	--- (g)
Dawson & Everall (1972)	Italy	60-89 %	Interurban	--- (g)
Talvittie, A. (1972)	USA	12-14 %	Commuting	Auto, Transit
Kentner (1973)	Germany	91 %	--- (g)	--- (g)
Kenter (1973)	Germany	40 %	--- (g)	--- (g)
Algers et al (1974)	Sweden	21 %	Commuting	Auto, Transit
Hensher & hotchkiss (1974)	Australia	2,7 %	Commuting	Hydrofoil, Fry
Hensher & Delofski (1974)	Australia	39 %	Interurban	--- (g)
O'Farrell & Markham (1975)	Ireland	86 %	--- (g)	Auto, Rail
Mc Fadden (1975)	USA	28 %	Commuting	Auto, Transit
Ghosh, Lees & Seal (1975)	UK	73-89 %	Interurban	Auto
Mc Donald, J. (1975)	USA	45-78 % (b)	Commuting	Auto, Transit
Ghosh, et al (1975)	UK	73 %	Interurban	Auto
Guttman, J. (1975)	USA	63 %	Leisure	Auto
		145 %	Commuting	Auto
Hensher, D. (1977)	Australia	39 %	Commuting	Auto
		35 %	Leisure	Auto

(1) La première colonne indique l'auteur et la date de l'étude, la deuxième le pays, la troisième donne la valeur du temps de déplacement gagné exprimée comme un pourcentage du taux de salaire, la quatrième indique le motif du déplacement et la cinquième le mode de transport concerné.

(b) Varie avec le revenu du voyageur

(c) Estimations sensibles aux données collectées

(d) Varie avec le revenu du voyageur et le modèle utilisé

(e) L'article utilise 5,71 % du revenu journalier dans son modèle (8 heures par jour)

(f) Valeurs déduites (l'étude évalue en fait le temps d'attente)

(g) Les tirets indiquent que le motif du déplacement ou le mode sont inconnus

- Annexe 2 -

Hensher & Mc Leod (1977)	Australia	20 %	Commuting	Auto, Rail
Nelson J. (1977)	USA	23-45 %	Commuting	Auto
Hensher (1982, cited in 1989)	Australia	46 %	Commuting	Auto
Hauer & Greenough (1982)	Canada	67-101 % (f)	Commuting	Subway
Edmonds, R. (1983)	Japan	42-49 % (c)	Commuting	Auto, Bus, Rail
Thomas, S. (1983)	Malaysia	52,5 %	Commuting	Taxi, Bus
Algers & Wildert (1985)	Sweden	20-30 %	---	All modes
Chui & Mc Farland (1985)	USA	82 %	Interurban	Auto
Deacon & Sonstelie (1985)	USA	52-254 % (b)	Leisure	Auto
Hensher & Truong (1985)	Australia	105 %	Commuting	Auto, Transit
Guttman & Memashe (1986)	Israel	59 %	Commuting	Auto, Bus
Fowkes, T. (1986)	UK	27-59 % (d)	Commuting	Rail, Coach
Hau, T. (1986)	USA	46 % (e)	Commuting	Auto, bus
Winston & Associates (1987)	USA	75 %	Interurban	Mul. modes
Horowitz, J.L. (1987)	Australia	68 %	Interurban	Auto
Bates et al (1987) (Route choice)	UK	43 %	Commuting	Auto, Transit
Bates et al (1987) (Survey)	UK	62 %	Commuting	Auto, Transit
Chui & Mc Farland (1987)	USA	82 %	Interurban	Auto
Mohring et al (1987)	Singapore	60-120 % (b)	Commuting	Bus
Hensher (1989)	Australia	36 %	Commuting	Auto
Henscher (1990)	Australia	34 %	Commuting	Auto
Cole Sherman (1990)	Canada			
Comparison Model		93 %	Commuting	Auto
		116 %	Leisure	Auto
Logit Model		170 %	Commuting	Auto
		165 %	Leisure	Auto

Source : William G. Waters, « Values of Travel Time Savings in Road Transport Project Evaluation : Research Review and Directions », communication pour la 7^e conférence mondiale sur la recherche de transport, Sydney, 16-21 juillet 1995, p. 5-6

Document 2
Valeur monétaire de certains attributs qualitatifs ¹

Ce tableau synthétise une procédure complexe de collecte de données d'enquêtes tant sur le niveau objectif de qualité des services que sur la perception que les usagers en ont. Une étude spécifique permet de passer d'évaluations qualitatives, objectives et subjectives, à une évaluation monétaire. Les valeurs traduisent le prix que sont prêt à payer les utilisateurs pour passer du niveau de qualité constaté, tel qu'il est perçu, à un service jugé idéal. Cette monétarisation des attributs de qualité est présentée ici non pour retenir les valeurs proposées mais pour indiquer le type de méthodologie qui mériterait d'être entrepris notamment sur les grandes agglomérations pour intégrer les éléments de confort au calcul économique classique. À l'évidence, il convient de faire porter l'effort en priorité sur un nombre limité de paramètres importants.

Valeur des attributs par groupe (pence par voyage)

Propreté de la station	2,31
Planchers murs et plafonds (quais)	0,24
Planchers murs et plafonds (couloirs)	0,24
Planchers murs et plafonds (salle des billets)	0,21
État/aspect (salle des billets)	0,20
État/aspect (couloirs)	0,09
État/aspect (quais)	0,18
Graffitis	0,09
Détritus	0,12
Aspect des boutiques	0,13
État de la salle d'attente	0,11
Qualité de l'air dans les couloirs et sur les quais	0,31
Courants d'air dans les couloirs et sur les quais	0,07
Câbles et conduites	0,32
Information en station	2,96
Abondance de la signalétique	0,21
Pendules dans la salle des billets	0,17
Pendules dans les couloirs	0,25
Pendules sur les quais	0,20
Audibilité des annonces	0,29
Utilité des annonces	0,22
Information dans la salle des billets	0,35
Information prochain train sur le quai	0,18
Information incidents sur le quai	0,67
Information girouette	0,02
Repérage extérieur de la station	0,13
État des affiches du LUL	0,17
État des autres affiches	0,07
Présence de publicité sur les quais	0,03

(1) Jean-Paul Coindet, « Valorisation de la qualité de service dans les transports collectifs, les méthodes du London Transport », INRETS, janvier 1999.

- Annexe 2 -

Services en station	1,10
Affluence	0,26
Distributeurs de tickets	0,45
Cabines téléphoniques	0,23
Sièges sur le quai	0,12
Marquise sur le quai (stations de surface)	0,04
Personnel en station	1,39
Empressement	0,79
Information, connaissance	0,36
Aspect	0,24
Sécurité en station	5,54
Miroirs dans les couloirs	0,08
Points secours sur les quais	0,44
Points secours dans les couloirs	0,15
Puissance de l'éclairage sur les quais	0,16
Puissance de l'éclairage dans les couloirs	0,14
Puissance de l'éclairage dans la salle des billets	0,12
Présence de personnel sur les quais	1,12
Présence de personnel dans la salle des billets	0,32
Présence de personnel dans les couloirs	0,74
Caméras de surveillance dans les couloirs	0,36
Caméras de surveillance sur les quais	0,67
Caméras de surveillance dans la salle des billets	0,75
Salle de contrôle visible	0,13
Téléphones de secours sur les quais	0,36
Équipements en station	1,96
Automates sur les quais	0,10
Boutiques dans la salle des billets	0,17
Mini-boutiques sur les quais	0,06
Points-argent dans la station	0,80
Téléphones dans la salle des billets et sur les quais	0,28
Moyens de paiement des téléphones	0,35
Toilettes	0,21
Accessibilité de la station	1,10
Absence de marche entre le quai et le train	0,17
État des escaliers mécaniques et ascenseurs	0,09
Calme dans les escaliers mécaniques et ascenseurs	0,03
Correspondances bus	0,09
Station de taxis	0,25
Absence d'escaliers	0,47
Information dans les trains	5,18
Audibilité des annonces verbales	0,82
Utilité des annonces verbales	1,38
Information sur la prochaine station et les correspondances	1,03
Annonces verbales en cas d'attente	0,57
Fréquence des annonces	0,80
État des affiches du London Transport	0,60
Propreté du train	6,15
Propreté intérieure	2,54
Propreté extérieure	0,32
Décor extérieur	0,47
Graffitis à l'intérieur	0,29
Graffitis à l'extérieur	0,09
Environnement général dans la voiture	0,83
Détritus	0,85

État des affiches publicitaires	0,12
État des sièges	0,64
Sécurité dans le train	13,83
Caméras de surveillance dans le train	4,70
Puissance de l'éclairage	0,44
Alarmes à la disposition des voyageurs	1,76
Capacité du personnel à arrêter le train	3,59
Personnel visible à bord	2,20
Interconnexion entre les voitures	1,13
Environnement dans le train	9,32
Ventilation (qualité de l'air)	1,65
Température	1,65
Bruit	0,83
Confort du trajet	1,00
Design	2,11
Congestion	1,68
Ouverture et fermeture individuelle des portes	0,39

Annexe 3

**CONGESTION URBAINE ET INTERACTION ENTRE
LA CIRCULATION DES VÉHICULES PARTICULIERS
ET LES AUTRES USAGES DE LA VOIRIE**

Annexe 3

CONGESTION URBAINE ET INTERACTION ENTRE LA CIRCULATION DES VÉHICULES PARTICULIERS ET LES AUTRES USAGES DE LA VOIRIE

La notion de congestion occupe une place toute particulière dans l'évaluation socio-économique des projets d'infrastructure de transport sous deux aspects. D'une part, l'étude de la congestion ne trouve tout son sens que dans une démarche qui couvre à la fois l'optimisation des investissements, la tarification de l'infrastructure et le niveau de la qualité du service offert. D'autre part, la congestion doit être appréhendée comme un effet externe d'une catégorie d'utilisateurs sur d'autres, la voirie publique étant le lieu de multiples usages, qui ne se limitent pas à la seule circulation.

Si la première préoccupation a déjà suscité de très nombreux développements, sur lesquels nous reviendrons rapidement, la seconde reste beaucoup moins satisfaite. Les études permettant d'établir de manière précise les interactions entre les voitures particulières et les autres usages de la voirie, et notamment celles relatives à l'impact de la congestion routière sur les transports collectifs, ne sont pas très nombreuses. Les éléments disponibles, qualitatifs et quantitatifs, restent encore très succincts et sujets à caution, alors que la connaissance de ces interactions est indispensable lorsqu'il s'agit d'évaluer l'intérêt collectif de certains investissements dont l'objet est d'améliorer la qualité de service des transports en commun ou de promouvoir un nouveau partage de la voirie dans un espace où les conflits d'usages sont importants.

L'importance des interactions entre la circulation routière et l'exploitation des réseaux de bus incite aujourd'hui les responsables à envisager la réalisation de sites propres. Or, la solution qui consiste à isoler les transports en commun en développant par exemple des réseaux de métros ou, plus modestement, en partageant la voirie, est souvent coûteuse en argent ou en temps perdu. Elle ne peut pas être systématiquement généralisée, y compris pour les projets les plus simples, comme les couloirs réservés qui impliquent de réduire la voirie.

De ce fait, la question du partage optimal de la voirie apparaît comme incontournable.

L'évaluation des projets de site propre impose donc de bien connaître dans les différentes situations de congestion, les effets économiques d'une modification du partage de la voirie sur chaque catégorie d'usagers (voitures particulières, transports collectifs, piétons), les coûts des interactions entre les véhicules particuliers et les transports en commun (qualité de service, coûts d'exploitation des transports en commun et des voitures particulières), afin de s'assurer que les gains nets obtenus pour ce type de projets sont supérieurs au coût des investissements nécessaires.

Le présent chapitre se propose, dans un premier temps, de replacer ce dernier problème dans un cadre théorique plus général, avant de présenter l'ensemble des considérations particulières qui émergent des réflexions du groupe de travail. On fera enfin, sur quelques points, diverses recommandations, lesquelles resteront d'ordre méthodologique, l'état actuel des études ne permettant de recommander ni des méthodes avérées ni des valeurs susceptibles d'être utilisées dès maintenant dans les évaluations socio-économiques.

1. Congestion : complexités conceptuelles et difficultés de mesure

La congestion reste en France un phénomène en grande partie urbain même si on peut l'observer sur les grandes infrastructures interurbaines en certains nœuds du réseau et à certaines occasions limitées dans le temps. Ses effets se manifestent par une dégradation des conditions de transport : allongement des temps de parcours, dégradation de la fiabilité des temps de déplacements, surconsommation de carburant, augmentation des coûts d'exploitation des véhicules qui se trouvent sollicités davantage pour une distance parcourue identique, pollution supplémentaire, etc.

Dans une première approche la congestion se définit comme la gêne que les véhicules s'imposent les uns aux autres en raison de la relation qui existe entre la densité de circulation sur un itinéraire ou sur un réseau (concentration des véhicules) et la vitesse d'écoulement des trafics, compte tenu de la capacité (ou du débit maximal possible).

Au-delà de cette approche, l'expression a de nombreuses acceptions. On adoptera ici le point de vue de l'économiste, qui considère à la fois les

caractéristiques de la route et la demande des usagers, à la différence du point de vue de l'ingénieur fondé sur les seules caractéristiques de débit et de vitesse de la route.

Le coût économique de la congestion peut être défini en théorie comme la différence entre l'utilité effectivement retirée de l'usage de l'infrastructure congestionnée et l'utilité qui en serait retirée si elle était utilisée de façon optimale.

Dans ce cadre, la congestion n'a donc de sens précis que rapportée à une situation optimale, eu égard à un objectif déterminé de qualité de service. Cette approche interdit déjà d'interpréter la congestion comme le temps total passé en transport ou, dit autrement, on se refuse à considérer comme situation de référence une situation dans laquelle le temps de transport serait nul. Cette approche diffère aussi de celle qui consiste à considérer que la congestion est mesurée par la différence entre le temps effectivement passé sur l'infrastructure et le temps qui aurait été passé en cas de fluidité maximale (véhicule seul sur la route). Cette situation de référence irréaliste entraînerait des investissements injustifiés. On est ainsi conduit à mesurer la congestion par les pertes qu'un utilisateur va imposer aux autres lorsqu'il utilise une infrastructure de taille optimale et qu'il ne prend pas en compte au moment d'utiliser l'infrastructure. Le coût de congestion qu'on cherche à limiter par un nouvel investissement doit alors s'apprécier sur la base de l'écart observé entre la congestion de fait et la congestion optimale attachée à l'infrastructure.

La congestion résulte d'un effet interactif entre différents types d'usagers de la voirie. Ces interactions sont assez nombreuses entre les voitures particulières, les transports en commun, les taxis, les poids lourds et les véhicules utilitaires, les deux-roues, les rollers et les piétons. Sans dénier l'importance de certaines interactions (qui mériteraient d'être analysées pour elles-mêmes), on se concentrera ici sur les interactions particulières qui existent entre la voiture particulière et les transports en commun, compte tenu du niveau de la congestion et du partage de la voirie entre les différents usages. Notons que ces interactions concernent aussi bien les contraintes que les trafics de voitures particulières font peser sur la circulation des transports collectifs que celles qu'exercent les transports collectifs sur le reste du trafic (carrefours, arrêts). Ces interactions ne sont pas seulement négatives, l'augmentation de la fréquentation des services de transport collectif ayant également un impact sur la fluidité du trafic de voitures particulières. L'ensemble de ces interactions font l'objet aujourd'hui d'une attention particulière dès que l'on cherche à dynamiser l'offre des transport collectifs dans les grandes agglomérations.

Les notions théoriques exposées plus haut sont souvent complexes et difficiles à appliquer. Déjà, la définition de l'optimalité pose de nombreux problèmes, ne serait-ce que parce que les conditions de circulation résultent d'une interaction complexe entre l'offre, la demande et des paramètres extérieurs éminemment variables dans le temps, alors que l'offre reste figée et n'évolue que par bonds et non de façon continue. Les mises en œuvre pratiques se heurtent, par ailleurs, à la difficulté d'établir une situation de référence qui ait un sens économique. Celle-ci doit-elle être calculée en se basant sur une vitesse maximale, une vitesse considérée comme acceptable, ou encore une vitesse permettant de maximiser le flux sur une infrastructure donnée ? Ou bien doit-elle être liée à l'impact sur la vitesse de circulation de l'arrivée d'un véhicule supplémentaire ?

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour appréhender ces phénomènes.

La congestion peut être assimilée au temps total passé dans les transports. Cette méthode, qui assimile le temps de transport au temps perdu, conduit à des évaluations surestimées et n'est pas acceptable.

La congestion peut être caractérisée par la différence entre la vitesse des véhicules sur une infrastructure mesurée pendant une période déterminée (heure de pointe, par exemple) à un instant t pendant une période déterminée compte tenu de la réglementation et la vitesse qui serait constatée sur une route vide au même instant. L'évaluation serait encore surestimée, car la situation de référence ne peut pas être une situation de fluidité maximale.

On peut alors songer à la différence entre la vitesse mesurée et une vitesse de référence considérée comme acceptable. Cette méthode paraît plus assurée que les précédentes d'un point de vue théorique, puisque la congestion est rapportée à une situation de référence définie par un niveau de qualité de service. Toutefois, le terme trop flou d'« acceptable » paraît bien peu opératoire et sujet à de multiples interprétations, tant pour ce qui est de la vitesse commerciale des transports collectifs, que de la vitesse de déplacement des véhicules particuliers.

La congestion peut encore être déterminée par différence entre la vitesse mesurée et la vitesse correspondant au débit maximal sur la route considérée. Cependant, l'ingénierie du trafic montre que ce débit maximal – ou capacité de la route peut être obtenu (ou maintenu) selon des vitesses assez variables, moyennant des files d'attente (bouchons) plus ou moins importantes ; on considère implicitement comme un optimum technique l'état de la route (densité de circulation) qui assure le débit maximal avec la vitesse la plus élevée possible. Cette méthode classique, qui a l'intérêt d'être opérationnelle, suppose qu'en maximisant le débit de l'infrastructure, on maximise effectivement

l'intérêt collectif, ce qui suppose, implicitement, que tous les usagers retirent la même satisfaction d'un service identique alors qu'il n'y a pas de relation simple entre le débit et la valorisation du temps passé sur une infrastructure.

Cette méthode se heurte aussi à la difficulté d'étendre les calculs obtenus pour une infrastructure particulière à l'ensemble d'un réseau routier urbain et notamment de déterminer la vitesse optimale de fonctionnement de ce réseau ou voisinage du débit maximum. S'il reste toutefois possible de trouver la vitesse qui maximise le débit par types de grandes infrastructures interurbaines, cela reste beaucoup plus difficile pour les voiries urbaines, notamment du fait que le débit résulte d'une interaction complexe entre l'offre, la demande et certains paramètres extérieurs.

Finalement, l'approche véritablement économique conduirait à mesurer la congestion par le produit d'une taxe qui devrait être fixée de manière à faire supporter à l'usager supplémentaire l'accroissement de coût que sa présence sur l'infrastructure occasionne aux autres usagers. À titre d'exemple, un calcul théorique de file d'attente montre que, sur un réseau saturé fonctionnant à débit Q constant (exploitation optimisée), la durée de parcours T d'un véhicule est proportionnelle à la densité de circulation (nombre N de véhicules présents sur le réseau) avec la relation $Q = N / T$. Un véhicule supplémentaire qui s'introduit sur ce réseau fait donc supporter à l'ensemble des N autres véhicules une perte de temps totale égale à sa durée T de présence sur le réseau (coût marginal de congestion). En soi préférable, cette démarche reste encore très théorique.

2. Mesures de la congestion en milieu urbain

Des données très globales donnent un premier aperçu de l'ampleur du temps perdu par les usagers des réseaux d'autobus. On peut rappeler l'appréciation proposée par le Syndicat des transports d'Île-de-France ¹, qui estime à environ 39 millions d'heures par an le temps que gagneraient les usagers des autobus si la circulation était fluide. En valorisant ce temps sur la base du salaire horaire moyen en Île-de-France (81 francs) ², le Syndicat des transports d'Île-de-France évalue le coût de ce temps perdu à plus de 3 milliards de francs en 1990, coût auquel il faut ajouter le surcoût d'exploitation des entreprises de transport en commun (surdimensionnement du parc, des effectifs et des charges par rapport à

(1) *Compte transports de voyageurs et coût des déplacements en Île-de-France, Syndicat des transports parisiens, 1997, page 13.*

(2) *Le chapitre sur la valeur du temps propose une révision de cette base de calcul.*

- Annexe 3 -

la situation de fluidité souhaitée), estimé en 1997 à un peu plus de 1 milliard de francs. On notera que ce résultat dépend du niveau de fluidité retenu correspondant et serait nettement surestimé s'il s'agissait de la fluidité maximale.

Les ordres de grandeurs doivent toutefois être précisés davantage. Les études actuellement disponibles sur ce sujet sont peu nombreuses et souvent anciennes. Sans prétendre à une présentation exhaustive, il est utile de rappeler les principales d'entre elles.

2.1. Études RATP (1977-1978) : des études anciennes, dont certains résultats perdurent

Bien que les résultats des deux études suivantes déjà anciennes n'aient plus guère de signification aujourd'hui, il n'est pas sans intérêt de s'arrêter sur la démarche suivie par les auteurs. La réactualisation de ces travaux apporterait de précieux éléments d'information dans le débat actuel.

La première étude¹ vise à valoriser le surcoût d'exploitation des autobus dû à la congestion routière. Elle établit une relation entre la vitesse commerciale des autobus, les pertes de temps de leurs occupants et la densité de circulation, la mesure de la congestion étant définie comme le rapport entre les flux des véhicules à un moment donné et le maximum de ces mêmes flux en heure de pointe.

La vitesse de rotation est calculée sur un aller-retour et comprend les temps de battement, qui augmentent avec l'irrégularité liée elle-même à la congestion.

L'augmentation de la vitesse de rotation des bus permet, d'une part, de réduire le nombre de machinistes, le nombre de bus en service commercial et le nombre de kilomètres à vide et, d'autre part, de faire gagner du temps aux usagers.

L'étude évalue les gains correspondant à deux cas de réduction de la circulation.

Le premier correspond à une situation dans laquelle la circulation générale baisse de 20 %. Le second cas correspond à une situation de référence dans laquelle la circulation générale n'occasionnerait aucune gêne aux autobus.

(1) « Des effets de la congestion sur les transports par autobus en région parisienne », RATP, septembre 1977.

L'ordre de grandeur des gains de coût d'exploitation pour la RATP dans le second cas de circulation « libre » des autobus s'établit à environ 27 % des charges variables et 16 % des charges totales.

Par ailleurs, le gain de temps procuré aux usagers des autobus atteint, sur la base de l'année 1976, 1,5 fois le gain réalisé par l'entreprise.

Il faut rappeler que ces estimations se rapportent à une situation de référence où les autobus ne subiraient aucune contrainte due à la circulation générale.

La seconde étude ¹ (1978) reprend la précédente et s'attache aussi à valoriser le surcoût d'exploitation des autobus et le temps perdu par les usagers. Elle part du concept de « vitesse objectif », pour établir une référence qui serait la vitesse maximale possible compte tenu des contraintes physiques et réglementaires. Le temps supplémentaire de circulation imposé aux autobus par la congestion est déduit de la vitesse réelle et de l'allongement des temps de battement pour les aller-retour. L'effectif supplémentaire de machinistes, les autobus supplémentaires à mettre en service et la surconsommation de carburant permettent de calculer les surcoûts d'exploitation. Le temps perdu par les usagers est estimé à partir de la charge moyenne par course, aux heures de congestion, pondérée par la longueur moyenne des trajets et valorisée à partir de la valeur du temps. Le coût de la congestion résulte ainsi de la surconsommation de carburant (+ 10 %), de l'accroissement des effectifs (+ 23 %) et du nombre d'autobus supplémentaires (+ 30 %) rendus nécessaires en raison de l'allongement des temps de circulation imposés par les voitures particulières.

Les pertes de temps des usagers représentent environ deux fois la valeur des surcoûts d'exploitation subis par l'entreprise.

2.2. Rappel des éléments cités dans le précédent rapport du Plan de 1994 ²

Les interactions entre les voitures particulières et les transports en commun n'avaient pas donné lieu dans le rapport Boiteux (1994) à des développements

(1) « Le coût de la congestion », RATP, « Revue TEC », n° 1, novembre-décembre 1978.

(2) « Transports : pour un meilleur choix des investissements », La Documentation française, novembre 1994.

particuliers. Toutefois, dans une des annexes, la DREIF¹ avait rappelé comment valoriser les gains de décongestion, notamment ceux que les usagers de la voiture particulière retirent de l'amélioration des réseaux de transports en commun.

S'appuyant sur une étude ancienne (rapport Hauteux de 1969)², la DREIF expliquait que, hors coûts externes d'environnement, les gains peuvent être valorisés au temps gagné par l'ensemble des usagers lorsqu'on retire un véhicule-kilomètre d'un itinéraire encombré, et proposait d'appliquer une valeur moyenne de 0,065 heure par véhicule-km en la pondérant par des coefficients spécifiques pour tenir compte des particularités de certaines zones.

Déjà, dans le rapport Boiteux, on s'interrogeait sur la pertinence des valeurs utilisées³. Il était notamment demandé que soit vérifiée la validité de cette loi sur quelques itinéraires et qu'on établisse une carte représentative des vitesses actuelles sur les principaux axes aux différentes périodes de la journée.

Cette recommandation était notamment motivée par le fait qu'en raison de la faiblesse des transferts entre transports en commun et voitures particulières, les avantages des projets de transports en commun étaient fortement influencés par la valorisation des gains de décongestion obtenus sur les voitures particulières. Celle-ci n'a pas été suivie d'effet.

(1) Voir l'annexe 2 du rapport Boiteux (1994), le modèle de prévision de trafics de la Direction régionale de l'Équipement d'Île-de-France (DREIF).

(2) Cette étude proposait d'associer à un taux de saturation de la voirie (rapport du débit observé au débit correspondant à la capacité physique maximum), la vitesse moyenne des véhicules et le coût marginal social de congestion exprimé en heure par véhicule-kilomètre.

Taux de saturation de la voirie	Vitesse moyenne en km*h	Coût marginal social heure par véh. *km
0 à 0,4	30 à 50	0
0,6	30	0,019
0,8	20	0,061
1	15	0,125

(3) « Les valeurs utilisées sont-elles toujours d'actualité ? Peuvent-elles être vérifiées ? Sont-elles applicables de façon extensive dans le temps et au niveau d'une région, ou ne concernent-elles pas un axe à un moment donné ? Est-on en mesure d'établir les données nécessaires (vitesse, saturation) à une évaluation correcte ? Quelle pertinence à l'horizon 2015 ? ».

Par ailleurs, les études connues à ce jour ne prennent pas en compte les effets sur la circulation générale d'une transformation d'usage de la voirie, par exemple l'effet sur la congestion de la suppression d'une voie de circulation (transformée en voie réservée bus ou tramway).

3. Recommandations

3.1. Mieux apprécier la situation de référence

À défaut de savoir définir une situation d'utilisation du réseau qu'on puisse considérer comme optimale sur le plan économique, compte tenu des difficultés conceptuelles et pratiques analysées ci-dessus, il convient, pour apprécier, à un instant donné, les interactions entre les voitures particulières et les transports en commun, de se rapporter à des situations de référence qui soient significatives du point de vue économique. Sans vouloir être exhaustif, il apparaît nécessaire de disposer au moins d'une série d'informations relatives au fonctionnement de l'infrastructure dans différentes situations observables – vitesses des véhicules, débits et densité du trafic (concentration) – compte tenu des conditions d'exploitation. Les gains ou les pertes de temps liés au projet sont à évaluer par rapport à ces situations de référence. En isolant certains contextes d'exploitation, les « référentiels de vitesse »¹ suivants permettraient d'évaluer mieux qu'aujourd'hui l'intérêt de certains investissements propres au transport en commun, et notamment les gains qui pourraient être obtenus par le biais de systèmes de régulation et d'exploitation. Plusieurs référentiels peuvent être évoqués :

- Le premier référentiel que l'on citera pour mémoire se définit par la vitesse de bus sans passagers² sur un itinéraire sans feux et sans arrêt commerciaux – vitesse qui pourrait être, par exemple, celle d'un bus reliant deux pôles, ou celle d'un taxi assurant la desserte d'un aéroport sur une autoroute fluide. Ce type de données peut être obtenu par simple calcul en y intégrant la

(1) Les conditions de circulation peuvent varier fortement selon les conditions climatiques, les types de conducteurs présents sur l'infrastructure, la signalisation, etc. Ces référentiels sont donc ici définis en supposant des conditions de circulation standards.

(2) Ce référentiel implique des hypothèses sur la fréquence des intersections à feux, la signalisation, le profil de la route, les durées des feux, leur coordination et/ou optimisation.

- Annexe 3 -

performance des véhicules et les contraintes réglementaires affectant la circulation routière.

- Le deuxième porte encore sur la vitesse à vide sur un itinéraire sans arrêts commerciaux, mais en tenant compte de l'existence de feux. Cette vitesse correspondrait à celle des taxis sur les voies urbaines fluides.
- Le troisième se définit par la vitesse à vide d'un itinéraire sans feux, mais en tenant compte des arrêts commerciaux. Cette vitesse correspondrait à celle d'un bus disposant d'un site propre et de priorités aux feux.
- Le quatrième, le seul réellement significatif, se définit par la vitesse à vide sur un itinéraire avec des feux et des arrêts commerciaux. Cette vitesse correspondrait à celle d'un bus circulant sur une voirie urbaine fluide.

Les trois derniers référentiels peuvent être obtenus en exploitant des données existantes, et en relevant les temps de parcours de transports en commun dans les périodes creuses.

Toutefois, ces référentiels conventionnels doivent être complétés et remplacés par d'autres plus proches des conditions d'exploitation réelles. Des investigations plus poussées seraient nécessaires. Celles-ci pourraient être menées en constituant, puis en exploitant, des bases de données établies à partir d'opérations de régulation globale (comme celles menées sur certaines zones à Paris) ou de régulations particulières menées sur certains axes (comme les investigations menées à Rennes avec le système de gestion CLAIRE). À ces éléments, peuvent s'en ajouter d'autres, obtenus suite à la mise en place de réglementations sur certains axes (axes rouges, protection d'itinéraire de bus, etc). Il s'agit de connaître les vitesses (vitesse cible) qui pourraient être obtenues après certains investissements ou certaines décisions de réglementation, d'exploitation ou de partage de la voirie.

Il faut enfin ajouter à ces référents des données précises sur les vitesses commerciales actuelles des bus et des voitures particulières, et sur leurs évolutions relatives. Ces données, qui devraient être distinguées notamment par périodes horaires et par types de zones ou d'infrastructures, peuvent être obtenues en exploitant et complétant des données existantes.

L'évaluation des investissements nouveaux doit être établie par référence à une situation optimisée la plus probable en l'absence de la réalisation du projet. En effet, certains investissements peuvent apparaître très rentables alors qu'avec une tarification correcte du point de vue économique, l'évaluation révélerait

dans bien des cas des rentabilités socio-économiques plus faibles. Il ne peut y avoir d'internalisation de la congestion dans un système de gaspillage généralisé. Il faut donc raisonner par rapport à un système correctement géré, sous peine d'encourager des investissements dont l'utilité sociale serait très contestable. Il apparaît donc indispensable que l'intérêt des projets d'investissement relatif au transport urbain, souvent très coûteux, soit analysé au regard d'une situation de référence dans laquelle l'ensemble des moyens de régulation de la mobilité envisageables sont localement mis en œuvre. Cela comprend notamment les politiques de tarification de la circulation et les politiques réglementaires. Il paraît enfin souhaitable d'évaluer les projets dans le cadre de politiques de transport différenciées.

La situation de référence implique également que soient mises en œuvre, dans le cadre de ces différentes politiques, les mesures d'exploitation de la circulation générale (gestion des feux de signalisation, par exemple) et des transports collectifs destinées à limiter les effets négatifs de la congestion, en maintenant les débits offerts par l'infrastructure malgré l'accumulation des véhicules (optimisation de l'exploitation).

3.2. Améliorer les connaissances sur les interactions entre les voitures particulières et les transports en commun

Les interactions voitures particulières/transports en commun doivent être traitées dans le cadre plus général du partage de la voirie (tramways, autobus, taxis, deux-roues, rollers, piétons, etc.). De nombreux points méritent d'être approfondis.

Il est essentiel d'améliorer l'évaluation de la congestion urbaine en actualisant les relations observables entre la densité de circulation (concentration des véhicules), le débit de l'infrastructure et la vitesse de parcours des différents usagers. Toutefois, l'utilisation de ces relations qui ne prennent pas en compte les effets de réseaux (report d'itinéraires, de modes, etc.) reste d'une part limitée pour appréhender les effets économiques de la congestion urbaine. Il est donc souhaitable d'utiliser des modèles de trafic qui tiennent compte de ces éléments. De telles simulations réalisées sur plusieurs agglomérations pourraient permettre de converger vers des ratios susceptibles d'être utilisés ensuite dans les évaluations. Il faudrait aussi se donner les moyens de tenir compte des différents niveaux de congestion selon les heures de la journée (ou de la semaine), ainsi que des décalages d'heure de départ que les usagers s'imposent

- Annexe 3 -

pour éviter les heures les plus chargées ; ces décalages représentent un coût très significatif.

Il convient également d'améliorer la connaissance de la gêne que subissent les bus et les taxis, et celle des effets des nouveaux systèmes de régulation et de coordination qui se mettent en place sur un ensemble de réseaux (voirie rapide et réseaux urbains).

Il paraît indispensable aussi de mieux appréhender les effets de décongestion de la voirie liés à l'amélioration des services de transports collectifs, au lieu de conserver des coefficients historiques issues du rapport Hautreux (1969) comme on le fait actuellement en Île-de-France, faute de mieux. Mais c'est l'ensemble des interactions entre les voitures particulières et les transports en commun que ces études doivent saisir. Les transports en commun – et plus généralement les mesures de partage de la voirie – peuvent en effet, dans certains cas, imposer aux voitures particulières (carrefours, arrêts, limitation des voies de circulation) diverses contraintes qu'il convient de mieux mesurer.

Enfin, des études devraient être menées pour mieux saisir les effets externes positifs connus sous le nom d'effets Mohring. Ceux-ci apparaissent lorsque l'augmentation du trafic de transport en commun conduit l'opérateur à augmenter les fréquences des services : la qualité de service augmente et les usagers anciens du transport en commun voient leur situation s'améliorer.

Ces interactions doivent être identifiées avec précision par types d'infrastructure et par types de zone en fonction de la densité de circulation (concentration des véhicules) et de la capacité de l'infrastructure. Il convient notamment de bien différencier les zones denses où le trafic est relativement bien stabilisé, et les zones en forte mutation où se fait l'essentiel des progressions de trafic : la question des effets d'interaction entre les voitures particulières et les transports en commun ne peuvent pas y être appréhendée de la même manière.

3.3. Distinguer l'évaluation d'un projet localisé et celle d'une politique stratégique

Les deux échelles de l'évaluation (projet localisé ou politique stratégique) ne pourront faire l'objet de recommandations identiques en termes opérationnels, du fait de la diversité des problèmes et du mode d'établissement de la situation de référence. L'évaluation d'un plan de déplacements urbains, par exemple, et celle d'un projet en site propre où l'aire d'influence du partage de l'espace public est limitée, appellent des approches pratiques différentes.

Ainsi, les évaluations de projet tels que les investissements de transports en commun, qui impliquent un partage de la voirie, pourront-ils faire l'objet de bilans dans lesquels figureront bien, face au coût de l'investissement, le temps perdu ou gagné par les utilisateurs de voiture particulière, ainsi que le temps gagné par les usagers (nouveaux et anciens) des transports en commun. Ces gains ou pertes de temps seront évalués dans les différents niveaux de congestion (selon l'heure de la journée ou de la semaine) caractérisant la situation de référence, et en supposant optimisée l'exploitation des réseaux de circulation (maintien d'un débit de l'infrastructure proche du maximum malgré l'accumulation des véhicules). Les calculs seront conduits dans le cadre d'une (ou de plusieurs) politique(s) générale(s) des déplacements précisant notamment les mesures de réglementation et de tarification des transports et leurs effets sur la demande.

L'évaluation de politiques stratégiques, telles que des choix alternatifs de réglementation ou de tarification des transports sur l'ensemble d'une agglomération (élaboration d'un plan de déplacements urbains, par exemple), relève d'une approche plus macro-économique des mécanismes d'ajustement de l'offre et de la demande. Le calcul des gains ou pertes de temps par les différentes catégories d'usagers devient beaucoup plus difficile, en raison des effets de ces choix sur la demande globale et sa redistribution entre les destinations, les modes de transport et les horaires de la journée ou de la semaine, effets que l'on ne peut plus considérer comme marginaux. La situation de référence ne peut être que l'une des politiques alternatives, servant de point de comparaison. Sous réserve de modèles de simulation appropriés, ces comparaisons pourraient s'exprimer selon des indicateurs globaux d'accessibilité, de qualité de service (vitesse, confort, fiabilité...) ou de cadre de vie (niveau de bruit, de pollution...) qui restent à établir et à tester sur des cas concrets.

3.4. Mieux appréhender les effets de la congestion dans les transports collectifs urbains

La notion de congestion pour les transports en commun n'est pas simple à appréhender. En effet, si la congestion pour les voitures particulières se traduit essentiellement par l'allongement des temps de parcours, il n'en est pas de même dans les transports en commun. La dégradation des conditions de circulation des transports en commun s'accompagne en effet, dans la plupart des cas, d'une dégradation du confort, le temps de déplacement pouvant

éventuellement rester le même. Cette asymétrie impose de ne pas traiter les problèmes de congestion uniquement par la valorisation des temps perdus.

Il est à cet égard tout à fait nécessaire de mieux estimer les coûts de l'inconfort dû à de mauvaises conditions de transport. Des études doivent être entreprises dans des délais très brefs sur ces aspect plus qualitatifs, en s'appuyant notamment sur des enquêtes menées auprès des usagers et sur les études faites à l'étranger. Le document du BCDM¹ (London Transport, 1994) est un bon exemple de ce qui pourrait être entrepris. Ce document propose une méthodologie pour établir des bilans socio-économiques des projets d'investissements pour le métro de Londres. Des enquêtes menées sur le terrain ont permis d'attribuer en fonction du niveau d'encombrement un coefficient de pénibilité aux temps passés dans certaines parties du trajet. Ce système permet ainsi de valoriser des investissements qui suppriment des correspondances, des temps d'attente et de décongestion dans les rames.

Coefficients multiplicateurs pour valoriser certains éléments de confort ²

Temps de circulation		
Assis	P = 1	
Train debout	$P = 1 + 1,42(X+0,048)$	(1<P<2,47)
Métro debout	$P = 1 + 1,31(X+0,052)$	(1<P<2,36)
X = (charge réelle – places assises)/(charge maximale – places assises)		
Temps d'attente		
Conditions acceptables	P = 2	
En congestion	$P = 2+0,0524(Q + 0,5)^2$	(2<P<3,18)
Q = nombre de personnes debout par m ²		
Temps de marche		
Conditions normales	P = 2	
En congestion	idem temps d'attente	
Escaliers (montée)	P = 4	
Escaliers (descente)	P = 2,5	

(1) « Business Case Development Manual ». Ce guide est la résultante d'un grand nombre d'enquêtes, notamment de satisfaction des usagers, dont certaines sont menées très régulièrement, pour apprécier de nombreux indicateurs de qualité de service ainsi que l'appréciation qu'en ont les usagers. Voir sur ce point le document n° 2 de l'annexe II sur la valeur monétaire de certains attributs qualitatifs, p. 205.

(2) Méthodes d'évaluation des projets d'infrastructures de transports collectifs en région Île-de-France, STP, mars 1998, « Business Case Development Manual », London Transport, 1994, p. 48.

Annexe 4

**PRISE EN COMPTE
DE L'OCCUPATION DE L'ESPACE
DANS LES ÉVALUATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES
DES PROJETS DE TRANSPORTS URBAINS**

Annexe 4

PRISE EN COMPTE DE L'OCCUPATION DE L'ESPACE DANS LES ÉVALUATIONS SOCIO-ÉCONOMIQUES DES PROJETS DE TRANSPORTS URBAINS

Ce chapitre recense les connaissances et les pratiques d'évaluation aujourd'hui disponibles pour prendre en compte dans les calculs socio-économiques en milieu urbain, l'occupation de l'espace par les infrastructures, les systèmes et les modes de transports. On s'appuie notamment sur un rapport de l'IFRESI¹ pour le PREDIT², qui dresse un état complet, très détaillé et raisonné, de la littérature³. Reprenant le champ et l'organisation du rapport de l'IFRESI, on examine successivement les effets de coupure, la question de l'affectation des espaces publics et les effets sur les paysages.

Un ensemble de recommandations est ensuite formulé sur la base de ce recensement.

1. Effets de coupure

L'évaluation de ces effets concerne aussi bien de nouvelles infrastructures de voiries, ou des sites propres de transport collectif, qui rompent une continuité spatiale, que des investissements de réparation destinés à reconstituer cette continuité.

(1) Institut fédératif de recherche sur les économies et les sociétés industrielles.

(2) Programme national de recherche-développement-innovation dans les transports terrestres.

(3) Héran (Frédéric), « Recherche documentaire sur la monétarisation de certains effets externes des transports en milieu urbain : effets de coupure, effets sur l'affectation des espaces publics, effets sur les paysages », rapport de recherche pour le PREDIT II, rapport final, 1999.

1.1. Description

Dans la recherche menée sur la monétarisation de certains effets externes en milieu urbain, Frédéric Héran note, à propos de l'effet de coupure, qu'il convient de définir celles-ci par leurs conséquences et les actions correctives qu'elles requièrent plutôt que par leur « nature » (coupures naturelles ou artificielles, linéaires ou surfaciques, physiques ou dangereuses, anciennes ou récentes, liées au caractère infranchissable ou impraticable des voies).

Les conséquences des coupures sont principalement :

- à court terme, l'accroissement des temps d'attente, des parcours et de l'insécurité ; cela concerne principalement les cyclistes et les piétons (en particulier les enfants – nécessité accrue d'accompagnement – et les personnes âgées ou handicapées) ; les usagers motorisés sont peu affectés ;
- à moyen terme, la diminution des relations de voisinage et la séparation des communautés¹ ;
- à long terme, les modifications du fonctionnement urbain, en favorisant la déstructuration du tissu urbain ou, tout du moins, la distension des liens sociaux de quartier.

À cette typologie classique, on peut ajouter une observation : l'accessibilité à longue distance, favorisée par des voies (routières ou ferrées) à grand gabarit, peut contrarier « l'accessibilité rapprochée », bien souvent menacée par ces mêmes voies à grand gabarit qui conjuguent fort trafic et vitesse de circulation élevée. Or, comme le souligne Frédéric Héran, « *les relations de proximité sont tout autant source d'efficacité économique, de lien social ou de découverte de l'environnement que les échanges plus lointains* ».

Cela peut être exprimé de manière un peu réductrice, en termes de surplus d'usagers : aux variations positives de surplus liées aux gains d'accessibilité de longue distance, il conviendrait de retrancher les pertes de surplus liées à la dégradation de l'accessibilité rapprochée. À l'inverse, lorsqu'un effet de coupure est atténué, par exemple à la faveur d'un contournement d'agglomération, les deux variations de surplus sont positives. L'usage et les

(1) Voir sur ce point : Appleyard (D.), « *Livable Streets* », Berkeley, University of California Press, 1981.

difficultés de mesure veulent que, jusqu'ici, seuls les surplus de longue distance aient été pris en compte.

À supposer que les surplus de proximité puissent être évalués, nous verrons au point suivant, à propos de l'étude de Planco Consulting, qu'il ne peut s'agir que d'une mesure par défaut de l'effet « de court terme » de la coupure, le problème de l'évaluation à moyen et à long terme restant entier.

1.2. Monétarisation

Toutes les méthodes classiques d'évaluation des effets externes pourraient être mobilisées pour appréhender les effets de coupure :

- la méthode dite des valeurs révélées (ou méthode des prix hédonistes), fondée soit sur des prix marchands (le prix du m² de terrain à Paris pour valoriser l'occupation de l'espace par les modes de transport, par exemple), soit sur une différence de prix (entre le prix d'un appartement exposé à une nuisance et celui d'un appartement en tout point comparable mais exempt de la nuisance) ;
- la méthode des valeurs déclarées (ou évaluation contingente), fondée sur la somme que les individus concernés par une nuisance se disent prêts à payer pour l'élimination de ladite nuisance ;
- l'évaluation par le coût des dommages directs et indirects ;
- l'évaluation par le coût d'évitement ;
- l'évaluation par le coût de réparation ;

Toutefois, la théorie conduit à rejeter les méthodes du coût d'évitement et du coût de réparation car la valeur économique de la suppression (ou de la réduction) d'une nuisance n'est pas donnée par le coût des aménagements à effectuer pour supprimer (réduire) cette nuisance, mais par ce que les victimes de cette nuisance sont prêts à payer pour sa suppression (ou sa réduction). L'argument de Jules Dupuit¹ reste actuel, qui consistait à observer que l'utilité d'une route ne serait pas deux fois moindre, du moins à infrastructure

(1) Voir notamment : Dupuit (Jules), « De la mesure de l'utilité des travaux publics », *Annales des Ponts et Chaussées* (2^e série, 2^e semestre), 1844 : p. 332-375.

inchangée, si, par la science d'un ingénieur, son coût venait à être divisé par deux. Il en va naturellement de même de la désutilité d'un dommage et de ses coûts d'évitement ou de réparation.

Certes, en théorie, les trois grandeurs (coût d'évitement, coût de réparation, disposition à payer pour la suppression de la nuisance) devraient se trouver égales à l'optimum. Mais cela ne vaut que pour la nuisance et la victime marginales. Par ailleurs, en pratique, il est peu probable que les coûts d'évitement ou de réparation reflètent la valeur du dommage, dès lors que le coût des aménagements mis en œuvre n'est supporté ni par les victimes des coupures ni par les responsables ayant décidé de ces aménagements. Ces remarques ne signifient pas qu'on ne doive, lorsque l'occasion s'en présente, réconcilier préférences collectives et calcul économique. Il va de soi, par exemple, que l'évaluation d'une infrastructure « coupante » doit prendre en compte le coût des aménagements de réparation que s'impose la collectivité, même s'il peut être souhaitable de favoriser une certaine homogénéisation des coûts de ces aménagements, par exemple en publiant des listes d'équipements-types (avec prix indicatif). Il en va de même pour la valeur collective (révélée) associée à la réduction d'une nuisance.

Seules les évaluations fondées sur des valeurs révélées ou déclarées, ou sur l'estimation directe du coût des dommages, seront donc retenues ici. Elles se réfèrent, du reste, à la même source théorique : la monétarisation du coût d'une nuisance à partir de valeurs révélées ou déclarées n'équivaut-elle pas à la monétarisation des dommages occasionnés par ces nuisances, elle-même définie comme ce que les victimes sont prêtes à payer pour que la nuisance cesse ou, de manière théoriquement équivalente, comme ce que ces mêmes victimes sont disposées à accepter comme compensation monétaire à une perpétuation de la nuisance ? Il convient cependant de noter que les enquêtes révèlent un écart important entre consentement à payer et consentement à accepter, le second étant sensiblement plus élevé que le premier pour une nuisance comparable ¹.

Concernant les deux premières méthodes, Nils Soguel note : « *Bien que reposant sur les mêmes fondements théoriques, chacune des deux méthodes présente divers avantages et inconvénients* ». La méthode des valeurs révélées bénéficie d'un fort crédit scientifique et a été appliquée à plusieurs reprises avec succès. Cependant son champ d'utilisation dépend de l'existence d'un marché

(1) Soguel (Nils), « *Évaluation monétaire des atteintes à l'environnement : une étude hédoniste et contingente sur l'impact des transports* », thèse, université de Neuchâtel, Suisse, 1994.

de substitution et d'informations sur un nombre suffisant de transactions. La méthode des valeurs déclarées présente l'avantage de générer ses propres données ; elle peut donc fournir des estimations là où les autres techniques restent impuissantes. Elle est critiquée pour sa prédisposition à des biais dus à l'aspect hypothétique du marché proposé et au comportement stratégique qui peut apparaître chez les personnes interrogées. Ce problème n'existe pas avec la première méthode : les individus prennent leurs décisions en étant par définition bien informés, en considérant leur contrainte budgétaire et en ayant conscience des conséquences d'un choix erroné. Par contre il est nécessaire de recourir à plusieurs hypothèses contraignantes au moment de l'analyse des données provenant du marché (par exemple quant à la forme de la relation entre le prix et ses déterminants).

Ce même auteur a par ailleurs estimé par la méthode des valeurs déclarées le coût de la (double) coupure produites par deux axes routiers perpendiculaires à fort trafic dans la ville de Neuchâtel ; il aboutit à un coût de l'ordre de 10 millions de francs français par an (deux tiers des ménages de la ville, soit dix mille ménages environ, se sentent concernés). L'auteur précise bien que ces résultats (1 000 francs par ménage « concerné » et par an) ne sauraient être généralisés à un autre contexte local. Héran fait ainsi remarquer que le coût obtenu par cette méthode sous-estime sans doute le coût réel, car « *les personnes interrogées (...) [ne sont sans doute pas] pleinement conscientes de la diversité des impacts et de leur importance, tout comme d'ailleurs les enquêteurs* ».

Le rapport remis au PREDIT sur ces effets externes propose une analyse critique des travaux menés par un bureau d'étude allemand (Planco Consulting GmbH) qui a élaboré une méthode de valorisation (en heures) des pertes de temps des piétons, lors de la traversée de voies, en fonction de l'intensité du trafic sur ces voies. L'auteur conclut de manière assez critique que, d'une part, l'effet de coupure ne se limite pas à l'allongement de la durée ou de la longueur des déplacements des piétons et que, d'autre part, si l'on s'en tient à cet aspect, la présence de coupures induit également des déplacements supplémentaires (déplacements d'accompagnement d'enfants, notamment) que la méthode ne prend pas en compte. On peut ajouter que les coupures découragent sans doute un certain nombre de déplacements, ce qui représente un coût social supplémentaire que la méthode n'intègre pas.

Enfin, on trouve dans cet état de l'art, trop brièvement évoqués, les travaux relatifs au traitement des coupures (ouvrages de franchissement, déviations et tunnels, hiérarchisation des voies et modération de la circulation). La problématique des boulevards urbains, notamment, mériterait davantage que les

trois lignes qui y sont consacrées ; les boulevards urbains sont en effet une réponse ambitieuse apportée à l'effet de coupure des voies routières à grand gabarit, à la fois par la réduction de la vitesse de circulation qu'ils impliquent, par le traitement différencié des fonctions diverses de ces grandes voies (trafic trans-local au centre, encadré par des voies à basse vitesse et à plus faible trafic réservées à la desserte micro-locale du quartier traversé, larges trottoirs pour les piétons, voies réservées aux cyclistes et autres rollers) et par l'insertion urbanistique de ces voies (qualité du mobilier urbain, promenades plantées, etc.).

1.3. Notes de synthèse sur la prise en compte de l'effet de coupure dans les calculs économiques

Les coupures produites par les infrastructures de transport (liées à leur caractère infranchissable, difficilement franchissable, impraticable ou dangereux) sont une source de nuisances réelle, affectant notamment les piétons et les cyclistes confrontés à ces coupures. L'espace inaccessible ou dangereusement accessible est dans certains cas plus large que l'emprise stricte de l'infrastructure.

Même si certains s'interrogent sur l'importance des effets de coupure dans le bilan d'une infrastructure nouvelle, l'ordre de grandeur du coût des coupures tel qu'estimé dans la littérature semble justifier le traitement des principaux « points noirs » d'une agglomération ou d'un site local (ou à tout le moins la réalisation d'études spécifiques).

S'agissant des voies de circulation, les deux paramètres principaux expliquant « l'intensité » d'une coupure sont d'une part le trafic supporté par la voie en question et d'autre part la fréquence des aménagements de franchissement sans risque. Mais à trafic équivalent, l'aménagement d'une voie (en « boulevard urbain », par exemple) est susceptible de réduire considérablement la nuisance de la coupure.

Les méthodes d'évaluation du coût de l'effet de coupure existent (évaluation contingente « globale », évaluations « partielles » de dommages occasionnés par ces coupures), mais elles sont lourdes et leurs résultats se prêtent mal à la généralisation. La seule préconisation raisonnable est alors celle d'une évaluation spécifique chaque fois qu'une coupure significative du territoire local est envisagée avec, au minimum, une estimation par défaut des dommages qui affectent la mobilité du trafic non motorisé, dommages appréciés par la perte de surplus des usagers concernés.

2. Affectation des espaces publics

2.1. Analyse globale

L'espace public est une ressource rare, notamment dans les zones urbaines, dont l'affectation doit être répartie d'une part entre les transports et les autres usages possibles, et d'autre part, pour les transports, entre usages alternatifs : différents modes de transport (automobiles, transports collectifs de surface, taxis, fret...), et, pour le mode automobile (y compris fret urbain), entre circulation et stationnement.

La recherche par le calcul économique de l'affectation optimale de l'espace public au secteur des transports, et entre usages de transport, soulève une double difficulté.

D'une part, physiquement, les transports sont, pour ainsi dire, à la fois producteurs et consommateurs d'espace : producteurs par les gains d'accessibilité qu'ils procurent, et consommateurs par l'emprise des infrastructures. Héran cite ainsi un auteur américain, Jane Jacobs : « *plus on réserve d'espace aux voitures, plus on utilise celles-ci, et plus on a besoin d'espace (...)* Rapidement ou lentement, le fait que la ville soit plus accessible aux voitures se traduit inexorablement par des transports en commun moins commodes et moins performants, par des fonctions étalées et disséminées sur un plus grand espace et donc par un besoin accru de voitures particulières »¹. Les liens entre production et consommation d'espace par les transports ont donc un impact non seulement sur la part d'espace à allouer aux transports pris globalement, mais aussi sur la concurrence entre modes de transport.

D'autre part, sur le plan économique, les transports concourent à modifier les valeurs foncières et immobilières des zones qu'ils desservent. Le problème du « juste prix » de l'occupation de l'espace se décompose en fait en deux sous-problèmes :

- le coût d'une infrastructure inclut-il un coût d'acquisition de l'emprise foncière qui reflète la « rareté sociale » du terrain ainsi utilisé (ce qui devrait conduire à distinguer les infrastructures nouvelles des infrastructures anciennes) ? En particulier, la valeur du sol occupé par l'infrastructure doit-

(1) Jacobs (Jane), « *The Death and Life of Great American Cities* », New York, Random House, 1961, p. 344.

- Annexe 4 -

elle être prise égale à la valeur marchande des terrains voisins, valeur qui serait sans doute différente si l'infrastructure n'existait pas ?

- les utilisateurs de l'infrastructure (globalement et par type d'usage) supportent-ils ce coût social d'occupation de l'espace ?

S'agissant du premier sous-problème, on retiendra l'argument d'Émile Quinet¹ selon lequel « *pour les voies récentes, l'espace a généralement été acheté à ses anciens propriétaires au moment de la construction de l'infrastructure, et ce, à un coût qui est le coût d'expropriation, voisin du coût de marché* ». Ce coût a donc été intégré dans les calculs de rentabilité qui ont justifié l'opération. Dès lors, « *inclure [quand même] la consommation d'espace parmi les coûts sociaux implique que [l'on considère que] le prix du sol ne reflète pas sa rareté sociale. Une hypothèse qui est à démontrer dans chaque cas particulier* ».

En général, pour une infrastructure nouvelle, il semble donc que l'on puisse admettre que le coût d'expropriation est suffisamment proche du coût du marché pour refléter assez fidèlement la rareté sociale du sol. Pour les voies anciennes, la question ne se pose que si l'on envisage de modifier, en tout ou partie, l'usage auquel le sol est affecté. La valeur économique du sol qui doit alors être retenue est le coût optimisé des répercussions de l'usage envisagé sur l'usage alternatif le plus avantageux économiquement. Il n'est pas interdit d'admettre que cet autre usage le plus avantageux était l'usage antérieur, ce qui conduit, sauf évidence contraire, à se référer aux répercussions du nouvel usage sur l'ancien.

Reste un cas de figure important qui semble avoir été totalement négligé dans la littérature, c'est l'usage de l'espace souterrain. D'une part, l'affectation d'une portion d'espace souterrain ne fait l'objet d'aucun paiement spécifique, comme si le coût du terrain se réduisait au coût d'excavation, ce qui n'a aucune raison d'être le cas. D'autre part, il n'existe pas (ou pas encore) un marché même embryonnaire de l'espace souterrain ; cela complique la tâche de qui voudrait estimer la valeur économique (la rareté sociale) de cet espace, mais ne signifie pas pour autant que cette valeur est nulle, ni a fortiori qu'elle le restera à l'avenir. Notons cependant que les experts semblent d'accord pour considérer que cette valeur est aujourd'hui négligeable en Île-de-France (et donc en France) au-delà de dix mètres de profondeur.

(1) Quinet (Émile), « *Les coûts sociaux des transports : évaluation et lien avec les politiques d'internalisation des effets externes* », dans « *Internaliser les coûts sociaux des transports* », Paris, CEMT et OCDE, 1993, p. 58.

En conclusion, et abstraction faite de cette rareté du sous-sol, le problème des infrastructures consommatrices de surface supplémentaires semble convenablement réglé, pour les infrastructures nouvelles, par la prise en compte des valeurs foncières consommées (ou éventuellement restituées) et pour les infrastructures anciennes dont on envisagerait de modifier l'usage, par le coût des répercussions de cette modification sur l'usage antérieur de l'infrastructure.

2.2. Affectation de l'espace entre usages internes au secteur des transports : description et monétarisation

Les travaux recensés dans le rapport Héran concernent le deuxième sous-problème et, plus précisément, la question de l'affectation de l'espace entre les différents usages (automobiles, stationnement, transports collectifs, véhicules en stationnement).

Cette question a été principalement appréhendée en terme de consommation d'espace. L'approche que chacun a en tête est celle proposée par Louis Marchand, ingénieur RATP, qui intègre dans un même indicateur les consommations d'espace des véhicules en circulation et en stationnement, consommations qui avaient été auparavant étudiées de manière séparées. L'innovation de Marchand a consisté à interpréter la consommation d'espace comme une consommation d'espace-temps (mesurée en $m^2 \times h$). De cette manière, la consommation d'espace des véhicules en mouvement et des véhicules à l'arrêt devenait commensurable ¹.

L'approche de Marchand a fait l'objet d'affinements successifs, tant sur le plan du modèle formel que celui du calage empirique. Les calculs comparatifs effectués (pour un trajet typique, d'une distance donnée, effectué à une vitesse donnée et complété par un stationnement de durée variable selon le motif) révèlent systématiquement un avantage comparatif considérable des transports collectifs sur la voiture particulière (et dans une moindre mesure sur les deux-roues) en termes de consommation d'espace-temps : les transports collectifs s'avèrent, selon l'objet du déplacement, de 2,5 à 30 fois moins consommateurs d'espace-temps (chiffres donnés par Marchand en 1993).

(1) Marchand (Louis), « *Qu'est-ce que la mobilité ?* », « *Métropolis 24/25* », 1977, p. 51-54.

Marchand¹ (1984) propose en outre une méthode de monétarisation de l'occupation d'espace-temps de voirie. Il remarque que la valeur économique du $m^2 \times h$ sur voirie existante telle que révélée par la tarification du stationnement (0,60 francs de 1984) est du même ordre de grandeur que la valeur du $m^2 \times h$ d'infrastructures nouvelles (coût actualisé de création d'un m^2 tenant compte du nombre total d'heures d'utilisation de ce m^2 sur sa durée de vie). Il en conclut que la voirie existante représente une valeur semblable à celle d'une voirie équivalente qu'il faudrait construire *ex nihilo*. Mais ce raisonnement suppose que le prix du stationnement reflète le coût social de l'espace de voirie existant ; or, il n'y a pas de raison *a priori* pour que ce soit le cas (en particulier parce que la tarification du stationnement sur voirie poursuit d'autres objectifs que de refléter ce coût).

L'approche développée par cet auteur permet un premier dégrossissage dans l'évaluation du coût économique de l'occupation de l'espace de voirie pour les différents motifs (circulation des véhicules particuliers et utilitaires, transports collectifs, stationnement). Mais elle souffre d'une lacune fondamentale : elle ne distingue pas, en effet, le $m^2 \times h$ d'heure creuse (dont le coût économique d'usage est nul ou presque) et le $m^2 \times h$ d'heure de pointe (dont le coût économique d'usage est égal au coût marginal de la congestion de la voirie et peut être très élevé). Mais, à supposer que la distinction soit faite entre les $m^2 \times h$ de voirie fluide et congestionnée, le problème reste posé d'une intégration de ces mesures au calcul économique, par opposition à ce qu'autorise l'évaluation classique en termes de surplus. Pour des calculs plus précis, on ne peut qu'appliquer le même raisonnement économique que précédemment (paragraphe 2.1) : le coût économique d'occupation de l'espace de voirie pour un motif donné est le coût optimisé des répercussions de cette occupation sur l'usage alternatif le plus souhaitable (au plan économique).

2.3. Occupation d'espace et congestion

Si l'on était en état de moduler les valeurs du $m^2 \times h$ selon la congestion, on pourrait envisager d'utiliser les mesures de consommation d'espace pour la régulation économique de la congestion. En situation de saturation de l'espace viaire, les performances relatives des divers modes de transport deviennent économiquement cruciales : pourquoi ne pas taxer les modes consommateurs d'espace au bénéfice des modes économes en espace ? Idéalement, on pourrait

(1) Marchand (Louis), « Un concept fécond, la consommation d'espace-temps », « Cahiers scientifiques du transport », 2^e semestre, 1984.

même espérer que, tarifée à son coût économique (coût marginal social), la consommation d'espace soit économiquement optimale, conduisant à des niveaux de congestion eux-mêmes optimaux. On retrouve ici l'idée de faire payer chaque mode de transport occupant la voirie selon sa contribution marginale à la congestion. Plus généralement, cette approche pourrait permettre la prise en compte des usages de la voirie non liés aux déplacements.

Mais la vertu principale de l'approche en $m^2 \times h$, à savoir sa simplicité conceptuelle, disparaît au fur et à mesure que l'on se rapproche d'un indicateur économiquement significatif.

Quoi qu'il en soit, le problème de l'évaluation qui nous concerne consiste à apprécier le rendement social du passage d'un état économique bien établi à un autre. Le calcul à mener prend certes en compte la consommation d'espace pour différents usages, mais également bien d'autres éléments, et on ne voit guère comment on pourrait faire abstraction des variations de surplus enregistrées entre les deux états économiques, à moins de renoncer à la cohérence de l'évaluation avec le consentement à payer des usagers (à payer en l'occurrence un coût généralisé).

En conclusion, l'approche développée à la RATP, par L. Marchand en particulier, permet une première estimation très approchée des performances des différents modes en termes de consommation d'espace-temps. Elle ne saurait, en revanche, être utilisée sans double compte dans un calcul économique, où sont déjà pris en compte, dans le bilan coût-avantage, les répercussions de l'opération envisagée sur les conditions antérieures d'utilisation de l'espace.

3. Effets sur les paysages

3.1. Description et monétarisation

La littérature recensée par Héran fait apparaître quatre types principaux d'impact des transports sur le paysage urbain : les infrastructures modifient le paysage urbain, tant pour les usagers que pour les riverains ; le cadre de vie de la rue souffre d'une présence excessive des véhicules ; le paysage des entrées de ville est dégradé ; le patrimoine urbain est également affecté.

Très peu de travaux s'attachent à monétariser les effets négatifs des transports sur le paysage. L'auteur signale toutefois une étude de l'Institut de recherches économiques et régionales de l'université de Neuchâtel (Suisse) estimant le coût

- Annexe 4 -

de la dégradation des bâtiments par la pollution atmosphérique générée par les transports. À juste titre, il met en garde contre les risques de double compte d'un tel effet spécifique de la pollution atmosphérique, par ailleurs monétarisée globalement.

Il ressort que, dans l'état actuel des connaissances, et sans doute de manière assez profonde, le caractère esthétique (ou inesthétique) des aménagements de transport n'entre pas dans le champ du calcul économique, sauf peut-être par le truchement de la méthode des valeurs déclarées utilisée, par exemple, au Canada pour l'évaluation d'investissements paysagers comme la mise en souterrain de lignes électriques. Nous sommes loin, cependant, de disposer de résultats méthodologiques et empiriques suffisants pour prétendre intégrer cette dimension au calcul économique. Cela ne signifie pas que celle-ci doive être totalement ignorée dans l'élaboration des décisions, mais qu'elle interviendra après calcul au moment du choix final ; il convient donc que le dossier d'évaluation d'un projet contienne des documents permettant de juger de ses qualités esthétiques.

Il est à noter que, ici comme ailleurs, les progrès qui pourraient être faits en matière d'évaluation ne concernent pas seulement la politique des transports. Lorsque l'on saura intégrer raisonnablement cette dimension esthétique au calcul économique, sa prise en compte sera requise dans tous les domaines, comme par exemple pour l'évaluation d'un parc d'éoliennes.

4. Recommandations pour les dossiers d'évaluation

Assurer la conformité des pratiques d'évaluation avec les principes de base du calcul économique

L'affectation d'un nouvel espace au système de transports (voies de circulation, zones de stationnement, etc.) doit continuer à être monétarisée à son coût foncier *ex-ante* ; ce coût doit être porté au débit du projet dans l'évaluation socio-économique.

La restitution d'espace par le système de transports (par exemple à l'occasion de la couverture d'une voie routière ou ferroviaire) doit être monétarisée à sa valeur foncière et/ou immobilière ; ce bénéfice doit être porté au crédit du projet dans l'évaluation socio-économique (le coût de production correspondant étant évidemment au débit).

Lorsqu'un effet de coupure est en cause, il convient de le prendre en compte et d'estimer son équivalent monétaire par une étude au cas par cas (reposant sur la méthode des valeurs révélées ou, à défaut, déclarées). Les premières études qui sont à mener en France devront permettre de proposer des valeurs de référence en matière de coupure. En l'absence de toute valeur de référence, les études préalables à des aménagements « coupants » devront *a minima* estimer les effets de l'aménagement sur les déplacements pédestres, cyclistes et, le cas échéant, motorisés de la population concernée (accroissement des temps de trajet ou réduction de mobilité notamment). Les compléments de calculs pourraient s'inspirer, pour les éléments non monétarisables, de la méthodologie et des procédures des études d'impact.

De manière plus spécifique, une évaluation plus complète des coûts associés à l'effet de coupure d'une infrastructure pourrait intégrer les éléments suivants :

- coût de renoncement à des déplacements/modes non motorisés du fait du trafic automobile,
- pertes de temps des piétons et cyclistes,
- pertes de temps liées à des déplacements d'accompagnement de personnes vulnérables,
- temps supplémentaire dépensé par les usagers non motorisés pour contourner les voies coupantes,

et, de manière nécessairement plus qualitative :

- coût social lié à la diminution des relations de voisinage à proximité d'infrastructures coupantes et à l'enclavement de certains quartiers.

Mieux prendre en considération, dans les variantes des projets évalués, les diverses modalités possibles de traitement des coupures

L'effet de coupure peut être réduit de diverses manières et il importe d'avoir à l'esprit l'ensemble des solutions possibles lorsque l'on élabore les diverses variantes d'un projet. Parmi les solutions à envisager, on peut citer :

- la création ou le rétablissement d'aménagements cyclables (bandes ou pistes selon l'importance et la vitesse du trafic sur la voie concernée) ou de cheminements piétons (aidant à longer et/ou à franchir les voies à trafic important) ;

- Annexe 4 -

- la construction de passages dénivelés ou protégés ;
- le transfert du trafic à l'origine des effets de coupure (déviations routières et tunnels) ;
- le retraitement des artères en boulevards urbains, la modération de la circulation et la hiérarchisation des voies. Cette hiérarchisation vise à distinguer les voies de desserte locale, les voies de distribution, les voies artérielles et les voies rapides urbaines, et à éviter d'assigner à une voie d'un type donné des fonctions associées à un autre type.

Intégrer dans le calcul économique davantage d'éléments liés à l'occupation de l'espace public

Tout changement d'affectation (entre circulations, y compris transports collectifs et modes non motorisés, sites propres et stationnement) d'un espace dédié au transport doit être monétarisé et intégré dans l'évaluation socio-économique.

En particulier, la restriction d'usage d'un espace dédié au transport (par exemple : instauration d'un site propre pour les transports en commun) doit être monétarisée, et intégrée dans l'évaluation socio-économique, par le biais de ses répercussions sur le trafic affecté.

Analyser et présenter les aspects non monétarisables en complément du calcul économique

Le dossier d'évaluation d'un projet doit inclure des documents permettant de juger de ses qualités esthétiques et de la qualité de son insertion dans le site, au-delà de ce qui a déjà pu être pris en compte dans les calculs.

Favoriser la cohérence de la régulation tarifaire avec les préconisations précédentes

Les différents modes de circulation devraient supporter le coût marginal de congestion qu'ils induisent ; à défaut de le pouvoir en tout ou partie, il convient de conserver cette règle à l'esprit pour porter un jugement sur les actions à entreprendre.

Le stationnement devrait être facturé selon le même principe.

Annexe 5

**LA VALORISATION DU BRUIT
DANS LES ÉVALUATIONS
DE PROJETS DE TRANSPORT**

Annexe 5

LA VALORISATION DU BRUIT DANS LES ÉVALUATIONS DE PROJETS DE TRANSPORT

Le bruit des transports est une des nuisances les plus intensément ressenties par les populations, qu'elles soient urbaines ou rurales et proches de grandes infrastructures. Son importance va grandissant en raison d'une sensibilité de plus en plus aiguë des populations exposées à cette nuisance, et de la croissance continue des trafics de voyageurs et de marchandises.

Mais, les phénomènes de bruit en cause sont complexes et leurs impacts sont encore difficiles à mesurer. On peut déjà noter que la réglementation relative au bruit des infrastructures de transport évolue vers une plus grande sévérité, comme le montrent les arrêtés les plus récents : celui du 5 mai 1995 pour les infrastructures routières et celui du 8 novembre 1999 pour les infrastructures ferroviaires. Cette réglementation oblige à prendre en compte le bruit dès la conception des ouvrages pour réduire l'impact des nuisances sonores au voisinage d'un projet à un niveau inférieur ou égal aux seuils réglementaires.

Ces textes conduisent à internaliser dans un projet l'essentiel des nuisances sonores sur le site par le biais des investissements nécessaires à prévoir (coûts d'évitement) pour respecter les seuils de bruit réglementaires. Mais la nuisance doit être également prise en compte hors du site, lors de la création d'infrastructures nouvelles ou encore lors de la modification d'infrastructures existantes, au titre des modifications à attendre de l'exposition sonore sur l'ensemble de la zone d'étude après réalisation du projet.

Outre les coûts unitaires à retenir pour le bruit suivant les niveaux et les périodes d'exposition, d'autres questions se posent comme celles de la différenciation des valeurs à utiliser pour les différents modes de transport, la prise en compte des effets à long terme sur la santé, les problèmes d'évaluation du bruit en amont des projets et le traitement des zones non habitées.

1. Les valeurs à retenir dans les projets de transport

1.1. Définitions, unités et indices pour apprécier les nuisances sonores

1.1.1. Qu'est-ce que le bruit ?

Le bruit est un ensemble de sons produits par un phénomène vibratoire se propageant principalement dans l'air. On peut donner du bruit une définition physique : « Le bruit est un son ayant généralement un caractère aléatoire qui n'a pas de composantes définies », ou une définition physiologique : « Le terme « bruit » désigne communément toute sensation auditive, plutôt désagréable ou gênante que produit sur notre organisme l'ensemble des vibrations sonores complexes désordonnées, reçues et transmises par l'oreille jusqu'aux cellules du cerveau ».

Un son ou un bruit peut être caractérisé par un grand nombre de paramètres, en particulier par son niveau qui peut être fort ou faible, continu ou variable, par sa hauteur (grave, aiguë) ou sa fréquence exprimée en hertz (Hz), c'est-à-dire en nombre de périodes ou de cycles par seconde ou encore par sa durée ou sa signification subjective (désagréable et gênante).

D'autres caractéristiques temporelles viennent compléter la description du bruit : son niveau maximum, son caractère impulsionnel, son caractère stable, continu ou intermittent, etc.

Plusieurs indicateurs de mesure ont ainsi été construits pour apprécier les nuisances sonores.

1.1.2. Unités : le décibel, le dB(A)

Les valeurs de la pression acoustique pouvant s'étendre sur une plage considérable, on utilise une échelle logarithmique, plus pratique à manipuler, et qui a l'avantage de correspondre à la variation de la sensation de l'oreille humaine.

On caractérise ainsi un bruit par son niveau de pression acoustique (ou niveau sonore) L_p , exprimé en décibels (dB) :

$$L_p(t) = 10 \cdot \log\left(\frac{p^2(t)}{p_0^2}\right)$$

où p_0 est la pression de référence, égale au seuil conventionnel d'audibilité : $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Un niveau sonore de 0 dB correspond donc conventionnellement au seuil d'audibilité (dans la réalité, celui-ci est variable selon les individus, 0 dB est une moyenne).

Cependant, l'oreille humaine n'a pas la même sensibilité au bruit sur toutes les fréquences : très sensible dans les médiums, elle perçoit moins bien les graves et les aigus. Ceci a conduit à mettre au point des unités dites physiologiques, tenant compte de la sensation effective de l'oreille humaine, par l'intermédiaire de courbes de pondération. L'unité utilisée pour la plupart des bruits dans l'environnement est le décibel (A), ou dB(A), qui correspond à la courbe de pondération (A).

Les niveaux de pression acoustique provenant de plusieurs sources ne se cumulent pas au récepteur de façon arithmétique : 60 dB + 60 dB ne font pas 120 dB. Lorsque les sources sont indépendantes, ce sont les carrés des pressions (représentatifs de l'énergie) qui s'ajoutent : $p_{\text{total}}^2 = p_1^2 + p_2^2$.

Le cumul des niveaux sonores L_p obéit donc à une loi logarithmique et non arithmétique. On retiendra que l'addition de deux bruits de même niveau conduit à un niveau total supérieur de 3 dB(A) ; ex. : 70 dB(A) + 70 dB(A) = 73 dB(A). Augmenter le niveau sonore de 3 dB, c'est donc multiplier l'énergie sonore émise par 2, l'augmenter de 5 dB, c'est la multiplier par 3, l'augmenter de 10 dB, c'est la multiplier par 10.

1.1.3. Les indices acoustiques

Le bruit étant un phénomène essentiellement variable dans le temps, on a recours pour caractériser le bruit perçu sur un intervalle de temps donné à des indices soit énergétiques, soit statistiques.

Le **niveau de bruit équivalent**, exprimé en décibels A et noté $L_{\text{Aeq}}(\mathbf{T})$, représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même

- Annexe 5 -

énergie que le bruit existant réellement pendant la période T considérée. Il exprime donc la moyenne de l'énergie reçue.

$$L_{Aeq}(T) = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{T} \int_T \frac{p^2(t)}{p_0^2} \cdot dt \right)$$

Cet indice est largement utilisé sur le plan international pour les bruits routiers et ferroviaires. La réglementation française relative au bruit des transports terrestres a retenu un indicateur diurne, le L_{Aeq} (6 h – 22 h), et un indicateur nocturne, le L_{Aeq} (22 h – 6 h), dont les paramètres d'évaluation doivent être représentatifs des conditions moyennes annuelles.

Pour l'étude de phénomènes particuliers, on utilise également le niveau sonore maximum noté L_{Amax} .

Enfin, on rencontre parfois des indices statistiques, qui caractérisent la valeur atteinte ou dépassée par le niveau de pression acoustique pendant un pourcentage donné de la période de temps considérée :

- L_{10} , niveau atteint ou dépassé pendant 10 % du temps,
- L_{50} , médiane statistique,
- L_{90} représente le bruit de fond.

Pour la caractérisation de la gêne, on rencontre parfois des indices agrégés qui combinent les L_{Aeq} de plusieurs périodes de la journée associés à des pondérations supposées rendre compte de l'influence relative de chaque période sur la gêne globale. Citons par exemple le L_{dn} (« day-night ») et le L_{den} (« day-evening-night »).

Par ailleurs, la France retient, pour le mode aérien, un indice spécifique (indice psophique) qui prend en compte les niveaux sonores maximaux perçus au passage de chaque avion, ainsi que la spécificité de la gêne occasionnée en cumulant les bruits de l'ensemble des vols pendant 24 heures, un vol de nuit étant accepté comme dix vols de jour.

1.1.4. *L'échelle des bruits*

Les niveaux sonores dans l'environnement extérieur varient de 25 dB(A) pour les nuits très calmes à la campagne à 100 dB(A) pour un scooter à échappement libre au ralenti situé à 1 m de l'auditeur.

Dans une rue de centre urbain de 12 à 15 m de largeur entre façades, les niveaux sonores moyens émis par des véhicules circulant à 50 km/h sont approximativement les suivants :

- une rue apparemment calme (1000 véhicules par jour, soit en moyenne 1 véhicule par minute en journée) a un niveau sonore L_{Aeq} (6 h – 22 h) de 60 dB(A),
- une rue accueillant 5000 véhicules par jour a un L_{Aeq} (6 h – 22 h) de 67 dB(A).

Sur un boulevard très bruyant, ce niveau peut dépasser 75 dB(A).

1.1.5. *Décibels et confusions*

L'intérêt pratique des indicateurs logarithmiques a conduit les acousticiens à les adopter pour de nombreuses grandeurs physiques, qu'il convient cependant de ne pas confondre. On rencontre ainsi dans la littérature des niveaux de puissance, d'intensité, etc, tous exprimés en décibels, mais bien entendu tous différents entre eux.

Certaines de ces grandeurs ne sont utilisées que par les spécialistes, et risquent peu de provoquer des confusions chez le grand public. En revanche, il est primordial de garder à l'esprit qu'un niveau sonore (de type L_{Aeq} par exemple) n'a aucun sens s'il n'est pas accompagné de la période (tranche horaire précise) et de l'emplacement (à l'intérieur des bâtiments, en façade, en bord de route, à une distance donnée de la source, etc.) auxquels il correspond.

Pour caractériser l'exposition sonore d'un bâtiment, la pratique habituelle en vigueur en France se réfère au niveau sonore à 2 m en avant de la façade. Dans ces conditions, l'énergie sonore émise par la source parvient au point récepteur par deux trajets distincts, un trajet direct et un trajet réfléchi sur la façade. L'énergie reçue en ce point est ainsi le double de celle qui serait reçue si l'environnement du récepteur était dégagé sur une zone étendue, autrement dit

- Annexe 5 -

le niveau sonore réel existant en ce point est supérieur de 3 dB(A) à ce qu'il serait si on supposait le récepteur « en champ libre ».

Or les pratiques en Europe sont variables en la matière. Dans les pays où la mesure est couramment utilisée aux plans technique et réglementaire, notamment en France, les indicateurs employés sont exprimés « en façade », c'est-à-dire correspondent au niveau sonore existant réellement, qui intègre cette réflexion sur la façade. En revanche, dans de nombreux pays d'Europe du Nord, où les évaluations se font exclusivement par calcul, les indicateurs employés dans les études et la réglementation sont exprimés « en champ libre », c'est-à-dire correspondent à ce que serait la situation en l'absence de la façade en question.

Il convient donc, lorsqu'on fait référence à des résultats issus d'études étrangères, de toujours préciser si les niveaux sonores cités sont exprimés en champ libre ou en façade. Il faut ajouter 3 dB(A) aux niveaux exprimés en champ libre pour pouvoir les comparer à ceux exprimés en façade.

Pour terminer, on notera que les indicateurs utilisés dans les pays européens pour caractériser l'exposition sonore des populations au bruit des infrastructures routières sont assez différents d'un pays à l'autre, comme le rappelle le tableau suivant :

Indicateurs réglementaires européens

Pays	Indicateur principal	Période			Conditions d'évaluation		Indicateur complémentaire
		Jour	Soirée	Nuit	en façade	en champ libre	
Allemagne	L _{Aeq}	6 - 22	-	22 - 6		x	-
Autriche	L _{Aeq}	6 - 22	-	22 - 6		x	-
Belgique	L _{Aeq}	Réglementation différente selon les régions					
Danemark	L _{Aeq}	24 h				x	L _{Amax}
Espagne	Pas de réglementation nationale						
Finlande	L _{Aeq}	7 - 22	-	22 - 7		x	-
France	L _{Aeq}	6 - 22	-	22 - 6	x		-
Grèce	L _{Aeq}	8 - 20	-	-	x		-
Irlande	L _{A10}	6 - 24			x		-
Italie	L _{Aeq}	6 - 22	-	22 - 6	x		-
Norvège	L _{Aeq}	24 h				x	L _{Amax}
Pays-Bas	L _{Aeq}	7 - 19	19 - 23	23 - 7		x	-
Portugal	L ₅₀	7 - 22	-	22 - 7	?		-
Royaume-Uni	L _{A10}	6 - 24			x		-
Suède	L _{Aeq}	24 h				x	L _{Amax}
Suisse	L _{Aeq}	6 - 22	-	22 - 6		x	-

Sources : Rapport d'avancement du groupe de travail européen n° 3 « Méthodes de calcul et de mesure », réglementations nationales, septembre 1999.

Les différences portent tout autant sur les périodes retenues pour la mesure et sur les plages horaires retenues que sur les conditions d'évaluation (en façade ou en champ libre).

1.2. La lutte contre le bruit, une demande sociale

Les statistiques d'exposition au bruit posent de nombreux problèmes d'interprétation (s'agit-il de niveaux sonores en façade ou en champ libre ?, quelles sont les périodes de références du L_{Aeq} ?, etc.). Bien souvent, les chiffres synthétiques proposés dans la littérature vulgarisée, le sont sans aucune explication relatives aux conditions de leur élaboration (échantillon, périodes...). Or, ces dernières sont essentielles pour apprécier les résultats obtenus.

Pour illustrer le propos de ce chapitre, à défaut d'une analyse poussée, on peut se reporter aux estimations faites par l'INRETS dans son rapport de 1994 pour la Commission européenne ou à l'enquête nationale sur le bruit des transports

en France réalisée par ce même institut en 1985-1986 ¹. Un premier tableau donne les pourcentages de personnes exposées par niveau de bruit en Europe et montre, même s'il existe sans doute des différences entre les pays, que la part de la population exposée à des niveaux de bruit élevés, voire très élevés, est très significative.

Estimation de l'exposition au bruit des transports dans l'Union européenne

Niveau d'exposition de jour	% de la population exposée
< 55 dB(A)	28,9
55-60 dB(A)	26,9
60-65 dB(A)	21,9
65-70 dB(A)	14,7
> 70-75 dB(A)	7,6
Total	100,0

Enfin, l'enquête nationale sur le bruit des transports qui mériterait d'être renouvelée apporte quelques précisions en distinguant les niveaux d'exposition en France par zone. On notera notamment que, selon cette enquête, en zone urbaine, plus de 70 % des personnes vivant dans les zones périphériques se trouvent exposées à des niveaux de bruit inférieurs à 60 dB et que plus de 75 % des personnes exposées à des niveaux de bruit supérieurs à 70 dB se trouvent dans le centre des agglomérations.

Exposition de la population française (en millions) au bruit des transports terrestres, milieu des années 1980

Niveau de bruit Leq (8 h - 20 h), dB(A)	< 55	55-60	60-65	65-70	> 70	Population totale
Centre agglomération	7,087	2,096	1,797	2,047	1,781	14,808
Zone périphérique	10,003	5,901	3,867	1,839	0,380	21,990
Zone rurale	10,701	3,325	2,902	0,439	0,175	17,542
Total France	27,791	11,322	8,566	4,325	2,336	54,340
En %	51,1	20,8	15,8	8,0	4,3	100,0

Source : Serrou (Bernard), « La protection des riverains contre le bruit des transports terrestres », rapport présenté à l'Assemblée nationale le 15 avril 1995 (d'après l'enquête bruit 1985-1986 de l'INRETS)

(1) Alauzet (A.), Lambert (J.) et Maurin (M.), « Enquête sur le bruit des transports en France », rapport INRETS n° 71, INRETS, 1998.

En France, plusieurs sources d'informations confirment l'importance du bruit des transports et la sensibilité de l'opinion publique à son égard :

- l'enquête du CREDOC de 1989¹ auprès de la population indique que la lutte contre le bruit occupe la première place parmi les priorités pour l'amélioration de la qualité de la vie en ville,
- le rapport sur « La protection des riverains contre le bruit des transports terrestres » de 1994 du député Bernard Serrou² rappellent que :
 - à plus de 65 dB(A), en L_{Aeq} (6 h – 22 h) en façade seuil jugé inacceptable par la réglementation, 7 millions de personnes sont exposées,
 - à plus de 70 dB(A), en L_{Aeq} (6 h – 22 h) en façade seuil au-delà duquel les effets sur la santé deviennent sensibles³, près de 2 millions de logements sont exposés ;
- l'enquête publiée par l'INSEE en 1996⁴ a fait apparaître que 40 % des Français ressentent une gêne due au bruit en général (tous types de sources sonores confondus), le bruit des transports gênant en France environ 25 % de la population (enquête 1999) ;
- la part attribuée explicitement aux transports dans l'ensemble des plaintes reçues par la Mission bruit du ministère de l'Environnement est passée de 1,2 % en 1987 à plus de 20 % en 1994, pour atteindre 50 % en 1998.

Le rapport de J.-P. Galezzi, du Conseil économique et social, et enfin, celui de l'ingénieur général Lamure au ministre de l'Environnement, publiés en 1998, font également référence à ces résultats.

(1) CREDOC, « Enquête sur les conditions de vie et les aspirations des Français », Paris, 1989.

(2) Serrou (B.), « La protection des riverains contre le bruit des transports terrestres », Assemblée nationale, Paris, 1995.

(3) Ising (H.), Babisch (W.) et Kruppa (B.), « Traffic Noise and Risk of Myocardial Infarction », 18^e congrès international pour la réduction du bruit, Association internationale contre le bruit (AICB), Bologne, 1995.

(4) INSEE, « Enquête permanente sur les conditions de vie des ménages », 1996.

1.3. La prise en compte du bruit dans l'évaluation des projets

Une nouvelle tentative d'évaluation monétarisée du bruit dans les transports avait été engagée par le Commissariat général du Plan en 1994 à l'occasion du rapport « Transports : pour un meilleur choix des investissements ». La méthode retenue, qui ne visait qu'un ordre de grandeur, était basée sur une estimation globale du coût du bruit au niveau national, en pourcentage du produit intérieur brut (0,3 % du PIB), rapportée à un dénombrement approximatif des personnes gênées. D'où une évaluation moyenne du coût annuel de la personne gênée (900 F valeur 1992). Dès lors, en décomptant pour un projet la variation du nombre des individus exposés et gênés, on pouvait en déduire un impact monétaire du bruit et l'intégrer à la valorisation socio-économique du projet. C'est à partir de cette méthode qu'ont été conçus le paragraphe sur le bruit de l'instruction-cadre du secrétariat d'État aux Transports du 3 octobre 1995, dite « circulaire Idrac », ainsi que l'annexe 11 de la circulaire relative aux méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne élaborée par la Direction des Routes en octobre 1998.

Encadré 5 - Prise en compte des nuisances sonores dans les évaluations des projets d'infrastructures de transport

Dans la circulaire du 3 octobre 1995 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport dite « circulaire Idrac », la nuisance bruit est évaluée en prenant la valeur unitaire de la personne gênée à 963 F par an (valeur 1994). Après avoir dénombré les populations soumises à plus de 65 dBA, entre 60 et 65 dBA et entre 55 et 60 dBA, on multiplie la valeur unitaire par le nombre d'habitants supposés gênés par la nuisance, c'est-à-dire respectivement pour chaque tranche, 75 %, 20 % et 5 % des populations recensées.

La circulaire de la Direction des Routes d'octobre 1998, reprend la valeur de 963 F par an et par habitant, mais applique les lignes directrices suivantes :

- la variation de la valeur de la gêne en fonction du niveau sonore est continue ;
- la formule adoptée est cohérente avec la réglementation en vigueur pour la protection des riverains de routes nouvelles : le niveau sonore en deça duquel la valeur de la gêne est égale à zéro est le niveau correspondant au seuil réglementaire, la gêne de nuit et la gêne de jour sont distinguées et prises en compte avec un poids égal ;
- aucun seuil maximal n'est fixé au-delà duquel la valeur de la gêne serait plafonnée ;
- on considère que la valeur de 963 F par an correspond à un niveau sonore de 70 dB(A) de jour et 65 dB(A) la nuit.

La nuisance bruit pour un habitant est ainsi valorisée par la formule :

$$\frac{1}{2} * VB * [0,1 * \{Lj - 60dB(A)\} + 0,1 * \{Ln - 0,55dB(A)\}]$$

où VB est la valeur de base de 963 F par an et Lj et Ln sont les niveaux sonores en périodes de jour et de nuit.

Afin d'alléger les calculs, la différence entre l'état de référence et l'état avec projet n'est valorisée que si l'indicateur de bruit varie de plus de 2 dB(A).

Ces textes marquent un net progrès. Cependant, les méthodes ainsi préconisées, et les applications qui en sont faites, présentent une certaine imprécision, parce que le coût total du bruit retenu pour la France, qui sert à déterminer la valeur de la gêne liée au bruit par habitant, provient d'une moyenne de résultats issus d'approches différentes menées en Europe. Par ailleurs, la méthode finalement retenue a fait l'objet de critiques notamment sur le fait qu'elle considère pour nul le coût de la nuisance en dessous des seuils réglementaires. Au surplus, il apparaît nécessaire aujourd'hui de s'écarter de la méthode macro-économique pour s'engager vers des méthodes micro-économiques plus précises et mieux appropriées, du moins pour les évaluations de projets.

Encadré 6 - Les seuils actuels prévus par les réglementations : cas d'une infrastructure routière nouvelle**

Usage et nature des locaux	LAeq jour * (6 h – 22 h)	LAeq nuit * (22 h – 6 h)
1/ Établissements de santé, de soins et d'action sociale : - salles de soins et salles réservées au séjour des malades - autres locaux	57 dB(A) 60 dB(A)	55 dB(A) 55 dB(A)
2/ Établissements d'enseignement (à l'exclusion des ateliers bruyants et des locaux sportifs)	60 dB(A)	
3/ Logements en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	60 dB(A)	55 dB(A)
4/ Autres logements	65 dB(A)	60 dB(A)
5/ Locaux à usage de bureaux en zone d'ambiance sonore préexistante modérée	65 dB(A)	

* Niveaux en façade d'habitation, fenêtre fermée

** Dans le cas d'une infrastructure ferroviaire conventionnelle nouvelle, les niveaux réglementaires figurant dans ce tableau sont augmentés de 3 dB (A). Pour les lignes nouvelles parcourues par des TGV, les niveaux réglementaires sont ceux figurant dans ce tableau

1.4. Évaluation du bruit par la méthode des préférences révélées

Depuis 1980, de nombreuses études ¹ ont été menées dans plusieurs pays pour estimer la valeur des nuisances dues au bruit en fonction du consentement à payer, soit directement par enquêtes auprès des habitants cherchant à bénéficier de logements moins exposés au bruit, soit indirectement à partir de l'observation des prix du marché des biens immobiliers. Ces dernières études mettent en évidence la corrélation qui existe entre le niveau de bruit et la dépréciation de l'immobilier, même si les résultats obtenus restent encore assez dispersés.

Le rapport du CADAS note que les comparaisons des résultats obtenus par les différentes études entreprises depuis les années 1970, se heurtent à des difficultés sérieuses relatives aux méthodes, aux champs couverts, et à la qualité des études. Les différences portent aussi bien sur l'objet immobilier considéré, que sur le prix (prix de vente, prix de location), sur la détermination du bruit (par mesure ou par calcul), que sur le nombre des observations, la nature des variables explicatives, la forme des fonctions hédonistes et le raffinement de l'analyse statistique. Il convient donc d'être extrêmement prudent dans de tels rapprochements.

Toutefois, sur la période allant de 1967 à 1995, la recension des résultats des études proposée par le CADAS présentée dans l'encadré 6, montre que selon les indicateurs retenus, la dépréciation variait approximativement, en moyenne, de 0,3 à un peu plus de 1 % par décibel. Il paraît manifeste également que cette dépréciation se rapproche de 1 % dans les études les plus récentes, ceci traduisant peut-être une plus grande attention aux nuisances sonores de la part de la population.

Le tableau suivant présente les conclusions de diverses études sur la relation entre le niveau sonore de la dépréciation du foncier. Comme le groupe l'a déjà rappelé à plusieurs reprises, ces résultats doivent être appréciés en fonction des méthodes utilisées et notamment, ici, par rapport au seuil à partir duquel cette dépréciation est calculée. Ces informations ne sont malheureusement pas toujours disponibles.

(1) Voir sur ce point le rapport du CADAS qui propose une vaste synthèse sur les nuisances sonores dans le secteur des transports. Kail (J.-M.), Lambert (J.) et Quinet (É.), « Évaluer les effets des transports sur l'environnement : le cas des nuisances sonores », rapport n° 16, CADAS (Comité des applications de l'académie des sciences), Paris, CADAS, novembre 1999.

Encadré 7 - Prix hédonistes et bruit routier

Auteurs	Année	Indice de bruit	Indice de dépréciation (en % par dB(A))
COLONY	1967	distance	0
TOWNE	1968	?	négligeable
DIFFEY	1971	L ₁₀ (18h)	0
NELSON	1970	LDN	0,88
GAMBLE & al.	1969-1971	Leq	0,26 - 0,54
ANDERSON & WISE	1971	Leq	0,31
VAUGHAN-HUCKINS	1971-1972	Leq	0,41 - 0,80
HAMMAR	1972	Leq	0,8 - 1,7
BAILEY	1977	Leq	0,38
ABELSON	1977	L ₁₀ (18h)	0,5
HALL & al.	1977	Leq	0,5
ALLEN	1980	L ₁₀ (18h)	0,15
PALMQUIST	1980	L ₁₀ (18h)	0,08 à 0,48
TAYLOR & al.	1982	Leq	0,5
POMMEREHNE	1985	Leq (6h-22h)	1 à 1,4
HEINONEN	1986	Leq (7h-22)	1,06
SOGUEL	1989	Leq (6h-22h)	0,91
ITEN	1989	Leq (6h-22h)	0,90
VAINIO	1991	Leq (7h-22h)	0,36
RENEW	1995	Leq (24h) L ₁₀ (18h)	1,0 1,1

Source : Rapport du CADAS

Ces méthodes ¹ paraissent assez bien convenir, dans l'ensemble, pour mettre en évidence la valeur monétaire du coût des nuisances sonores lorsque le niveau de celles-ci évolue peu ou faiblement, ou lorsque la progression du niveau de bruit s'élève de manière continue, ce qui est fréquent en milieu urbain. Par contre, cette approche ne rend compte que de manière incomplète de l'impact d'une variation brutale et substantielle de l'environnement sonore, comme cela se produit en rase campagne, par exemple, lors de la mise en service d'une nouvelle infrastructure, situation dans laquelle les niveaux sonores pour les riverains peuvent passer brusquement de niveaux de bruit très faibles aux niveaux seuils fixés par la réglementation.

(1) Voir la synthèse sur les méthodes des préférences révélées appliquées aux nuisances sonores dans le secteur des transports réalisées par J. Lambert, J.-M. Kail, É. Quinet : « Transportation Noise Annoyance : An Economic Issue ». *Noise Effects'98*, Sydney, Australie, 22-26 novembre 1998.

- Annexe 5 -

Il convient donc d'attirer l'attention sur le fait que dans ces dernières situations, la prise en considération du seul niveau sonore n'est pas suffisante pour apprécier la dépréciation ou la gêne occasionnée.

Toujours est-il, qu'entre les deux méthodes actuellement utilisées pour estimer le coût du bruit des transports, il paraît préférable à la majorité des membres du groupe de travail d'utiliser la méthode des préférences révélées par les prix du marché (dite des prix hédonistes). Celle-ci lui paraît en effet s'avérer plus robuste et plus facile à mettre en œuvre, du moins en milieu urbain ¹.

Cette méthode, basée sur l'évolution des prix (ou des loyers) des propriétés, part de l'hypothèse que le prix d'un logement ne reflète pas seulement son coût de construction, mais aussi (entre autres) les nuisances auxquelles peuvent être exposés les occupants. Elle postule, toutes choses étant égales par ailleurs, qu'un logement situé dans une zone peu exposée au bruit aura une valeur plus grande que le même logement situé dans une zone très exposée. Cette approche tente donc d'établir la part du bruit dans les différences de prix entre les propriétés afin de déterminer la somme que les gens sont prêts à payer pour améliorer la qualité de leur environnement sonore.

Encadré 8 - La méthode des préférences révélées (ou des prix hédonistes)

Le modèle des prix hédonistes pose que la valeur d'un bien immobilier h dépend de l'ensemble des avantages dont il bénéficie. Ainsi :

$$P_h = f(L_h, V_h, A_h, E_h)$$

où P_h représente la valeur du bien immobilier h ; L_h représente un ensemble de caractéristiques (ou attributs) propres au logement (nombre de pièces, état du logement, etc.) ; V_h représente un ensemble de variables de voisinage (densité et structure sociale de population, taux de délinquance, etc.) ; A_h regroupe les paramètres décrivant les conditions d'accessibilité (proximité des centres commerciaux, des écoles, des services municipaux, existence de moyens de transport public, etc.) et E_h représente les caractéristiques de l'environnement physique (bruit par exemple).

La mise en œuvre de cette méthode comporte deux grandes étapes :

La première vise à donner une estimation du prix implicite des attributs et comporte trois tâches :

- la réalisation d'une enquête sur les prix (ou loyers) et les caractéristiques des logements ;

(1) On notera que les résultats obtenus par ces méthodes ne devraient pas, en théorie, aboutir à des résultats trop différents du coût des mesures permettant de réduire la nuisance génératrice de la dépréciation du logement.

- le choix d'une fonction des prix implicites : la forme de la fonction f n'est pas neutre. Si on choisit une fonction linéaire (cas le plus souvent rencontré), tout changement unitaire des variables influe d'un montant égal sur le prix du bien immobilier. Si la fonction est concave, les prix immobiliers baissent de plus en plus vite au fur et à mesure que les variables d'environnement augmentent. On obtient le résultat inverse si la relation est convexe ;

- l'estimation des paramètres de la fonction hédoniste reliant les variables issues de l'enquête : une variable dépendante (le prix ou le montant du loyer) et des variables supposées indépendantes concernant les caractéristiques des logements. Le coefficient de E_h représente l'élasticité de P_h par rapport à E_h . Si E_h augmente d'un pour cent, P_h diminue alors, en pourcentage, du montant du coefficient. Lorsque la fonction a été estimée correctement, le consentement marginal à payer pour une diminution de E_h est donné par la dérivée partielle $\partial P_h / \partial E_h$ que l'on peut appeler a_h (prix hédonistes).

La seconde étape consiste à estimer la fonction de consentement à payer des occupants. On procède alors à une régression de a_h sur les caractéristiques des ménages (niveau de revenu par exemple) et sur les niveaux d'exposition au bruit.

Dans la pratique, les études se heurtent à certaines difficultés, dont notamment celle de tenir compte du fait qu'un écart de prix peut subsister entre deux logements de caractéristiques semblables selon les situations locales du marché de l'immobilier.

Si l'on reprend les principaux résultats obtenus, notamment à Neuchâtel (Soguel, 1989), la dépréciation du prix de transaction ou de la valeur locative des biens immobiliers s'établit entre 0,4 et 1,2 % par décibel. En moyenne, à partir d'un certain seuil d'exposition au bruit, la dépréciation est de l'ordre de 0,8 à 1 % par décibel. Le coût unitaire du bruit ainsi déterminé s'applique aux prix moyens de location par m^2 de surface occupée et exposée à des niveaux de bruit dépassant un seuil.

1.5. Coûts unitaires du bruit, période et niveaux d'exposition

Les études sur le coût du bruit en fonction des niveaux d'exposition permettent de conclure sur deux points.

D'une part, si les études ne permettent pas de trancher quant au niveau à partir duquel apparaît la dépréciation des valeurs immobilières, elles montrent déjà

que la croissance de la dépréciation de la valeur de l'immobilier selon le niveau d'exposition au bruit n'est pas linéaire ¹.

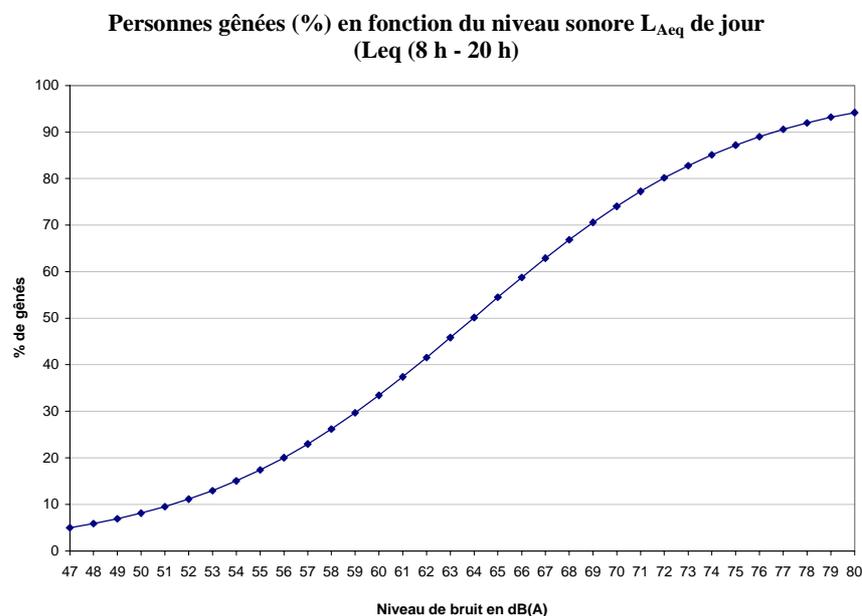
D'autre part, malgré l'abaissement sensible des seuils de la réglementation sur le bruit au cours des années récentes, les études montrent que, même à ces niveaux et à des niveaux un peu inférieurs, il subsiste un pourcentage significatif de personnes se déclarant gênées : de l'ordre de 20 % à 60 dB en période diurne pour le bruit routier ². Certes, ces conclusions doivent être exploitées avec prudence ; on trouvera toujours des personnes se déclarant gênées même à des niveaux de bruit très faibles, la gêne exprimée pouvant alors s'interpréter comme le reflet d'une insatisfaction des individus vis-à-vis de leur environnement. Toutefois, le seuil réglementaire et celui du coût de la gêne occasionnée ne sauraient coïncider, ne serait-ce que du point de vue économique, la nuisance optimale ne peut être la nuisance nulle.

Encadré 9 - La liaison gêne-bruit

La gêne croît avec le niveau de bruit (figure ci-après). Cependant la relation entre la gêne psychologique individuelle et l'exposition au bruit présente une corrélation assez peu élevée. Le bruit n'explique généralement qu'au plus 40 % de la variabilité de la gêne. Le graphique qui suit ne vise pas à synthétiser les données disponibles, nombreuses, mais très hétérogènes sur ce sujet. Il illustre, à travers un exemple particulier la notion de gêne (réaction subjective des personnes face au bruit). Il aurait été préférable de représenter d'autres résultats sur ce même graphique pour montrer les dispersions, mais il aurait également fallu expliquer précisément certaines de ces dispersions par rapport aux méthodes utilisées. Ces explications techniques dépassent très largement le cadre de ce travail prospectif et l'objet de cet encadré général.

(1) Ceci rejoint d'autres résultats qui montrent par exemple que le consentement à payer pour disposer d'un endroit calme, même s'il dépend du niveau de revenu de la personne interrogée et même s'il dépend du niveau d'information sur les effets du bruit sur la santé dont dispose la personne, croît plus que proportionnellement avec le niveau sonore dans lequel vit l'interviewé. Weinberger M. (1992). *Gesamtwirtschaftliche Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 39 (1992) 91-99.

(2) Voir dans l'encadré 5 - La liaison gêne-bruit le graphique présentant la relation entre le pourcentage des personnes se déclarant gênées et le niveau sonore.



Source : J. Lambert, F. Simonnet. *Les comportements dans l'habitat soumis au bruit de circulation. Rapport IRT, décembre 1979*

Cette fonction dose-réponse a été estimée en milieu urbain et périurbain. La catégorie « gêné » regroupe les réponses des « assez gêné » et des « très gêné » de l'enquête et le niveau de bruit est défini en Leq (8 h - 20 h). Des éléments plus contemporains, en France et à l'étranger, montrent que cette fonction reste valide aujourd'hui.

Ce graphique montre que la variabilité interindividuelle est très forte. Les principales raisons en sont les suivantes :

- la notion de gêne psychologique globale, supposée agréger l'ensemble des effets conscients du bruit (donc bien pratique sur le plan opérationnel), est réductrice au regard de la diversité des effets du bruit,
- des facteurs non acoustiques comme la sensibilité individuelle au bruit, les représentations et expériences par rapport au bruit, l'attitude par rapport aux sources de bruit, les attentes vis-à-vis de l'environnement sont aussi déterminants dans l'expression de la gêne globale,
- la variabilité des réponses en termes de gêne s'explique par des facteurs acoustiques (niveau d'exposition, niveau d'isolement des bâtiments, présence de façade au calme notamment), et par des facteurs non acoustiques (signalés ci-dessus) auxquels il faut ajouter l'impact des différents modes de vie des personnes,
- la mesure fine de l'exposition au bruit des personnes riveraines d'infrastructures bruyantes présente encore des difficultés (liées à la prise en compte des variations spatiales et temporelles de l'exposition au bruit),

- Annexe 5 -

- pour un même niveau de bruit, le pourcentage de personnes gênées est sensiblement plus important aux abords d'une voie nouvelle qu'à proximité d'une voirie existante, ce qui peut s'expliquer par le fait que la gêne exprimée peut traduire aussi une opposition au projet pour divers motifs ou par le changement sensible de l'exposition au bruit,
- le choix d'un descripteur acoustique unique de la gêne est complexe¹ dans la mesure où celle-ci dépend non seulement de l'énergie acoustique, mais parfois aussi du nombre d'événements sonores, des niveaux de crête, etc. Retenir un indice acoustique en tant que descripteur de la gêne conduit inévitablement à faire un compromis sur la base des critères suivants : indice bien corrélé avec la gêne, indice facile à calculer ou mesurer et surtout facile à prédire, indice bien compris et bien accepté par les riverains,
- enfin, la gêne psychologique déclarée par les enquêtés englobe certainement d'autres dimensions environnementales telles que les effets de coupure ou d'intrusion visuelle créée par une infrastructure nouvelle.

Dans le cadre de ce travail, le groupe n'a pas jugé utile de remettre en cause l'optimalité du niveau réglementaire actuel qui est le fruit d'un compromis entre les différents acteurs sur les efforts à fournir pour réduire les nuisances. Tout en reconnaissant la réelle difficulté que constitue la définition du seuil à partir duquel les dépréciations foncières et les gênes sont repérables, le groupe estime toutefois qu'il n'est pas raisonnable de tenir pour nul le coût des nuisances sonores en dessous du seuil réglementaire de 60 dB(A) alors même qu'au dessus de ce seuil, les dépréciations immobilières sont déjà significatives. Dès lors, la majorité du groupe a retenu une dépréciation modérée de 0,4 % par décibel dans la tranche allant de 55 à 60 dB(A).

À partir des résultats des études et compte tenu de ce dernier compromis, le groupe propose donc de retenir la relation simple² suivante entre la dépréciation par décibel et les grandes classes de niveau d'exposition au bruit en période diurne : un décibel supplémentaire d'exposition entraîne une perte de la valeur immobilière allant de 0,4 à 1,1 % suivant le niveau de bruit considéré.

(1) Si le L_{Aeq} s'est imposé comme l'indice universel qui facilite les comparaisons, il reste peu adapté pour des bruits intermittents ou des situations de forte émergence. D'où la nécessité de compléter l'analyse avec d'autres indicateurs.

(2) Certains estiment qu'il ne serait pas sans intérêt d'utiliser une formule permettant une modulation du taux de dépréciation en fonction de la sensibilité des milieux touchés par le bruit (celle-ci est plus importante dans les zones résidentielles que dans les zones de bureaux). Cette approche plus proche de la réalité paraît toutefois trop complexe à appliquer.

**Dépréciation des valeurs immobilières
en fonction des niveaux d'exposition au bruit**

Leq de jour en façade en dB(A)	55 à 60	60 à 65	65 à 70	70 à 75	Au delà de 75
% dépréciation /décibel	0,4 %	0,8 %	0,9 %	1 %	1,1 %

Par ailleurs, un progrès important dans l'évaluation du bruit consiste à différencier les périodes de nuit et de jour (circulaire de la Direction des Routes d'octobre 1998) dont la prise en compte est maintenant systématique dans la réglementation relative au bruit des transports terrestres (décrets n° 95-21 et 95-22 du 9 janvier 1995). Une telle distinction ne semble cependant pas avoir été opérée à ce jour dans les enquêtes destinées à attribuer une valeur monétaire des nuisances sonores qui n'ont utilisé comme seul indicateur que le niveau sonore de jour. S'il existe un consensus pour dire qu'une même nuisance sonore gêne davantage la nuit que le jour, il n'est pas possible en l'état des études de proposer un coefficient précis pour rendre compte de cet écart, écart qui fait l'objet d'un débat. Toujours est-il que la plupart des pays dont la réglementation distingue les seuils de bruit selon le jour et la nuit, ont retenu entre ces seuils un écart de 10 dB(A), c'est le cas notamment de l'Allemagne, de l'Autriche, de l'Italie, des Pays-Bas, du Portugal et de la Suisse. De son côté, la Commission européenne préconise, dans son projet de directive¹, d'évaluer le bruit sur 24 heures en distinguant trois périodes jour, soir, nuit, en pondérant différemment le niveau d'exposition des trois périodes.

La nécessité de prendre en compte la période nocturne dans les évaluations justifie donc, à titre transitoire et dans l'attente de résultats d'études, d'adopter une convention en la matière. Afin de conserver une bonne cohérence avec le dispositif réglementaire relatif au bruit des transports terrestres, il est proposé,

(1) Le projet final de directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion du bruit ambiant vise à établir un cadre communautaire commun pour l'évaluation et la gestion du bruit ambiant. L'objectif premier est l'établissement de cartes de bruit à l'échelle de l'Union européenne (villes de plus de 100 000 habitants, grands axes routiers et ferroviaires, grands aéroports) qui reposeraient sur des méthodes d'évaluation communes et des indicateurs de bruit harmonisés (LDEN et Leq nuit). Accessibles au public, ces cartes seraient, dans un deuxième temps, utilisées pour l'élaboration de plans d'action et de stratégies de lutte contre les nuisances sonores aux niveaux local, national et communautaire. Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil relative à l'évaluation et à la gestion du bruit ambiant. COM (2000) 468 final, 27 juillet 2000.

- Annexe 5 -

en l'absence de données spécifiques à la période nocturne dans les zones affectées par le projet, de considérer :

- que les valeurs présentées dans le tableau précédent se rapportent à des situations où le niveau sonore du bruit est inférieur de 5dB(A) au niveau sonore de jour, cet écart étant celui fixé entre les niveaux sonores maximaux de la réglementation française pour les deux périodes ;
- que la valeur de la nuisance en période nocturne pour un niveau sonore donné est identique à celle que l'on retiendrait en période diurne pour le même niveau sonore augmenté de 5 dB(A) ;
- que, par convention, les nuisances en périodes diurne et nocturne sont prises en compte à parts égales dans la valeur totale.

Cependant, cette démarche ne saurait être pérennisée car elle n'est pas pleinement satisfaisante. Des études relatives à la valorisation monétaire de la nuisance sonore prenant en compte la période nocturne, soit de façon spécifique soit en l'intégrant sur une période de 24 heures, devront être entreprises rapidement afin de fournir des éléments plus pertinents.

1.6. L'acceptabilité sociale de l'évaluation du bruit : utilisation de valeurs moyennes

L'application de la méthode des valeurs révélées (prix hédonistes) au marché de l'immobilier conduit – pour un même bien ¹ – à des valeurs du bruit fortement dépendantes de la localisation de ce bien et donc des prix du marché (Paris ou province, ville ou campagne, ville dynamique ou somnolente, etc.). En conséquence, des différences notables de rentabilité peuvent apparaître pour des projets semblables, mais dans un environnement différent.

En 1996, sur l'ensemble du parc locatif, tous secteurs locatifs confondus, le locataire acquitte un loyer moyen de 36 F par m². Toutefois, les montants des

(1) C'est-à-dire un logement de caractéristiques identiques et soumis à une même exposition sonore.

loyers sont très dispersés¹, et en particulier ils sont en moyenne près de quatre fois plus élevés à Paris que dans les communes rurales.

Le coût du bruit connaîtrait donc la même dispersion. Certes, le principe d'efficacité économique justifie ces différences. Mais, en s'éloignant par trop des exigences de l'équité sociale, on aboutit à un résultat qui a peu de chances d'être accepté par tous. Aussi, pour pallier cet inconvénient, le groupe de travail propose de fonder – par convention – le prix actuel des logements exposés au bruit d'un projet ou d'un schéma, sur le loyer mensuel au m² du secteur locatif tel que l'INSEE² publie trimestriellement par grandes zones à l'échelle nationale. Ainsi, l'indicateur proposé, en portant sur un agrégat suffisamment étendu, aplani les distorsions sociales les plus flagrantes.

Quant à l'évolution future des prix à prendre en considération dans les bilans coûts-avantages ou dans la comparaison des scénarios de schémas, il est proposé de s'appuyer sur la corrélation qui existe sur la longue période entre le prix de l'immobilier d'habitation et le PIB³. Admettant que loyer et prix d'acquisition évoluent parallèlement, on raccordera donc l'évolution future des loyers à celle du PIB, pour évaluer le coût du bruit dans les bilans comparatifs de projets d'infrastructures ou de schémas étalés dans le temps.

2. Recommandations particulières

Les précédentes recommandations et celles qui suivent concernent en premier lieu l'évaluation économique des projets lors de la création d'infrastructures nouvelles ou de la modification d'infrastructures existantes, dans le cadre d'un projet aux caractéristiques déterminées. Elles s'appliquent aussi dans tous les cas où le bruit peut influencer sur une décision en matière de transport. Ce peut être le cas, par exemple, lors de l'évaluation monétarisée de politiques de lutte contre le bruit, notamment à l'occasion d'un programme de rattrapage de « points noirs ». C'est aussi le cas lorsque l'évaluation se rapporte à des projets intégrés à des schémas généraux de transport, qui nécessiteront en général des traitements différents.

(1) DAEI/SES, « Le compte du logement. La dispersion des loyers d'après l'enquête logement de 1996 », 1999.

(2) INSEE. Enquête trimestrielle loyers et charges.

(3) Voir à ce sujet les conclusions de l'étude menée par Jacques Friggit, « L'évolution du prix des logements en France depuis les années 50 », in « L'Observateur de l'Immobilier », n° 43, juillet 1999.

2.1. Une démarche intermodale d'évaluation

L'évaluation du coût du bruit s'applique aux projets d'infrastructure routiers ¹ et ferroviaires, aux projets aéroportuaires ² et le cas échéant aux secteurs des voies navigables et du transport maritime ³.

L'impact du bruit est différent selon les modes de transport. Les enquêtes psychosociales montrent par exemple qu'à niveau d'exposition au bruit identique, la gêne provoquée par le bruit ferroviaire est moins élevée que celle due au bruit routier ce qui peut expliquer la pratique dans certains pays des bonus de 3 à 7 décibels. En France, la récente réglementation (arrêté du 8 novembre 1999) officialise cette pratique en réduisant de 3 dB les niveaux sonores maximaux admissibles pour les indicateurs de gêne ferroviaire dans le cas de lignes conventionnelles, mais pas pour les TGV. En revanche, le bruit dû au trafic aérien, s'avère plus gênant que le bruit routier. Un « malus aérien » sonore, est intégré dans le calcul des indicateurs spécifiques à ce type de bruit (indice psophique). Il y aurait lieu de vérifier la cohérence de la correspondance avec les règles qu'il est proposé ici d'appliquer aux autres modes de transport.

(1) Le trafic poids lourds représente un élément très important des nuisances sonores routières puisque un poids lourd équivaut en plan acoustique de 4 à 20 véhicules légers selon la situation.

(2) Elle s'impose aussi pour les projets du transport aérien, essentiellement ceux concernant les infrastructures aéroportuaires : création d'aéroports, de nouvelles pistes et plus généralement toute opération entraînant une variation du nombre des mouvements d'avions.

(3) Bien qu'ils ne constituent pas un sujet majeur de préoccupation en matière de bruit, les secteurs des voies navigables et du transport maritime ne sont pas non plus à exclure du champ d'application des préconisations, dans le cas notamment de réalisations de liaisons fluviales ou de certains projets situés dans les domaines portuaires.

2.2. Prise en compte des effets à long terme sur la santé ¹

Les effets des nuisances sonores sur la santé ont fait l'objet d'études approfondies. Celles-ci ont été passées en revue par l'OMS (voir tableau suivant) qui relève ainsi toute une série d'effets directs et indirects allant du déficit auditif provoqué par des expositions à des niveaux de bruit élevés, aux interférences sur les communications entre les individus en passant par les effets sur le comportement des personnes.

(1) *Se reporter pour ces questions relatives à l'effet du bruit sur la santé sur : WHO Guidelines for Community Noise ; Noise Exposure and Public Health, Passchier-Vermeer (W.) et Vermeer (W.F.), Environmental Health Perspectives, volume 108, supplément 1, mars 2000 ; Community Noise, Archives of the Center for Sensory research, Volume 2, Issue 1, 1995. Document prepared for the WHO, edited by B. Berglund & T. Lindvall, Stockholm University and Karolinska Institute, 1995 ; ministère des Affaires sociales, de la Santé et de la Ville, les effets du bruit sur la santé, 1995.*

Valeurs guides pour le bruit ambiant en milieux spécifiques^{1, 2}

Environnement spécifique	Effet critique sur la santé	L _{Aeq} [dB(A)]	Base de temps [heures]	L _{Amax}
Zone résidentielle extérieure	Gêne sérieuse pendant la journée et la soirée	55	16	-
	Gêne modérée pendant la journée	50	16	-
Intérieur des logements Intérieur des chambres à coucher	Intelligibilité de la parole et gêne modérée pendant la journée et la soirée	35	16	-
	Perturbation du sommeil, la nuit	30	8	45
À l'extérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte	45	8	60
Salles de classe et jardins d'enfants, à l'intérieur	Intelligibilité de la parole, perturbation de l'extraction de l'information, communication des messages	35	Pendant la classe	-
Salles de repos des jardins d'enfants, à l'intérieur	Perturbation du sommeil	30	Tps de repos	45
Cours de récréation, extérieur	Gêne (source extérieure)	55	Tps de récréation	-
Hôpitaux, salles/chambres, à l'intérieur	Perturbation du sommeil, la nuit	30	8	40
	Perturbation du sommeil, pendant la journée et la soirée	30	16	-
Hôpitaux, salles de traitement, à l'intérieur	Interférence avec le repos et la convalescence	#1		
Zones industrielles, commerciales, marchandes, de circulation, extérieur et intérieur	Perte de l'audition	70	24	110
Cérémonies, festivals, divertissements	Perte de l'audition (clients : < 5 fois par an)	100	4	110
Discours, manifestations extérieur et intérieur	Perte de l'audition	85	1	110
Musique et autres sons diffusés dans des écouteurs	Perte de l'audition	85#4	1	110
Impulsions sonores générées par des jouets, des feux d'artifice et des armes à feu	Perte de l'audition (adultes)	-	-	140#2
	Perte de l'audition (enfants)	-	-	120#2
Parcs naturels et zones protégées	Interruption de la tranquillité	#3		

#1 Aussi bas que possible.

#3 Des zones extérieures silencieuses doivent être préservées et le rapport du bruit au bruit de fond naturel doit être gardé le plus bas possible

#2 La pression acoustique maximale mesurée à 100 millimètres de l'oreille

#4 Sous des écouteurs, adaptés aux valeurs de plein air

(1) Executive Summary of the Who Guidelines for Community Noise, Protection of Human Environment, Occupational and Environmental Health Series, World Health Organization, Sustainable Development and Healthy Environments, Genève, 2000.

(2) Concernant les niveaux de L_{Aeq} recommandés à l'extérieur des bâtiments, l'OMS ne précise pas s'il s'agit de niveaux sonores en champ libre ou en façade. Il semble toutefois que ces recommandations soient à interpréter comme étant exprimées en champ libre.

Si l'on considère les seuls effets sur la santé provoqués par les bruits émis du secteur des transports, et sachant que, bien souvent, dans ce domaine en matière d'effets sur la santé notamment, il est difficile de faire la part des choses entre les effets dus aux bruits et ceux imputables à d'autres variables plus ou moins corrélées, on note que deux effets reviennent plus fréquemment dans les débats : le premier concerne les perturbations du sommeil (difficulté d'endormissement, réveils fréquents, etc.) ; le second, qui survient à des niveaux d'exposition supérieurs à 70 dB(A), concerne les maladies cardio-vasculaires que le bruit du transport peut contribuer à renforcer soit directement, soit indirectement en raison de l'utilisation systématique de somnifères par exemple.

Pour ce qui concerne les effets sur la santé, il convient toutefois de bien distinguer les effets sur la santé proprement dite de la gêne ressentie, gêne qui est déjà prise en compte par ailleurs dans le calcul proposé précédemment. Il s'agit ici de considérer en sus de la gêne, des effets dont la gravité réelle n'est pas ressentie comme telle par les individus, et n'apparaît pas, dès lors, dans les enquêtes de préférences déclarées.

Les résultats fournis par l'observation des prix immobiliers doivent donc être corrigés pour tenir compte de ces effets à long terme du bruit sur la santé. Le coefficient de majoration à appliquer est difficile à évaluer, car il s'agit d'un effet à long terme, qui dépend des niveaux de bruit auxquels les personnes ont été successivement exposées et qui reste encore mal connu. Compte tenu des quelques éléments disponibles ¹, et à titre conservatoire pour ne pas négliger cet effet important, il est proposé de majorer la valeur unitaire du coût du décibel de 30 % dans le cas d'une exposition au bruit supérieure à 70 dB(A) de jour ou 65 dB(A) la nuit.

Malgré les difficultés prévisibles, des études complémentaires sont à mener pour affiner les valeurs ainsi proposées a priori.

(1) Peu d'études sont encore disponibles sur ce sujet : M. Weinberger (Allemagne, 1991) conclut à une majoration du coût de l'ordre de 30 %. Un groupe de travail européen qui étudie les relations entre les doses de bruit et leurs effets confirme, dans son rapport d'avancement (WG2- Dose/Effect, First Year Progress Report, novembre 1999), le manque d'informations concernant les effets du bruit des transports sur la santé, à l'exception des maladies cardio-vasculaires. Concernant ces dernières, une étude de Babisch, Elwood et Ising (Congrès Noise and Man, 1993) montre toutefois que les effets du bruit routier sur la santé n'ont pu être mis en évidence qu'à partir de la tranche 65-70 dB(A) en champ libre, soit 68-73 dB(A) en façade.

2.3. Prise en compte du bruit en l'absence de tracé suffisamment défini

La réalisation d'un projet d'infrastructure induit des impacts sonores d'une part aux bords de son tracé, d'autre part sur d'autres infrastructures dont le trafic est modifié par cette réalisation (itinéraires d'accès ou itinéraires concurrents). Le respect des textes réglementaires actuels assure que les nuisances au voisinage du tracé sont pour l'essentiel internalisées dans le coût du projet. L'évaluation économique des impacts sonores du projet consiste donc à étudier les variations de trafic qu'il provoquerait sur le réseau préexistant et à valoriser la modification des nuisances subies par les populations riveraines de ce réseau.

Une telle démarche ne nécessite pas que le tracé du projet soit défini avec une grande précision. Une fois identifiés les itinéraires et les zones bâties concernés par une variation de trafic significative au plan acoustique, le nombre de logements et d'habitants susceptibles d'être exposés peut être recensé, ou évalué de façon statistique, en recourant aux systèmes d'informations géographiques ou d'autres données disponibles. Les modèles de calcul acoustique en usage, au besoin simplifiés s'ils doivent être appliqués à des zones très étendues, permettent ensuite à partir de la description des sites sur la zone d'étude de déduire l'exposition sonore des populations avant et après la réalisation du projet.

Une démarche similaire peut être mise en œuvre pour l'étude d'un schéma d'infrastructure, moyennant l'adoption de conventions supplémentaires liées à son caractère macroscopique.

Pour évaluer l'empreinte sonore en espace extérieur on pourra s'inspirer de la méthode préconisée par l'annexe 11 de la circulaire de la Direction des Routes d'octobre 1998. Il s'agit d'évaluer dans la zone concernée par un projet, les surfaces pour lesquelles le niveau sonore dû au transport est supérieur à 50 dBA en champ libre ce qui correspond à 53 dB(A) exprimé en équivalent façade. On mènera un calcul de propagation simplifié basé sur des conditions de site conventionnelles (topographie plane, infrastructure de transport au niveau du terrain naturel, large angle de vue sur la source de bruit depuis le récepteur, etc.), qui fournira la distance entre l'isophone 53 dBA et la plate-forme de l'infrastructure pour chaque tronçon homogène du point de vue de l'émission sonore.

La surface de l'empreinte sonore est le produit de cette distance (comptée de part et d'autre de l'infrastructure de transport) par la longueur du tronçon. On

calculera la variation de l’empreinte sonore entre l’état 1 (situation de référence) et l’état 2 (situation de projet). On quantifiera cette modification de l’empreinte sonore en espace extérieur par un indicateur de surface. Enfin, on définira la nature des différentes surfaces évaluées (habitat, espaces privilégiés de détente et de loisirs, massifs forestiers, zones touristiques, espaces naturels préservés, etc.).

En raison de son caractère nécessairement approximatif, ce genre d’évaluation quantitative devra être accompagné de commentaires spécifiques et il conviendra tout particulièrement de procéder à des études de sensibilité aux principaux paramètres retenus.

2.4. Prise en compte du bruit pour les bâtiments publics et les zones non habitées

Le bruit créé par les transports peut causer des dommages dans des zones autres que d’habitation. En premier lieu, dans les zones d’activités de bureaux et d’établissements industriels, encore que les problèmes de bruit y soient souvent d’ordre interne. La gêne ou la perturbation des activités due au bruit extérieur n’y est généralement pas ressentie aussi intensément que dans les zones résidentielles. Dans les zones de bâtiments publics, la situation est plus complexe : la plupart des bâtiments sont assimilables à des bureaux, mais on doit traiter différemment les bâtiments particulièrement sensibles comme les établissements scolaires, de santé ou de soins. Des exigences réglementaires particulièrement sévères existent au demeurant pour la protection de ces bâtiments.

Dans l’état actuel des connaissances et des études, on reste encore démunie pour faire des propositions relativement précises sur la base de valeurs révélées. Il n’existe quasiment pas d’études hors zones d’habitat, ni de marché des transactions immobilières pour les bâtiments à usage public. Une simplification consisterait à appliquer à ces derniers, comme le propose la Suisse, les mêmes valeurs qu’à l’habitat. Mais, pour tenir compte de l’inégale sensibilité au bruit, il est proposé d’appliquer aux valeurs ainsi estimées un coefficient supérieur à 1 pour les établissements publics réputés sensibles et un coefficient inférieur à 1 dans les autres cas. Dans un premier temps, ces coefficients seraient définis a priori, dans l’attente des études qui permettront de mieux cerner leurs valeurs. Le marché des transactions ou des prix de locations d’immeubles de bureaux devrait sans doute fournir quelques indications pertinentes à ce sujet. Mais là encore, il faut souligner la limite de cette méthode : l’écart de prix entre deux

types d'immeubles de bureaux (l'un situé en zone assez calme, l'autre en zone bruyante) peut s'avérer variable selon les situations locales du marché de l'immobilier et la qualité de l'isolation acoustique des bâtiments.

Toujours en s'appuyant sur les valeurs révélées pour les locaux d'habitation, une autre manière de procéder consisterait à moduler le niveau sonore à partir duquel les effets du bruit seront pris en compte : plus élevé pour les locaux d'activités et bâtiments publics ordinaires, plus faible pour les bâtiments publics réputés sensibles au bruit.

Dans les zones non habitées, les dommages causés par le bruit peuvent être négligés, sauf dans celles qui sont destinées à l'habitation à une échéance suffisamment prévisible et relativement proche. Toutefois, la valorisation du bruit devra alors être affectée d'un coefficient d'abattement tenant compte de la date prévisible de réalisation des habitations.

Enfin, dans les zones de détente et de promenade, la loi « bruit » et ses textes d'application prévoient que « les nuisances sonores soient limitées à des niveaux compatibles avec le mode d'occupation ou d'utilisation normale des espaces traversés ». À ce stade, s'agissant d'un patrimoine dont l'évaluation est très incertaine, aucune valorisation monétaire ne sera appliquée. L'impact des nuisances sonores sur ces espaces n'étant pas monétarisable, il devra faire l'objet de commentaires spécifiques joints au dossier d'évaluation. Ces commentaires devront notamment identifier les zones concernées et qualifier précisément l'impact des nuisances sonores.

2.5. Recommandations quant aux études à engager dans les prochaines années

Le groupe de travail s'est heurté dans sa tâche à l'insuffisance d'études françaises relatives au bruit dans les transports terrestres et ses conséquences, sur lesquelles s'appuyer. Il recommande donc que soient engagés sans tarder des travaux sur ce sujet qui pourraient concerner plus particulièrement :

- les nuisances spécifiques à la période nocturne,
- la part respective des nuisances de jour et de nuit dans les valeurs constatées par les enquêtes de type hédoniste,
- l'influence de l'existence d'un espace extérieur privatif (jardin, terrasse) sur la valeur de la nuisance,

- l'influence de l'existence éventuelle d'une protection acoustique de façade,
- l'intérêt de travailler sur les coûts en valeur absolue (par m²) et non en valeur relative, afin de faire abstraction de la variabilité des prix du foncier d'une agglomération ou d'une région à l'autre,
- la comparaison des avantages et inconvénients et résultats des méthodes des préférences révélées ou du consentement à payer.

Annexe 6

VALEUR DE LA VIE HUMAINE ET TRANSPORT
Pratiques et études

Annexe 6

VALEUR DE LA VIE HUMAINE ET TRANSPORT Pratiques et études

Cette annexe synthétise les éléments sur lesquels le groupe de travail s'est appuyé pour conclure à la revalorisation de la valeur de la vie humaine. Après avoir rappelé quelques statistiques sur la sécurité dans le secteur des transports, on évoque plus particulièrement les éléments décisifs de la littérature publiée depuis 1994 sur ce sujet, et les valeurs retenues à l'étranger.

1. Quelques chiffres

Deux éléments principaux sont à retenir.

D'une part, comme le montre le tableau suivant, le nombre de tués lors des accidents de la route est très important en Europe. Même si ce nombre a été réduit de moitié depuis 1970, plus de 40 000 personnes ont encore trouvé la mort en 1996 sur les routes européennes.

La France, même si la situation se redresse, occupe une place peu reluisante dans ce classement avec plus de 8 000 morts en 1996, nombre qui, pour être comparé à celui des autres pays, devrait être réévalué à plus de 8 500.

Nombre de tués ¹ dans un accident de la route en Europe ²

	1970		1980		1990		1994		1996	
	Nbre de tués	par million d'habitants								
Belgique	2 950	305	2 396	243	1 976	199	1 692	168	1 366	134
Danemark	1 208	246	690	135	634	123	546	105	530	101
RFA	19 193	314	13 041	212	7 906	126	9 814	121	8 727	107
RDA	2 139	125	2 009	120	3 140	191	-	-	-	-
Grèce	931	106	1 225	128	1 737	172	2 076	199	2 068	198
Espagne	4 197	125	5 017	135	6 948	179	5 615	144	5 483	140
France	15 090	299	12 540	233	10 289	182	8 533	148	8 080	139
Irlande	540	183	564	166	478	136	404	113	450	124
Italie	10 208	190	8 537	151	6 621	117	6 578	115	6 190	108
Luxembourg	132	390	98	270	71	187	74	185	70	170
Pays-Bas	3 181	245	1 997	142	1 370	92	1 300	85	1 180	76
Autriche	2 238	300	1 742	231	1 391	181	11 338	187	1 030	128
Portugal	1 417	163	2 262	233	2 321	234	1 926	195	2 100	212
Finlande	1 055	229	551	115	649	130	480	95	404	79
Suède	1 307	163	848	102	772	91	589	67	540	61
Royaume-Uni	7 770	140	6 240	111	5 402	94	3 650	63	3 598	61
UE 15	73 556	222	59 757	169	51 711	142	44 015	120	41 806	112
1970 = 100	100	100	81	76	70	64	61	54	57	50

Source: Eurostat/ONU-CEE/CEMT

D'autre part, le risque d'accident est très différent selon les modes de transport comme le montrent les quelques chiffres suivants.

Nombre de voyageurs tués dans un accident de transport en France

	1980	1985	1990	1995	1997	1998
avion	83	101	85	98	95	67
rail	131	218	131	72	79	85
route	12 543	10 448	10 289	8 412	7 989	8 437

Source : SES, *mémento de statistiques des transports, résultats 1998*

On notera que le poids relatif du nombre de tués dans les modes aériens et ferroviaires contraste singulièrement avec la couverture médiatique dont les accidents font l'objet.

(1) Personnes décédées dans un délai de 30 jours suivant l'accident, à l'exception de la France (6 j.), de l'Italie (7 j.), du Portugal (1 j.) et de la Grèce (3 j.). L'Espagne a remonté le seuil de 1 jour à 30 jours en 1993.

(2) Si l'on appliquait un seuil harmonisé de 30 jours à l'Union européenne (UE-15), le nombre total de victimes mortelles augmenterait d'environ 1 000 personnes.

2. La pratique française

2.1. Deux méthodes sont à l'origine de la valeur recommandée au groupe de travail de 1994

Le groupe de travail de 1994 s'était référé principalement à deux études particulières.

La première, dirigée par M. Le Net (ENPC-CERAS), évaluait le prix de la vie humaine sur la base de la méthode du *capital humain compensé*. Considérant la perte de production brute actualisée résultant d'un décès, il retient une valeur de la vie humaine de 3,6 MF en 1993.

La seconde menée par H. Duval, INRETS, propose une approche différente. Il considère que la *valeur publique de la sauvegarde d'une vie humaine* se définit comme la somme actualisée des satisfactions que les voyageurs recueilleront dans le futur (cette méthode évalue dix effets ayant trait aux variations de bien-être éprouvées tant par l'individu sauvé que par les autres personnes de la communauté à laquelle il appartient). Il propose de retenir une valeur de 4 MF pour l'année 1992.

Le groupe de travail, constatant que ces deux approches conduisaient à des résultats relativement concordants, avait retenu la valeur proposée dans l'étude dite « Le Net » (CERAS-ENPC).

2.2. Les valeurs retenues dans le rapport de 1994

Le rapport a fixé d'une part la valeur du tué sur la route à 3,6 MF pour 1993. Il était proposé de retenir le taux d'accroissement de la consommation des ménages *per capita* de l'INSEE comme règle d'actualisation annuelle de la valeur du mort.

D'autre part, pour ce qui concerne la valeur de la vie humaine dans les modes de transport collectifs, le rapport final suggérait de tester une valeur de la vie humaine en transport collectif égale à 15 fois la valeur routière. Cette proposition s'inspirait de la pratique suisse qui considère que les personnes tuées dans ce mode de transport, n'étant aucunement responsables de l'accident, n'internalisent pas la majeure partie de leur risque de décès.

2.3. Les applications dans la circulaire des routes de 1998

La circulaire des routes de 1998 a repris les conclusions chiffrées du précédent rapport pour le tué, le blessé grave et léger, et propose pour l'année 1994 les valeurs tutélaires suivantes :

Tué	3,700 MF	0,562 millions d'écus ¹
blessé grave	0,381 MF	57 876 écus
blessé léger	81 000 F	12 304 écus

On peut noter que ces chiffres constituent un relèvement substantiel, un doublement en l'occurrence, par rapport à la valeur du tué en vigueur – 1,86 MF ou 0,27 MÉ en valeur 1990 – depuis la précédente version de la circulaire de la direction des Routes de 1986. La valeur de la vie humaine pour 1999, actualisée selon la règle définie ci-dessus, est de 4,42 MF ou 0,65 M€

3. Les valeurs « officielles » européennes

3.1. Les valeurs routières de la vie humaine

D'un pays à l'autre, les valeurs fixées² pour l'exécution des bilans coût-avantages par les administrations diffèrent fortement, comme l'indique le tableau ci-après. Mis à part les cas des Pays-Bas, de la Grèce et de la Belgique, ces valeurs se situent dans un intervalle de 0,5 à 1,5 million d'euros, la France se situant dans la partie basse de la fourchette.

Les différences entre les valeurs « officielles » ont de multiples causes :

Dans chaque pays, ces valeurs résultent d'études nationales qui diffèrent quant à leurs modalités d'exécution, et même quant à leurs principes. Les pays mentionnés partent d'études fondées sur le capital humain (perte de production brute) ou sur des évaluations contingentes. Certains pays (Espagne, Portugal), se fondant sur les indemnisations judiciaires, aboutissent à des résultats plus

(1) Dans la suite du texte, les millions d'écus ou d'euros seront respectivement désignés par MÉ et M€.

(2) Valeurs que la littérature qualifie tantôt de tutélaires, d'officielles ou encore d'institutionnelles (official en anglais).

faibles, qui n'ont pas été repris ici. Enfin, chaque administration a pu choisir une valeur s'écartant plus ou moins des résultats des études.

Les valeurs « officielles » de la vie humaine routière en 1994

PAYS	Année de base	en millions d'unités de monnaie nationale	en millions d'écus de 1994
Allemagne	1989	1,32	0,79
Autriche	1994	18,80	1,39
Belgique	1993	14,26	0,37
Danemark	1992	5,23	0,72
Finlande	1995	7,80	1,21
France	1994	3,70	0,56
Grèce	1992	30 000	0,13
Irlande	1994	0,75	0,95
Pays-Bas	1992	0,23	0,11
Royaume-Uni	1994	0,78	1,01
Suède	1998	14,20	1,64

Source : travaux de Bristow & Nellthorp effectués dans le cadre du projet EUNET et publiés dans Transport Policy de janvier 2000

3.2. les valeurs de la vie humaine en transport collectif

D'après l'étude EURET¹, l'Allemagne et la Finlande ont adopté une même valeur pour le rail et la route.

Le Royaume-Uni met en œuvre une politique de sécurité correspondant à une valeur de la vie humaine en transport collectif égale à 5 fois à celle d'une vie humaine routière.

3.3. Coûts des accidents

Le tableau suivant donne des valeurs par type de blessures dans les structures des pays membres. Il convient d'attirer l'attention sur le fait que les comparaisons entre pays se heurtent à de redoutables problèmes de définition. Les pourcentages ne sont donnés ici qu'à titre indicatif, leur exploitation suppose des études plus poussées.

(1) Projet EURET – Commission européenne (DG7).

Coûts des accidents par type de blessures en milliers d'écus 1997

	Blessure mortelle	Blessure grave		Blessure légère		Uniquement dégâts matériels	
			en % ⁽¹⁾		en % ⁽¹⁾		en % ⁽¹⁾
République Tchèque ^b	2,78	2,78	100,00	2,78	100,00	2,78	100,00
Pays-Bas *	79,31	15,95	20,11	-	-	-	-
Allemagne	87,18	43,59	50,00	21,54	24,71	9,74	11,17
Espagne	100,53	25,52	25,39	-	-	-	-
Portugal	255,43	111,62	43,70	0,26	0,10	10,22	4,00
France	562,3	57,9	10,30	12,3	2,19	3,13	0,56
Canada **	568,80	110,60	19,44	28,44	5,00	10,59	1,86
Afrique du Sud	595,56	147,99	24,85	39,57	6,64	28,14	4,72
Israël	624,25	135,25	21,67	5,00	0,80	-	-
Danemark	700,70	28,70	4,10	5,90	0,84	-	-
Australie ^b	729,74	65,90	9,03	-	-	11,25	1,54
Suisse	882,00	16,50	1,87	16,50	1,87	-	-
Royaume-Uni	1 022,30	116,50	11,40	9,00	0,88	-	-
Nouvelle-Zélande	1 520,00	140,00	9,21	13,10	0,86	1,50	0,10
Finlande	1 569,00	965,00	61,50	16,00	1,02	8,00	0,51
Suède	1 655,01	714,45	43,17	41,96	2,54	10,49	0,63
Norvège	2 101,27	603,38	28,72	6,33	0,30	1,90	0,09
États-Unis ^a	2 849,08	1 191,59	41,82	133,73	4,69	10,84	0,38
Belgique	-	-	-	-	-	-	-
Italie *	-	-	-	-	-	-	-

(1) Pourcentage calculé par rapport à la valeur retenue pour les blessures mortelles

a Chiffres provenant de l'administration de la Sécurité du trafic national. Les chiffres sont des limites inférieures

b Les chiffres représentent des valeurs par accident sur les routes en dehors des villes

* Chiffres cités dans le rapport EURET 385/94

** Chiffres pour le Québec uniquement.

Source : Rapport AIPCR 09.02.B (1999) sur les méthodes d'évaluation économique utilisées dans les pays membres de l'AIPCR

Les valeurs disponibles concernant les accidents sont obtenues à partir de trois types de coûts : coûts de financement direct pour les parties impliquées ; perte de rendement pour les blessés ou les tués ; coûts liés au « chagrin, à la douleur et à la souffrance » résultant du décès ou des blessures. Entre les pays pour lesquels les données concernant les coûts des accidents sont disponibles, les différences sont relativement grandes.

Ces différences s'expliquent en partie par les définitions utilisées pour caractériser ce qu'est un accident mortel et un blessé grave ou léger. Elles s'expliquent aussi par les méthodes utilisées, celles-ci pouvant être très différentes d'un pays à l'autre. On retiendra de ce tableau, non les valeurs absolues qui ne sont pas transférables d'un pays à l'autre, mais le poids relatif

des valeurs affectées aux différentes blessures dans chaque pays. En moyenne, et même si les situations peuvent être très contrastées selon les pays, les valorisations du blessé grave et du blessé léger sont respectivement, en ordre de grandeur, de 25 % et de 3 % de la valeur du tué.

4. Les résultats provenant d'études scientifiques

4.1. Analyse de quelques études disponibles

4.1.1. L'expérience française

Parallèlement aux travaux du précédent groupe Boiteux, une enquête sur les préférences déclarées des individus avait été lancée sous la conduite de M. Le Net dans le cadre du programme européen ExternE début 1994. Le dispositif de cette enquête a consisté à interroger durant vingt minutes un échantillon représentatif de 1 000 individus sur leur disposition à payer pour réduire le nombre annuel de tués en France. Ainsi, plusieurs scénarios leur ont été proposés : sauver 50 vies, sauver 100 vies... 1 000, 2 000, 5 000 et 10 000 vies.

Ces données ont donné lieu à deux exploitations :

La première a été réalisée par M. Le Net¹. En fonction du niveau de sécurité considéré, elle conduit à deux valeurs de la vie humaine correspondant à la moyenne des réponses : l'une s'élève à 17,638 MF 1994 (2,679 MÉ 1994) et correspond à une chute de 10 % du nombre de tués sur la route en France, soit 1 000 vies épargnées ; l'autre, de 5,619 MF 1994 (0,853 MÉ 1994), conduirait à réduire de moitié le risque de décès, soit épargner 5 000 vies. Cet objectif « 5 000 tués », s'il paraît bien illusoire, correspond à la situation d'un pays de population comparable, tel que le Royaume-Uni.

La variation du ratio « consentement à payer par vie préservée » passe de 1 à plus de 20 lorsqu'on passe d'un scénario « 5 000 » au scénario « 1 000 ». Cette variation fragilise les résultats et rend leur interprétation délicate, ce qui ne

(1) *Le Net (1994), « Le prix de la vie humaine », calcul par la méthode des préférences individuelles, application à l'évaluation du coût économique de l'insécurité routière, tome II, ENPC – ICOS.*

facilite pas le choix d'une valeur de référence de la vie humaine pour effectuer les analyses coût-avantages.

La seconde exploitation, ¹ réalisée sous la responsabilité d'A. Rabl (CENERG – École des Mines), est axée sur la *sensibilité* des résultats en fonction du *contexte de l'enquête et de son déroulement*. L'auteur analyse les effets du biais dû à l'hypothèse de base ² qui conduit, vue la méconnaissance des scénarios présentés, à de fortes dispersions des réponses. En corrigeant ces dispersions et ce biais par des méthodes économétriques appropriées, il en arrive à la conclusion que la valeur de la vie humaine pour sauver 1 000 vies est voisine de la médiane des réponses – 5,5 MF 1994 (0,836 MÉ 1994) –, soit le tiers de la valeur à laquelle aboutit l'étude précédente pour un même niveau de sécurité.

4.1.2. L'étude suisse de 1994

Une étude contingente a été lancée mi-1994 par N. Schwab et N. Soguel, ³ chercheurs suisses. Le dispositif d'enquête est également fondé sur une enquête de préférences déclarées auprès de 1 000 personnes comme dans la précédente étude. Par contre, ces personnes ont été interrogées sur leur consentement à payer *pour réduire de moitié* le risque de décès en prenant la route, et non plus sur des scénarios de politique globale.

(1) Desaignes (B.) et Rabl (A.) (1995), « Reference Values for Human Life », in Schwab (N.) et Soguel (N.) (Eds), « Contingent Valuation, Transport Safety and Value of Life », Kluwer Academic Publishers.

(2) L'hypothèse basique de ce type d'enquête est que les individus bénéficient d'un ensemble cohérent de préférences en matière de qualité de l'air, de beauté du paysage, de sécurité routière, etc., de sorte que ces préférences peuvent être révélées sur un marché virtuel construit à partir des enquêtes. Mais l'expérience a montré qu'il convient d'être particulièrement prudent et rigoureux vis-à-vis des biens à apprécier lorsque ceux-ci sont mal connus, ou peu familiers aux individus enquêtés, ce qui est le cas du risque routier. Il est ainsi apparu que, dans cette enquête, les individus basaient leur appréciation sur quatre modèles mentaux différents, et que, durant l'entretien, ils construisaient leur appréciation sans références préalables, et non sur un ensemble cohérent de préférences existant a priori, comme le suppose la méthode contingente (enquête en préférences déclarées).

(3) Schwab (N.) et Soguel (N.) (1995), « The Pain of Road-Accident Victims and the Bereavement of their Relatives : A contingent-Valuation Experiment », in Schwab (N.) et Soguel (N.) (Eds), « Contingent Valuation, Transport Safety and Value of Life », Kluwer Academic Publishers.

En outre, le questionnement a été concentré sur les stricts coûts humains (diminution de l'espérance de vie ; souffrances morales et physiques) à l'exclusion de tout autre coût¹. Enfin, il s'agit probablement de la seule étude qui produise une estimation du prix de la vie à la fois du point de vue de la victime et de celui des proches.

L'exploitation des enquêtes, réalisée avec la même méthode économétrique que celle appliquée par d'A. Rabl, fournit les résultats suivants pour la valeur de la vie humaine vue par la victime :

- médiane : 1,7 MF 1994 suisses (7,1 MF ; 1,08 MÉ),
- moyenne : 4,1 MF 1994 suisses (17,2 MF ; 2,60 MÉ).

Les valeurs de la vie humaine du point de vue des proches sont systématiquement plus élevées de 25 % environ.

4.1.3. *L'étude britannique de 1998*

La récente étude² commanditée par plusieurs ministères britanniques a conclu à une fourchette allant de 0,75 à 1,25 M£ 1996, soit de 0,9 à 1,5 MÉ 1996, fourchette qui encadre d'ailleurs la valeur de la vie humaine officiellement retenue par le ministère des Transports. Ce dernier, dans sa récente mise à jour, a fixé cette valeur à 1 047 240 £ 1998, soit 1,26 MÉ 1998.

4.1.4. *L'étude suédoise de 1998*

De même que les études précédentes, cette dernière vise à estimer le consentement à payer des individus pour abaisser leur risque de décès lorsqu'ils prennent la route ; elle a été réalisée par enquête postale auprès de 5 000 destinataires, avec un taux de réponse de 51 %. Elle conclut à une valeur de la vie humaine de 12,5 millions de couronnes, soit 1,4 MÉ 1998. Par ailleurs, quelques chercheurs, sans avoir effectué d'étude nouvelle, se sont livrés à une revue d'études existantes et à leur évaluation.

(1) Dans la plupart des études appliquant la méthode contingente, l'objet du consentement à payer n'est généralement pas défini de manière aussi nette que dans l'étude suisse.

(2) Chilton (S.) et alii (1998), « *New Research on the Valuation of Preventing Fatal Road Accidents* ».

4.1.5. *La revue systématique des études de Miller*¹

À partir de ces études couvrant 12 pays et 68 évaluations, Ted Miller s'est livré à une meta-analyse² de leurs résultats à différents niveaux d'agrégation (d'un pays à l'autre, entre études à l'intérieur d'un même pays, etc.).

Les résultats de ses ajustements économétriques conduisent, pour les études européennes, en valeur « 1995 », à une fourchette de 1,9 à 2,7 MÉ. Miller a également constaté la stabilité du ratio « valeur de la vie humaine rapportée au PIB *per capita*. Pour ce faire, il a choisi pour chaque étude la « best value », soit une valeur de la vie humaine assez proche sinon égale au minimum, soit proche de la médiane. Il trouve une certaine stabilité à ce ratio (l'élasticité-revenu de la valeur de la vie humaine est 0,85 à 1 selon le niveau d'agrégation des régressions testées) et observe que sa limite inférieure tourne autour de 120 fois le produit intérieur brut par tête. L'application de cette conclusion à la France conduirait à une valeur statistique de la vie humaine d'environ 16 MF ou 2,45 MÉ pour 1995.

4.1.6. *L'étude sur les coûts externes INFRAS/IWW*³

Les responsables ont tout d'abord procédé à un recensement d'études européennes basées sur le consentement à payer (CAP) (préférences déclarées), ainsi que des méta-analyses empiriques conduites par quelques auteurs.

(1) Miller (T.), « Variations Between Countries in Value of Statistical Life », « *Journal of Transport Economics and Policy* », volume 34, 2^e partie, mai 2000.

(2) Chaque étude est traitée comme une observation.

(3) INFRAS/IWW (2000), « *External Costs of Transport - Accident, Environmental and Congestion in Western Europe, Zürich and Karlsruhe* ».

Vue d'ensemble du consentement à payer pour une vie statistique sauvée
(en M€ 1995)

Auteur	Pays	Valeur statistique de la vie humaine		ratio VH/PIB/tête
		médiane	moyenne	
Études européennes en préférences déclarées				
1985 Jones-Lee <i>et al.</i>	UK 1982	1,2	3,4	76
1989 Maier	AU 1988		3,8	217
1992 Persson	S 1986	1,3	2,9	87
1995 Desaignes, Rabl	F 1993	0,9		56
1995 Kidholm	DK 1993	2,0	2,5	122
1995 Persson <i>et al.</i>	S 1993	1,5	4,0	95
1996 Schwab, Soguel	CH 1994	1,1	2,7	85
1998 Persson	S 1998		2,0	
1999 Jones-Lee	UK 1997	0,5	1,7	
Moyenne UE-17		1,0	2,0	
Meta-analyses empiriques				
1993 Elvik	mean of selected studies		1,3	81
1995 ExternE	mean of selected studies		3,1	193
1996 Calthrop	mean of selected studies		2,9	
1998 ECMT	mean of selected official values		1,7	103
Moyenne			2,3	125

Sources : tableau tiré de l'étude UIC (2000) « External Costs of Transport »

Comme on le voit, nombre d'études – basées sur l'évaluation contingente – ont été réalisées dans les années 1990 en Europe : le tableau montre que les valeurs médianes s'échelonnent entre 0,5 et 2 M€ ; quant aux valeurs moyennes, elles varient entre 1,7 et 4 M€.

Devant les différences entre moyenne et médiane, IWW-INFRAS opte pour la médiane : celle-ci reflète la volonté de la majorité de la population et est moins sensible aux valeurs extrêmes, parfois plus incertaines. Cette étude suit en cela la pratique adoptée par la plupart des experts.

Par prudence, l'étude UIC a tranché pour une valeur située entre médiane et moyenne, soit 1,5 million d'euros, pour la valeur statistique de la vie humaine sur la route¹ en Europe, valeur proche de celle des chercheurs suédois et de l'administration des routes de Suède.

(1) Valeur qu'elle utilise également pour évaluer les atteintes à la santé dues à la pollution.

4.1.7. *Le groupe de haut niveau sur la tarification des infrastructures (High Level Group on Infrastructure Charging) de la Commission européenne, avril 1999*

Ce groupe était chargé d'élaborer la méthode d'évaluation des coûts marginaux de sécurité à mettre en œuvre dans le cadre de la politique de tarification de la Commission. Sans définir à proprement parler une valeur de la vie humaine, il a néanmoins cité comme exemple quelques études, notamment COST 313 et la récente étude suédoise, et a repris dans ses annexes, mais sans les cautionner, les valeurs calculées en base 1990 par le projet COST 313 de la Commission européenne.

Valeurs de la vie humaine dans les pays membres de l'Union européenne
(unité : milliers d'écus 1990)

FATALISTES	Gross loss of production capacity GLP	Net loss of production capacity NLP	Loss of human consump VLC	Loss of pure human value PHV	Medical & other costs HCC + ADM	Total Cost per person Total Cost
Tués	perte brute de capacité productive		perte de consommation	coût humain	coûts médicaux et autres coûts	coût total du tué
A	590	117,9	472	796	3,10	1 389
B	380	66,0	2642	15	3,92	399
CH	816	123,2	693	1 345	4,76	2166
D	670	134,0	536	905	0,73	1 575
DK	205	48,2	193	419	4,59	628
E	119	23	91	58	0,39	171
F	216	43	171	16,4	2,35	235
FIN	548	110	439	864	1,83	1 414
L	344	69	276	465		810
N	252	50	201	340		591
NL	106	21	84	142		248
P	225	45	180	203		528
S	437	87	349	517	2,53	956
UK	273	54	218	658	0,56	931
moy.	368	73	294	552	2,4	838

Source : projet COST 313

On citera également les résultats d'une étude suédoise de 1999 qui aboutit à une valeur de la vie humaine de 1,63 M€ valeur proche de celle retenue dans l'étude UIC, et qui présente l'intérêt de montrer que, au-delà des évaluations contingentes, la vie humaine doit comprendre les éléments marchands que sont les coûts matériels, hospitaliers, etc.

Ces coûts représentent, selon les études, de l'ordre de 10 % de l'évaluation contingente.

Valeur des accidents dans la planification des investissements routiers en Suède
(valeur en écus 1997)

composantes	tué		blessé grave		blessé léger	
Consentement à payer pour la sécurité (CAP)	1,484	91,1 %	234	79,9 %	10	60,7 %
perte nette de production	111	6,8 %	29	10,0 %	1,6	9,3 %
coût hospitalier	4,0	0,2 %	22	7,5 %	1,2	7,1 %
coûts administratifs	6,6	0,4 %	1,3	0,5 %	0,6	3,6 %
dommages matériels	24	1,5 %	6,4	2,2 %	3,3	19,3 %
Valeur d'une vie statist. et blessures	1,630	100 %	293	100 %	17	100 %

Source : Swedish National Road Administration (SNRA) Note : 1 écu = 8,651 SEK en 1997

4.2. Le cas des transports en commun (rail, autocars, métro, bus)

Quelle valeur pour la vie perdue d'une victime décédée à la suite d'un accident en transport en commun ? Peut-on prendre une même valeur de la vie pour les divers modes de transport ? On ne dispose que de peu d'études sur ce sujet, en dehors de celle de Jones-Lee (1995) qui a effectué des évaluations contingentes sur la valeur de la vie humaine en transport public (métro), valeur qu'il trouve supérieure de 50 % à celle de la vie humaine routière ¹.

Le groupe d'experts de la commission européenne sur la tarification note également que l'étude de Jones-Lee (1995) estime la valeur de la vie humaine pour un décès survenu dans le métro (valeur statistique obtenue par consentement à payer) à 1,5 fois la valeur routière.

(1) Quinet et Galland (1995) comparent ces résultats d'évaluations contingentes avec les estimations ex-post fournies par l'analyse des décisions en matière de sécurité ferroviaire, qui sont considérablement plus élevées, de l'ordre de 1 à 100. Passant en revue les différentes sources possibles d'écart, ils arrivent à la conclusion que la valeur de la vie humaine en transport en commun peut être de 1 à 5 ou 10 fois supérieure, mais pas plus ; la différence avec la valeur ex-post tenant à divers traits des mécanismes de décision.

Annexe 7

**PRISE EN COMPTE
DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE
LIEE AUX TRANSPORTS**

Annexe 7

PRISE EN COMPTE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE LIÉE AUX TRANSPORTS

Cette annexe regroupe les principaux éléments qui ont été portés à la connaissance du groupe. Toutefois, le lecteur est invité à se reporter aux deux travaux de synthèses récents consacrés à ce sujet, dont les rapporteurs ont été auditionnés par le groupe de travail ¹.

1. Quelques éléments sur les transports et la pollution atmosphérique

1.1. L'impacts des principaux polluants

La pollution atmosphérique résulte de la combinaison de différents polluants. Le tableau suivant résume les principaux effets sur la santé qu'on peut associer à chacun d'entre eux, en distinguant les polluants primaires des polluants secondaires.

La pollution joue directement sur la santé des populations exposées et augmente ainsi à la fois la mortalité et la morbidité. L'accroissement de la mortalité correspond à court terme le plus souvent à des décès prématurés de personnes déjà fragilisées. Mais à long terme, les décès supplémentaires correspondent à des réductions plus importantes de durées de vie. En ce qui concerne la morbidité, les affections les plus fréquentes concernent les affections des voies respiratoires : crises d'asthme, bronchites aiguës, mais aussi à plus long terme

(1) - « *Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique* », rapport commun n°12 coordonné par Bernard Tissot, CADAS, académie des sciences, 1999 ;
- « *Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé publique* », rapport du groupe de travail présidé par Denis Zmirou, Haut Comité de la santé publique, juillet 2000.

- Annexe 7 -

bronchites chroniques, cancers du poumon liés aux particules fines. Les polluants primaires ont un impact avant tout local, alors que les polluants secondaires interviennent sur une échelle beaucoup plus grande. Mais dans les deux cas, les rayons d'actions sont importants.

	Polluants secondaires	Impacts
Particules		mortalité, morbidité respiratoire et cardio-vasculaire (hospitalisations, visites chez le médecin, arrêts de travail, activité restreinte), cancers
SO ₂		mortalité, morbidité respiratoire et cardio-vasculaire (hospitalisations, visites chez le médecin, arrêts de travail, activité restreinte)
SO ₂	sulfates	Est-ce que leurs impacts sont comme ceux des autres particules ? Rôle de l'acidité ?
NO _x		morbidité respiratoire, irritation de l'œil
NO _x	nitrate	Est-ce que leurs impacts sont comme ceux des autres particules ? (manque d'études épidémiologiques)
NO _x + COV	ozone	mortalité, morbidité respiratoire, irritation de l'œil
COV (compos. org. volat.)		pour la plupart, peu d'effets directs à des concentrations ambiantes typiques (exceptés les HAP)
HAP (hydrocarb. arom. polycycl.)		cancers
CO		mortalité, morbidité cardio-vasculaire
Dioxines		cancers
As, Cd, Cr, Ni		cancers, autre morbidité
Hg, Pb		morbidité (neurotoxique)

Source : Rabl (A.) et Spadaro (J.V.), « Les coûts environnementaux de l'énergie », (ExternE National Implementation), École des Mines de Paris-ARMINES, décembre 1997

1.2. La part des transports dans la pollution

Le tableau suivant propose quelques ordres de grandeurs du rôle joué par les grands émetteurs des principaux polluants. Le transport est le principal responsable des émissions d'oxydes d'azotes et des composés organiques volatils.

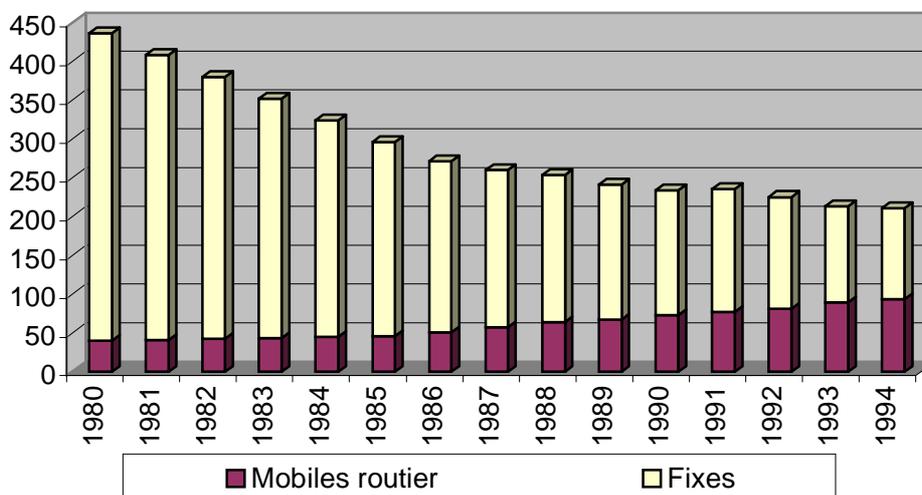
Origine des pollutions atmosphériques en France
(émissions nationales de l'année 1996)

	Dioxyde de soufre	Oxydes d'azote	Composés organiques volatils non méthaniques	Dioxyde de carbone (gaz à effet de serre)
Combustion dans l'industrie, procédés industriels, raffinage, prod. d'énergie	71 %	18 %	8 %	33 %
Transports	14 %	75 %	42 %	36 %
Résidentiels et tertiaire	13 %	6 %	9 %	31 %
Solvants et utilisation d'autres produits			23 %	
Autres	2 %	1 %	18 %	

Source : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), 1999

Si l'on considère l'émission des particules, le graphique suivant montre le rôle croissant du secteur des transports qui peut se résumer au seul secteur des transports routiers qui est le principal émetteur.

Le poids de la route dans les émissions de particules
(émissions en kT)



Source : Comptes des transports de la nation pour 1999 (page 211) – données OCDE

- Annexe 7 -

Comme le montre ce graphique, la part du transport routier ne cesse d'augmenter, les émissions des autres sources se réduisant au fil des ans. En cumulé, la part des transports augmente beaucoup moins rapidement. Cet élément est à prendre en considération dès lors qu'on raisonne sur des effets de long terme.

Il existe très peu d'études sur la pollution atmosphérique dans le secteur maritime. Plusieurs explications sont possibles. Outre la faiblesse relative de ses impacts, il est vrai que l'essentiel des émissions se produit loin des populations et de toute activité humaine. C'est probablement pour cela que la CEE-NU, dont les définitions font référence, ne tient compte que des émissions maritimes des transports nationaux et, de même, que des émissions des avions en-dessous de 1 000 mètres d'altitude.

On trouve quelques éléments dans une communication de la Commission européenne :

- la consommation d'énergie à la tonne-kilomètre environ 6 fois moindre que le mode routier, 2 fois moindre que le mode ferroviaire ;
- les émissions de particules à la tonne-kilomètre sont très faibles (13 fois moins que le routier), même chose pour le monoxyde de carbone (15 fois moins que le routier) et les oxydes d'azote (3 fois moins que le routier) mais taux d'émission d'oxydes de soufre nettement plus élevés (9 fois plus élevés que le routier).

Par ailleurs, les Comptes des transports de la nation contiennent des estimations sur les émissions du transport maritime, réalisées par le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA). Ces émissions comprennent l'ensemble du secteur de la pêche, et cela pour la totalité de ses trajets qui sont en très grande partie en international. Si l'on retient l'estimation du CITEPA, – qui évalue la part imputable au transport maritime selon les définitions CEE-NU à environ 4 % des sources nationales, (les sources distribuées en France étant d'environ 2,5 millions de TEP par an) –, la part « transport maritime hors pêche » équivaldrait à 100 000 TEP/an. On obtient pour les émissions de CO₂, qui sont les moins sensibles aux hypothèses faites sur les taux d'émission, environ 300 000 tonnes de CO₂. Or les chiffres du CITEPA pour le transport maritime et la pêche sont d'environ 2 200 000 tonnes de CO₂ : les émissions liées à la pêche compteraient donc pour environ 85 % du total estimé par le CITEPA au titre du maritime.

Il faudrait donc, grossièrement, diviser par sept les diverses estimations d'émissions globales des tableaux du CITEPA pour obtenir la part des transports maritimes proprement dits.

1.3. La question de la diminution des émissions de polluants des véhicules routiers

Le SES a commandé au CITEPA une étude de l'évolution des émissions de polluants du trafic routier en France de 1990 à 2020. Cette étude prend en compte la croissance de la circulation et l'évolution passée et à venir de la réglementation des émissions des véhicules. Ont ainsi été considérées les directives existantes Euro 1 et Euro 2, ainsi que les directives futures Euro 3 et Euro 4 supposées appliquées à partir de janvier 2000 et janvier 2005¹ au moment de l'étude.

Cette estimation des émissions, réalisée au premier semestre 1998 avec le modèle COPERT II, utilise la méthodologie préconisée par la Commission européenne. Cette estimation est effectuée par catégorie de véhicules, en distinguant pour chacun d'eux les trafics en ville, sur routes et sur autoroutes, pour une projection donnée des circulations automobiles. Les émissions unitaires obtenues ont par la suite été utilisées par le SES pour l'évaluation environnementale des schémas de services dans le cadre de plusieurs scénarios.

La distinction ville/route/autoroute prend surtout en compte les différences de vitesse pratiquée. Pour obtenir les émissions en « milieu urbain », il conviendrait d'ajouter environ un sixième des émissions sur route et autoroute, pour l'approche ou le contournement de la « ville ».

Le tableau suivant présente les principaux résultats concernant les NO_x et les particules² en termes d'émissions totales, en tonnage puis en émissions unitaires en g/km. Le tableau reprend les valeurs du chiffrage CITEPA de juillet

(1) Dans cette étude, seules les directives du 3 décembre 1987 et du 1^{er} octobre 1991 (applicables en octobre 1993 et octobre 1996) ont été prises en compte pour les poids lourds, les réglementations Euro 3 et Euro 4 n'étant alors pas connues. Toutefois, le tableau de synthèse de cette annexe propose une simulation pour intégrer les effets prévisibles de ces deux nouvelles réglementations sur les émissions de NO_x et de particules.

(2) On trouvera dans cette étude les mêmes calculs pour le SO₂, le CO₂, les COVNM, le CO.

- Annexe 7 -

1998 en ajoutant les simulations réalisés par le SES en février 2001 qui intègrent les nouvelles normes (Euro 3, 4 et 5) pour les poids lourds ¹.

Émissions polluantes des poids lourds et évolution de la réglementation

Niveau	Date d'application (tous véhicules neufs)	NO _x (oxydes d'azote) en g/kwh	Particules en g/kwh
Euro 1	oct-93	9	0,40
Euro 2	oct-96	7	0,15
Euro 3	oct-01	5	0,10
Euro 4	oct-06	3,5	0,02
Euro 5	oct-09	2	0,02

Source : ministère de l'Équipement

Le tableau fournit quelques résultats synthétiques des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de particules, de l'ensemble des véhicules routiers. On constate que la diminution des émissions de polluants est encore plus forte en ville que sur route et autoroute et qu'elle est moindre pour les poids lourds si l'on prend la simulation de 1998. Par contre, la prise en compte des nouvelles normes a un impact très important sur les émissions des poids lourds.

(1) L'estimation de l'impact de ces nouvelles normes est proposée ici sur la base d'un calcul simplifié qui n'utilise ni COPERT II ni la modélisation du parc. Ce calcul a été fait en considérant : l'évolution de la réglementation des émissions des poids lourds neufs d'octobre 1993 à octobre 2009 ; la répartition de la circulation des poids lourds de moins de 15 ans, selon leur âge à partir de l'enquête TRM du SES en intégrant sous des hypothèses complémentaires les véhicules de plus de 15 ans. L'estimation des émissions des voitures, utilitaires légers et deux roues demeure inchangée.

Émissions de polluants en ville et sur route des véhicules routiers et deux roues ¹

	Ville	Route	Auto- route	Route + AR	Total	Ville	Route	Auto- route	Route + AR	Total
Émissions totales de NO_x des véhicules routiers						Indice base 100 en 1990				
1990	247	541	252	793	1 040	100	100	100	100	100
2000	191	311	203	514	705	77	58	81	65	68
2010	77 69	145	146	292 230	369 299	31 28	27	58	37 29	35 29
2020	59 44	127	170	296 166	356 210	24 18	23	67	37 21	34 20
<i>Dont poids lourds</i>										
1990	47			250	297	100			100	100
2000	41			243	285				98	96
2010	29 20			208 146	237 167	61 43			83 59	80 56
2020	27 12			230 100	258 112	58 25			92 40	87 38
<i>Dont voitures, véhicules utilitaires légers et deux roues</i>										
1990	199			543	743	100			100	100
2020	32			66	98	16			12	13

	Ville	Route	Auto- route	Route + AR	Total	Ville	Route	Auto- route	Route + AR	Total
Émissions totales de particules des véhicules routiers						Indice base 100 en 1995				
1990	21,7			34,5	56,1	70			80	76
1995	31,1			42,9	74,0	100			100	100
2000	22,7			34,3	57,0	73			80	77
2010	7,5 6,6			16 11	23,6 17,5	24 21			38 26	32 24
2020	3,7 2,6			12 5,8	15,8 8,4	12 8			28 13	21 11
<i>dont poids lourds</i>										
1990	3,58			15,2	18,8	103			99	100
1995	3,46			15,4	18,9	100			100	100
2000	3			14,1	17,1					
2010	1,6 0,6			8,6 3,4	10,2 4	47 19			55 22	54 21
2020	1,3 0,3			7,9 1,5	9,2 1,8	38 7			51 10	49 9
<i>Dont voitures, véhicules utilitaires légers et deux roues</i>										
1990	18			19	37	65			70	68
1995	28			27	55	100			100	100
2020	1,33			7,9	9,2	38			51	49

Source : Étude CITEPA pour le SES, juillet 1998 et complément du SES

Pour un indice 100 en 1990, les émissions en 2020 passent selon les chiffres du CITEPA respectivement, en ville d'une part, sur route et autoroute d'autre part :

(1) Ce tableau présente les résultats de l'étude CITEPA de juillet 1998 ainsi que les compléments du SES de février 2001 pour les poids lourds. Ces derniers apparaissent à partir de 2000 dans la partie gauche des cellules du tableau.

- Annexe 7 -

- aux indices 12 et 28 pour les particules (38 et 51 pour les poids lourds). En prenant en compte les nouvelles normes ces derniers indices ne sont plus que de 7 et 10 ;
- aux indices 24 et 37 pour les oxydes d'azote (58 et 92 pour les poids lourds). En prenant en compte les nouvelles normes ces derniers indices ne sont plus que de 25 et 40.

Ces diminutions sont plus importantes, et plus différenciées ville/rase campagne, pour les particules que pour les oxydes d'azote (NO_x) ; et ces diminutions sont plus importantes en ville.

Les émissions de particules augmentent de 1990 à 1995 puis elles diminuent fortement : les émissions totales sont divisées par 5, elles passent de l'indice 100 en 1995 à l'indice 21 en 2020. La diminution est encore plus forte en ville (indice 12 en 2020).

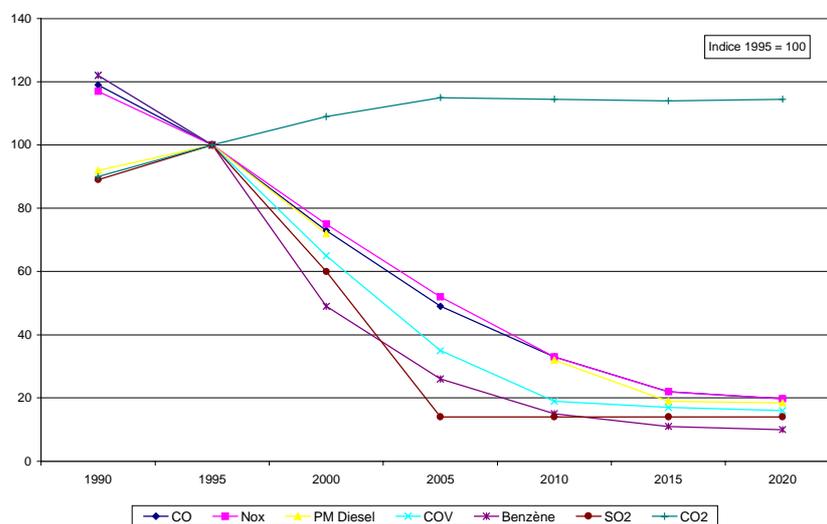
On remarquera enfin, que la part des poids lourds dans les émissions augmente pour les NO_x mais diminue pour les particules. Cette part était de 34 % en 1990, elle ne serait plus que de 21 % en 2020.

Tous ces chiffrages ont été effectués pour un scénario tendanciel de référence, dans lequel la circulation augmente d'environ 75 % entre 1990 et 2020 (2 % par an), avant, par exemple, les mesures du programme national de lutte contre le changement climatique qui visent à maîtriser cette croissance. Dans ce scénario tendanciel, la circulation en ville croît sensiblement moins que sur route et autoroute.

Les émissions de particules des poids lourds simulées par l'étude CITEPA sont divisées par deux entre 1990 et 2020 et les émissions de NO_x ne diminuent que de 13 % du fait des seules directives de 1987 et 1991. Mais comme le montre le tableau, la mise en œuvre des normes Euro 3, Euro 4 et Euro 5 amplifie considérablement ces diminutions dès 2005. Les émissions d'oxydes d'azote et de particules des poids lourds diminuent alors respectivement de 62 % et 91 % entre 1990 et 2020.

Enfin, de manière générale, plusieurs éléments permettent d'envisager des réductions considérables des émissions de polluants dans le secteur automobile comme le résume le graphique suivant :

Évolution prévisible des émissions du transport routier en Europe



Source : communication de la Commission, « Bilan du programme Auto-Oil II », COM(2000)626 final, 5 octobre 2000

1.4. Les pertes d'années de vie humaine et le nombre de décès

1.4.1. Pour les accidents de la route

Les statistiques de sécurité routière comportent une ventilation des tués par classe d'âge. En appliquant les chiffres de l'année 1998 et sur la base d'une pondération 0,7/0,3 entre hommes et femmes, on obtient la tableau ci-dessous :

Pertes d'années de vie humaine par les accidents de la route

	Nbre de tués	Âge moyen	Espérance de vie restante		Moyenne	Années perdues
			Hommes	Femmes		
0-14	366	7,5	66,5	74,5	68,9	25 217
15-24	2 149	20	54	62	56,4	121 204
25-44	2 902	35	40,5	47,5	42,6	123 625
45-64	1 512	55	23	29	24,8	37 498
65+	1 500	70	13	16	13,9	20 850
ind.	8		37	41	38,2	306
Total	8 437		37,0	43,4	39,0	328 699

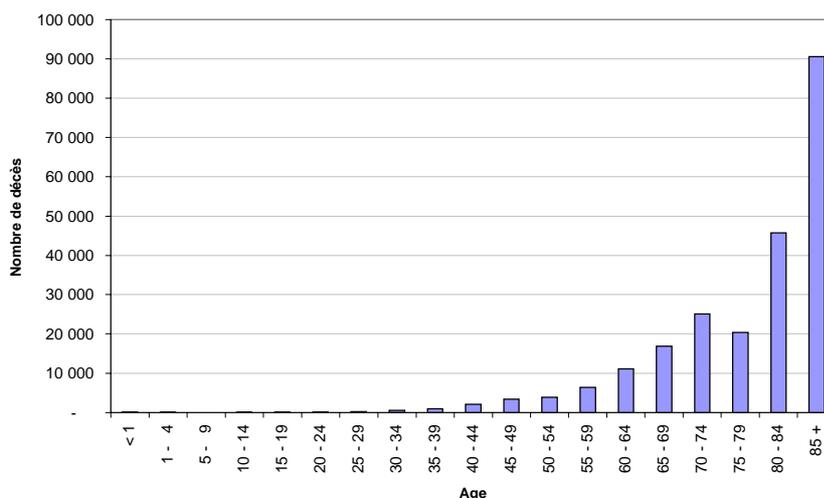
Source : ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, Direction des Affaires économiques et internationales, février 2001

On peut donc conclure à une perte moyenne de 39 années par décès et de 328 700 années de vie liées aux tués sur la route.

1.4.2. Pour les impacts sanitaires de la pollution

La littérature épidémiologique à elle seule ne permet pas de conclusion directe au sujet de la répartition par âge des décès prématurés liés à la pollution atmosphérique. Cependant, on sait que ces morts sont principalement liés à des affections respiratoires et cardio-vasculaires. L'âge moyen des décès associés à ces causes se situe entre 75 et 85 ans (voir graphique ci-après). Ainsi, on peut considérer que l'âge moyen des décès liés à la pollution atmosphérique est beaucoup plus élevé que celui des victimes des accidents de la route (38-40 ans).

**Répartition par âge des décès
dus aux affections respiratoires et cardio-vasculaires (France, 1994)**



L'application des pertes d'espérance de vie aux décès pour cause cardio-vasculaire, respiratoire et cancer du poumon en France en 1994 donne, sur la base des valeurs utilisées pour les accidents de la route dans le tableau précédent, une perte moyenne d'espérance de vie de 15,54 ans.

En affinant les classes par tranche de 5 ans d'après les tables de mortalité INSEE 93-95, et en affectant à la classe 85 et plus la valeur résultant de la moyenne pondérée de la tranche des 85-100 ans, on aboutit à une valeur moyenne d'environ 10 ans.

Pertes d'années de vie en raison de la pollution atmosphérique
(décès de personnes de plus de 30 ans)

	Nombre de décès	Espérance de vie	Nombre d'années de vie perdues
30 – 34	488	47,04	22 956
25 – 29	994	42,38	42 126
40 – 44	2 092	37,78	79 036
45 – 49	3 400	33,28	113 152
50 – 54	3 886	28,93	112 422
55 – 59	6 448	24,71	159 330
60 – 64	11 083	20,69	228 893
65 – 69	16 827	16,91	284 545
70 – 74	25 072	13,35	334 711
75 – 79	20 365	10,11	205 890
80 – 84	45 691	7,31	334 001
85 +	90 521	4,51	408 250
Total	226 847		2 325 311
Moyenne			10,25

2. Les principales études européennes récentes

Les nombreuses études entreprises sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique présentent des diversités en termes de méthodes et de champ. Cette annexe présente les principaux résultats :

- les nombreux travaux issus du programme de recherche ExternE lancé par la DGXII en 1994, sur les coûts externes de production et de consommation de l'énergie, dont les transports représentent une partie ;
- puis l'étude dite tri-alpine réalisée sous l'égide de l'OMS ¹ et présentée à la Conférence mondiale de Londres en juin 1999 ;
- et enfin, le rapport remis à l'UIC par IWW-IFRAS en mars 2000.

(1) « Health Costs Due to Road Traffic-Related Air Pollution », Organisation mondiale de la santé, bureau régional de l'Europe, juin 1999. Les résultats de cette recherche ont été publiés dans la revue « The Lancet » : « Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution ; European Assessment », « The Lancet », Vol. 356, 2 septembre 2000.

alors que l'étude UIC calcule des coûts moyens à partir d'un agrégat global fourni par l'étude OMS qu'elle décontracte par catégorie de véhicule par une approche descendante (« top-down ») ; elle reprend également des applications de l'approche ExternE qu'elle ajuste au cas de chaque pays européen.

Synthèse des principaux résultats d'études menées en France ¹

Référence de l'évaluation	Montant	Commentaire
E. Quinet « Principes d'économie des transports », 1998	0,5 % PIB	Synthèse d'études existantes. Ensemble des transports.
R. Prud'homme « Notre système de transport est-il durable ? » université Paris-XII, 1997 (citée par F. Duprez)	0,3 % PIB	Rapport du groupe de travail « Transport et développement durable ». Cofinancé par l'Union routière de France. Ensemble des transports.
Lamure (administration finlandaise) (citée par J.-P. Orfeuil)	environ 0,5 % PIB	Coût des dommages. Y compris effet de serre, mais celui-ci est faiblement évalué puisque les effets sur la santé représentent 92 % du total (contre 19 % dans une étude antérieure, avec 15 % pour la végétation, 16 % pour les bâtiments et 50 % pour l'effet de serre).
Crozet (1994) (citée par J.-P. Orfeuil)	environ 2 % du PIB	Coût du trafic routier. Obtenu en valorisant les émissions de polluants par les normes suédoises définissant un prix permettant d'orienter la société vers un développement durable.
Planco (1990) (citée par J.-P. Orfeuil)	environ 0,6 % du PIB environ 1,1 % du PIB	Coût pour le trafic en RFA au milieu des années 1980 : - estimation des dommages (48 % pour la santé, 37 % pour la végétation et 15 % pour les bâtiments) ; - consentement à payer pour un air pur.
CETUR/SOFRETU (citée par J.-P. Orfeuil)	0,5 % du PIB	Coût d'évitement. Trafic voyageurs seulement.
Merlin (citée par J.-P. Orfeuil)	0,7 % du PIB	Coût d'évitement basé sur le pot catalytique (et multiplié par 2 pour avoir un véhicule « complètement propre »).

Source : ministère de l'Environnement.

2.1. le projet ExternE et ses applications

Le projet ExternE a été lancé dans le cadre du programme Joule II de la Commission européenne afin de disposer d'une méthode unifiée d'évaluation des externalités de production et d'utilisation de l'énergie. Durant la phase

(1) « Les coûts externes de la circulation routière », J.-P. Orfeuil, rapport INRETS n° 216, juin 1997. Voir également l'évaluation des coûts externes de la circulation routière dans le Compte transport national : approche tutélaire et résultats récents de la littérature scientifique. Note soumise au comité technique du Compte transport national par F. Duprez (CERTU), rapporteur du comité technique, septembre 1999.

JOULE III, le projet a été développé selon trois directions : approfondissement et mise à jour de la méthodologie (projet ExternE Core), mise en place d'une banque de données à l'échelle européenne (projet ExternE National Implementation) et application aux impacts énergétiques des transports (projet ExternE-Transport). Cette étude a retenu une méthode qui construit le coût de pollution à partir des données du terrain (approche dite « bottom-up »).

Les impacts du transport et leur coût sont évalués au moyen de l'approche « *Impact Pathway Approach* (IPA) ». Cette dernière consiste à établir et à mesurer l'enchaînement des événements qui mènent de la source d'émission du polluant – les véhicules – jusqu'à ses impacts finaux sur la santé humaine, les récoltes et le bâti inclus ¹.

On note plus particulièrement qu'une définition assez générale de l'espace traversé peut suffire pour obtenir un ordre de grandeur ; toutefois les applications de la méthode opèrent une distinction selon la densité d'habitat touché par cette émission additionnelle de polluants : agglomérations, grande ville, milieu rural, etc.

Malgré le côté assez général de la localisation du récepteur, on peut estimer que les erreurs du calcul géographique se compensent mutuellement ; cette manière de procéder permet de raccrocher à une source mobile les effets qui lui sont redevables ainsi que leur coût. De même, le fait de raisonner en différentiel d'émission et de concentration permet de calculer le nombre de cas de morbidité ou de mortalité provoqués par ce surcroît de pollution émise et dispersée.

Cette même méthodologie a été appliquée au secteur des transports en France notamment sur deux liaisons particulières, l'une urbaine et l'autre interurbaine : Orly-Roissy et Paris-Lyon pour année 1995 ². Ces travaux proposent sur ces deux liaisons des coûts des dommages exprimés par voyageurs-kilomètres selon

(1) Ainsi, cinq phases d'analyse se succèdent :

(a) Caractérisation des émissions des polluants d'un véhicule donné (en g/véh.km) ;
(b) Calcul de l'augmentation de concentration en polluant dans toutes les régions affectées en utilisant des modèles de dispersion atmosphérique et chimique (modèle ISC de Wackter et Foster, 1997, pour la diffusion à l'échelle locale ; modèle WindRose Trajectory pour l'échelle régionale) ;
(c) Calcul des impacts physiques, par ex., nombre de cas d'asthme ou de décès prématurés dus aux particules, par application d'une fonction dose-réponse ;
(d) Obtention du coût total par multiplication du coût unitaire des cas d'asthme par le nombre de cas ;
(e) Monétarisation rapportée au véh.km, ou au kg émis, ce qui dans ce dernier cas, permet le transfert à d'autres véhicules.

(2) Spadaro et Rabl ont calculé le coût sanitaire de pollution sur deux liaisons.

- Annexe 7 -

les types de véhicules (voitures particulières conventionnelles et diesel avec et sans catalyseur, bus diesel et TGV pour le trajet Paris-Lyon) et selon les différents polluants (particules PM_{2,5}, CO, SO₂, nitrates, sulfates, polluants cancérigènes, ozone, CO₂).

Il apparaît dans ces travaux que le poids des particules et des nitrates est prépondérant dans la toxicité sur la santé humaine – il est respectivement de 94 % à 98 % pour les véhicules diesel, et de 91 à 94 % pour les voitures à essence –. On note que les décès et les maladies chroniques représentent, et de loin, l'essentiel de l'impact sanitaire.

Par ailleurs, ces coûts dommages ne sont pas identiques sur les deux liaisons : les coûts en ville apparaissent beaucoup plus élevés qu'en milieu rural.

2.2. L'étude OMS ¹ sur la pollution de l'air due à la circulation routière (1999)

Dans le cadre du programme PRIMEQUAL/PREDIT et des activités de l'Organisation mondiale de la santé, un programme de recherche impliquant l'Autriche, la Suisse et la France, a été engagé dans le but d'évaluer les effets et les coûts de la pollution atmosphérique liée aux transports terrestres sur la santé humaine. L'originalité de la recherche porte sur l'évaluation tant à court qu'à long terme de ces effets, au moyen d'approches et de méthodologies comparables.

L'étude a retenu comme indicateur de la pollution atmosphérique dans son ensemble les particules en suspension de diamètre médian inférieur à 10 µm, celles-ci correspondant aux polluants émis en grande partie par les transports routiers dans les pays concernés par l'étude. L'étude a estimé le coût de

(1) « Health Costs Due to Road Traffic-Related Air Pollution ». Ce programme de recherche a impliqué plusieurs organismes sous la coordination : pour l'Autriche du ministère fédéral de l'Environnement, de la Jeunesse et de la Famille ; Agence de l'Environnement ; pour la France de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ; pour la Suisse du département fédéral de l'environnement, des Transports, de l'Énergie, des Communications. La présentation dans cette annexe se limite à quelques points. Pour plus de détails, se reporter à la synthèse suivante : « Synthèse de l'étude concertée entre la France, la Suisse et l'Autriche pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé », recherche menée en France dans le cadre du programme PRIMEQUAL-PREDIT.

l'impact des particules PM₁₀ sur la santé (à l'exclusion des effets sur le bâti, les récoltes et les forêts) pour les situations dans lesquelles les concentrations sont supérieures à la concentration minimale dite « naturelle », soit 7,5 µg/m³.

La démarche proposée dans cette étude consiste dans un premier temps à estimer les niveaux moyens annuels d'exposition aux PM₁₀ auxquels sont soumis la population¹. Dans un second temps, l'analyse établit une relation entre ces niveaux d'exposition et les indicateurs de mortalité et de morbidité à court et long terme. Ce volet d'évaluation des risques sanitaires s'appuie sur des relations doses-effets issues de nombreuses études épidémiologiques² ou toxicologiques réalisées sur le sujet. Enfin, dans un troisième temps, la recherche débouche sur une monétarisation de ces effets.

Enfin, le pourcentage de PM₁₀ imputable au trafic routier a été estimé à partir de données proposant un ratio entre les émissions dues au trafic routier et celles dues à l'industrie et au secteur résidentiel, en Suisse. Cette approche a été retenue, faute d'autres données disponibles. En France, elle implique probablement une sous-estimation de la contribution des transports, caractérisés par une forte diésélisation du parc de véhicules, aux concentrations de PM₁₀. Les niveaux de PM₁₀ estimés doivent donc être considérés comme des niveaux minimum d'exposition.

En ce qui concerne l'exposition de la population à l'ensemble des concentrations de PM₁₀, l'étude montre qu'environ 50 % de la population vit dans des zones où les valeurs de PM₁₀ sont comprises entre 20 et 30 µg/m³.

(1) L'estimation de l'exposition des populations aux PM₁₀ a été décomposée en quatre étapes principales : (a) Acquisition et traitement des données de concentration de particules ; (b) Cartographie des concentrations de PM₁₀ grâce à l'utilisation de modèles de dispersion empiriques ou de méthodes statistiques ; (c) Estimation de la part des concentrations de PM₁₀ associées au trafic routier ; (d) Estimation de la population exposée (croisement entre concentration de PM₁₀ et distribution de la population).

(2) Les études épidémiologiques se déroulent dans les conditions réelles d'exposition de la population, elles constituent une approche privilégiée pour quantifier les risques sanitaires associés à la pollution atmosphérique. Toutefois, elles ne fournissent cependant pas d'informations sur les mécanismes biologiques sous-jacents qui relèvent davantage des études toxicologiques et expérimentales. Ces études fournissent des fonctions « exposition-risque » qui reflètent la corrélation entre les données de pollution et celles de santé, en éliminant l'influence des facteurs susceptibles de fausser l'interprétation de la relation (facteurs temporels, saisonniers, météorologiques, tabagisme, exposition professionnelle, etc.).

- Annexe 7 -

Environ un tiers de la population vit dans les zones avec des valeurs inférieures à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le reste est exposé à des concentrations de PM_{10} supérieures à 30 $\mu\text{m}/\text{m}^3$. Les concentrations élevées sont exclusivement localisées dans les grandes agglomérations.

Cette étude met en évidence plusieurs points. Tout d'abord elle montre la responsabilité du trafic routier dans l'existence des classes de concentrations élevées et dans le nombre de zones qui y sont répertoriées. Ensuite, les résultats obtenus varient considérablement en fonction de la localisation. En centre ville, la contribution du trafic routier aux concentrations de PM_{10} est plus élevée qu'en zones rurales. En France, la carte d'exposition de la population à l'ensemble des PM_{10} montre une large zone de fortes concentrations sur la région parisienne, ce qui peut être expliqué par la densité de la population et du trafic routier. Pour d'autres grandes agglomérations (Nantes, Bordeaux, Toulouse, Lyon, Marseille et Lille), les concentrations, fortes en centre ville, diminuent rapidement en périphérie.

Cette étude retient plusieurs indicateurs d'atteintes à la santé dues à la pollution de l'air par le trafic. Les résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire présentés dans le tableau ci-dessous doivent être interprétés comme des ordres de grandeur en raison des hypothèses et incertitudes inhérentes aux différentes étapes de calcul (modélisation de l'exposition, extrapolations...). Cependant, l'approche minimaliste retenue à chaque étape de calcul limite la possibilité d'une surestimation de l'impact de la pollution sur la santé.

Cas de mortalité et de morbidité attribuables à la pollution de l'air en Autriche, France et Suisse en 1996 (intervalle de confiance à 95 %)

	Ensemble des PM ₁₀		
	Autriche	France	Suisse
Mortalité totale à long terme (adultes ≥ 30 ans)	5 576 [3 370 - 7 813]	31 692 [19 202 - 44 369]	3 314 [1 986 - 4 651]
Hospitalisations pour causes respiratoires	3 399 [358 - 6 456]	13 796 [1 491 - 26 286]	1 308 [138 - 2 488]
Hospitalisations pour causes cardio-vasculaires	6 695 [3 489 - 9 960]	19 761 [10 440 - 29 362]	2 979 [1 544 - 4 425]
Incidence bronchite chronique (adultes)	6 158 [552 - 12 241]	36 726 [3 262 - 73 079]	4 238 [374 - 8 437]
Incidence bronchite aiguë (enfants)	47 652 [21 008 - 86 090]	450 218 [198 450 - 813 562]	45 446 [20 029 - 82 121]
Jours de restriction d'activité ¹ (adultes ≥ 20 ans)	3 106 544 [2 615 175 - 3 604 519]	24 579 872 [20 692 055 - 28 519 982]	2 762 682 [2 325 699 - 3 205 536]
Crises d'asthme ² (enfants asthmatiques)	34 665 [21 321 - 48 174]	242 633 [149 141 - 337 151]	23 637 [14 532 - 32 850]
Crises d'asthme ² (adultes asthmatiques)	93 619 [45 594 - 142 598]	577 174 [281 130 - 879 091]	62 593 [30 490 - 95 345]
<i>(1) Jours de restriction d'activité : total personnes-jours par an</i>			
<i>(2) Crises d'asthme : total personnes-jours avec crises d'asthme</i>			

	PM ₁₀ attribuables au trafic		
	Autriche	France	Suisse
Mortalité totale à long terme (adultes ≥ 30 ans)	2 411 [1 457 - 3 378]	17 629 [10 681 - 24 680]	1 762 [1 056 - 2 472]
Hospitalisations pour causes respiratoires	1 470 [155 - 2 792]	7 674 [829 - 14 622]	694 [73 - 1 320]
Hospitalisations pour causes cardio-vasculaires	2 895 [1 509 - 4 307]	10 992 [5 807 - 16 333]	1 580 [819 - 2 348]
Incidence bronchite chronique (adultes)	2 663 [239 - 5 293]	20 429 [1 814 - 40 650]	2 248 [199 - 4 475]
Incidence bronchite aiguë (enfants)	20 606 [9 085 - 37 228]	250 434 [110 388 - 452 544]	24 109 [10 626 - 43 565]
Jours de restriction d'activité ¹ (adulte s ≥ 20 ans)	1 343 371 [1 130 886 - 1 558 711]	13 672 554 [11 509 956 - 15 864 240]	1 465 600 [1 233 782 - 1 700 534]
Crises d'asthme ² (enfants asthmatiques)	14 990 [9 220 - 20 832]	134 965 [82 960 - 187 540]	12 539 [7 709 - 17 427]
Crises d'asthme ² (adultes asthmatiques)	40 484 [19 716 - 61 664]	321 053 [156 378 - 488 994]	33 205 [16 175 - 50 580]
<i>(1) Jours de restriction d'activité : total personnes-jours par an</i>			
<i>(2) Crises d'asthme : total personnes-jours avec crises d'asthme</i>			

Dans le cas de la France, des relations « exposition-risque » ont été établies pour les hospitalisations pour causes respiratoires et cardio-vasculaires et pour les crises d'asthme chez l'enfant et l'adulte. Pour les autres indicateurs de santé étudiés, il n'existait pas de fonctions « exposition-risque » et des données de prévalence ou d'incidence n'étaient pas disponibles, elles ont dû être estimées à partir de la littérature pour les premières et des données suisses pour les dernières. Ainsi, si les connaissances scientifiques concernant les effets nocifs à court terme sur la santé sont aujourd'hui bien établies, les effets résultant d'expositions à long terme sont moins connus et reposent – pour la mortalité à long terme – sur deux études réalisées aux États-Unis¹ mais récemment ré-examinées et validées par le Health Effects Institute.

L'étude propose ensuite une valorisation monétaire de ces dommages.

Deux méthodes sont retenues pour exprimer les coûts sanitaires liés à la pollution atmosphérique². La première, – l'évaluation contingente – représente une approche en terme de perte de bien-être (c'est-à-dire les coûts matériels et immatériels (douleur, souffrance, peine, aspects psychologiques, qualité de vie diminuée...) alors que la seconde, – l'évaluation marchande – considère uniquement les coûts matériels (traitement médical, perte de production). Tous les calculs de coût ont été réalisés selon ces deux méthodes afin de les comparer.

- Valorisation de l'évitement d'un décès prématuré

La « valeur d'évitement d'un décès » reflète une diminution *a priori* du risque de mortalité et non pas la valeur d'une vie humaine particulière évaluée *après* que la pollution atmosphérique ait provoqué ce décès.

(1) Dockery (D.W.), Pope (A.), Xu (X.) et al. « An Association Between Air Pollution and Mortality in Six US Cities », *NEJM* 1993 ;329 :1753-9.

Pope (C.A.), Thun (M.), Namboodiri (M.) et al., « Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults », « *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine* » 1995 ;151 :669-74.

(2) Voir Chanel (O.) et alii, « Monétarisation des effets de la pollution atmosphérique sur la santé de la population française : une approche européenne », GREQAM (BETA et EUREQUa), Marseille, décembre 1999.

Voir Sommer (H.) and alii, « Health Costs Due to Road Traffic-Related Air Pollution. An Impact Assessment Project for Austria, France and Switzerland », *Technical Report on Economy, WHO Conference on Environment and Health, Londres, juin 1999.*

L'évaluation monétaire de la mortalité en terme de pertes de *bien-être* est établie sur la base des consentements individuels à payer pour réduire un risque de mortalité évalué *a priori*. Des enquêtes adéquates auprès de la population conduisent à retenir une estimation de 6 millions de francs¹ comme valeur d'évitement d'un décès.

L'évaluation *marchande* par les coûts matériels associés à un décès est estimée par les pertes de consommation induites par ce décès prématuré, soit 82 500 F par année de vie perdue en moyenne. Les décès associés à la mortalité de long terme représentent une *perte d'espérance de vie moyenne de 10 ans environ*². Un décès est ainsi valorisé à environ 825 000 F.

- Valorisation de la morbidité

Les pertes de bien-être associées à chaque épisode morbide sont estimées par la somme que les individus accepteraient de payer pour l'éviter. Quant au coût matériel, il est estimé à partir des coûts médicaux (traitement et consultation) et de ceux relatifs à l'absentéisme induits par la morbidité en question.

Les taux appliqués sont tirés de la littérature économique la plus récente ; ils servent d'indicateurs pour les diverses maladies et couvrent, tant les coûts immatériels (douleur, souffrance, peine) ou une qualité de vie diminuée, que les coûts matériels (traitement médical, perte de production).

Ces méthodes conduisent aux résultats suivants :

- pour la mortalité à long terme, les coûts de la pollution de l'air atteignent en France 190,2 milliards de francs, dont 105,8 attribuables au trafic routier, si l'on retient l'approche par les pertes de bien-être. Si on considère la méthode d'évaluation par les pertes de consommation, ils sont de 26 milliards de francs, la part associée au trafic routier étant de 14,5 milliards de francs ;
- pour la morbidité, on retiendra que les coûts de la pollution de l'air, résumés dans le tableau suivant, atteignent 67,8 milliards de francs, dont

(1) La base de cette valeur est de 1,4 million d'euros (9 MF) ; ce montant a été réduit à 5,6 MF pour tenir compte de l'âge des décédés (rappel : la valeur Boiteux 1993 est de 3,6 MF).

(2) Autrement dit, si les personnes dont le décès est lié à la pollution atmosphérique n'y avaient jamais été exposées, elles auraient vécu en moyenne 10 années de plus.

- Annexe 7 -

37,7 milliards de francs attribuables au trafic routier, avec l'approche par les pertes de bien-être. La méthode des pertes de consommation évalue ces mêmes coûts à 11,1 milliards de francs, la part associée au trafic routier étant de 6,2 milliards de francs.

Évaluation monétaire du coût de la morbidité en France

	Évaluation totale (MF)	Part attribuable au trafic (MF)
Méthode des pertes de bien-être		
Hospitalisations de court terme pour cause respiratoire et cardio-vasculaire	1 732	964
Morbidité ambulatoire	50 906	28 318
dont court terme ¹	553	309
dont long terme ²	50 353	28 009
Jours d'activité restreinte (court terme)	15 157	8 431
Total	67 795	37 713
Méthode des coûts médicaux		
Hospitalisations de court terme pour cause respiratoire et cardio-vasculaire	1 034	575
Morbidité ambulatoire	913	508
dont court terme ¹	118	66
dont long terme ²	795	442
Jours d'activité restreinte (court terme)	9 191	5 112
Total	11 138	6 195

(1) Cela comprend les hospitalisations pour causes respiratoires et cardio-vasculaires, les bronchites aiguës chez les enfants, les crises d'asthme chez les adultes et les enfants

(2) Cela comprend les bronchites chroniques chez les adultes

Les coûts immatériels de la douleur, des souffrances et d'une qualité de vie moindre ainsi que les coûts matériels découlant de la perte de production et les coûts de traitement totalisent 21,8 milliards d'euros pour la France (142 MF), soit 1,7 % du PIB national. Ce coût sanitaire de la pollution de l'air par le trafic routier représente 43 à 55 % du coût sanitaire total de la pollution de l'air.

Les coûts associés à l'évitement d'un décès s'élèvent à plus de 70 % du coût total de la pollution de l'air par la circulation routière. Les coûts de maladie les plus élevés concernent les cas de bronchite chronique et les journées d'activité réduite dont le nombre de jours est très élevé. Ces trois types de coûts représentent la presque totalité des coûts sanitaires des transports.

2.3. L'étude IWW-INFRAS ¹ réalisée pour le compte de l'UIC (2000)

Cette étude se propose de calculer des coûts totaux, unitaires et marginaux, pour tous les modes (route, rail, air, eau), des effets de la pollution de l'air par les transports sur la santé, sur le bâti, les récoltes et les forêts, aux horizons 1995 et 2010. La valorisation monétaire des effets sanitaires s'appuie sur l'étude de l'OMS ² et sur l'étude ExternE. La valorisation des atteintes au bâti et des récoltes utilise respectivement les études suisses INFRAS de 1993 et INFRAS/ECONCEPT/PROGNOS (1996).

L'étude IWW-INFRAS présente des coûts des effets de la pollution sur la santé pour chaque mode par véhicule-km et par unité-km transportée à un niveau relativement agrégé. Cette approche descendante (« top-down ») conduit aux coûts moyens suivants par unité transportée en France :

Coûts moyens unitaires 1995 par voyageur-km

VOYAGEURS	F/100 voy.km	€100 voy.km
VP	9,46	1,45
Bus & Cars	10,70	1,64
2 Roues	4,83	0,74
Rail	1,44	0,22
Avion	0,52	0,08

Coûts moyens unitaires 1995 par tonne-km

MARCHANDISES	F/100 t.km	€100 t.km
VUL	90,05	13,8
PL	23,10	3,54
Rail	1,83	0,28
Avion	1,89	0,29
Voie d'eau	6,33	0,97

Source : rapport INFRAS-IWW 2000 à l'UIC

(1) IWW, INFRAS (2000), « Externals Costs of Transport », rapport réalisé pour l'UIC, mars.

(2) OMS (1999), « Health Costs Due to Road Traffic-Related Air Pollution », cette étude est souvent dite « étude tri-alpine » étant donné qu'elle a été réalisée avec une méthode commune entre l'Autriche, la France et la Suisse.

- Annexe 7 -

L'étude IWW-INFRAS calcule ensuite des coûts par unité-km transporté à un niveau plus désagrégé qui permet de mieux prendre en compte les particularités des milieux exposés aux pollutions.

Coûts additionnels sanitaires voyageurs pour différentes situations standard

VOYAGEURS	F/100 véh.km	É/100 véh.km	F/100 voy.km	É/100 voy.km
Voitures particulières				
<i>ville essence</i>				
essence < Euro 1	23,0	3,5	16,4	2,52
essence Euro 1 (1992)	6,3	1,0	4,4	0,68
essence Euro 3 (2000)	5,4	0,8	3,8	0,59
diesel Euro 2 (1997)	16,2	2,5	11,5	1,77
<i>interurbain dense</i>				
essence < Euro 1	20,6	3,2	10,8	1,66
essence Euro 1	4,7	0,7	2,5	0,38
essence Euro 3	2,7	0,4	1,4	0,22
diesel Euro 2	11,8	1,8	6,2	0,95
<i>interurbain dispersé</i>				
essence < Euro 1	5,6	0,9	2,9	0,45
essence Euro 1	0,8	0,1	0,5	0,07
essence Euro 3	0,7	0,1	0,4	0,06
diesel Euro 2		0,3	1,0	0,16
Bus et Cars				
bus	181	27,7	12,1	1,85
car dense	66,6	10,2	3,3	0,51
car dispersé	18,7	2,9	1,2	0,19
2 Roues				
en ville	9,8	1,5	9,8	1,5
interurbain dense	8,1	1,2	8,1	1,24
interurbain dispersé	6,7	1,0	6,7	1,02
Rail				
diesel urbain	3047	467	20,3	3,11
diesel interurbain dense	1051	161	7,0	1,07
diesel interurbain dispersé	249	38,2	1,6	0,25
grande vitesse	275	42,1	0,8	0,13
Avion				
courte distance	2,9	0,5	0,1	0,01
longue distance	5,3	0,8	0,1	0,01

Source : rapport INFRAS-IWW 2000 à l'UIC

1 écu 1995 = 6,525 F

Coûts additionnels sanitaires marchandises pour différentes situations standard

MARCHANDISES	F/100 véh.km	É/100 véh.km	F/100 t.km	É/100 t.km
VUL				
urbain <i>essence</i>	6,6	1,0	22,1	3,38
interurbain essence dense	8,2	1,3	27,1	4,16
interurbain essence dispersé	1,1	0,2	3,6	0,55
urbain <i>diesel</i>	42,2	6,5	140	21,5
interurbain diesel dense	12,0	1,8	40,1	6,14
interurbain diesel dispersé	4,0	0,6	13,2	2,02
PL				
PL < 7,5 ^T urbain	133	20,4	95,3	14,6
PL < 7,5 ^T interurbain dense	42,9	6,6	30,6	4,69
PL < 7,5 ^T interurbain dispersé	14,9	2,3	10,6	1,63
PL > 7,5 ^T urbain	268	41,0	17,9	2,74
PL > 7,5 ^T interurbain dense	83,5	12,8	5,5	0,85
PL > 7,5 ^T interurbain dispersé	21,5	3,3	1,4	0,22
Rail				
diesel courte distance	1 416	217	5,7	0,87
mixte longue distance	1,0	0,2	2,0	0,3
Avion				
fret aérien	2,2	0,3	0,2	0,03
Voie d'eau				
péniches	2 434	373	2,2	0,33

Source : rapport INFRAS-IWW 2000 à l'UIC

1 écu 1995 = 6,525 F

Composition du groupe de travail

COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

Président

Boiteux (Marcel), président d'honneur d'EDF

Rapporteur général

Baumstark (Luc), chargé de mission, Commissariat général du Plan

Membres

Amigues (Jean-Pierre), INRA-ESR

Bonnafous (Alain), professeur, Laboratoire d'économie des transports

Brossier (Christian), président de section, Conseil général des Ponts-et-Chaussées

Burdeau (Michel), délégué général, Association des sociétés françaises d'autoroutes

Bureau (Dominique), directeur des études économiques et de l'évaluation
environnementale, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Castelnaud (de) (Béatrice), directrice du service économique, Comité des constructeurs
français d'automobile (CCFA), remplacée par Mory (Christian), directeur, département
transports, économie et information

Chatelus (Gautier), chef du bureau équipement, transports, énergie, Direction de la
Prévision, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Citroën (Philippe), directeur de la stratégie, SNCF

Cohen de Lara (Michel), chercheur, École nationale des Ponts-et-Chaussées

Coindet (Jean-Paul), directeur de recherche, Institut national de recherche sur les
transports et leur sécurité (INRETS)

Coutard (Olivier), chargé de recherche Centre national de la recherche scientifique
(CNRS) au laboratoire techniques territoires sociétés (LATTTS)

Danzanvilliers (Patrice), Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA),
ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

- Composition du groupe de travail -

Delache (Xavier), sous-directeur des politiques environnementales, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Depresle (Bruno), sous-directeur de l'évaluation environnementale et de l'aménagement durable, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Dron (Dominique), directrice de la cellule prospective et stratégie, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Duret (Emmanuel), directeur général, Aéroports de Paris

Fleuriot (Laurent), sous-directeur, Direction générale de la consommation, de la concurrence et de la répression des fraudes (DGCCRF)

Fontaine-Vive (de) (Philippe), sous-directeur, Direction du Trésor, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Galzy (Laurent), sous-directeur, Direction du Budget, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Gandil (Patrick), directeur, Direction des Routes, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Godard (Olivier), directeur de recherche, Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Laboratoire d'économétrie de l'École polytechnique

Gollier (Christian), professeur, Groupe de recherche en économie mathématique et quantitative (GREMAQ), université Toulouse I

Graff (Pierre), directeur général, Direction générale de l'aviation civile, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Gressier (Claude), directeur, Direction du transport maritime, des ports et du littoral, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Guigou (Jean-Louis), délégué, DATAR

Henry (Claude), professeur, École polytechnique

Heux (Roger), chargé de mission économie et affaires européennes, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Jeger (François), Direction des affaires économiques et internationales, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Lambert (Jacques), directeur de recherche, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS)

Lauer (André), directeur, représenté par Duprez (Fabien), Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU), ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Lèbre (Christophe), Aéroports de Paris

- Composition du groupe de travail -

Lesage (Jean-Luc), sous-directeur des études économiques et de la prospective,
Direction générale de l'aviation civile

Leuxe (André), chargé de mission économie et affaires européennes, ministère de
l'Équipement, des Transports et du Logement

Marchandise (Patrick), directeur adjoint, Direction régionale de l'équipement Île-de-
France

Maubois (Raymond), responsable d'unité, remplacé par Guyon (Jacques), responsable
de l'unité politique de développement et économie urbaine et Aubert (Pierre-Louis),
chargé d'études, RATP

Maurice (Joël), conseiller scientifique, Conseil d'analyse économique

Mesnil (du) (Hubert), directeur, Direction des transports terrestres, ministère de
l'Équipement, des Transports et du Logement

Méteyer (Jean-Claude), chargé du pôle prospective, modélisation de la demande et
évaluation, Direction des affaires économiques et internationales

Méryère (Alain), Syndicat des transports parisiens d'Île-de-France

Morcheoine (Alain), directeur de l'air et des transports, Agence de l'environnement et
de la maîtrise de l'énergie (ADEME)

Morellet (Olivier), directeur de recherche, Institut national de recherche sur les
transports et leur sécurité (INRETS)

Mousel (Michel), président de la Mission interministérielle de l'effet de serre, ministère
de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Nalin (Olivier), Direction des transports terrestres, ministère de l'Équipement, des
Transports et du Logement

Papinutti (Marc), chef de groupe-routes, Direction régionale de l'équipement Île-de-
France

Pécheur (Pascale), secrétaire générale, remplacée par Mammar (Lydia), Groupement
des autorités responsables de transports (GART)

Perrot (Jean-Yves), directeur, Direction des affaires économiques et internationales,
ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Quinet (Émile), professeur, Conseil général des Ponts-et-Chaussées

Rousselot (Michel), ingénieur général des Ponts-et-Chaussées honoraire

Seligmann (Bernard), inspecteur général de l'équipement, Conseil général des Ponts-et-
Chaussées

Tréglodé (de) (Hervé), directeur du développement, Réseau ferré de France (RFF)

- Composition du groupe de travail -

Experts associés ¹

Aliadière (Luc), SNCF

Ayong-le-Kama (Alain), professeur, conseiller scientifique, Commissariat général du Plan

Ayoun (Philippe), Réseau ferré de France (RFF)

Beaumais (Olivier), professeur, conseiller scientifique, Commissariat général du Plan

Besnard (Francis), Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA), ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Césari (Vartouhie), Direction du transport maritime, des ports et du littoral, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Chagnaud (Vincent), Scetauroute/Groupe Egis

Chanel (Olivier), Groupement de recherche en économie quantitative d'Aix-Marseille (GREQUAM), CNRS

Chapelon (Jean), Observatoire de sécurité routière

Corfdir (Alain), Mission interministérielle de l'effet de serre, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Criqui (Patrick), Institut d'économie et de politique de l'énergie (IEPE)

Debar (Pierre-Louis), Comité des constructeurs français d'automobiles (CCFA)

Debrincat (Laurence), Syndicat des transports parisiens d'Île-de-France

Domergue (Philippe), SNCF

Écalle (François), Direction de la Prévision, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Ferréol (Catherine), ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Fortin (Lionel), Direction des Routes, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Fourgeaud (Virginie), Direction de la Prévision, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Girault (Maurice), Direction des Affaires économiques et internationales, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Godin (Céline), SNCF

(1) L'organisme indiqué est celui auquel appartenait les experts au moment de leur participation au groupe.

- Composition du groupe de travail -

Gozlan (Julie), Direction des transports terrestres, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Halaunbrenner (Gérard), SNCF

Jourdain (Estelle), SNCF

Kail (Jean-Michel), Conseil général des Ponts-et-Chaussées

Lapeyre (Jacques), chargé de mission, Commissariat général du Plan

Launez (Didier), Direction générale de l'aviation civile, ministère de l'Équipement, des Transports et du logement

Le Net (Michel), président, Institut de la communication sociale (ICOS)

Martinez (Nathalie), Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)

Mathiot-Bobin (Catherine), SNCF

Meunier (David), Direction du transport maritime, des ports et du littoral, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Mignerey (Pascal), Direction du transport maritime, des ports et du littoral, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Moulinier (Jean-Marc), Direction des affaires économiques et internationales, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Moura (Patrice), Direction de la Prévision, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Orus (Jean-Pierre), Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA), ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Paris (Fabien), Direction générale de l'aviation civile, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Paul-Dubois-Taine (Olivier), Direction des affaires économiques et internationales, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Pradayrol (Jean-Pierre), SNCF

Rambeau (Sylvie), Service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA), ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Recotillon (Nicolas), Direction des transports terrestres, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Rigaud (Jean-Marc), ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Robin-Prévallée (Yves), Syndicat des transports parisiens d'Île-de-France

Savary (Elisabeth), Direction générale de l'aviation civile, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

- Composition du groupe de travail -

Schmeltz (Pierre), Direction des Routes, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Ségonne (Cécile), chargée de mission, Direction de la Prévision, ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie

Seyse (Jean-Jacques), Aéroports de Paris

Soleau (Jean-Philippe), Association des sociétés françaises d'autoroutes

Thirouin (Isabelle), ministère de la Santé

Vergnaud (Jean-Christophe), université Paris I

Vexiau (Thierry), Direction des affaires économiques et internationales, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement

Vilmart (Christian), chargé de mission, Commissariat général du Plan

Vinay (Catherine), ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement

Mandat du groupe

**MINISTERE DE L'AMENAGEMENT
DU TERRITOIRE ET DE
L'ENVIRONNEMENT**

**MINISTERE DE L'EQUIPEMENT,
DES TRANSPORTS ET DU
LOGEMENT**

Paris, le 11 mars 1999

Monsieur le Commissaire au Plan,

Le rapport du Commissariat Général du Plan de 1994 "Transports : pour un meilleur choix des investissements" issu des travaux d'un groupe présidé par Monsieur Marcel BOITEUX, proposait une première valorisation monétaire de certains impacts environnementaux, en recommandant leur actualisation rapide. Les connaissances acquises depuis 5 ans rendent possible un travail complémentaire sur un certain nombre de thèmes pour lesquels les valeurs ou les méthodes retenues apparaissent perfectibles et d'autres non renseignés à l'époque pour lesquels il apparaît possible de proposer aujourd'hui des valeurs.

Quatre points nous paraissent mériter un examen particulier (*) :

- l'utilisation de la règle de Hotelling pour valoriser les effets irréversibles affectant des ressources non renouvelables (modification du climat par les gaz à effet de serre et épuisement des réserves pétrolières) ;
- la valorisation en zone urbaine des effets de la congestion sur les autres modes de transport que la voiture, des effets de coupure et des surfaces occupées ;
- la valeur du bruit surtout en zone urbaine ;
- la valeur du temps.

Nous souhaitons donc qu'un groupe de travail placé sous votre égide puisse procéder à une actualisation des travaux antérieurs en traitant prioritairement ces quatre points. Nous attachons du prix à pouvoir disposer des premières conclusions sur ces sujets dans un délai de six mois, ce qui permettrait de les intégrer dans le processus d'élaboration des schémas de services collectifs de transport.

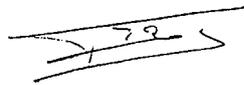
Nous vous prions de croire, Monsieur le Commissaire Général, à l'expression de notre considération distinguée.

**Le Directeur du Cabinet de la Ministre de
l'Aménagement du Territoire
et de l'Environnement**



Jean-François COLLIN

**Le Directeur du Cabinet du Ministre de
l'équipement, des transports
et du logement**



Francis ROL-TANGUY

(*) Il a été convenu en avril 2000, d'un commun accord avec les Directeurs de Cabinets, d'étendre l'actualisation du rapport de 1994 à deux domaines complémentaires : celui de la monétarisation de l'effet des pollutions classiques et celui de la valorisation de la vie humaine.