LE PEAGE DE STOCKHOLM : EVALUATION ET ENSEIGNEMENTS[2]

Pierre Kopp[1] et Rémy Prud'homme

I — INTRODUCTION 2

II — LES CONSEQUENCES DU PEAGE 5
1. La circulation à Stockholm 5
2. Les conséquences de l'implantation du péage 7
3. Économie politique du vote 8

III — LES GAINS 9
1. Les gains de décongestion routière 10
2. Les gains environnementaux 14

IV — LES COÛTS 17
1. Les coûts de mise en œuvre 17
2. Les coûts induits pour le système de transport public 20

V — IMPACT POUR LES FINANCES PUBLIQUES 26

VI — ANALYSE COUT-BENEFICE 27

VII — CONCLUSION 34

REFERENCES 37

[1] Respectivement professeur à l'Université de Paris I (Panthéon-Sorbonne) et professeur émérite, à l'Université Paris XII

[2] Cette recherche a été rendue possible par une subvention accordée par le fond de recherche du ministère français des transports (PREDIT). Nous avons aussi bénéficié d'une assistance technique de l'institut suédois pour l'analyse du transport et de la télécommunication (SIKA). Les auteurs remercient ces deux entités pour leur aide. Ils souhaitent particulièrement remercier Richard Wall, de SIKA, et Mats Tjernkvist, de Vagverket Konsult, pour leur aide. Évidemment, notre analyse et nos conclusions n'engagent pas PREDIT ou SIKA.

Résumé — Le péage de Stockholm engendre, comme prévu par la théorie, une réduction du trafic, une augmentation de la vitesse et des gains de temps pour ceux qui continuent d'utiliser leur automobile. Ces gains (+19 M€) par an sont faibles, bien moindres que ceux observés à Londres, car la congestion était peu importante, et la ramener à son niveau optimal, ce que fait le péage, n'engendre pas de gains très élevés. Le péage entraîne aussi une perte pour les automobilistes qui doivent abandonner ce moyen de transport (-6 M€) par an. Le péage permet également de réaliser des gains environnementaux de (+11 M€) par an. Du côté des coûts, le coût d'implémentation est une charge importante, moins de la moitié de celle recensée à Londres, mais toutefois proche de (-56 M€) par an. Le péage provoque ne augmentation de la congestion des transports publics (-18 M€) par an malgré une augmentation de l'offre de bus -61 M€ par an. In fine, les coûts du péage de Stockholm s'avèrent plus importants que les bénéfices d'où une importante leçon. Trois conditions sont requises pour qu'un péage urbain soit un succès : une fore congestion, un coût d'implémentation du système raisonnable, une faible congestion des transports publics.

Abstract — The Stockholm toll causes, as predicted by theory, a reduction in traffic, leading to increased speeds, and to time gains for remaining car-users. These gains, calculated to be about (+19 M€) per year, appear to be modest, much lower than similar gains estimated in London, because congestion was moderate and reducing it to its optimal level, which is what the toll achieves, does not represent massive time gains. The toll also causes a loss for evicted car-users, for about (-6 M €) per year. It also produces environmental benefits, for an estimated (+11 M€) per year. A major cost is the implementation cost, less than half the cost experienced in London, but nevertheless high at about (-56 M€) per year. Finally, the toll led to an increase in public transport congestion tentatively estimated to be above (-18 M€) per year, in spite of a very costly (-61 M€, per year) increase in bus supply that may or may not be counted in an evaluation of the scheme. For an urban toll to produce net benefits, it seems that three conditions are required: a relatively high degree of road congestion, a reasonably cheap implementation system, and a relatively low level of public transport congestion.

I — INTRODUCTION

En janvier 2006, la municipalité de Stockholm a mis en place un péage pour entrer dans le centre ville. Le péage de Stockholm est un péage de cordon qui contrôle l'accès à la ville. Les 18 points de contrôle sont localisés à l'entrée et à la sortie de la ville de Stockholm. Le tarif est plus élevé durant les heures de pointe du matin et du soir[3]. Les voitures qui restent dans le centre ne payent pas le péage. Le montant du péage est acquitté soit par paiement direct dans différentes boutiques soit par Internet, les véhicules ne sont donc pas ralenti au passage de la barrière de péage.

La principale fonction de ce péage est de réduire la congestion sur les radiales menant au centre et de diminuer la congestion à l'intérieur du centre. Les considérations environnementales, au sens où on les présente généralement en France, ne venaient qu'au second plan. L'offre des transports publics (TP) a été augmentée afin de pouvoir accueillir d'éventuels nouveaux passagers, anciens utilisateurs de la route que le péage aurait découragé.

L'expérience de Stockholm vient après celle de Londres en 2003[4] (Prud'homme et Bocajero, 2004) qui s'est traduit par un véritable succès technique, puisque la circulation a diminué de 15%, et la vitesse, augmenté de 17%. En revanche, le bilan économique du péage londonien est négatif : les coûts sont supérieurs aux bénéfices de la réduction de la congestion et de l'amélioration de l'environnement. Durant la même période (2001-2006), Paris a engagé une politique très différente de Londres et Stockholm (Prud'homme et Kopp, 2005).

Les économistes spécialistes des transports sont très intéressés par cette expérience. Toutes les conditions sont donc réunies pour qu'une évaluation soit entreprise. Au-delà, la quantité d'informations recueillies font de Stockholm un véritable laboratoire pour l'économie des transports.

---

[3] Le coût du péage est compris entre 1 et 2 euros. Le montant maximum est prélevé durant les heures de pointe entre 7h30 et 8h30 puis entre 17h et 17h30. Le montant quotidien maximum susceptible d'être payé est 6 euros.

[4] Nous n'avons pas eu l'occasion d'étudier les péages d'Oslo ou de Singapour.

Cet article est une modeste contribution au processus d'évaluation en cours. Notre analyse est basée sur un modèle simple de congestion et de prix de congestion (Prud'homme 1999) déjà utilisé par les auteurs pour évaluer le péage de Londres (Prud'homme et Bocarejo, 2004) et qui a été modifié pour convenir au cas de Stockholm. Elle inclut deux contributions, l'une empirique l'autre théorique.

Les manuels d'économie publique ou d'économie des transports présentent généralement le problème de la correction de la congestion par un péage en faisant l'hypothèse que les coûts de mise en œuvre sont nuls. Une telle hypothèse est évidemment pratique pour exposer un modèle aux étudiants, mais a conduit de nombreux observateurs à postuler qu'il en était de même dans la réalité. La majorité des études, y compris des études appliquées, ignorent, en partie ou complètement, ces coûts. Ce qui peut se justifier pour simplifier l'exposé d'un problème devient une erreur conceptuelle grave, lorsqu'il s'agit de mener l'évaluation d'un projet. Nous montrons dans notre étude que les gains de réduction de la congestion automobile ne dépassent pas 23% du coût d'implémentation du péage ; de même près de 65% des recettes du péage viennent couvrir ce coût.

La seconde innovation, plus théorique, tient au mode de traitement des conséquences du report vers les transports en commun, d'anciens automobilistes évincés par le péage. Nous prenons acte de l'externalité constituée par la dégradation de la qualité des transports en commun soumis à un flot nouveau de clients ce qui nous conduit à la traiter comme un coût induit par le péage, piste peu explorée par la littérature internationale.

Le présent article propose une première évaluation économique du péage de Stockholm. Nos résultats sont comparés avec les résultats de Transek, un bureau d'étude suédois qui a travaillé pour la municipalité. Nous examinons successivement le contexte dans lequel le péage a été mis en œuvre (II), puis nous recensons les bénéfices engendrés (III) et les coûts (IV), puis l'impact sur les finances publiques (V). Nous établissons ensuite le solde des coûts et des bénéfices (VI) et discutons en conclusion les enseignements que l'on peut tirer du cas de Stockholm, en esquissant une comparaison avec les politiques menées à Londres et à Paris (VII).

II — LES CONSEQUENCES DU PEAGE

Premièrement, la création du péage affecte directement la circulation et suggère de vérifier rapidement si l'objectif de réduction de la congestion a été atteint. Deuxièmement, la mise en place du péage a engendré un certains nombre de conséquences économiques qu'il convient de hiérarchiser. Troisièmement, il faut examiner la réaction des habitants de la région telle qu'elle s'est exprimée lors du vote du 21 septembre 2006. Ceci fait, nous pourrons commencer l'analyse coût-bénéfices proprement dite.

1. La circulation à Stockholm

Les flux de transports, tels qu'on les observait en 2004, avant la mise en place du péage sont résumés par le tableau 1 (ci-dessous) qui présente les données pertinentes descriptives des caractéristiques des voyages effectués dans le comté de Stockholm (qui peut être pris comme une bonne approximation de l'agglomération de Stockholm).

Tableau 1 — La circulation à Stockholm, 2004

	Véhicule privé	Transport public
Trajets dans le comté de Stockholm (par jour)		
Nombre (milliers)	2.095	1.325
Volume (milliers pass*km)	28.300	17.960
Longueur moyenne (km)	13,5	13,6
Temps moyen (minutes)	22	40
vitesse moyenne (km/h)	36,8	20,4
Trajets périphérie <—> centre (par jour)		
Nombre (milliers)	305	546
Volume (milliers pass*km)	5,289	8,422
Longueur moyenne (km)	17.2	15.4
Temps moyen (minutes)	31	44
Vitesse moyenne (km/h)	33,8	21,2
Trajets Centre <—> centre (par jour)		
Nombre (milliers)	77	195
Volume (milliers pass*km)	288	758
Longueur moyenne (km)	3,7	3,8
Temps moyen (min)	16	24
Vitesse moyenne (km/h)	13,9	9,5

Source: *Stockholm Transport Survey 2004*, Tables 4.4, 5.2, 5.3, 5.4
Notes: Les données présentées se réfèrent au nombre de trajets de personnes par jour, les jours de la semaine. Ces données n'incluent ni les trajets de Stockholm vers l'extérieur de la ville effectués par les résidents de Stockholm ni les trajets des véhicules de marchandises.

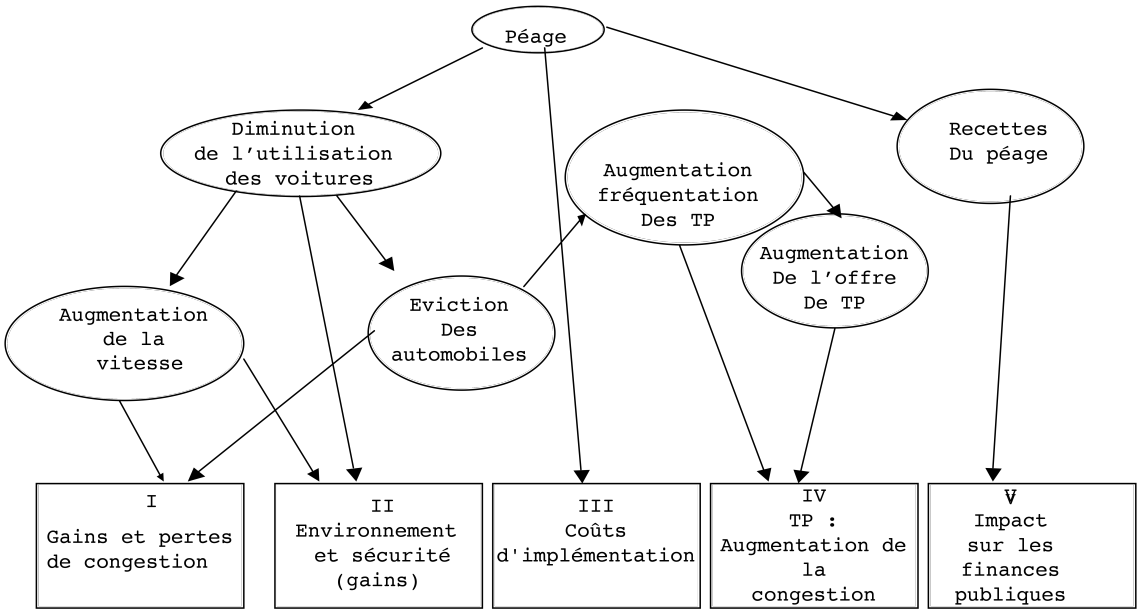
Trois points sont importants à noter. Premièrement, le tableau 1 montre que les personnes qui effectuaient leurs déplacements vers le centre en voiture et qui étaient potentiellement affectées par le péage (à ne pas confondre avec le nombre de déplacements de voitures) représentaient autour de 15% des déplacements de personnes dans l'agglomération et près de 10% des trajets motorisés dans l'agglomération. Deuxièmement, dans l'agglomération, la majorité des déplacements de personnes étaient effectués en voiture. Inversement, dans le centre ville, la majorité des déplacements était faite en transport public. Troisièmement, les trajets en voiture étaient, (en moyenne), plus rapides (60-80% plus rapides) que les trajets en transports publics, même dans les cas des trajets périphérie-centre et centre-centre, c'est-à-dire des trajets affectés par le péage. Les données descriptives de l'offre de transport ne sont pas exhaustives (elles ne tiennent pas compte des transports de marchandises ni des trajets effectués par des personnes n'habitant pas dans le comté de Stockholm) mais elles donnent néanmoins un bon aperçu de la situation.

Une autre source donne le nombre des véhicules qui entrent dans (et qui sortent de) la zone péagère, jour par jour et même quart d'heure par quart d'heure. On s'intéresse ici aux entrées/sorties aux seules heures péagères. Ce nombre passe de 410.000 en 2005, avant le péage, à 329.000 en 2006, après le péage. Une fraction de la diminution s'explique par des facteurs exogènes au péage, notamment par l'augmentation du prix de l'essence et le reste par le renchérissement du coût du déplacement. Les conséquences de l'instauration du péage sont nombreuses et complexe à ordonner.

2. Les conséquences de l'implantation du péage

Le graphique ci-dessous hiérarchise les effets attendus de l'implantation d'un péage.

Graphique 1. Conséquences de la mise en place d'un péage



Outre les conséquences bien connues d'un péage comme la diminution du coût de la congestion automobile et le coût de mise en œuvre (injustement sous-estimé) il convient de prendre en compte des effets plus inattendus. Premièrement, la variation du nombre de voitures qui circulent et le changement de leur vitesse affectent, d'une

part, le nombre d'accidents et, d'autre part, le niveau de pollution. Deuxièmement, dès lors qu'une fraction des anciens usagers de la route se reporte vers les transports en commun, l'autorité en charge à le choix entre augmenter l'offre de moyens de transport ou accepter que la qualité du service se dégrade. Dans les deux cas et dans n'importe quelle combinaison des deux, cela se traduit par une augmentation du coût. Enfin, substituer à des impôts classiques des recettes de péage, non distorsives, vient diminuer le coût marginal des fonds publics, qui vient diminuer le coût social ; effet rarement mis en exergue.

3. Économie politique du vote

Un référendum organisé en septembre 2006 (en même temps que les élections nationales, régionales et municipales) a fait apparaître par une majorité favorable à la poursuite de l'expérience du péage. Il convient toutefois d'y regarder d'un peu plus près. Premièrement, la question posée n'était pas de savoir si le péage était une bonne ou une mauvaise chose, mais de savoir s'il devait être maintenu. Deuxièmement, il était indiqué que l'offre supplémentaire de bus mis en service en 2005, juste avant le péage, serait supprimée en cas de victoire du non, ce qui ressemble à une forme de chantage. Troisièmement, les électeurs de Stockholm étaient appelés à comparer les bénéfices du péage —dont ils bénéficient— et les coûts —qui sont pris en charge essentiellement par les Suédois dans leur ensemble.

Tableau 2 — Résultats du référendum, comté de Stockholm, 2006

	oui	non	Total	% oui
Municipalité de Stockholm	239 000	212 000	451 000	53,0
14 autres municipalités	128 000	194 000	322 000	39,8
Sous-total	367 000	406 000	773 000	47,5
Autres municipalités du comté[a]	128 000	134 000	262 000	48,9
Total	495 000	540 000	1 035 000	47,8

Note : [a]Estimé par une analyse économétrique où le oui dans une municipalité i est une fonction des votes de gauche dans la municipalité i :

$$Oui_i = 3065 + 0.742\ Gauche_i \quad (R^2=0.75)$$

et le non dans la municipalité i une fonction des votes de droite

$$Non_i = -436 + 0.823\ Droite_i \quad (R^2=0.92)$$

Sources : http://val.cscs.se pour les résultats du référendum dans 14 municipalités, et www.scb.se pour les résultats des élections, avec gauche=s+v+mp et droite=c+fp+m+kd

Enfin, seuls les électeurs de la municipalité de Stockholm étaient consultés, bien qu'ils ne représentent qu'une minorité des usagers du péage. Quatorze autres municipalités dans le comté de Stockholm ont organisé des votes. En les prenant en compte, le vote est défavorable au péage. On pourrait dire que ces 14 municipalités représentent un échantillon biaisé des municipalités du comté. On a donc simulé le vote dans les 13 autres municipalités qui n'ont pas organisé de referendum. Le résultat total n'est pas modifié et reste largement négatif. Il y a donc beaucoup d'exagération journalistique à affirmer que le péage de Stockholm a été « validé » par le vote populaire.

Le travail de l'économiste ne se limite pas enregistrer les conséquences visibles et physiques du péage (la diminution de la circulation) mais à en interpréter la signification économique, en comparant les gains et les pertes, pour toutes les catégories d'acteurs concernés par le péage (automobiliste, ancien automobiliste, usager des transports publics, Etat, etc)

III — LES GAINS

Les gains (ou bénéfices) engendrés par le péage sont de deux ordres. Les premiers sont directement liés aux problèmes posés par la circulation et proviennent de la décongestion du centre ville et des radiales qui y conduisent. Les seconds sont indirects, et dus à l'amélioration de l'environnement.

1. Les gains de décongestion routière

Nous appliquons le modèle de péage de congestion au cas de Stockholm. Afin d'éviter d'alourdir inutilement le texte nous renvoyons le lecteur intéressé par la modélisation à un article précédent de la même revue (Prud'homme et Boccajero, 2005)[5]. La variable clé du modèle est l'utilisation de la voirie (q), définie comme le nombre de déplacements de la périphérie vers la zone péagère et de la zone péagère vers la périphérie. La modélisation repose sur la construction d'une courbe de demande D(q), qui indique la relation entre le coût unitaire d'un déplacement et le nombre de déplacement ; d'une courbe de coût individuel supporté par chaque automobiliste I(q) qui montre le coût unitaire, qui est principalement un coût en temps, en fonction du nombre de déplacements et reflète le phénomène de congestion ; et d'une courbe ce coût social S(q) qui est égale à I(q) augmenté du produit de la dérivée de I(q) par q.

Deux modifications sont introduites pour mieux rendre compte de la réalité de Stockholm. Tout d'abord, on considère qu'une partie de la réduction de trafic enregistrée s'explique par un déplacement de la courbe de demande, engendré notamment par la hausse des prix des carburants. On a donc une courbe $D_1(q)$ qui devient une courbe $D_2(q)$(graphique 2). Ensuite, on a décomposé chaque déplacement en deux parties : la partie qui s'effectue sur les radiales de la périphérie vers la zone péagère, et la partie qui s'effectue dans la zone péagère. Les vitesses, les niveaux de congestion, les conséquences du péage sont en effet bien différentes pour ces deux types de circulation. Techniquement, cela revient à décomposer I(q) en Ir(q) pour les radiales et Ic(q) pour le centre, avec I(q)=Ir(q)+Ic(q), et à faire la même chose pour S(q).

L'estimation du modèle consiste à calculer les courbes et les agrégats significatifs qui sont résumés dans le tableau ci-dessous.

---

[5] Le lecteur intéressé trouvera le détail des calculs sur le lien suivant http://www.pierrekopp.com/etudes.php.

Tableau 3- Valeurs et variations des paramètres pertinents

	2005	2006
q=Trajets depuis/vers le centre (en milliers)	410	329
Q=Trajets centre à centre (en milliers)	103	103
Q+q= Trajets dans le centre (en milliers)	513	432
Lc=Longueur des trajets dans le centre (km)	3,7	3,7
Lr=Longueur des trajets sur les radiales congestionnées	6,7	6,7
α_r =constante dans la relation vitesse/q sur les radiales	57,33	57,33
β_r =Coefficient dans la même relation	-0,0192	-0,0192
α_c =constante dans la relation vitesse/q dans le centre	43,51	43,51
β_c =Coefficient dans la même relation	-0,0402	-0,0402
tp=Valeur du temps des trajets personnels (€/h)		5,7
tb=Valeur du temps des trajets d'affaire (€/h)		31
t=Valeur moyenne du temps (€/h)		10,8
T=péage moyen par trajet (€/h)	-	1
w=taux d'occupation d'une voiture (personne/voiture)	1,25	1,25

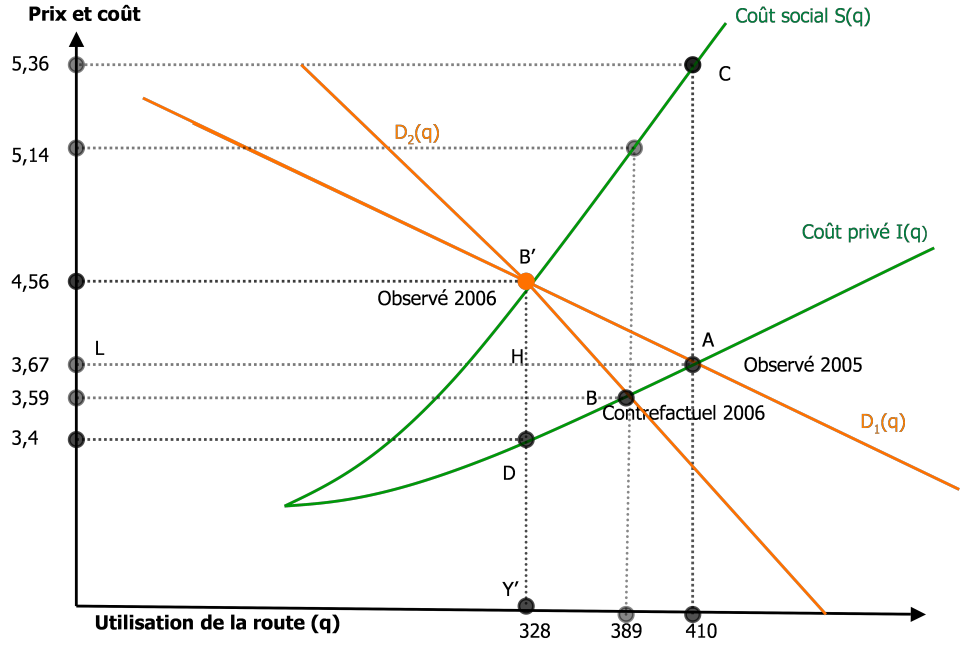
Le tableau 3 présente les résultats de notre analyse, et apporte quelques lumières sur l'anatomie de la réduction de la congestion dans le centre de Stockholm. Lorsque le nombre de trajets depuis/vers le centre diminue, la vitesse dans le centre et sur les radiales augmente. Une diminution de 16%, comme celle provoquée par le péage pendant la période du péage, augmente la vitesse de 4,5% sur les radiales et de 10,5% dans le centre. Cette augmentation de la vitesse réduit le coût lié à la perte de temps qui est supporté par les usagers restants. Simultanément, cela diminue les externalités dues à la congestion générée par l'usager marginal. Le coût social total (coût individuel plus les externalités) est alors réduit, bien que dans un pourcentage moindre.

Tableau 4 — Vitesse, Coûts, Demande, Gains de temps et perte de surplus pour différents niveaux de circulation sur le réseau routier

	2006 Observé	2005	2006 estim.	Optimal /D1	Optimal /D2
Circulation q (1000 déplacements/jour)	328	410	389,5	324	324
Vitesse (km/h)					
Vitesse sur les radiales S_r	51,05	49,48	49,9	51,1	51,1
Vitesse au centre S_c	26,2	22,9	23,8	26,3	26,3
Coût & utilité (€/déplacements)					
Coût Indiv. I	3,4	3,67	3,59	3,4	3,4
Coût Social S	4,56	5,36	5,14	45,2	45,2
Péage optimal T	-	-	-	1,13	1,13
Gains de temps & pertes de surplus (M €/an)					
Gains de temps (usagers restant)	26,15	-	19,12	21	15
Pertes de temps (ex-usagers)	-0,83	-	-5,93	-3,73	-5,5
Gains net	+17,9	-	13,20	9,2	11,65

Source : Calculs des auteurs. *Note* : Les gains de temps et les pertes de surplus comparent la situation effective à la situation initiale en 2005 ; 2006 (estim) la compare à un scénario contrefactuel (plus réaliste) prenant en compte la baisse exogène de circulation de 5% ; « optimal (D1) », compare la situation optimale en ignorant les facteurs exogènes à la situation initiale en 2005 ; « optimal D2 » compare la situation optimale (en prenant compte de la baisse due aux facteurs exogènes) avec le scénario contrefactuel.

Graphique 2 – Le péage de Stockholm



Le graphique 2 reprend de manière simplifiée les données du tableau 3. Le point A décrit la situation en 2005 avant la mise en place du péage, avec une circulation q=410. Le point B' reflète la situation de 2006, avec un péage et q=3208. Le montant du péage (1,13€) est représenté par le segment B'D.[6]

La reduction de la circulation de 16% a engendré des gains de temps pour les automobilistes non évincés par le péage, d'environ 19,12 M€ par an. Les automobilistes évincés souffrent d'une perte de 5,93 M€. Le gain net

[6] L'équation de $D_1(q)$, c'est-à-dire la droite passant par A et B' est :
$D_1(q)=70,19-0,0898*q$.
Posons comme hypothèse, comme nous l'avons fait dans le corps du texte que la courbe de demande, a pivoté vers le bas (autour de B') du fait des forces exogènes (comme l'augmentation du prix de l'essence de 5%). Cela implique que, en l'absence de péage, la situation en 2006 aurait été donnée par le point B, avec q=0,95*410=389,5. Du fait du péage, l 'équilibre s'est déplacé en B', avec q=328. D2(q) passe par B' et B et indique la véritable droite de demande qui doit être utilisée pour l'analyse, avec :
$D_2(q)=83,36-0,13*q$

associé au péage est de 13,20 M€. C'est ce chiffre qui doit être utilisé lors de l'évaluation du péage.

Si l'on ignore le déclin exogène de la demande et qu'on attribue toute la baisse de la circulation au péage, les gains et les pertes sont accrus de manière significative, de 40%. Ceci veut dire que la baisse engendrée de manière exogène a eu un effet très important sur les coûts de la congestion du fait de la relation non linéaire entre les coûts et la circulation.

Dans les deux cas, le niveau du péage est presque approprié car il ramène la circulation à un niveau proche du niveau optimal. Le niveau du péage est légèrement supérieur à ce qu'il devrait être. Les gains de temps ne pourraient toutefois pas être significativement améliorés par la baisse du péage jusqu'à ce niveau optimal.

2. Les gains environnementaux

Moins de trafic signifie moins d'émissions de CO2, moins d'émissions de polluants et peut-être moins d'accidents. Toutes ces réductions engendrent des gains de bien-être.

CO2

Les gains associés à la réduction des émissions de CO2 sont assez faciles à estimer. Le péage élimine 60.000 trajets (effectués en voiture) de 17,2km de longueur moyenne (voir le tableau 1) entre la périphérie et le centre. Cela évite 1,03 millions de voitures*km par jour. Ce résultat surévalue sérieusement la réalité car il suppose que le péage n'induit, ni un nombre de trajets plus important, ni des trajets plus longs dans le reste de l'agglomération. Supposons une consommation moyenne de 0,1 litre d'essence par km. Sachant qu'un litre d'essence consommé produit 2,35kg de CO2, le péage a permis une réduction de 242 tonnes de CO2 par jour. La valeur officielle française de la tonne de CO2 est de 25€ –bien supérieure à la valeur à laquelle le CO2 se négocie sur le marché européen des droits d'émissions (voir www.point.carbon.com). La valeur de la réduction de CO2 est de **1,64 millions de euros** par an[7].

[7] The Evaluation report (Stockoholmsforsöket 2006 p.119) évalue les réductions d'émissions de CO2 à 7 millions d'euros par

Pollution de l'air

Les gains associés à la réduction des polluants (NOx, particules…) sont plus difficiles à estimer. Les émissions ont été réduites dans le même ordre de grandeur que le trafic, d'environ 15%. Les coûts liés à la pollution de l'air ont été réduits dans les mêmes proportions. Mais nous n'avons pas d'estimation des coûts liés à la pollution de l'air en 2005. Nous devons utiliser la valeur française officielle qui estime le coût marginal de la pollution de l'air créée par une voiture*km circulant dans une « zone urbaine dense[8]» à 0,029 euro. Le péage a provoqué une réduction de 1,03 millions de voiture*km qui est ainsi associée à un gain de **7,36 millions d'euros par an**[9]**.** Les augmentations de vitesse dues au péage (environ 10%) modifient-elles cette estimation ? Dans le centre, la vitesse passe de 23,8 à 26,2 km/h, ce qui se traduit par une diminution des rejets par km parcourus. Mais sur les radiales (où se fait l'essentiel du kilométrage), la vitesse passe de 49,9 à 51 km/h **:** dans ces zones de vitesses l'augmentation n'entraîne pas de diminution des rejets kilométriques et engendre peut-être même une légère augmentation. Au total, cet effet-vitesse, qui était important à Londres, apparaît peu important à Stockholm.

Accidents

L'impact du péage sur les accidents est double. D'un côté, il y a moins de voiture*km circulant ce qui réduit la probabilité d'accidents. Ce facteur va compter pour environ 16% de baisse des accidents.

D'un autre côté, ces véhicules circulent à une plus grande vitesse, ce qui augment sérieusement la probabilité d'accidents par voiture*km. La relation généralement

---

an. Cela vient probablement du fait de l'utilisation une valeur plus grande du prix de la tonne de CO2.

[8] Ministère de l'équipement, Instruction-cadre relatif aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport, 25.3.2004, Annexe I p.5. Les zone urbaines denses sont définies comme une zone ayant une densité supérieure à 420 habitants par km2. La densité de « la zone métropolitaine » de Stockholm est de 498 hab/km2.

[9] The Evaluation report (Stockoholmsforsöket 2006 p.119) évalue la réduction des émissions de la pollution de l'air à 2,4 millions d'euros par an.

acceptée (basée sur une étude suédoise) est la suivante. Soit S_1 et S_2 la vitesse en 1 et 2, le nombre d'accidents est multiplié par $(\frac{S_2}{S_1})\lambda$, avec $\lambda=2$ pour les accidents mineurs, $\lambda=3$ pour les accidents graves et $\lambda=4$ pour les accidents mortels. Les changements de la vitesse trouvés dans cette étude impliquent, pour la part des trajets sur les radiales, à une augmentation de 9% d'accidents en général, de 14% d'accidents graves et de 19% d'accidents mortels ; pour les trajets dans le centre, les augmentations sont respectivement de 22%, 35% et 49%. En moyenne, les augmentations sont de 8% pour les accidents mineurs, 12% pour les accidents graves et 17% pour les accidents mortels. Nous pouvons noter que des grandes augmentations de vitesse vont engendrer une augmentation des accidents encore plus grande.

Les accidents en général vont baisser de 7%, les accidents graves de 2% et les accidents mortels de 3%. Ces chiffres s'appliquent au trafic de 2005 qui a été affecté par le péage sur les radiales et dans le centre. Comme il a été montré dans le tableau 1, les trajets périphérie/centre plus les trajets centre/centre représentent, en véhicules*km, légèrement moins de 20% des trajets effectués dans la municipalité de Stockholm. Nous allons supposer qu'ils représentent aussi 20% des accidents de trafic, bien que cela soit une surestimation car la moyenne dans le comté est certainement supérieure que dans le centre ou sur les radiales. Nous pouvons alors estimer le nombre d'accidents en 2005, ce nombre d'accidents varie à cause de la mise en place du péage, et en multipliant par le coût unitaire, nous obtenons le coût des accidents. Nous avons pris pour les coûts unitaires le chiffre officiel de 1,92 millions d'euros par victime d'accident mortel, 0,34 millions d'euros par victime d'accident grave et 0,02 million pour les victimes d'accidents mineurs. Les résultats sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 — Gains dus à la réduction des accidents

	Accidents mortels	Accidents graves	Accidents mineurs
Dans le comté en 2005 (nombre)	40	804	4086
Sur les routes affectées par le péage (nombre)	7,9	158	805
Variations dues au péage (en %)	+3%	-2%	-7%
Variations dues au péage (nombre)	+0,24	-3,16	-56,3
Coûts unitaires (M €)	1,92	0,34	0,02
Réduction des coûts dus au péage (M €)	+0,45	-1	-1

Notes: Voir le tableau 1 pour les ratios de la circulation sur les routes affectée par le péage sur la circulation totale du comté ; SIKA pour le nombre d'accidents en 2005.

Cette technique produit une baisse dans les coûts liés aux accidents, i.e. un gain de **1,7 millions d'euros** par an[10]. L'augmentation du nombre d'accidents mortels, 0,16 morts par an, n'est pas perceptible. Ces résultats sont incompatibles avec l'augmentation de vitesse calculée par Transek, plus importante que la nôtre, qui devrait conduire a un nombre supérieur d' accidents.

IV — LES COÛTS

Les coûts engendrés par la mise en œuvre du péage sont de deux ordres. Les premiers sont directement liés au péage, il s'agit des coûts d'implémentation du système. Les seconds sont indirects et mesurent la dégradation de la qualité du système des transports publics exposé au flux brutal des nouveaux voyageurs, anciens automobilistes. Il conviendra de discuter si ils doivent être pris en compte.

1. Les coûts de mise en œuvre

Le coût de mise en ouvre du péage est important. La théorie des péage est généralement peut disserte sur ce type de coût. Par exemple, aucun des huit articles consacrés à "*Modelling of Urban Road Pricing and its Implementation*" du numéro spécial de *Transport Policy* (vol. 13, N° 2) ne le mentionne. Il est probable que dans le futur de tels coûts diminuent notablement, mais pour

[10] Stockoholmsforsöket 2006 p.119 estime ce gain à 13,7 millions d'euros par an, sans indiquer les détails du calcul de ce chiffre.

l'instant ils demeurent très élevés et doivent être pris en compte dan l'évaluation.

Le coût du péage de Stockholm devrait, en principe, être facile à déterminer car la conception, le développement et la mise en œuvre du péage a été sous-traitée par la *National Road Administration* à IBM, une compagnie privée.

Eléments du coût

Seules quelques composantes du coût ont été payées directement par la *National Road Administration* (certains investissements d'infrastructure, pour 10,3 millions d' euros, les coûts des poursuites judiciaires pour 1,65 millions d'euros, les dépenses en taxes administratives pour 2,63 millions d'euros). D'autres ont été réglés par la municipalité de Stockholm (coûts d'informations pour 8,8 millions d'euros). Cependant, il existe plusieurs difficultés. Le contrat avec IBM, d'un montant de 206,6 millions d'euros, a été passé pour une période d'essai de sept mois. Cela inclut les investissements initiaux et les coûts de fonctionnement pour cette période. Il apparaît que les coûts de fonctionnements diminuent régulièrement ; les coûts de fonctionnement pour les premiers mois incluent les développements de logiciels qui peuvent et sont considérés comme des investissements. Les coûts de fonctionnement « réguliers » (ce que va coûter le système sur une base de fonctionnement régulière) ne sont pas connus, mais sont certainement plus faibles. Ils sont officiellement estimés à 1,92 millions d'euros par mois. Cette estimation, qui va être utilisée par la *National Road Administration* dans la renégociation du contrat avec IBM, pourrait bien être située dans la fourchette basse. Nous supposons que le coût d'exploitation normal est de 0,72 millions d'euros. La différence entre le montant payé à IBM et le coût d'exploitation mensuel multiplié sept donne une estimation de l'investissement fait par IBM. Nous obtenons : 206,6 — 7*0,72 = 201,5 millions d'euros. À ce montant doivent être ajoutées les dépenses des routes additionnelles relatives au péage (de 10,3 millions d'euros).

Coûts d'investissement = Contrat d'IBM — coût normal d'exploitation pour 7 mois + investissements additionnels

Le coût du péage de Stockholm doit donc être estimé sur la base d'un investissement de 201,5 millions d'euros [11] et d'un coût d'exploitation annuel de 8,4 millions d'euros (12*0,7). Le coût annuel, celui qui nous intéresse le plus, est composé du coût d'exploitation, plus l'amortissement du capital investit, plus le coût d'opportunité de ce capital, plus le coût marginal des fonds publics investis.

Amortissement.

Sur quelle période, l'investissement doit-il être amortit ? il est composé de matériels (transpondeurs, caméras, lasers, ordinateurs, portiques) qui ont une durée de vie relativement courte et de logiciels (programmes informatiques, design..) qui ont aussi une durée de vie relativement faible. Nous avons tenté de savoir ce que Capita, l'entreprise privée qui gère le péage de Londres fait. Il semble qu'elle a initialement utilisé une période d'amortissement de 5 ans puis est passé a 7 ans ? Nous avons également interrogé Vinci, un important groupe qui gère des infrastructures routières dans de nombreux pays. Cette entreprise, dont les comptes font l'objet d'un processus approfondi de certification utilise une période de 6-7 ans. Afin que notre étude soit indiscutable, nous avons retenu 8 ans.

Retenir 8 ans comme durée d'amortissement est bien différent des 40 ans utilisé par Transek, le bureau d'étude qui a conduit l'évaluation officielle du péage. Transek indique que cette durée est couramment utilisée par les entreprises qui construisent des infrastructures routières. Ceci est vrai, mais peu convaincant. Il s'agit de ponts ou de voies ferrées dont la construction exige des matériaux dont la durée de vie est plus longue que les appareils photo et les ordinateurs nécessaires à faire fonctionner le péage.

Cette différence de choix dans les durées d'amortissement est la source principale de différence entre les chiffres de Transek et les nôtres.

---

[11] Ce chiffre est peut-être sous-estimé. Certains rapports estiment les coûts supplémentaires des charges du réseau pour la *Road Administration* (en incluant les investissements pris en compte ici) à 33 millions d'euros, pour la municipalité de Stockholm à 33 millions d'euros et pour Q-Free, l'entreprise qui fournit les transpondeurs à 15,4 millions d'euros

Coût d'opportunité du capital.

Le coût d'opportunité du capital (le fait que les fonds publics investis dans le péage auraient pu êtres utilisés autrement que pour construire le péage) doit être d'au moins 5%.

Coût marginal des fonds publics.

Pour finir, il y faut pendre en compte le coût marginal des fonds publics. Cela renvoi à l'idée que les taxes qui ont financé l'investissement ont baissé le rendement d'un facteur λ, qui dans un pays ou les impôts sont importants peut être pris comme se situant aux alentours de 30%. Ce facteur λ doit être appliqué à l'amortissement, mais pas au coût d'opportunité du capital. Le fait que l'on amortisse les coûts d'exploitation est discutable. Nous avons choisi de ne pas le faire ici. Les calculs sont présentés dans le tableau 11. Ils génèrent un coût socio-économique du système du péage de 56,2 millions d'euros par an. Cela est-il élevé ? La principale référence est le système du péage de Londres : le coût du système choisi par Londres est plus de trois fois plus élevé que celui de Stockholm, pour un rendement similaire (d'environ 100 000 opérations par jour).

Tableau 6 – Coûts socio-économiques du système du péage

	(M €)
Coûts d'investissement:	
par IBM	*191,2*
par NRA	*10,3*
Total	*201,5*
Coûts annuels:	
Amortissement	26,48
Coût d'opportunité du capital	10,5
Coût marginal des fonds publics	10,5
Coûts d'opération	8,68
Total	56,16

Sources et notes : voir le texte.

2. Les coûts induits pour le système de transport public

La prise en compte des conséquences du péage automobile sur le fonctionnement des transports publics constitue une des innovations importantes de la présente étude. En effet, nous proposons une solution théorique originale qui renouvelle le traitement généralement proposé par la littérature et nous attirons l'attention sur un

problème injustement négligé : le coût de la congestion induite par un péage dans les transports publics.

Prise en en compte des changements sur le marché des transports publics

Certains utilisateurs de voitures ont abandonné ce mode de déplacement et utilisent maintenant les transports publics (TP). On considère généralement que l'introduction du péage a engendré une augmentation de la fréquentation des transports publics de Stockholm de 45.000 déplacements, soit une augmentation de 5%. Puisque nous avons montré qu'un quart de la baisse des déplacements automobiles n'est pas attribuable au péage, nous considérerons logiquement que ce dernier a engendré une augmentation de la fréquentation des transports publics de 33.000 déplacements. Quelles sont les conséquences pour notre analyse coût-bénéfice ?

Marchés primaires et secondaires - Relativement au marché du déplacement automobile, affecté par le péage, le marché des transports publics constitue un marché dit « secondaire ». On pourrait considérer que ceux qui changent de mode supportent une perte car leur temps de transport a augmenté (d'environ 50%), ou le contraire, car ils économisent les dépenses du transport automobile, ou qu'ils bénéficient d'un surplus du consommateur (ce qu'ils sont prêts à payer est plus important que le prix du billet qu'ils payent). La théorie de l'analyse coût-bénéfice (voir par exemple *Boardman et al*. 2001, p. 116) considère que ce qui advient sur les marchés secondaires doit être ignoré car les variations de bien-être qui s'y produisent sont déjà prises en compte par la droite de demande sur le marché primaire, en l'occurrence le marché des déplacements automobiles. Il existe toutefois une importante exception à cette règle : la présence d'imperfections de marché (comme des externalités, ou un coût marginal décroissant). Si tel est le cas, il convient alors de prendre en compte dans l'analyse coût bénéfice ; mes modifications de bien-être observé sur le marché secondaire, ici celui des transports publics.

Il existe évidemment des externalités et plus précisément des externalités de congestion, sur le marché des transports publics. En posant comme hypothèse que l'offre de transport public est fixe (comme on le fait avec l'offre de déplacement automobile), une augmentation du nombre d'usagers engendrera un coût supplémentaire pour les usagers. Cette augmentation ne se manifeste pas par une

perte de temps mais par une perte de confort. En conséquence, nous pouvons reprendre notre précédente analyse de la congestion routière et remplacer « perte de temps » par « perte de confort ». On peut ainsi définir, pour les transports publics une courbe de coût individuel et une courbe de coût social (égale à la courbe de coût individuel plus sa dérivée multipliée par le nombre d'usagers), un coût marginal de la congestion qui est une externalité, et une utilisation optimale des transports publics qui pourrait être atteinte au prix de l'instauration d'un péage de congestion pour…les transports publics.

On ne recense que très peu d'études de ce phénomène, ni théorique et encore moins empiriques. L'article de Armelius et Hultkrantz (2006) —consacré au cas de Stockholm, du reste— constitue une précieuse exception. En principe, et en l'absence d'une augmentation de l'offre de transport public, nous devrions évaluer l'augmentation de la congestion dans les transports publics engendrée par le changement de mode de transport d'une fraction de la population, du fait du péage, et considérer cette valeur comme un coût du péage qu'il convient de prendre en compte dans l'analyse coût-bénéfice.

Surplus du producteur — Devrait-on, symétriquement, du côté des bénéfices, prendre en compte une augmentation du surplus du producteur égal à la recette supplémentaire payée par les nouveaux usagers ? Cela serait judicieux si l'offreur de transport public n'avait pas à supporter de coûts additionnels, c'est-à-dire si le coût marginal de production des transports publics à Stockholm était nul. Cette hypothèse est irréaliste. Durant les cinq années précédant 2005 la fréquentation de SL (l'entreprise de transport public qui gère les bus et les métros) n'a pas augmenté, mais les coûts totaux, en prix constants, ont augmenté significativement (de 29%). Ceci suggère plutôt la présence d'un coût marginal infini ! Ce qui s'explique par le fait qu'afin de maintenir sa fréquentation, SL a augmenté son offre (exprimée en siège/Km), alors que le coût des inputs (salaires et carburants) a augmenté plus vite que l'indice des prix. Il est donc difficile de penser qu'une entreprise dont les coûts augmentent lorsque sa fréquentation stagne n'augment pas ses coûts (ou du moins pas plus que d'habitude) lorsque la fréquentation augmente. En conséquence, inclure les recettes additionnelles du côté des bénéfices ne nous semble pas justifié. Dans la mesure, où ce point peut être théoriquement contesté, nous les

inclurons cependant, afin de produire une évaluation à l'abri des critiques.

Dans la réalité, les choses sont encore plus compliquées car il y a eu une augmentation de l'offre de transport public à Stockholm, en 2006. 200 nouveaux bus ont été mis en service, quelques mois avant le début de l'expérience du péage, afin de faire face à l'augmentation de la demande sur certaines lignes et à certaines heures. Le coût économique de cette offre nouvelle peut facilement être estimé.

Symétriquement, le gain économique de cette offre nouvelle, s'exprime à travers deux phénomènes.

Premièrement, l'offre nouvelle vient limiter l'augmentation de la congestion des TP et en réduit le coût. Si la nouvelle offre de bus était suffisamment importante, elle pourrait neutraliser complètement, la croissance de la congestion des TP. Ce n'est pas ce qui s'est passé à Stockholm, où la congestion dans les transports publics a augmenté. La congestion « résiduelle » doit donc être mesurée et ajoutée aux coûts.

Deuxièmement, l'offre de transports publics supplémentaire n'était pas exclusivement quantitative mais également qualitative. Les nouvelles lignes de bus ont augmenté le bien-être de certains usagers. Il semble que la totalité des usagers des nouvelles lignes de bus soit des anciens usagers des transports publics. Ils ont abandonné les trains de banlieues ou le métro au profit des bus. Ils payent toujours le même tarif donc le temps qu'ils gagnent vient augmenter leur surplus du consommateur. Il convient donc d'en évaluer le montant et de l'inclure dans notre calcul.

Coût de l'augmentation de la congestion dans les TP

Du fait du péage, et de l'augmentation de la fréquentation des transports publics qu'il a entraînée, les conditions de transport se sont détériorées. La ponctualité à baissé de 5% pour le métro et les connections au réseau ferré (Stockholmsfosöket 2006 p. 51). Les annulations de métro et de trains ont augmenté. La proportion de passagers circulant debout dans le métro a augmentée (+2%), dans les trains de banlieue (+2%), dans les bus de banlieue ((+1%), mais a diminué (-1%) dans les trains (ibidem). La capacité des transports publics a respecter les horaires était plus faible au printemps 2006 qu'au printemps 2005. La

proportion de passagers des transports publics qui s'estime satisfait a diminué, passant de 66% au printemps 2005, a 61% au printemps 2006 (*ibidem*). La congestion dans les transports publics a donc augmenté et cette augmentation a un coût. Nous proposons deux —fragiles- estimations.

Estimations empiriques de la congestion — La première est dérivée de la fonction de congestion proposée par Armelius & Hultzkantz (2006) pour Stockholm:

$$T = 8*(0,1562+0,0686*(n/N)^2)$$

Avec T = unité de coût exprimée en heure, n = nombre de TP déplacements, et N = nombre total de déplacement. Une augmentation de 45.000 déplacements dans les TP engendre une augmentation du coût de congestion de 36,6 millions d'euros par an. En affectant ¾ de ce coût au péage l'augmentation du coût de la congestion des TP est estimée à **273 M€y**/an.

Le second calcul est tiré de la pratique de SL, l'entreprise de transport public de Stockholm. Si la valeur du temps des personnes circulant assise dans les bus est 1, la valeur du temps de celles qui sont debout est 2, la valeur du temps des personnes circulant dans des trains modérément congestionnés est 1,5 et 2 lorsque la congestion est forte. Selon le *Transport Survey*, le temps moyen de déplacements en transport public est de 40 minutes. En posant comme hypothèse, qu'un quart de ce temps est passé à attendre et à changer de moyen de transport, le temps moyen effectivement passé dans les transports est de 30 minutes. Le temps total passé dans les transports publics est donc proche de 662 000 h par jour (1,325 millions déplacements de 30 minutes chacun). Une augmentation de 1,34% du nombre de personnes circulant debout correspond à une augmentation de 8.900 heures de voyage debout, par jour. En prenant 10,8 € par heure comme valeur du temps, cela fait un montant de 23,4 M € par an. Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, les trois-quarts de ce coût seulement doivent être attribué au péage : on obtient ainsi **18,5 M €.**

Ces deux estimations convergent. La première mesure la congestion engendrée par le péage ; la seconde, le coût de la congestion résiduelle, après qu'elle a été réduite par l'accroissement de l'offre de TP. La seconde doit logiquement être inférieure à la première. Nous pouvons observer que l'accroissement du coût de la congestion des TP est au moins égal au bénéfice de la décongestion du trafic automobile.

Augmentation du surplus du producteur — L'augmentation du surplus du producteur est égal à l'augmentation des tarifs moins celle des coûts engendrée par la fréqeuntation croissance des TP. L'augmentation des tarif est facile à stimer. Le prix moyen en 2005 était de 1,4 €. Pour 33000 déplacements/jours et 250 jours ouvrés pour le péage, cela fait 11,1 M€ par an. Malheureusement, on ne sait pas grand-chose du coût marginal. Une estimation prudente retiendra un coût marginal nul, à l'exception du coût de la congestion. Cette hypothèse est très favorable au péage.

Coût de l'augmentation de l'offre de TP — Il est difficile d'augmenter l'offre de transports publics à Stockholm, pour des raisons, techniques et économiques. Comme nous l'avons déjà mentionné, la seule augmentation significative introduite en conjonction avec le péage a été l'achat de 200 bus mis en service sur 16 lignes aux heures de pointe.

Il est indiqué que l'investissement associé (réalisé par le gouvernement central) est proche de 63,8 M €, et que les coûts annuels de fonctionnement sont proches de 37,5 M €. Presque la moitié de ces coûts de fonctionnement sont couverts par les subventions (provenant également du gouvernement central). Le tableau 7 liste ces coûts sur une base annuelle. Le coût de l'offre supplémentaire de bus est estimé 61,4 **M €** par an.

Tableau 7 — Coût de l'augmentation de l'offre de transport public

	M €
Coût de l'investissement	*63,8*
Coûts annuels :	
Amortissement[a]	11,65
Coût d'opportunité du capital[b]	3,2
Coût de fonctionnement	37,5
Coût marginal des fonds publics	9,12
Total	61,47

Notes: [a]sur 5 ans. [b]5% du coût d'investissement. [c]30% de l'amortissement et du coût de fonctionnement payé par le gouvernement

Augmentation du surplus du consommateur des utilisateurs du bus

La majorité des utilisateurs du bus sont d'anciens usagers des transports publics, qui trouvent le nouveau service « plus pratique », « plus rapide » ou « avec moins de changements » que le service qu'ils utilisaient antérieurement. Les données que nous avons collectées sur

le nombre de nouvelles lignes de bus, et leur recettes, sont de piètre qualité. Pour mesurer le nombre d'usagers, nous disposons du nombre de véhicule*km par an (7 M). En posant comme hypothèse que le nombre de passager moyen par bus est 15, cela fait 105 M passagers*km. Ce résultat est cohérent avec une autre estimation obtenue en multipliant le nombre total de passagers par le ratio du nombre de nouvelles lignes de bus sur le nombre total de bus. En posant que le déplacement moyen est de 17,2km, on obtient 6,2 millions de déplacements par an[12]. Le déplacement moyen en TP était de 44 minutes. Supposons que les nouvelles lignes de bus diminuent le temps de transport de 15%, ou 6.6 minutes/déplacement —une hypothèse généreuse. Cela engendre un gain de temps 680.000 heures/an. A 10,1 € par heure, la valeur de l'ensemble des déplacements est de 6,9 M €/an. À 5,7 € par heure, une valeur plus réaliste du temps durant les déplacements non professionnels, ce montant est égal à 3,9 M €/an. Pour simplifier les calculs nous prendrons la moyenne de ces deux estimations soit : **5,4 M €** par an.

V — IMPACT POUR LES FINANCES PUBLIQUES

Les finances publiques sont affectées de deux manières par la création du péage. D'une part, par les recettes du péage et d'autre part par la réduction de la taxe sur les carburants, du fait de la moindre circulation.

Recettes du péage

Les sommes collectées lors du péage, soit 87 M € par an, ne sont ni un gain ni un coût pour la collectivité mais un transfert. Il s'agit d'un revenu qui est pris aux automobilistes et diminue leur bien-être et qui est censé être dépensé de manière judicieuse par l'Etat et venir augmenter, pour un montant équivalent, leur bien-être. Chacun des changements de bien-être est compensé par l'autre. Il ne faut donc pas considérer comme un bénéfice les interventions publiques (même vertueuses) qui seront financées par l'argent du péage sans prendre en compte la perte de bien-être de ceux qui payent le péage. Il faut

[12] Ceci implique qu'il y a 25,000 déplacements par jour, ce qui est cohérent avec les 33.000 déplacements additionnels en TP engendrés par le péage.

soit compter les deux soit les ignorer, ce qui est plus simple.

Il peut toutefois être avancé que ces ressources viennent abonder au budget de l'Etat et permettent ainsi de diminuer d'autant la levée d'impôts plus distorsif. En fait, le péage n'est pas du tout distorsif, puisqu'il modifie le comportement des agents dans le bon sens. Il est donc logique d'appliquer un coût marginal (30%) des fonds publics aux recettes du péage, et de compter la somme de **25,7 M €** comme un bénéfice social.

Taxes sur l'essence

Un problème similaire naît de la réduction du montant des taxes sur l'essence provoquée par le péage. Nous estimons la réduction de la consommation d'essence à environ 103 millions de litres par an. Avec des taxes d'environ 0,77 € par litre, cela représente une perte de 7,7 millions d'euros par an pour le trésor. Les taxes sur l'essence ne sont pas distorsives, et elles sont vraisemblablement remplacées par des taxes plus distorsives. Nous pouvons donc appliquer le coût marginal des fonds publics à ce montant et compter **2,3 millions d'euros** par an comme un coût social.

Enfin, le péage génère des recettes importantes ; ces recettes ne sont ni des gains ni des coûts, mais le coût marginal des fonds publics que leur existence évite est de plus de 20 millions d'euros.

VI — ANALYSE COUT-BENEFICE

Nous disposons maintenant de tous les éléments nécessaires afin de procéder à l'analyse coût bénéfice[13]. (voir tableau 8)

Les coûts dépassent les bénéfices de 20 M€ à 75 M€ par an. Le premier chiffre renvoi au péage stricto sensu et le

[13] Notre analyse ne s'inéresse ni à chiffrer l'expérimentation de sept si elle s'était terminée après la période d'essai ni à mesurer le coût annuel si le péage devait être maintenu, en prenant les investissements faits comme des coûts irréversibles et en les ignorant.

second au péage à l'extension des lignes de bus. Ces résultats sont discutables, mais dans l'incertitude, nous avons toujours choisi les hypothèses favorables au péage.

Le péage génère bien des gains de temps pour ceux qui restent sur les routes, gains d'environ 12 millions d'euros par an. Le résultat frappant de notre analyse est le modeste bénéfice lié au gain de temps. Dans le cas de Londres, la réduction du trafic, d'une ampleur à peu près identique, avait généré des gains de temps (estimés avec la même méthodologie) environ sept fois supérieurs. Cela reflète tout simplement le fait que la congestion des routes était beaucoup plus élevée à Londres qu'à Stockholm. Les analyses économiques traditionnelles se focalisent presque exclusivement sur les gains et les coûts relatifs à la congestion, et justifient la mise en place d'un péage sur la base de ces gains et de ces coûts. En réalité, ce gain bien réel n'est que la partie émergée de l'iceberg. Quatre autres éléments pèsent plus encore et déterminent la viabilité économique du péage.

Tableau 8 — Coûts et bénéfices socio-économiques engendrés par le péage

	En M € par an
Gains et pertes liées à la congestion :	
Gain de temps pour les automobilistes	+19,12
Perte de surplus pour les automobilistes évincés	-5,93
Congestion : total des impacts	*+13,20*
Gain environnementaux :	
Gains liés à la réduction de CO2	+1,65
Gains liés à la pollution de l'air [a]	+7,36
Gains liés à la réduction des accidents	+1,7
Gain environnementaux : gain total	*+10,7*
Coût d'implémentation du péage	*-56*
Gains et coûts pour les TP induits par le péage:	
Coût de l'accroissement de la congestion TP [b]	-18,5
Augmentation du surplus de SL [c]	+11
Total TP coûts de congestions	*-7*
Augmentation de l'offre de bus, gains et coût	
Coût de l'augmentation de l'offre TP	-61,4
Gains de bien-être nouvelles lignes de bus	+5,4
Total	*-56*
Finance publique, gains et coûts :	
MCFP[d]	+25,7
MCFP sur perte TIPP	-2,3
MCFP sur augmentation des subventions PT	-3
Total Finance publique, gains et coûts	*+20,4*
Total (coûts : 119, gains : 44,3)	-20[e] ou -74,7[f]

Source: Voir texte. *Notes* : [a] surestimé en ignorant l'augmentation probable de trafic automobile suburbain induit par le péage. [b] la plus basse des deux estimations, [c] surestimé d'une augmentation inconnue du coût marginal ou de la fréquentation, [d] MCFP indique coût marginal des fonds publics, [e] ignore les gains et les coûts de l'augmentation de l'offre de bus, [f] en considérant l'augmentation de l'offre de bus comme un élément de la politique du péage.

Le premier de ces éléments concerne les gains environnementaux, environ 11 millions d'euros. Le deuxième élément concerne les coûts de mise en œuvre du système du péage, coûts s'élevant à environ 56 millions d'euros. Les économistes ont tendance à supposer que ces « coûts de transaction » sont nuls, comme si imposer un péage n'était pas coûteux : ce n'est pas le cas. Le fait que ces coûts vont probablement décroître dans le temps grâce au progrès technique n'autorise pas à les ignorer d'autant plus que dans le cas de Stockholm, ils sont très importants. Un

troisième facteur est généralement négligé par l'analyse théorique. Il s'agit du coût de la congestion des transports publics et du coût de l'augmentation de l'offre de transports publics pour pallier ce problème, soit 56 millions d'euros à Stockholm.

Enfin, on enregistre une variation des finances publiques, positive de 20 millions d'euros.

Il n'y a pas de taux de rendement interne positif associé au péage. Le flux des gains nets annuels ou de coûts annuels est constamment négatif, même pour les années sans investissement.

Discussion

Notre analyse reste provisoire. Beaucoup de travail reste à faire. De nombreux chiffres utilisés concernant la réduction de trafic, la vitesse, les coûts de l'offre de transport public, les coûts liés aux accidents sont relativement fragiles et devraient être améliorés dans les mois à venir, quand toutes les données collectées auront été traitées. Un effort doit être fait pour essayer de mieux évaluer les coûts liés à la détérioration du niveau de service dans les transports publics. Nous pourrions ainsi essayer de distinguer entre périodes de pointe ou non. Il serait aussi important d'évaluer la répartition des gains et des coûts entre différents niveaux de revenus ou entre différentes zones géographiques. Il doit aussi être clair que nous nous sommes focalisés seulement sur les effets de court terme, en ignorant délibérément les impacts que le péage peut avoir eu sur le contexte local. Malgré ces défauts, notre analyse permet quelques conclusions.

L'expérience du péage de Stockholm offre une occasion unique d'évaluer un instrument politique important. En théorie, un péage est pleinement justifié afin de réduire les externalité liées à la circulation. À Stockholm, le trafic a été réduit par le péage, la vitesse de circulation a augmenté, et des gains de temps sont observés. L'analyse a aussi montré que le niveau du péage choisi est un peu trop élevé. Le fait le plus important est que les coûts engendrés par la mise en place d'un péage dans le cas de Stockholm sont plus élevés que les bénéfices mesurés en termes de gain de temps. Même si nous ajoutons, pour les bénéfices, les gains environnementaux et le coût marginal des fonds publics des recettes du péage, les coûts totaux restent au moins trois fois plus grands que les bénéfices. La ville de Stockholm, ou pour mieux dire, la Suède, car la

plupart des coûts sont à la charge du de 20 à 74 millions d'euros , sans la mise en place du péage.

Élasticités implicites

Nos estimations des gains de temps engendrés par le péage sont peu élevées. Elles sont particulièrement peu élevées par rapport à celles de Transek, comme le montre le tableau 9. Dans quelles mesures, ces différentes évaluations sont-elles cohérentes avec ce que la littérature internationale nous dit de l'élasticité prix demande de la demande de déplacements en automobile.

Tableau 9 — Gains de temps et de surplus, estimations Transek versus P-K

(M€/an)	Transek (M €/an)	P-K
Gain de temps pour les automobilistes	+57,4	+15,4
Amélioration de l'incertitude sur les horaires	+8,6	-
Perte de surplus pour les automobilistes évincés	-1,42	-5,6
Total, gains nets	+65,6	+9,45
Recettes du péage	+87	+87

Note : P-K pour Prud'homme & Kopp

Les grandes différences entre les deux sources ne proviennent pas de différence entre les valeurs de temps. Les deux estimations utilisent une valeur du temps proches (10,9 €/h). Il n'y a pas non plus de différences significatives entre les nombres de véhicules*km. La différence entre les deux études est d'ordre méthodologique. Notre approche utilise une méthode économique standard, qui reproduit le comportement des utilisateurs d'automobiles en termes de courbes de demande et d'offre. L'approche de Transek est inspirée par les techniques des ingénieurs transport qui modélisent les déplacements origine destination. Cette approche permet de capturer la riche diversité de la réalité et de prendre en copte, notamment, le rôle des feux de circulation (que l'approche économique simplifiée ignore). Mais le fait d'ignorer l'économie a un coût, et les résultants de Transek sont difficiles a réconcilier avec ce que l'on sait, des réalités économiques.

Un péage augmente le coût d'un déplacement du montant du péage et diminue ce coût du montant des gains de temps. Il y a une différence entre les deux —l'augmentation nette- qu'engendre certains des utilisateurs de voitures qui

abandonnent leurs véhicules. Un système dans lequel les gains de temps sont très élevés est logiquement impossible (personne n'abandonnerait sa voiture et il n'y aurait pas de gains de temps). Le modèle implicite proposé par Transek est assez proche de cette impossibilité logique.

Comme Rothengatter, un fervent partisan des péages, l'indique à juste titre « *les recettes du péage à l'optimum représentent de 4 à 9 fois l'externalité de congestion. Cela signifie que pour obtenir un gain de bien-être assez petit de grandes recettes de péage doivent être prélevées* » (Rothengatter, 2003, p. 124). Les gains nets, au regard des recettes du péage, sont généralement de l'ordre de 11% à 25%. Notre estimation (11%) est comprise dans cet intervalle. Les résultats de Transek impliquent un ratio de 74%. Si l'on suppose que seuls les déplacements personnels sont éliminés par le péage, cela augmente la valeur du temps pour les utilisateurs qui continuent d'utiliser l'automobile d'environ 10%; et amène notre ratio à 10% du CA et celui de Transek à un niveau encore plus invraisemblable.

Table 10 – Ratio entre les gains nets et les recettes du péage

	gains nets / recettes du péage
Rothengatter	11%-25%
Transek	74%
Prud'homme & Kopp	11%

Les gains nets de temps, tels que Transek ou nous-mêmes les estimons, peuvent être convertis en gains monétaires par déplacement et déduit du montant moyen du péage par déplacement. Cette augmentation nette du coût est rapportée au coût total moyen du déplacement. En divisant le trafic relatif par cette augmentation relative du coût, on obtient une élasticité de la circulation au prix. Les pertes de bien-être, telles qu'elles sont estimées, impliquent également des élasticités prix. Dans les termes de la figure 2, la perte de bien-être des véhicules évincés est B'AC= (HB'*HA)/2, et l'élasticité est (AH/AL)/(HB'/HY'). Le tableau 9 indique les élasticités implicites dans le scénario de base avec une valeur du temps de 10,7 et une distance moyenne par déplacement de 17,2km.

On ne connaît pas avec précision l'élasticité prix de la demande pour les déplacements en automobile, elle est sans doute comprise entre -0.4 et -1.2[14].

Notre étude implique une élasticité implicite qui est relativement élevée. Deux hypothèses propres au cas de base peuvent être discutées afin de réconcilier notre résultat avec les données observées internationalement. Premièrement, si l'on fait l'hypothèse (raisonnable) que les trajets des automobilistes évincés correspondent aux déplacement personnels (avec de faible valeur du temps), alors le coût initial du déplacement est diminué (-35%). Il en va de même pour les élasticités. Deuxièmement, le coût d'un déplacement est calculé sur la base de la longueur moyenne du déplacement périphérie centre (17,2km). La plupart de ces déplacements sont probablement plus courts et donc moins coûteux, d'où une élasticité plus faible. Il convient de noter que, bien que la perte nette (recette du péage moins gains de temps) pour les automobilistes est presque identique pour tous les déplacements centre périphérie, elle représente un pourcentage du coût du déplacement qui décroît rapidement avec la longueur du déplacement. Ceci implique que les personnes qui habitent près des zones à péage sont plus enclines à abandonner leurs voitures que ceux qui habitent loin. La plupart des estimations de l'élasticité on été calculées comme si elles affectaient, de manière identique, tous les déplacements. L'élasticité implicite de notre étude nous semble, au vu de ces remarques, cohérente avec la littérature internationale. Ce n'est pas le cas avec les élasticités implicites de l'étude Transek. Non seulement les élasticités engendrées par les gains de temps (-14) et les pertes de bien-être (-7) sont incohérentes entre elles, mais elles sont peu plausibles

---

[14] Dans un article de survey, Litman (2006) indique : « La valeur moyenne est de —0.5 (NHI, 1995) ». Booz, Allen, Hamilton (2003) indiquent que l'élasticité au coût généralisé d'un déplacement dans la région de Canberra (Australie) serait de —0.87 durant les heures de pointes et de -1.18, le reste de la journée, et —1.02 en tout. Lee (2000) relate que les élasticités des déplacements au prix (essence, coût d'entretiens, péages et divers) est comprise —0.5 to —1.0 a court terme, et entre —1.0 et —2.0 sur le long terme.

Tableau 11 — Elasticité prix de la demande de déplacements cohérentes avec les estimations de gains de temps et de perte de bien être.

	Sur : gains de temps		pertes de bien-être	
	P-K	Transek	P-K	Transek
Coût du péage moins gains de [a] (€/dep.)	8,0	2,4	-	-
Perte de surplus engendrée par coût (id)	-	-	7,0	1,3
Coût moyen initial (id)	89,1	89,1	89,1	89,1
Augmentation de coût (%)	9,0%	2,7%	7,9%	1,4%
Augmentation de demande (%)	-16%	-20%	-16%	-20%
Elasticités implicites	-1,8	-7,4	-1,9	-14,3

Source: Calculs des auteurs. *Note*: [a] Les gains de temps incluent les gains pour les déplacements entre le centre et le centre qui ne payent pas le péage et devrait théoriquement être exclus. [b]1.5 €/km*17.2 km + 1.25 personnes/voiture*31min*98/60 €/min. P-K pour Prud'homme & Kopp.

Dynamique

Notre analyse est statique. L'écart entre les gains et les coûts pourrait se réduire si le trafic —et en l'absence de péage, la congestion- augmentaient. Un jour, le péage engendrerait des bénéfices, si tant est que le coût marginal de l'offre nouvelle de transport publics ne soit pas prohibitif. Toutefois, dans la situation actuelle, l'expérience de Stockholm n'apparaît pas comme économiquement justifiée et peut être considérée comme un gaspillage de ressources rares.

Cette conclusion négative ne condamne pas l'idée même du péage urbain. Notre estimation aide à comprendre les conditions requises pour qu'un péage urbain améliore réellement le bien-être.

VII — CONCLUSION

L'analyse que nous avons menée à Stockholm, mais également les leçons de nos travaux précédents consacrés à Londres (2004) et à Paris (2005) nous conduisent à formuler quelques remarques de portée générale qui précisent les conditions qui doivent être réunies pour qu'un péage urbain soit un succès économique.

L'analyse du péage de Stockholm confirme la théorie économique : un péage contribue à améliorer l'efficacité de l'utilisation d'un réseau routier donné. Mais l'analyse a aussi montré que cette amélioration ne suffit pas nécessairement à justifier le péage. Elle fait apparaître trois conditions du succès d'un péage.

Une première condition de succès d'un péage urbain est que le niveau de la congestion doit être élevé. Dans des zones urbaines avec des conditions de trafic difficiles, une congestion importante et une vitesse de circulation très faible peuvent être traités par un péage. Les bénéfices, une fois la congestion ramenée à son niveau optimal, peuvent être importants. La comparaison entre Londres et Stockholm illustre cette remarque. Le bénéfice atteint en réduisant le trafic d'environ 15%-20% est environ dix fois plus important à Londres qu'à Stockholm, simplement parce que Londres souffrait plus de la congestion des routes que Stockholm.

Le tableau suivant étend la comparaison et comprend le cas de Paris. A Paris, aucun péage n'a été crée mais la municipalité a mené une politique de réaménagement des voies de circulation destinée à réduire la circulation automobile. En l'absence d'une augmentation sensible de l'offre de transport en commun (au moins sur la période 2000-2004), la réduction de la circulation n'a pu être atteinte que grâce à la détérioration des conditions de circulation (et de stationnement), c'est-à-dire grâce à l'augmentation de la congestion —ce qui était du reste l'objectif affiché.

Tableau 12 : Stockholm, Londres et Paris — Politiques publiques et réduction de la congestion induites par le péage.

	Stockholm	Londres	Paris
Vitesse moyenne (avant)			
Centre (Km/h)	35.8	14,3	17,4
Radiale (Km/h)	46,1	-	-
Vitesse moyenne induite *			
Centre (Km/h)	36,9 (+3%)	16,3 (+18%)	15,3 (-9%)
Radiale (Km/h)	48,1 (+4%)		
Variation de trafic induite *	-14,6	-20%	-9%
Valeur de la réduction de congestion (M€)	+13,20	+69	-735

Sources : Prud'homme & Bocarejo 2004, Prud'homme, Kopp et Bocarejo 2005

Note : * les chiffres indiquent les résultats induits par le péage, et non les résultats observés. Nous avons supprimé l'effet des autres variables (augmentation du prix de l'essence).

Une deuxième condition du succès d'un péage est un faible coût de mise en œuvre. Le fait est que la collecte du péage de millions d'automobilistes (le nombre à Londres et à Stockholm est d'environ 40 millions d'opérations par an), le contrôle ou le double contrôle, la poursuite des délinquants sont des opérations coûteuses. Sans aucun

doute, les progrès techniques ainsi que l'expérience vont conduire à la baisse de ces coûts, et ce peut-être très rapidement. D'ores et déjà, les coûts de Stockholm représentent la moitié de ceux de Londres. Toutefois, pour l'instant, même à Stockholm, ces coûts restent élevés. Le bénéfice économique de la réduction de la congestion exprimé en pourcentage des recettes est 15% à Stockholm et 10% à Londres. Ainsi, les automobilistes ne récupèrent que peu de ce qu'ils payent pour le péage, ce qui n'est pas surprenant: sinon, la circulation ne diminuerait pas.

Tableau 13 : Stockholm et Londres — Coût des systèmes de péage

	Stockholm	Londres
Coût de la mise en œuvre M€	80	172
Subvention aux bus M€	56	5
Recettes du péage M€	87	650
Nombre d'opérations(M)	30	42
Bénéfices économiques de la réduction de la congestion/Recettes	15%	10%

La troisième condition réside dans la qualité des transports publics. La qualité dépend des choix de systèmes effectués dans le passé et il est généralement assez délicat de les transformer brutalement. Le nombre de stations de métro dans le centre, la conception des rames de métro ou de bus sont difficiles à modifier. La qualité des transports publics dépend de manière cruciale de la congestion de ce mode de déplacement. Intuitivement, on perçoit qu'effectuer un déplacement en autobus ou en métro assis et en lisant, n'a pas la même valeur que debout dans la cohue. L'ampleur du report intermodal dépend de la valeur que les individus attribuent à un mode par rapport à un autre. Plus la congestion des transports en commun est élevée moins la demande est forte et plus faible sera le report intermodal et plus forte la perte sociale engendrée par les déplacements qui disparaissent. Si la congestion est forte dans les transports en commun, les automobilistes sont incités à préférer payer le péage que payer l'inconfort, le péage peinera donc à réduire la congestion. Réduire le nombre d'automobilistes peut donc être désirable d'un point de vue environnemental ou de la congestion. Mais certains de ces automobilistes évincés (environ la moitié dans le cas de Stockholm) vont se reporter sur les transports publics. Cela va soit détériorer les conditions de transports dans les transports publics soit nécessiter une augmentation de l'offre de transport public (ou les deux comme dans le cas de Stockholm). Le coût de ces deux conséquences (le coût marginal du transport public) va

varier de manière importante d'une ville à l'autre. Plus ils seront bas, plus le péage sera attractif. Ces coûts apparaissent comme très élevés dans le cas de Stockholm.

Il apparaît que, dans le cas de Stockholm, ces conditions ne sont pas pleinement satisfaites. Il doit exister, ou il devrait exister dans le futur, des lieux où ces conditions seraient pleinement satisfaites et où un péage urbain serait plus justifié que ne l'est actuellement celui de Stockholm.

REFERENCES

Armelius, Hanna Hultzkantz, Lars (2006), *Transport Policy,* 2006, vol 13, p.162-172

Booz Allen Hamilton (2003)« *Transport Demand Elasticities Study* », Canberra Department of Urban Services.

www.actpla.act.gov.au/plandev/transport/ACTElasticityStudy_FinalReport.pdf

Lee, Douglass (2000), "*Demand Elasticities for Highway Travel*," HERS Technical Documents, FHWA

Litman, Todd (2006), Transportation Elasticities How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior. Victoria Transport Policy Institute. 62p. (www.vtpi.org/elasticities.pdf)

Ministère de l'équipement,(2004), « *Instruction-cadre relatif aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport* », 25.3.2004, Annexe I p.5.

Prud'homme, Rémy & Juan Pablo Bocarejo (2004), « The London Congestion Charge : A Tentative Economic Appraisal ». *Transport Policy*, vol.12, n° 3, pp. 279-88.

Prud'homme, Rémy (1999) "Les coûts de la congestion dans la région parisienne", *Revue d'Economie Politique*, 109 (4), Juillet août 1999, pp. 426-441.

Prud'homme, Rémy ; Kopp, Pierre & Bocarejo, Juan Pablo (2005) « Evaluation économique de la politique parisienne des transports », *Transports*, nov.-déc., n° 434, pp. 346-359.

Prud'homme, Rémy & Bocarejo, Juan Pablo. 2005. L'expérience du péage de Londres. *Transports*. N° 430, pp. 73-81

Stockholmsforsöket (2006) « Facts and Results from the Stockholm Trial First version », June 2006. 128p

Small, Kenneth (1992) « *Urban Transportation Economic* », Harwood Press.