

Paris : un tramway nommé désir

Rémy Prud'homme, Martin Koning, Pierre Kopp

Brouillon 19 Août 2007

En Janvier 2007, la municipalité de Paris a inauguré une ligne de tramway de 8 km de long sur les boulevards des Maréchaux dans le sud de la commune. Les tramways sont à la mode. En avoir un est perçu comme un symbole de « modernité » et comme une contribution à la lutte contre le réchauffement de la planète. Le désir de tramway à Paris était généralisé chez les politiciens. Celui qui nous occupe a été décidé par M. Tibéri, le maire précédent classé à droite, et réalisé par M. Delanoë, le maire actuel classé à gauche (en principe cette rare unanimité devrait protéger l'analyste critique du reproche d'être partisan). Comme il est normal, la municipalité a présenté le tramway comme un grand succès. Les médias, comme il est peut-être moins normal, ont repris intégralement les communiqués de presse de la mairie et chanté la louange du projet sans la moindre note discordante. L'opinion publique (y compris l'opinion de la grande majorité qui n'a ni vu ni pris le tramway) a été conquise. La chose est entendue, le tramway de Paris est un grand succès. Circulez (si l'on ose dire), il n'y a rien à voir.

En réalité, comme le bon sens le suggère, le tramway a des bénéfices et des coûts. Il est donc légitime de chercher à identifier, et surtout à mesurer, ces bénéfices et ses coûts afin de produire une évaluation mieux informée et plus nuancée. C'est l'objet de la recherche présentée ici¹. On présentera d'abord les caractéristiques du projet, avant d'examiner les changements dans la structure des déplacements qu'il a entraînés, et de quantifier les gains et les pertes associés au projet. La première qualité d'une évaluation est la transparence et la répliquabilité. On s'est donc efforcé d'indiquer précisément (au risque de parfois lasser le lecteur) les méthodologies suivies, les valeurs des paramètres utilisées, les calculs effectués, afin de permettre au

¹ Cette recherche n'a bénéficié d'aucun financement

lecteur qui le souhaiterait de refaire les calculs et de formuler des critiques précises.

La scène et le contenu du projet

Pour ceux qui ne sont pas familiers avec la géographie de Paris, il n'est pas inutile de décrire la scène. L'agglomération parisienne qui comprend près de 11 millions d'habitants se compose d'environ 1.200 communes. La plus centrale et la plus importante, la commune de Paris, comprend environ 2 millions d'habitants. Elle est ceinturée par deux voies routières à peu près parallèles d'une longueur d'environ 35 km : les boulevards des Maréchaux, qui datent du début du 20^{ème} siècle et sont généralement bordés d'immeubles ; le périphérique parisien, qui date des années 1960. Ces deux voies routières sont distantes d'environ 300 mètres. L'agglomération parisienne est un tout intégré, et les échanges entre ses différentes parties –en particulier entre la commune de Paris et le reste– sont intenses. Selon l'Enquête Générale de Transport (EGT) de 2001, les déplacements Paris-Paris sont moins importants que les déplacements banlieue-Paris. Les déplacements Paris-Paris constituent 45 % du total des déplacements en transport en commun ayant Paris pour origine ou destination. Le pourcentage est de 34% pour les déplacements en voiture ; mais ce dernier chiffre ne prend pas en compte les déplacements des véhicules utilitaires (majoritairement banlieue-Paris) ni les déplacements banlieue-banlieue qui passent par Paris.

Le tramway a été construit sur les boulevards des maréchaux entre la porte d'Ivry (13^{ème} arrondissement) et le pont de Garigliano (15^{ème}). Cette portion de 8 km correspond à peu près au quart de la longueur des boulevards des Maréchaux. Elle constitue ce que nous appellerons l'axe Ivry-Garigliano. Les déplacements sur cet axe sont assez différents les uns des autres. La plupart sont des portions de déplacements bien plus longs, dont l'origine et/ou la destination sont en dehors de la zone de l'axe. Mais d'autres sont des déplacements de proximité d'un point de l'axe à un autre point de l'axe. Cet axe, bien desservi par l'automobile et le camion, était assez mal desservi par les transports en commun. Il ne correspond à aucune ligne de métro spécifique, même si des combinaisons de lignes radiales permettent d'aller d'un point de l'axe à un autre. Il correspondait au contraire à une ligne d'autobus, la « Petite ceinture », qui parcourait l'ensemble des boulevards des Maréchaux, et qui était la ligne d'autobus la plus fréquentée de Paris.

Le projet de tramway a trois composantes. La première est la suppression (entre Ivry et Garigliano) de la ligne d'autobus « Petite Ceinture ». La seconde est la construction d'un tramway moderne plus beau, plus rapide, plus confortable, que la ligne d'autobus qu'il remplace. Le troisième est la réduction de l'espace viaire réservé aux automobiles et aux camions sur les boulevards des Maréchaux (entre Ivry et Garigliano).

Cette réduction est importante : environ le tiers. Elle est pour partie la conséquence directe de la mise en œuvre du tramway, et pour partie la conséquence de la volonté affichée de la municipalité de réduire l'espace viaire. Il est difficile de savoir l'importance relative de ces deux causes. Un autre tracé pour le tramway était possible, sur une ancienne ligne de chemin de fer désaffectée, qui coûtait moins cher ; beaucoup pensent que ce tracé avait l'inconvénient principal de ne pas contribuer suffisamment à la gêne de la circulation automobile. Quoi qu'il en soit, il n'est ni possible ni utile de décomposer le projet et ses effets entre ses différentes composantes. On le prendra ici comme un tout.

Les changements dans la structure des déplacements

Le projet évalué a entraîné des changements importants dans la structure des déplacements dans l'axe Ivry-Garigliano. Deux sources permettent de mesurer ces changements

La première est constituée par les comptages de véhicules sur les boulevards des Maréchaux. L'Observatoire des déplacements de la municipalité dispose du trafic journalier pour 2003 et 2007, pour 11 tronçons dont on connaît la longueur et qui font au total 4,5 km. On peut transformer ces données en véhicules*km, et extrapoler au 7,9 km de l'axe considéré. L'année 2003 est choisie de préférence à l'année 2006 parce que les travaux de construction ont pu perturber le trafic. On voit qu'entre 2003 (avant le projet) et 2007 (après), le nombre de véhicules*km passe de 152.800 à 89.500. Il y a donc une diminution de 63.300 véhicules*km, soit une diminution de 41%. On peut traduire ces chiffres en termes de voyageurs*km, en les multipliant par le taux d'occupation des véhicules, 1,3. On obtient 198.000 voyageurs*km par jour en automobiles avant le projet et 116.000 après (-82.000 voy*km).

La seconde est constituée par une enquête ad hoc que nous avons effectuée en avril 2007 auprès de 1.000 usagers du tramway. Pour assurer une sélection aléatoire des

usagers, les enquêteurs se sont rendus à des stations de tramway, ont laissé partir un tramway, et interrogé les deux premiers usagers qui se sont présentés pour attendre le tramway suivant, les stations et les horaires étant choisis d'une façon représentative de l'utilisation. D'une façon générale, les usagers se disent très satisfaits du tramway. Les deux réponses les plus intéressantes pour notre analyse ont porté sur la longueur des déplacements en tramway : 2,56 km en moyenne ; et surtout sur ce que ces usagers faisaient avant l'introduction du tramway.

Tableau 1 – Provenance modale des usagers du tramway

	%	voy*km/j
Provenant :		
du métro	50,0	144.000
de l'autobus	33,5	96.000
de la voiture	2,6	7.000
du vélo	0,7	2.000
des 2-roues	0,5	1.000
à pied		-
mixte	12,8	-
Total	100,0	256.000

Source : Enquête des auteurs. Les réponses « mixtes » comprennent les usagers qui effectuaient auparavant le déplacement à l'aide de plusieurs moyens de transport.

Le tableau 1 présente les réponses à la question : avant le tramway, comment faisiez-vous ce déplacement ? Il apparaît que la majorité des usagers proviennent de l'autobus (50%), ce qui n'est pas surprenant. Plus étonnant peut-être est l'importance des anciens usagers du métro (33,5%). On voit enfin que le tram a attiré très peu d'usagers en provenance de la voiture (2,6%). Le tramway n'a engendré qu'un très faible transfert modal. Les autres mouvements sont pratiquement négligeables.

Ces données permettent de mettre en évidence les changements intervenus du fait du tramway.

Un certain nombre d'utilisateurs se servaient du métro pour leurs déplacements sur l'axe Ivry-Garigliano et y faisaient un nombre M (inconnu de nous, mais que nous n'avons pas besoin de connaître). Un peu moins de 40.000 d'entre eux ont abandonné le métro pour le tramway, où ils effectuent près de 100.000 voyageurs*km par jour. D'un côté, ces voyageurs ont amélioré leur situation (sinon, ils n'auraient pas changé). D'un autre, ils décongestionnent le métro.

Les quelques 56.000 utilisateurs qui se servaient du bus utilisent maintenant le tramway, où ils font 144.000 voyageur*km. Comme on le verra, leur situation s'est également améliorée. Ils retrouvent dans le tramway les

40.000 utilisateurs qui préféraient auparavant le métro. Et les quelques 2.700 personnes (faisant 7.000 voyageurs*km) qui ont abandonné la voiture pour le tramway ainsi que les quelques 1.000 personnes qui utilisaient autrefois le vélo ou les deux-roues. Ces 100.000 utilisateurs du tramway ont tous gagné quelque chose au projet.

Qu'en est-il des Franciliens qui utilisaient voitures ou camions sur les boulevards des Maréchaux de l'axe Ivry-Garigliano ? On en connaît mal le nombre (dont on peut se passer pour l'analyse) qui devait être d'environ 40.000, et dont on sait qu'ils faisaient un peu moins de 200.000 voyageurs*km. Un petit nombre de ces voyageurs*km, environ 7.000, se retrouvent dans le tramway. Un peu plus de la moitié, 116.000 continuent d'être effectués sur les boulevards des Maréchaux. Ils le sont dans de moins bonnes conditions qu'avant le tramway, sinon leur nombre n'aurait pas diminué de 40%. Restent 75.000 voyageurs*km qui manquent à l'appel. Une partie des déplacements correspondants a sans doute été éliminée, engendrant un recul de la mobilité économiquement inquiétant. Cette partie est probablement faible, au moins dans le court terme, parce que ces déplacements étaient seulement le tronçon effectué sur notre axe de déplacements beaucoup plus longs. Par souci de simplification, on ignorera ces déplacements éliminés. Le plus probable est que les 75.000 voyageurs*km manquants sont maintenant effectués sur d'autres voies que les boulevards des Maréchaux. Le candidat évident est le boulevard périphérique. D'autres candidats sont les rues de Paris plus ou moins parallèle aux boulevards des maréchaux. Dans les deux cas, ce changement augmente la congestion sur ces voies alternatives, infligeant une externalité de congestion aux utilisateurs de ces voies. On fera l'hypothèse que le niveau de congestion sur ces deux types de voies est comparable (il est égalisé à la marge par le comportement des automobilistes), et donc que l'on peut pour les besoins de l'analyse considérer que ces 75.000 voyageurs*km s'effectuent maintenant sur le périphérique².

Le tableau 2 synthétise les changements induits par le tramway. On voit qu'il a entraîné (i) d'importants transferts intra-modaux (à l'intérieur du mode transport collectif, du bus et du métro vers le tramway), (ii) pratiquement pas de transfert modal (de la voiture vers les transports collectifs), et (iii) d'importants

² On verra plus loin qu'une partie de ce report intra-modal s'explique par un recul de la circulation non lié au projet tramway ainsi que par le recul de la mobilité.

transferts viaires pour les voitures (des boulevards des Maréchaux vers le boulevard périphérique). On notera que l'augmentation de l'offre de transports collectifs n'a pratiquement pas entraîné d'augmentation de la fréquentation des transports collectifs.

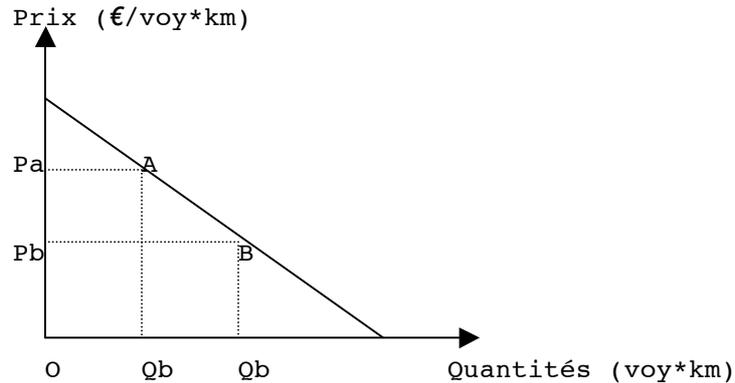
Tableau 2 – Déplacements de personnes sur l'axe Ivry-Garigliano, par mode avant et après le tramway

	Avant (voy*km/j)	Après (voy*km/j)	Conséquences
TC			
Metro	M	M-96.000	Décongestion
Bus & tramway	144.000	256.000	Δ surplus
Voiture			
Bld des Maréchaux	198.000	116.000	Δ surplus
Bld périphérique	P	P+75.000	Congestion

La variation du surplus des utilisateurs du tramway

On peut maintenant estimer les gains et les coûts associés à ces changements. Commençons par le plus évident : le gain des utilisateurs du tramway, ou plus exactement des usagers des transports en commun. Il est représenté par la figure 1. La droite AB est la droite de demande de transport en commun sur l'axe Ivry-Garigliano ; cette demande est d'autant plus importante que le prix est bas. La situation avant le tramway est indiquée par le point A. On a vu que l'abscisse de A, Q_a , était égale à 144.000 voyageurs*km. Le prix unitaire en A est P_a que l'on n'a pas besoin de connaître. La situation après le tramway est indiquée par le point B. On a vu que l'abscisse de B, Q_b , était égale à 256.000 voyageurs*km. Le prix en B est P_b . Dire que le tramway est mieux que le bus revient à dire que $P_b < P_a$. De combien ? L'amélioration de l'offre, c'est-à-dire la substitution du tramway à l'autobus, a deux avantages : elle engendre des gains de temps et des gains de confort.

Figure 1 – Surplus des usagers des transports en commun



On peut assez exactement calculer la variation de surplus engendrée par les gains de temps. La vitesse est passée de 16 km/h (en bus) à 20 km/k (en tramway), soit un gain de temps de 0,633 minutes/voyageur*km. D'un autre côté le temps d'attente a augmenté, puisqu'il passe de 3,5 minutes (en bus) à 4 minutes en tramway, ce qui pour un trajet de 2,56 km correspond à une perte de temps de 0,195 minutes. Au total, le coût en temps diminue de 0,438 minutes par voyageur*km. La valeur du temps pour les transports urbains en Ile de France est fixée à 9,3€/heure pour l'année 2000 dans l'Instruction-cadre du ministère de l'Equipement datée du 25 mars 2004. Ce même texte officiel recommande d'augmenter cette valeur en fonction de la dépense de consommation affectée d'un coefficient 0,7. Pour 2007, en supposant une augmentation de consommation de 2% par an, on obtient ainsi une valeur du temps de 10,2€/heure, valeur que nous retiendrons ici. Le coût en temps diminue donc de $0,438 \times 10,2/60$, soit 0,0745€ par voyageur*km. On a donc $PbPa = 0,0745$ €. On a vu que $Qa=144.000$ et $Qb=256.000$. L'aire $PaABPb$, qui donne l'augmentation du surplus des utilisateurs, est égale à 14.900 €/jour. En comptant 300 jours par an, on obtient **4,47 M€ par an.**

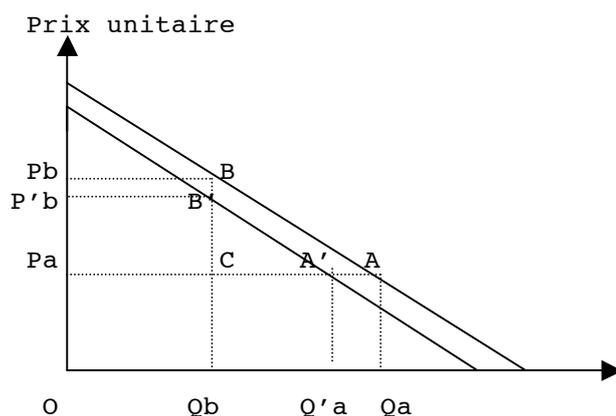
Il est beaucoup plus difficile d'estimer le gain dû à l'augmentation de confort des usagers des transports en commun. Il faudrait pour cela disposer de complexes et coûteuses évaluations contingentes de la disponibilité à payer pour le confort accru (ou l'inconfort réduit). On ne peut pas pour autant négliger ce gain. On fera l'hypothèse qu'il est du même ordre de grandeur que le gain de temps, tout en notant le caractère très fragile de cette hypothèse. On retiendra donc à ce titre un gain de **4,47 M€ par an³.**

³ Remarquons que considérer ces gains annuels comme constants est plus que généreux. L'exemple du T2 nous a en effet montré que les tramways

La variation du surplus des automobilistes

La variation du surplus des automobilistes, ou plus exactement des automobilistes qui utilisaient les boulevards des Maréchaux (les autres ne sont affectés par le projet que par l'augmentation de congestion qu'il entraîne, estimée ci-dessous), s'analyse de façon comparable.

Figure 2 - Variation du surplus des automobilistes utilisateurs des boulevards des Maréchaux, sans périphérique



La vision classique du problème est la suivante. La fréquentation du boulevard des Maréchaux passe de Q_a avant le tramway (avec $Q_a=198.000$ voyageurs*km) à Q_b après (avec $Q_b=116.000$ voy*km), soit une diminution de Q_a-Q_b égale à 82.00 voy*km. Dans le même temps, le prix payé par les automobilistes en temps et en argent passe de P_a à P_b . La perte de surplus des automobilistes est donc égale à l'aire $PaPbBA$. Il serait cependant excessif d'attribuer l'intégralité de cette perte au seul rétrécissement des boulevards des Maréchaux, pour deux raisons. La première est qu'une partie de la diminution de trafic enregistrée s'explique par l'attractivité accrue des transports en commun, c'est-à-dire au remplacement du bus par le tramway. On a vu que cet impact, qui est faible, s'élevait à 7.000 voy*km. La seconde est qu'une partie de cette diminution du trafic s'explique par l'évolution dans la période considérée des conditions de circulation à Paris, en particulier par la hausse du prix des carburants et le rétrécissement de nombreuses voies dans Paris. Le recul de

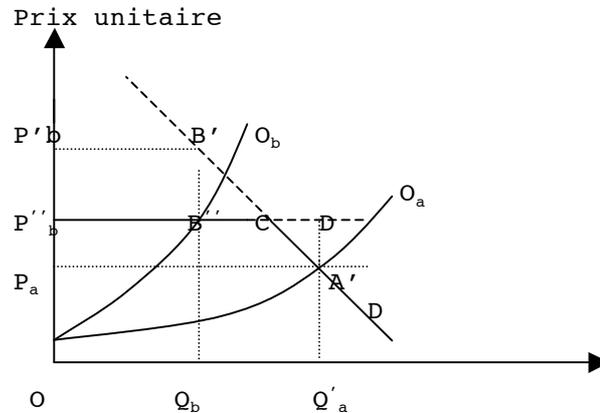
pouvaient être victimes de leur propre succès. Cette ligne reliant la Défense à Issy les Moulineaux avait initialement suscité des louanges comparables à celles reçues par le T3 : modernité, confort, qualité de voyage...L'importante fréquentation qu'a ensuite connue le T2 a largement dégradé les conditions de voyage à tel point que les gains de confort se sont aujourd'hui estompés et que la qualité des déplacements est fortement décriée.

la circulation dans Paris entre 2003 et 2007, évalué à 5% par l'Observatoire des déplacements de la municipalité, donne une mesure de l'impact de cette évolution générale. En l'absence du projet, le trafic sur les boulevards des maréchaux aurait donc diminué de 10.000 voy*km. Ces deux facteurs auraient donc engendré une diminution de trafic de 17.000 voy*km. Le recul de la fréquentation dû au rétrécissement des voies n'est donc pas de 82.000 voy*km, mais seulement de 65.000 voy*km (=50.000 véh*km). Il représente néanmoins une réduction de 36% du trafic (181-116/181).

Analytiquement, pour estimer la perte de surplus due au rétrécissement des voies des boulevards des maréchaux, il faut considérer que les deux facteurs indépendants du rétrécissement engendrent un déplacement de la courbe de demande de circulation de D à D' . La perte de surplus est alors définie par l'aire $P_a P'_b B' A'$.

En réalité, cette vision classique n'est pas très bien adaptée au cas considéré, et doit être complétée et compliquée de la manière suivante, que la Figure 3 aide à comprendre. La courbe de demande de déplacements automobiles sur les boulevards des Maréchaux n'est pas la droite D , mais la ligne coudée $P''_b CA$. La droite $P''_b D$ est le prix unitaire du déplacement sur le périphérique. Il n'y a aucune raison pour qu'un utilisateur du boulevard des Maréchaux paye plus que le prix du trajet alternatif sur le périphérique. Par ailleurs, la courbe Oa décrit (classiquement) le phénomène de congestion sur le boulevard des Maréchaux. Lorsque le nombre d'utilisateurs augmente, la congestion s'accroît, la vitesse diminue, et le coût d'utilisation augmente. L'intersection de Oa et de D définit la situation d'équilibre avant le projet, avec le prix P_a et la quantité Q'_a . Que fait le projet en rétrécissant l'espace viaire des boulevards des Maréchaux ? Il déplace la courbe d'offre O_a en O_b . Pour un même niveau d'utilisation, il y a davantage de congestion, et un prix plus élevé. L'intersection de O_b et de la courbe de demande $P''_b CD$ définit le nouvel équilibre, en B'' , avec le prix P''_b et la quantité Q_b . On a donc OQ_b voyageurs qui continuent d'utiliser le boulevard des Maréchaux, $B''C$ voyageurs qui utilisent maintenant le périphérique, et CD voyageurs qui ont renoncé à se déplacer et réduit leur mobilité. La perte de surplus n'est donc pas $P'_b B' A' P_a$, comme le suggérait la présentation classique, mais seulement $P''_b CA' P_a$

Figure 3 - Variation du surplus des automobilistes utilisateurs des boulevards des Maréchaux, avec le périphérique comme trajet alternatif



On connaît bien OQ'_a (181.000 voyageurs*km), mais on dispose de peu d'éléments pour apprécier $P_aP''_b$, la différence entre le coût sur le périphérique et le coût sur le boulevard des Maréchaux avant le projet, ou si l'on préfère la perte de bien-être qui résulte du changement d'itinéraire entraîné par le projet de tramway. On sait seulement que cette perte est bien réelle: sinon, tout le monde aurait utilisé le périphérique. Pour proposer une estimation de $P_aP''_b$, on postulera que ce surcoût est égal au surcoût engendré par le détour qu'engendre l'usage du périphérique, et on fera plusieurs hypothèses. La première est que la longueur moyenne des trajets sur les boulevards des Maréchaux est de la moitié de la longueur du tramway, soit 4 km. La seconde est que le changement d'itinéraire rallonge le déplacement de 2 fois 400 mètres (300 mètres est la distance à vol d'oiseau qui sépare les deux voies), soit 800 mètres. La troisième est que cette distance est parcourue à une vitesse moyenne de 20 km/h. On calcule alors que le surcoût au voyageur*km est de 0,6 minute, soit 0,102 € (=10,2/100). C'est la valeur de $P_aP''_b$.

Nous devons maintenant trouver le nombre de voy*km s'étant déportés sur le boulevard périphérique (B'C) mais aussi ceux qui s'expliquent par un recul de la mobilité (CD). Nous disposons de deux sources d'informations pour estimer ces grandeurs. Comme nous le verrons par la suite ces deux paramètres occupent une place primordiale dans notre analyse.

Report vers le périphérique...

A l'aide de données fournies par l'Observatoire des Déplacements de la Mairie de Paris, nous avons pu constater la hausse de la circulation automobile sur le boulevard périphérique (en voy*km) entre 2003 et 2006, et ce pour les différents tronçons du boulevard. On remarque

que la fréquentation moyenne a plus augmenté sur la sous-section parallèle aux Maréchaux et au tramway que sur l'ensemble du périphérique : 3,9% et 4,2 % pour les périphériques extérieurs et intérieurs contre respectivement 1,2% et 1,7%. Les 8 kilomètres au sud du boulevard périphérique ont donc vu leur fréquentation quotidienne augmenter deux fois plus que celle de l'ensemble du boulevard. En corrigeant cette forte hausse sur la section parallèle aux Maréchaux par celle « moyenne » (qu'elle aurait du enregistrer), nous trouvons un écart conséquent de 50 000 voy*km par jour. Nous pensons qu'il s'agit là d'anciens utilisateurs des Maréchaux s'étant reportés sur le boulevard périphérique à la suite des gênes occasionnées par les travaux du T3. Ces 50 000 voy*km représentent pour notre analyse une première estimation du report viaire Maréchaux/périphérique (B'C). Le recul de la mobilité (CD) est alors de 15 000 voy*km.

Et recul de la mobilité...

Notre seconde estimation repose sur une étude de la droite de demande D et des élasticités prix-demande de l'utilisation des routes. Connaissant la variation du prix ($P' \cdot bPa = 0,102$), la quantité initiale (181.000) et le prix initial (0,63 €/voy*km à la vitesse moyenne de 20 km/h), nous pouvons déduire la variation des quantités CD à l'aide de l'inverse de l'élasticité⁴. Litman (2007) propose des élasticités prix-demande de l'utilisation des routes comprises entre -0,8 et -0,6. Ces élasticités ont été calculées pour des trajets entiers et ne sauraient convenir à l'étude des Maréchaux. Les boulevards constituent bien souvent une sous-partie d'un déplacement bien plus long, la demande sur cette section est par conséquent plus inélastique. Il conviendrait donc de prendre une élasticité inférieure en valeur absolue. Nous avons effectué des tests de sensibilité pour des élasticités comprises entre -0,4 et -0,2 et nous aboutissons à des résultats qui se modifient peu : avec ces valeurs, le recul de la mobilité varie entre 6.000 et

⁴ceci est rendu possible par le fait que l'élasticité prix-demande soit égale à la pente d'une droite de demande linéaire.

12.000 voy*km (et le report sur le périphérique entre 59.000 voy*km et 53.000 voy*km).

Nos deux estimations (empirique et théorique) aboutissent donc au même ordre de grandeur. Forts de ces chiffres nous allons considérer par la suite un recul de la mobilité (CD) de 10.000 voy*km et un report viaire Maréchaux/périphérique (B'C) de 55.000voy*km. Il serait fâcheux de constater une baisse de la mobilité supérieure et les tendances remarquées sur le périphérique n'ont pu que se prolonger avec le lancement du T3.

Nous pouvons désormais calculer la surface du triangle CDA', perte sèche des personnes dont la mobilité s'est réduite. Les principes égalitaristes de l'analyse coûts-bénéfices nous interdisent de surpondérer cette perte mais il est évident que face à un tel constat, la question peut se poser. Sans retenir une telle considération, nous trouvons une perte quotidienne de $(0,102*10.000/2)$ 510 € par jour. Ce chiffre est certes modeste au regard de ceux trouvés précédemment mais en considérant 300 jours dans l'année, la perte s'élève malgré tout à **0,15 M € par an**. Nous devons l'intégrer à notre analyse coûts-bénéfices. Surtout, le recul de la mobilité peut s'avérer bien plus préjudiciable que ne sauraient le refléter ces chiffres.

Retour au Surplus des automobilistes...

Avec les paramètres précédents nous trouvons maintenant une perte de surplus de $(0,102*181.000-(10.000*0,102)/2)$ 17 952 € par jour, c'est-à-dire de **5,38 M € par an**. Cette estimation fragile mais prudente ignore le fait qu'une partie, estimée à 20%, des véhicules sont des véhicules utilitaires, et que la valeur du temps des véhicules utilitaires est bien plus élevée que celle des voitures. Selon la très officielle Instruction-cadre du 25 mars 2004, la valeur du temps des véhicules de transports de marchandises est 31,4 € par heure (au lieu de 10,2 €/heure pour les voyageurs). Un calcul simple montre qu'il convient d'augmenter le chiffre calculé sur la base de la valeur du temps des voyageurs de 31,5% pour prendre en compte ce phénomène. Le véritable coût n'est donc pas 5,38 M € mais bien **7,08 M € par an**.

L'externalité de congestion du périphérique

Le périphérique parisien est une voie encombrée. Chaque véhicule supplémentaire ajouté au flux de véhicules ralentit ce flux et donc tous les véhicules qui circulent, causant ainsi un coût économique. Ce coût est un coût marginal de congestion. On a vu que l'une des conséquences du projet de tramway est d'augmenter le trafic du périphérique de 55.000 voyageurs*km par jour, c'est à dire de 42.300 véhicules*km par jour. Il suffit donc de multiplier le coût marginal sur le périphérique par 42.300 pour avoir l'externalité de congestion du périphérique.

L'estimation la plus utilisée provient d'INFRAS (2000). Elle a été souvent reprise par la Commission Européenne, et par des organismes français comme par exemple l'Institut Français de l'Environnement (2004, p. 94). Elle estime les coûts marginaux de congestion en ville à 2,70 €/véhicule*km en cas de trafic dense et 3,10 €/véhicule*km en cas de congestion. Le périphérique est au moins un cas de « trafic dense ». Si on applique cette estimation aux 42.300 véhicules*km supplémentaires, on obtient un coût externe du tramway de 114.210 €/jour, c'est-à-dire de 45,06 millions d'euros par an, particulièrement défavorable au projet.

Cette estimation, financée par l'Union Internationale des Chemins de Fer, est cependant peut-être un peu exagérée. Nous préférons nous appuyer sur nos propres calculs. Prud'homme et Sun (2000), travaillant sur environ 4000 données relatives à la vitesse, au flux et à la densité du trafic sur le périphérique, ont établi une relation qui donne la vitesse (v) en fonction de la densité (q). A l'aide des données périphériques dont nous disposons, nous avons pu recalculer cette relation pour la sous-section parallèle au tramway des Maréchaux et nous trouvons : $V=77,1-0,25*q$. Connaissant le coût monétaire au véhicule*km (0,12€) et la valeur du temps (10,2€), on en déduit le coût $I(q)$ en fonction de la densité : $I(q)=0,12+10,2/v$. Le coût marginal de congestion (CM) est égal à la dérivée de $I(q)$ multipliée par le nombre de véhicules affectés, c'est-à-dire par la densité :

$$CM = 2,55*q / (77,1-0,25*q)^2$$

Le coût marginal de congestion varie considérablement en fonction de la densité q et de la vitesse qui lui est associée, comme le montre les quelques exemples du tableau 3. Nos données nous permettent aussi de connaître la distribution du trafic sur le périphérique par plages de

vitesse ainsi que la répartition dans le temps des véhicules.

Tableau 3 - Coût marginal de congestion et report sur le périphérique, en fonction de la vitesse

Vitesse (km/h)	Densité (veh/km)	Distribution (%)	Report (veh*km)	Cm(q) (€/veh*km)
7,5	278	4,06	1717	12,693
17,5	238	6,36	2690	1,998
32,5	178	3,78	1599	0,435
52,5	98	4,6	1946	0,093

Source : Calculs des auteurs

En faisant l'hypothèse (très optimiste) que les 42.300 véh*km supplémentaires se répartissent aujourd'hui comme ceux qui fréquentaient normalement le boulevard périphérique hier, nous pouvons calculer le coût marginal de congestion pour chacune des classes de vitesse comprise entre 2,5 km/h et 75 km/h. L'externalité de congestion est alors d'environ 70.586 € par jour, soit 21,17 M € par an. Comme dans le cas de la perte de surplus des véhicules évincés des boulevards des Maréchaux, afin de prendre en compte le fait que 20% des véhicules considérés ici sont des véhicules utilitaires dont la valeur du temps est presque le triple de celle des automobilistes, il faut multiplier ce chiffre par le coefficient 1,315. Il faut aussi rapporter cette perte aux voy*km en utilisant le taux d'occupation d'un véhicule ; 1,3. On obtient alors un coût marginal de congestion de **36,19 € par an**. Bien qu'inférieure au coût trouvé avec une approche agrégée, la congestion du boulevard périphérique s'avère très coûteuse en temps pour la société (nous mènerons plus loin une étude de sensibilité pour tester l'influence du report viaire Maréchaux/périphérique sur le bilan final).

Le ralentissement des véhicules entrant dans Paris

Un certain nombre de radiales utilisées par les automobilistes de banlieue (ou de Paris) pour entrer dans Paris et pour en sortir sont perpendiculaires aux boulevards des Maréchaux, et donc à la ligne de tramway. Ces intersections sont réglées par des feux de signalisation. A la différence des autobus Petite Ceinture qu'il remplace, le tramway jouit d'une priorité à ces feux de signalisation. Cette priorité a pour effet de ralentir un certain nombre des véhicules entrant dans ou sortant de Paris.

On en connaît à peu près le nombre. Selon l'EGT 2001, le nombre des voyageurs en voiture Paris <-> banlieue s'élève en 2001 à 1,63 millions par jour. La ligne de tramway faisant à peu près le quart de la circonférence,

on peut estimer que le quart de ces voyageurs, soit 407.000 par jour, est concerné.

On connaît moins bien le délai moyen imposé par le tramway à ces voyageurs. Estimons-le à 20 secondes (=1/180 d'heure). Comme la fréquence du tramway est de 3,5 minutes, soit 210 secondes, on peut dire que la probabilité d'être ainsi arrêté est d'environ 1/10. Mais il nous faut aussi doubler ce chiffre si on veut tenir compte du fait que le tramway circule dans les deux sens. Le ralentissement concernerait donc 81.400 voyageurs par jour, sans compter les véhicules utilitaires. Avec les paramètres habituels, on calcule que la perte ainsi entraînée est de **1,83 M € par an**⁵.

L'externalité de décongestion du métro

Le tramway a entraîné un transfert intra-modal de 96.000 voyageurs*km du métro vers le tramway. Il a pu diminuer la congestion dans le métro, ce qui constituerait un gain du projet. Ce gain est malheureusement très difficile à estimer. Alors qu'il existe des centaines de milliers d'études sur la congestion automobile, il n'existe pratiquement rien (rien de publié du moins) sur la congestion dans les transports en commun qui entraîne une perte de confort en tout point comparable à la perte de temps entraînée par la congestion des routes. Les travaux d'Armelius (2006) et de Litman (2007) sont de rares exceptions. On ne dispose donc pas de fonction représentant le coût de la congestion dans les transports publics en fonction de leur utilisation. D'autre part, le rapport de ce transfert au total des voyageurs*km du métro (0,4%) ou au total des places offertes (0,1%) n'est pas très significatif, puisque ce transfert est concentré sur une petite partie du réseau, dont on ne sait pas si elle était congestionnée ou non.

On tentera cependant –sans nourrir trop d'illusion sur la solidité du résultat– une estimation en s'appuyant sur Litman (2007, p. 11), qui propose une élasticité du coût en temps par rapport à la fréquentation égale à 0,4 (lorsque la fréquentation augmente de 10%, le confort, mesuré en coût en temps, diminue de 4%). La diminution de 0,4% de la fréquentation du métro engendre une augmentation de confort égale à 0,16% de la valeur du temps passé dans le métro. Sachant que le temps passé dans le métro est d'environ 280 M d'heures par an, la diminution de 0,4% de la fréquentation du métro engendre ainsi une augmentation de confort égale à la valeur de

⁵ Nous avons ici aussi multiplié la perte par 1,315.

0,448 M d'heures, c'est-à-dire (à 10,2 €/h) égale à **4,57 M € par an**. Comme on l'a dit, ce chiffre est à prendre avec précaution. Mais il n'est pas implausible. Il est légèrement inférieur aux gains de temps des usagers du tramway.

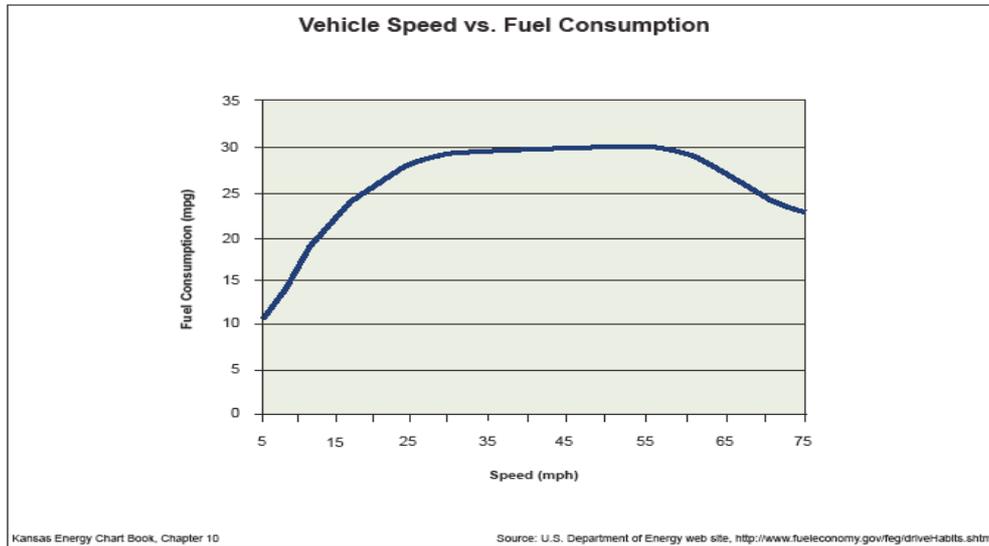
L'impact sur les rejets de CO2

Le projet a cinq impacts sur les rejets de CO2. Trois sont positifs, et proviennent du remplacement des autobus par le tramway, du (très modeste) transfert modal et du recul de la mobilité qui économise de fait du CO2. Les deux autres sont négatifs et proviennent des allongements de parcours et des réductions de vitesse des véhicules automobiles qui continuent de rouler. Il faut essayer de les mesurer. Auparavant, il faut s'interroger sur le lien entre vitesse et rejets de CO2.

On sait que la consommation de carburant au km est une fonction de la vitesse. Elle est infinie lorsque la vitesse est nulle. Elle diminue régulièrement lorsque la vitesse augmente, jusqu'à 40-50 km/h. Elle stagne ensuite entre 40-50 km/h et 90-100 km/h, puis augmente avec la vitesse au delà de 90-100 km/h. Le graphique ci-après, qui provient du site du ministère de l'Energie des Etats-Unis, le montre clairement.

Ce graphique permet de calculer, aux vitesses urbaines, l'élasticité de la consommation de carburant à la vitesse. Elle est de -2,1. Lorsque la vitesse diminue de 10%, la consommation augmente de 21%. Les rejets de CO2 sont évidemment directement proportionnels à la consommation de carburant. Ce résultat intermédiaire va nous être utile pour apprécier certains des impacts du projet de tramway sur les rejets de CO2.

Figure 1 - Consommation de carburant en fonction de la vitesse



Source : www.fueleconomy.gov/feg/drive-Habits.shtml

Note : la consommation est mesurée en miles par gallon, c'est à dire en km par litre, ce qui explique la forme inversée par rapport à un graphique en litres par km. Nous avons vainement cherché un graphique de ce type sur les sites des institutions françaises comme l'ADEME, le ministère des Finances (énergie), ou l'Institut Français du Pétrole

Remplacement des autobus – La fréquence du bus supprimé était à l'heure de pointe de 17 bus par heure. En comptant (généreusement) 18 heures de pointe, on avait 306 bus par jour, qui parcouraient $(306 \cdot 7,9 \text{ km}) = 2.417 \text{ bus} \cdot \text{km}$ par jour. Selon les *Statistiques annuelles* de la RATP (p. 32), les bus consomment 0,567 litres de gazole par bus*km. Les bus de la portion de ligne supprimée consommaient donc 1.366 litres de gazole, et rejetaient $(1.366 \cdot 2,6 \text{ kg/litre}) = 3,55$ tonnes de CO₂ par jour, soit 1.065 tonnes par an. Le tramway, qui fonctionne à l'électricité (nucléaire : il en irait bien autrement en Italie ou en Allemagne) économise donc ces rejets de CO₂.

Transfert modal – 7.000 voyageurs*km en moins font 5.380 véhicules*km en moins par jour. En postulant une consommation de 0,12 litres de gazole par km (le chiffre est assez élevé parce qu'il concerne aussi des véhicules industriels), ces véhicules consommaient 646 litres de gazole par jour, et rejetaient 1,68 tonnes de CO₂ par jour, soit 503 tonnes par an. Le tramway, qui a attiré les

utilisateurs de ces véhicules, entraîne donc une économie de rejets de CO2 de ce montant.

Réduction de vitesse des véhicules restant – Le nombre des véhicules qui continuent d'utiliser les boulevards des Maréchaux sur l'axe Ivry-Garigliano a diminué de 36%, mais il s'élève encore à 89.500 véhicules*km par jour. Comme on l'a vu, cette diminution provient d'une augmentation du coût en temps de l'utilisation de ces boulevards, c'est-à-dire d'une diminution de la vitesse (bornée par le coût du détour par le périphérique). On a estimé précédemment ce coût à 2,4 minutes. Avec une vitesse de 20 km/h, cette augmentation correspond à une réduction de la vitesse à 16,7 km/h, c'est-à-dire à une variation d'environ -17%.

Les rejets annuels de CO2 de ces véhicules sont obtenus en multipliant le nombre de véhicules*km par la consommation unitaire (0,12 litres) puis par les rejets par litre (2,6 kg de CO2 par litre de gazole) puis par le nombre de jours par an (300 jours). Ils s'élèvent à 8.377 tonnes de CO2 par an. La diminution de vitesse des véhicules de 17% les augmente de $(17\% \times 2,1 =)$ 35,7%, c'est-à-dire de 2.991 tonnes par an.

Recul de la mobilité – Les personnes qui subissent un recul de la mobilité stoppent leur activité transport et ne consomment désormais plus d'essence. Cette économie quotidienne s'élève à 10.000 voy*km, soit 7.692 veh*km. En reprenant les paramètres précédents, nous trouvons donc un gain annuel en CO2 de 720 tonnes.

Allongement des trajets des véhicules transférés sur le périphérique – Les véhicules transférés des boulevards des Maréchaux au boulevard périphérique font maintenant au moins 800 mètres de plus qu'auparavant. Certains font certainement bien plus. Ils consomment davantage de carburant et rejettent davantage de CO2. Ils concernent 42.300 véhicules*km par jour. En supposant des parcours moyens de 4 km, cela fait 10.575 déplacements de 0,8 km de plus, soit 8.460 véhicules*km de plus. En multipliant par 0,12 litres de gazole au km, par 2,6 kg de CO2 par litre de gazole, et par 300 jours par an, on obtient une augmentation des rejets de CO2 de 792 tonnes par an.

Vitesse réduite sur le périphérique – L'impact du projet de tramway sur les émissions de CO2 provient du ralentissement de la vitesse sur le périphérique engendrée par le transfert intra-modal de 42.300 véhicules*km par jour. Ces véhicules supplémentaires ralentissent en effet le flux de tous les véhicules utilisant le périphérique,

augmentant ainsi leurs rejets (toutes choses égales par ailleurs). Le phénomène est tout simplement le versant rejets de CO₂ de l'externalité de congestion étudiée précédemment. On peut calculer cette conséquence avec une assez bonne précision (pour chaque classe de vitesse).

La méthode consiste à transformer le flux quotidien supplémentaire (que nous connaissons grâce à la distribution des véhicules selon leur vitesse) en flux par heure, puis le flux par heure en densité supplémentaire (véhicules par km). Nous mesurons ensuite l'impact de cette addition de densité sur la vitesse au moyen de la relation vitesse-densité déjà utilisée ($v=77,1-0,25*q$). Le résultat dépend beaucoup de la vitesse. On a donc, comme pour le calcul de l'externalité de congestion, différencié notre raisonnement selon les classes de vitesse. Pour chacune des vitesses, on calcule le trafic, les rejets de CO₂, l'impact de l'augmentation de densité due au report intra-modal sur la vitesse, et sur l'augmentation des rejets de CO₂⁶. Ces calculs assez fastidieux sont présentés dans l'Annexe A. Refaisons les juste pour la classe de vitesse 0-5 km/h. Nous savons que cette classe va quotidiennement accueillir 203 nouveaux veh*km (0,48 % de 42.300). En divisant ce flux quotidien par le nombre d'heures utiles (16) et le nombre de kilomètres du tronçon (7,9), nous trouvons le flux horaire supplémentaire à la vitesse de 2,5 km/h. Ce flux correspond à une hausse de la densité de 0,64 veh/km (on divise le flux supplémentaire par la vitesse). A l'aide de la relation vitesse-densité ($77,1-0,25*q$), nous trouvons une nouvelle vitesse de 2,3 km/h, soit une baisse de la vitesse moyenne de 6,4%. En utilisant l'élasticité de -2,1, nous déduisons donc une hausse des émissions de CO₂ de 13,5%. Pour la classe de vitesse 0-5 km/h, cette augmentation des rejets de CO₂ s'élève à 600 tonnes. En refaisant les calculs pour toutes les classes de vitesse inférieures à 50 km/h, nous trouvons une hausse des émissions de CO₂ de 6.140 tonnes. Ralentir la vitesse sur une voie aussi chargée que le périphérique a un coût élevé en termes de rejets de CO₂.

Le tableau 4 reprend ces différents impacts du tramway sur les rejets de CO₂. Au total, et toutes choses égales par ailleurs, le tramway contribue à augmenter les rejets de CO₂ de près de 7.140 tonnes par an. Si on valorise le CO₂ à 25 € la tonne, comme le prescrit l'Instruction-cadre officielle, on obtient au titre de l'effet de serre un coût de 178.500 €, soit **0,18 M € par an**.

Tableau 4 – Impacts du tramway sur les rejets de CO2

	(en tonnes de CO2 par an)		
	Avant	Après	Variation
Suppression des autobus	1.065	Zéro	-1.065
Transfert modal	502	Zéro	-502
Diminution vitesse véhicules restant	8.377	11.368	+2.991
Recul de la mobilité	720	Zéro	+720
Allongement trajets	Zéro	792	+792
Diminution vitesse périphérique	293.630	299.760	+6.140
Total			+7.140

Source : calculs des auteurs (voir explications du texte)

Coûts d'investissement et d'exploitation

Les informations publiées sur les coûts purement monétaires associés au projet sont bizarrement assez rares. On dispose seulement des coûts *ex ante* prévus dans la Déclaration d'Utilité Publique : **341,8 M €** pour l'investissement, 43,9 M € pour le fonctionnement.

Pour le fonctionnement, seule nous intéresse la différence entre le coût des autobus et celui du tramway. Le coût de fonctionnement des autobus n'est pas publié. Les *Statistiques Annuelles* de la RATP donnent bien un coût de fonctionnement moyen par voyage, qui est de 1,07 € par voyage. L'autobus supprimé assurait 55.000 voyages par jour, ce qui suggérerait un coût de fonctionnement de la ligne de 17,78 M € par an. Si l'on suivait ce calcul, le coût de fonctionnement du tramway serait 2,4 fois plus élevé que celui du bus qu'il remplace, et le surcoût annuel de 26 M €. Il faut cependant être prudent, car le coût de fonctionnement des autobus est certainement bien plus élevé que celui du métro, en sorte que le coût moyen sous-estime à coup sûr le coût de fonctionnement des autobus. On considérera provisoirement que le coût de fonctionnement du tramway est comparable au coût de fonctionnement du métro (en déplorant la rareté des informations disponibles sur ce sujet important, et en espérant que la publication de ce travail dénouera les langues et ouvrira les tiroirs).

Les paiements des usagers à l'exploitant ne sont guère affectés par l'introduction du tramway. La grande majorité des usagers payaient déjà la même somme auparavant. On a vu cependant que le tramway a attiré environ 3.850 nouveaux déplacements (en provenance de la voiture, du vélo ou des deux roues). S'ils payaient tous le tarif général de 1,09 €/voyage, cela augmenterait les recettes de la RATP de 1,26 M € par an. En réalité, beaucoup d'entre eux bénéficient sans doute de cartes d'abonnement et prennent le tramway à un prix marginal

nul. On retiendra généreusement une recette supplémentaire induite par le tramway égale au deux-tiers de ces 1,26 M €, soit **0,84 M €**.

Evaluation économique du tramway

Le tableau 5 présente les différents éléments de notre évaluation économique. Ils concernent les changements introduits par le projet, relativement à une situation de référence qui était la situation *ex ante* avec la ligne d'autobus PC et la situation de voirie antérieure. Certaines des estimations présentées sont plus fragiles que les autres. Trois en particulier sont très fragiles : l'estimation du gain de confort des usagers des transports en commun, l'estimation du gain de décongestion dans le métro, et la perte de temps des utilisateurs des véhicules entrant dans/sortant de Paris. Dans ces cas, l'état de la théorie économique et/ou les données disponibles ne permettent pas de produire des chiffres bien solides. On aurait pu ne pas donner ceux que l'on a essayé d'estimer. Mais il a semblé qu'une mauvaise estimation valait mieux que pas d'estimation du tout, s'agissant d'impacts dont la réalité n'est pas douteuse et qu'il est de toute façon important de présenter et d'analyser.

Tableau 5 – Coûts et Bénéfices associés au tramway

	Avant (M euros)	Après
<i>Investissement</i>	-341,8	
<i>S opérateur</i>		+ 0,84
<i>Fonctionnement</i>		Nd
S TC dont :		
<i>Gains temps</i>		+4,47
<i>Gains confort</i>		+4,47
<i>Gains décongestion</i>		+4,57
S VP dont :		
<i>Perte de temps</i>		-7,08
<i>Recul de la mobilité</i>		-0,15
<i>Radiales</i>		-1,83
Externalité dont :		
<i>Congestion</i>		-36,19
<i>CO2</i>		-0,18
Bilan	-341,8	- 31,08

Source :Calculs des auteurs

Du point de vue socio-économique, le projet du tramway apparaît déplorable. Non seulement il a représenté un investissement important, mais il coûte chaque année

plus qu'il ne rapporte. On ne peut pas calculer un taux de rentabilité interne sociale du projet, puisqu'il n'existe aucun taux d'actualisation qui égaliserait la somme des flux actualisés. Redisons pour les non-spécialistes qu'il ne s'agit pas ici de flux financiers, mais bien de ressources sociales et environnementales. La VAN (valeur actualisée nette) du projet, avec le taux officiel de 4%, sur 30 ans, s'établit à **-879 M €**. C'est une mesure de la perte de ressources entraînée par le projet.

Conclusion

Le tramway ouvert sur les boulevards des Maréchaux en 2007 est un succès apparent. Il a capté la clientèle des usagers de l'autobus qu'il remplace, ainsi qu'une partie des usagers du métro. Ces usagers bénéficient du projet : ils se déplacent plus rapidement qu'avant, dans des conditions de confort plus grandes, et en prime la congestion du métro a diminué améliorant la situation d'un nombre bien plus grand d'usagers du métro. Ces bénéfices peuvent se mesurer ou s'estimer (difficilement il est vrai en ce qui concerne les deux derniers). Ils représentent, selon nos estimations, environ 15 millions d'euros par an.

En dépit de l'amélioration qu'il représente par rapport à la situation antérieure, le tramway n'a pratiquement pas entraîné de report modal. Seulement 2 ou 3% des usagers du tramway sont d'anciens usagers de la voiture. Cette expérience grandeur nature montre une fois de plus les limites des « politiques de report modal ».

Cependant, le tramway a été accompagné d'un important rétrécissement de l'espace viaire des boulevards des Maréchaux. La question de savoir si ce rétrécissement était nécessairement entraîné par l'implantation du tramway peut être posée. Toujours est-il qu'il a eu lieu, qu'il est présenté comme faisant partie du même ensemble, et qu'il est traité ici comme tel. Ce rétrécissement a augmenté la congestion automobile sur les boulevards des Maréchaux, et réduit d'environ 40% la circulation sur ces boulevards. Les automobilistes évincés n'ont pas, on l'a vu, abandonné leur voiture pour le tramway. Où sont-ils donc passés ? Ils se sont reportés sur les voies parallèles aux boulevards des Maréchaux, et principalement sur le boulevard périphérique. C'est ici que le bât blesse. Ce faisant, ils ont utilisé des itinéraires plus longs, et perdu du temps par rapport à la situation antérieure. Les automobilistes qui sont restés sur les boulevards des Maréchaux ont également perdu du temps, à peu près autant de temps que les autres (sinon ceux qui font des détours reviendraient sur ces boulevards). On a

estimé à plus de 7 millions d'euros la perte ainsi subie par ceux qui utilisaient voiture et véhicules utilitaires sur les boulevards des Maréchaux avant le projet de tramway, à quoi s'ajoute une perte apparemment peu élevée pour ceux qui rentrent dans Paris et qui sont retardés par la priorité donnée au tramway.

Mais le plus grave n'est pas là. Il est dans le fait que ces changements d'itinéraires ont augmenté la congestion sur le périphérique. Un véhicule de plus sur le périphérique ralentit tous les véhicules qui y circulent : il engendre un coût marginal de congestion. On a écarté les évaluations généralement présentées des coûts marginaux de congestion qui feraient apparaître des coûts extrêmement élevés. On s'est appuyé sur les données précises dont on dispose sur la circulation du périphérique pour estimer des coûts marginaux de congestion. Ils font apparaître une externalité de congestion de plus de 30 millions d'euros par an.

Le bilan est également, et pour les mêmes raisons, très négatif en termes environnementaux, et particulièrement de rejets de CO₂ —contrairement aux objectifs visés. Certes, le remplacement des autobus par le tramway engendre une réduction de CO₂, que l'on mesure. Le minuscule report modal également. Mais les allongements des parcours et les réductions de vitesses des véhicules qui utilisaient auparavant les boulevards des Maréchaux, engendrent au contraire des augmentations de rejets de CO₂, que l'on mesure également. On sait en effet qu'aux vitesses urbaines, une réduction de 10% de la vitesse, entraîne une augmentation d'environ 20% de la consommation de carburant, et donc une augmentation équivalente des rejets de CO₂. Mais l'impact le plus important a lieu là aussi sur le périphérique. En ralentissant tous les véhicules qui y circulent, et en augmentant leurs rejets de CO₂, les anciens utilisateurs des boulevards des Maréchaux qui se reportent sur le périphérique sont la cause d'augmentations très importantes des rejets de CO₂. Au total, le projet engendre une augmentation des rejets de plus de 7.000 tonnes de CO₂ par an.

Nous ne pouvons donc que constater le rôle central joué par le report viaire Maréchaux/périphérique dans notre analyse. C'est en effet l'ampleur de ce report qui explique d'aussi grandes pertes en termes de congestion ou d'émissions de CO₂. Nous avons donc cherché à savoir dans quelle mesure ces résultats étaient modifiés par l'importance de ce report et nous avons mené pour cela une étude de sensibilité. Le tableau 6 présente les différentes variations associées à des reports 10%

supérieurs ou inférieurs (respectivement 60.000 voy*km et 50.000 voy*km vers le boulevard périphérique) :

Tableau 6 – Tests de sensibilité

	+10% (60.000/5.000)	-10%% (50.000/15.000)
Recul de la mobilité	-0,08 M €	-0,23 M €
Surplus automobilistes	-7,18 M €	-6,98 M €
Congestion	-39,43 M €	-32,93 M €
Emissions CO2	+7219 tonnes	+6331 tonnes
Solde annuel	-34,35 M €	-27,78 M €
VAN	-935 M €	-822 M €

Nous remarquons que l'ampleur du report viaire Maréchaux/périphérique ne change pas fondamentalement nos conclusions : ce report reste dans tous les cas extrêmement coûteux et explique en grande partie le bilan déficitaire du T3.

Au total, le projet tramway-rétrécissement des voies n'apparaît pas mériter le concert de louanges avec lequel il a été accueilli. Il a coûté cher. Les coûts qu'il entraîne sont plus importants que les gains qu'il procure, en particulier en ce qui concerne la lutte contre l'effet de serre.

En termes d'économie politique cependant, le projet est probablement intéressant pour la municipalité de Paris. Les principaux bénéficiaires sont les usagers du tramway, qui sont majoritairement des Parisiens, c'est-à-dire des électeurs. Les coûts sont pour les automobilistes, qui sont principalement des banlieusards, qui ne votent pas à Paris. Le coût de l'investissement n'a été payé par la municipalité de Paris qu'à hauteur d'environ 15%, et de toutes façons les impôts de Paris sont principalement payés par des entreprises et

relativement invisibles et indolores pour les électeurs. Le bilan environnemental est négatif, mais il n'est guère visible, et il est facile de persuader les électeurs qu'il est positif : les voitures en moins sur les boulevards des Maréchaux se remarquent davantage que les voitures en plus sur le boulevard périphérique. Il n'est donc pas très surprenant que le projet ait eu, et garde, la faveur d'à peu près tous les élus de Paris. L'idée de prolonger le tramway sur le reste des boulevards des Maréchaux soulève assez peu d'opposition.

Sur beaucoup de points, cette recherche est incertaine et incomplète. Elle a souligné les lacunes théoriques et factuelles qui permettraient de progresser, et le cas échéant de corriger nos estimations.

Références

Armelius, Hanna & Lars Hultzenkrantz. 2006. « The politico-economic link between public transport and road pricing : An ex-ante study of the Stockholm road-pricing trial ». *Transport Policy*, vol 13, pp. 162-172

Goodwin P.B, 1992. "A review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects on Price Changes". *Journal of Transport Economics and Policy*, vol 26, n°2, pp. 155-169.

Institut Français de l'Environnement. 2004. *Les Coûts environnementaux de l'automobile*. 196p (Notes de méthode n° 14)

INFRAS-Zurich & IWW-Karlsruhe. 2000. *External Costs of Transport : Accident, Environmental and congestion Costs of Transport in Western Europe*. 140p.

Litman, Todd. 2006. "Transportation Elasticities : How Prices and others Factors affect Travel Behavior". Victoria Transport Policy Institute.

Litman, Todd. 2007. *Valuing Transit Service Quality Improvements*. Victoria Transport Policy Institute. 34p.(www.vtppi.org/traveltime.pdf)

Prud'homme, Rémy & Yue Ming Sun. 2000. « Le coût économique de la congestion du périphérique parisien : une

approche désagrégée ». *Les Cahiers Scientifiques du Transport*. N° 37, pp. 59-73

Prud'homme, Rémy & Pierre Kopp. 2007. « Le péage de Stockholm : évaluation et enseignements ». *Transports*. N° 443 (Mai-juin 2007), pp. 175-189
