

## *Observatoire de l'Economie et des Institutions Locales*

Institut d'Urbanisme de Paris - Université de Paris 12 - 61 avenue du Général de Gaulle - 94010 Créteil cedex

Tél : 01 41 78 48 26 – Fax : 01 41 78 48 27 – Mail : [ceil@univ-paris12.fr](mailto:ceil@univ-paris12.fr)

SIRET : 335 093 837 00011

# LE PÉAGE DE STOCKHOLM : UNE ÉVALUATION ÉCONOMIQUE<sup>1</sup>

Rémy Prud'homme et Pierre Kopp

Lettre de commande n° 06 MT E023

---

<sup>1</sup> 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.

---

I - Introduction.....	4
II - LE MODELE DE PRIX DE CONGESTION.....	5
1. Efficacité.....	6
2. Redistribution.....	10
3. Les coûts de mise en œuvre.....	13
III - LE CAS DE STOCKHOLM.....	14
1. Population et géographie.....	15
2. Description des transports à Stockholm.....	15
3. Description du système de péage.....	17
IV - ESTIMATION DU MODELE.....	21
1. Nombre de trajets Q et q.....	21
2. Longueur des trajets L.....	24
3. Relation entre vitesse et densité, coefficients et .....	26
4. Autres paramètres et variables.....	27
V - IMPACT DU PEAGE SUR LE BIEN-ETRE DES CONSOMMATEURS DE DEPLACEMENTS .....	29
1. Principaux résultats.....	30
2. Temps perdu lié à la déviation du trafic vers les voies rapides de Essingeleden et Södra Länken.....	33
VI - AUTRES EFFETS DU PEAGE.....	34
1. Gains environnementaux.....	34
2. Coûts de mise en œuvre du péage.....	37
VII - COUTS INDUITS POUR LE SYSTEME DE TRANSPORT PUBLIC	40
1. Faut-il prendre en compte les changements advenus sur le marché des transports publics (TP) ?.....	40
2. Le coût de l'augmentation de la congestion dans les transports publics.....	43
VIII - IMPACTS ECONOMIQUES DES CHANGEMENTS POUR LES FINANCES PUBLIQUES.....	47
1. Recettes du péage .....	47
2. Taxes sur l'essence .....	47
IX - ANALYSE COUT BENEFICE.....	48
1. Un péage économiquement non rentable.....	48
2. Discussion.....	50
X - LES ENSEIGNEMENTS DE L'EXPERIENCE DE STOCKHOLM.....	54
1. Économie politique du vote.....	55

2. Conditions du succès.....	55
3. Enseignements .....	58
XI - REFERENCES.....	61

## I - INTRODUCTION

En janvier 2006, la municipalité de Stockholm a mis en place un péage pour entrer dans le centre ville. 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 l'instauration du péage de Londres en 2003<sup>2</sup> (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). Le but n'est plus de réduire la congestion automobile, mais d'améliorer l'environnement. Le moyen retenu n'est pas, comme à Londres ou Stockholm, la régulation par les prix (péage), forçant les individus à décider leurs, en fonction, d'un côté, du coût complet du trajet, selon qu'ils empruntent le bus, l'automobile ou le train, et, d'un autre côté, de la valeur qu'ils attribuent au déplacement. L'objectif étant de réduire l'encombrement des routes et favoriser le *modal shifting*, en remontant, du montant du péage, le seuil où le coût du déplacement par la route devient supérieur à son utilité. Paris a mis en place une politique de régulation par les quantités, destinée à réduire l'espace viaire dédié à l'automobile, ce qui renchérit le coût complet de l'ensemble des déplacements et en limite le nombre. À Paris, la circulation automobile a diminué de 9% et la vitesse de 3%.

Le péage de Stockholm constituait un essai, pour une période de sept mois, à l'issue de laquelle un référendum devait déterminer son avenir. Le 21 septembre 2006, les

---

<sup>2</sup> Nous n'avons pas eu l'occasion d'étudier les péages d'Oslo ou de

habitants de Stockholm se sont prononcés en faveur de la continuation du péage, à la suite d'un vote à propos duquel nous reviendrons.

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.

Cet article est une modeste contribution au processus d'évaluation en cours. Le constat auquel nous aboutissons est que les péages constituent un excellent mode de régulation, à condition d'être implémentés dans des zones où celle-ci est effectivement forte et sous réserve que le montant du péage soit calibré avec précision. Trop chers, ils découragent trop d'automobilistes, trop bas, ils sont sans effet. 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 prix de congestion à Londres (Prud'homme et Bocarejo, 2004) et qui a été modifié pour convenir au cas de Stockholm.

## II - LE MODELE DE PRIX DE CONGESTION

En décidant d'utiliser son automobile plutôt qu'un autre moyen de transport ou encore de renoncer à effectuer un trajet, l'individu prend en compte, d'un côté, la valeur qu'il attribue au déplacement, et de l'autre, le coût de celui-ci. Ce dernier est composé de la valeur du temps passé durant le trajet, de l'essence consommée et de l'usure du véhicule. Lorsqu'il entreprend un déplacement, l'individu fait un choix privé qui ne prend pas en compte la gêne (ralentissement) qu'il engendre pour les tiers. La congestion des routes constitue un cas classique d'externalité. Lorsque la quantité de véhicules empruntant une route donnée dépasse l'optimum, c'est-à-dire, la quantité de véhicules telle que le coût marginal social (coût privé plus externalité) d'un véhicule supplémentaire égale le bénéfice marginal ainsi engendré. Le décideur public doit alors intervenir et fixer une taxe sur l'utilisation des routes. Un tel péage, si son niveau est correctement fixé, conduira les individus qui attribuent au déplacement une valeur inférieure au nouveau coût (péage inclus) à renoncer à effectuer le trajet envisagé. La circulation diminuera et rejoindra le niveau optimal.

## 1. Efficacité

L'objectif des péages urbains est de réduire la congestion du centre. Pour ce faire, le péage peut être placé à l'entrée de la zone considérée (Londres) ou sur les radiales qui y mènent et qui sont encombrées par les nombreux véhicules qui rejoignent le centre (Stockholm).

En théorie, une taxe soigneusement calculée, permet d'atteindre l'optimum. En pratique, c'est impossible, car le réseau routier est hétérogène et la congestion inégale selon les périodes de la journée et les lieux. Chaque véhicule devrait être taxé exactement en proportion de l'externalité marginale qu'il engendre. Un système complexe devrait permettre de gérer la position de chaque véhicule et celle de tous les autres, analyser la congestion et émettre une décision de taxation appropriée. Outre la complexité technique d'un tel dispositif, il n'aurait guère de vertus incitatives, car une fois un déplacement engagé, il faut le terminer. Bref, les agents ne pourraient pas prendre en compte, dans leur calcul économique, des données ex-post. Le montant du péage ne peut donc techniquement pas permettre d'atteindre un optimum de « premier rang ». De multiples contraintes de faisabilité doivent être prises en compte, ce qui conduit à parler d'un optimalité de « second rang », là où il s'agit, en fait, d'une procédure conduisant à un optimum dégradé.

Examinons le cas de Stockholm où plusieurs radiales conduisent au centre. Nous devons considérer deux flux de trafics. Celui sur les radiales et celui au centre ville. Les deux ne sont pas indépendants. Les radiales mènent au centre, mais certains véhicules peuvent rester au centre et ne pas en sortir. Dans le cas simplifié d'un péage de zone (Londres), il suffit de ne prendre en compte l'effet du péage que sur le trafic dans la zone considérée.

Pour simplifier, représentons le réseau routier comme une seule route ou zone homogène. La circulation sur la route ( $q$ ) est la mieux décrite par la densité de véhicules. Il faut considérer le nombre de trajets effectués pour entrer dans la ville (ou pour en sortir) comme la variable clé ( $q$ )<sup>3</sup>. Il existe une courbe de demande (représentant la disponibilité marginale à payer) pour ces trajets  $D(q)$ . Il

---

<sup>3</sup> En plus, il faut prendre en compte les trajets effectués dans la ville sans traverser la frontière de la ville ( $Q$ ). Nous devons supposer que  $Q$  est donné et exogène

existe une offre marginale ou une courbe de coûts  $I(q)$  pour ces trajets qui se compose de trois variables :

- Un coût fixe  $C$  (coût de l'essence et de la dépréciation). Ce coût n'est pas affecté par le prix du péage, il va donc être ignoré dans la plupart de nos analyses.

- Le coût du temps  $C_r(q)$  pour le temps passé sur la radiale. Avec  $t$  la valeur du temps,  $S_r$  la vitesse sur la radiale,  $w$  le taux d'occupation moyenne des voitures et  $L_r$  la longueur moyenne des trajets sur les radiales affectée par la congestion. Nous avons :

$$C_r(q) = L_r * w * \frac{t}{S_r(q)}$$

- Un coût du temps  $C_c(q)$  pour le temps passé dans le centre. Avec  $t$  la valeur du temps,  $S_c$  la vitesse dans le centre,  $w$  l'occupation moyenne des voitures et  $L_c$  la longueur moyenne des trajets dans le centre affectée par la congestion. Nous avons :

$$C_c(q) = L_c * w * \frac{t}{S_c(q + Q)}$$

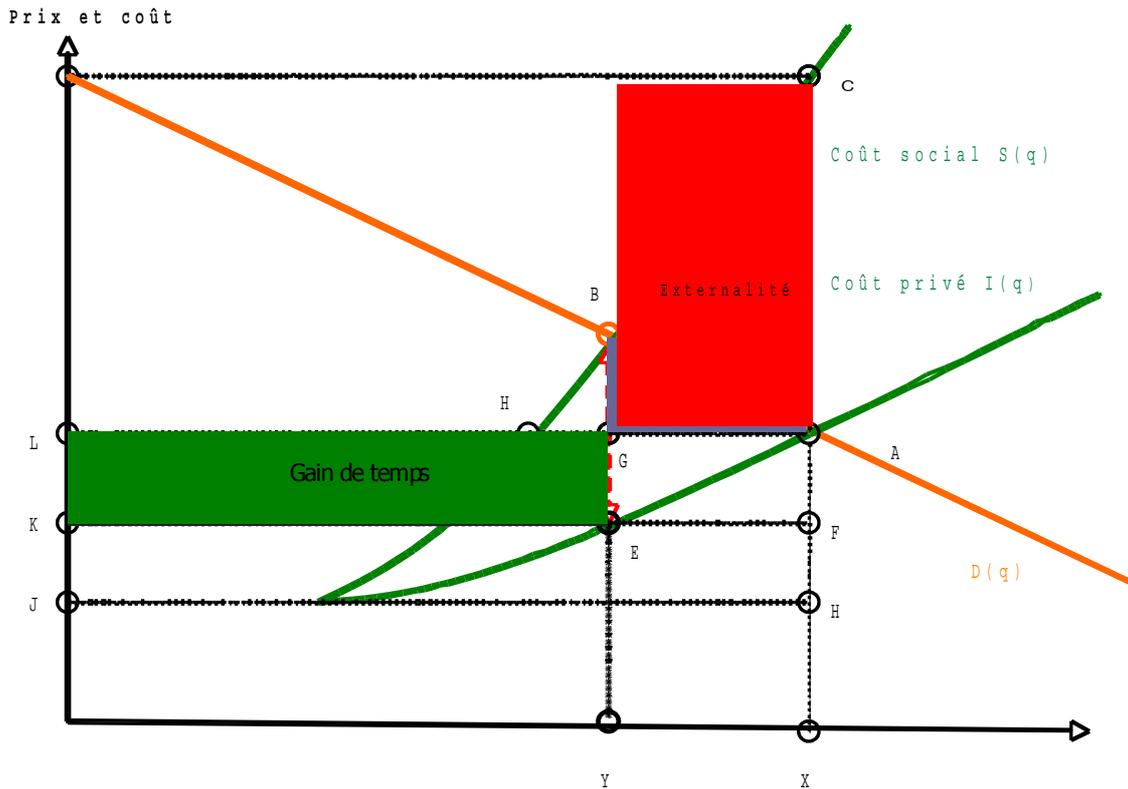
Donc :

$$I(q) = L_r * w * \frac{t}{S_r(q)} + L_c * w * \frac{t}{S_c(q + Q)}$$

Pour prendre en compte les externalités, nous devons considérer le coût social marginal  $S(q)$ . Il est égal à la courbe des coûts individuels à laquelle on ajoute ces externalités :

$$S(q) = I(q) + I'(q) * q$$

Graphique 1 - Congestion de la route avec un prix de congestion



Le point A où la courbe de demande et la courbe de coût se coupent est la situation d'équilibre avant l'action politique, avec  $q=X$ , le nombre de trajets de la banlieue vers/depuis le centre ville au coût du temps AX.

Cependant, cette situation n'est pas socialement optimale parce qu'elle ignore le coût des externalités que chaque conducteur impose aux autres. Le point B, où la courbe du coût social coupe la courbe de demande, décrit la situation optimale. En B, avec  $q=Y$ , le bénéfice social d'un trajet supplémentaire est juste égal au coût social de ce trajet, et le bien-être social est maximisé. Réduire  $q$  de X à Y va augmenter le bien-être de ABC, ce qui équivaut aussi à LGEP-GBA. LGEP est le gain de temps des Y personnes qui continuent à utiliser leur voiture ; GBA est la perte de bien-être des personnes qui ont abandonné la voiture.

Cette aire ABC, représente ce qui pourrait être défini comme les « coûts de congestion ». C'est-à-dire ce que la société gagne en passant de la situation initiale A à la situation optimale B<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> La définition trop souvent donnée des coûts de congestion est la différence entre le temps effectivement passé sur la route et le temps que l'automobilistes passerait si la route était vide soit l'aire LAHJ sur notre graphique. Cela reviendrait à comparer une situation

Afin de réduire le trafic de X à Y, il est possible de mettre en place un péage égal à BE. Notons que le péage ne doit pas être égal à AC, le coût marginal de la congestion dans la situation avant l'intervention politique (comme il est souvent prétendu), mais à BE, le coût marginal de la congestion dans la situation optimale. Notons aussi que le bénéfice du péage, égal à MBEP, va être significativement plus grand que le gain de bien-être LGEP-GPA.

Un certain nombre de déplacements dans la ville ont des caractéristiques particulières. Certains d'entre eux sont réalisés à des périodes de la journée ou de la nuit où il n'y a pas de congestion. Il convient donc de ne pas les soumettre au péage. C'est pourquoi les péages sont généralement levés, soit en dehors des heures de pointe, soit en dehors des heures ouvrées, selon la durée de la plage de congestion.

De même, il convient d'exempter de péage les véhicules dont l'utilité sociale des déplacements est toujours supérieure au coût. C'est le cas des services d'urgence, des pompiers, etc. L'offre de tels services s'accompagne d'une externalité positive importante, il convient donc de les subventionner et non de les taxer. L'exemption de péage manifeste la volonté du décideur public de voir l'offre tendre vers la quantité socialement optimale en allégeant les coûts privés.

Les péages prévoient souvent une exemption de paiement pour les résidents de la zone concernée. Du point de vue de l'efficacité économique, il n'y a guère de raison de considérer que les déplacements des résidents engendrent moins d'externalités négatives que les autres où qu'ils ont une utilité sociale qui justifie de les subventionner. L'efficacité économique recommande donc de ne pas procéder à de telles exemptions. Seuls, des considérants d'acceptabilité politique peuvent les expliquer.

## 2. Redistribution

Un individu renonce à un déplacement lorsque la valeur marginale qu'il lui attribue est inférieure à son coût marginal. Le péage affecte le coût du déplacement de deux

existante avec une situation qui ne peut pas exister : avoir X véhicules circulant sur une route vide.

manières. La composante monétaire augmente et la composante « valeur du temps » diminue car la vitesse augmente. Certains individus continueront d'utiliser leur véhicule malgré le péage et d'autres réduiront leurs déplacements motorisés<sup>5</sup>. L'individu qui attribue une forte valeur au temps verra le coût total de son déplacement diminuer, tandis que celui qui valorise peu le temps considérera que le coût total augmente. En considérant que la valeur attribuée au temps par les individus dépend de leur coût d'opportunité, c'est-à-dire du revenu auquel ils doivent renoncer s'ils perdent de temps, on peut considérer que les « riches » ont une valeur du temps supérieure à celle des « pauvres ». Le péage va donc engendrer un effet redistributif régressif, en faveur des riches, qui gagneront au péage alors que les pauvres y perdront.

La valeur attribuée au temps est une variable déterminante de l'efficacité et de l'équité d'un péage. Examinons les effets redistributifs du péage à l'aide du graphique suivant qui présente les choix de mode de transport en fonction de la valeur assignée au temps par les individus.

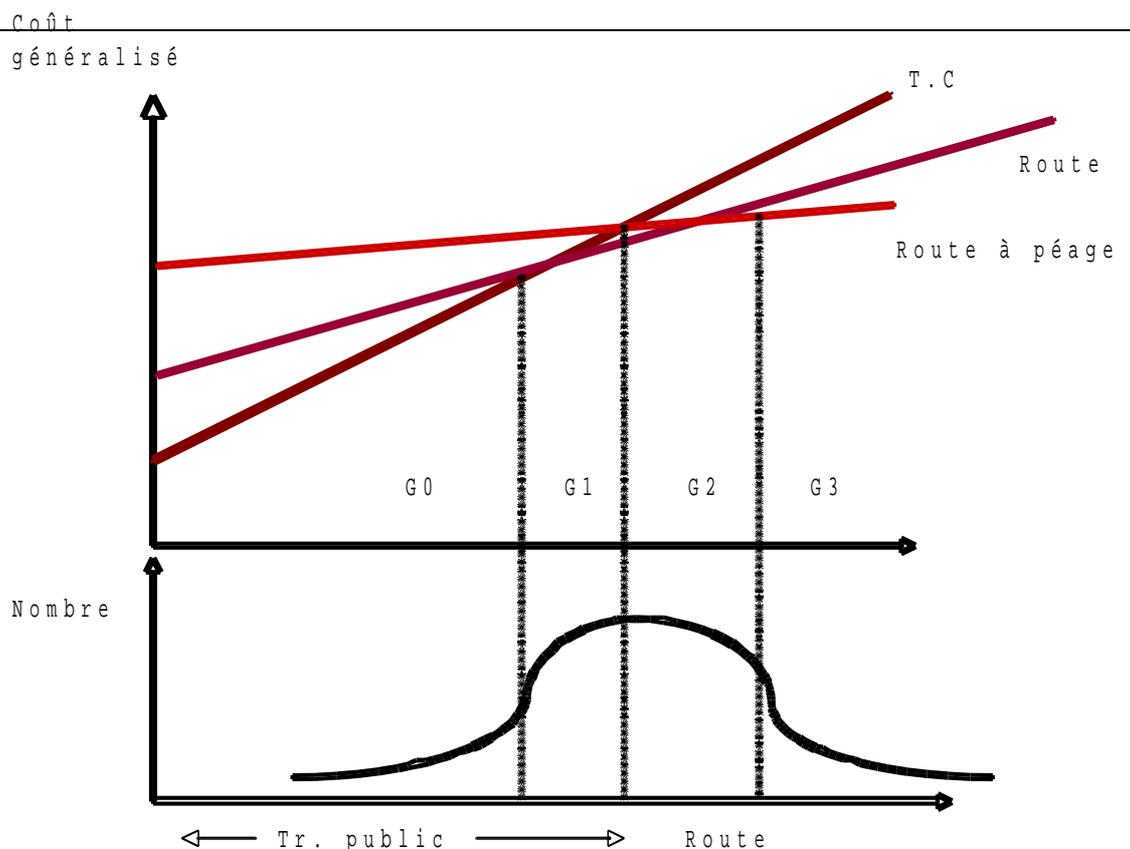
La courbe située dans la partie basse du graphique décrit la distribution de la valeur du temps entre les individus. La partie haute présente les différentes courbes de coût selon les modes de déplacement.

---

<sup>5</sup> On suppose que les deux roues n'engendrent pas de congestion et sont exemptés de péage.

---

Graphique 2. Répartition de la valeur du temps et partage modal



Source : K. Small « *Urban Transportation Economic*, Harwood Press, 1992.

On voit sur le graphique 2 que le partage modal est le produit d'un arbitrage entre les coûts des différents modes de transport, en fonction de la valeur du temps. Dans les grandes villes, les déplacements de « destination à destination » sont plus rapides en voiture qu'en transport public (sauf pour un petit nombre de déplacements centre-centre). On suppose que la valeur du temps est répartie selon la courbe du bas du graphique 2. Initialement, les individus qui ont une faible valeur du temps ( $G_0$ ) utilisent les transports en commun car le coût est inférieur à ce qu'il serait, en voiture. Les individus qui attribuent une plus forte valeur au temps (tous les autres) utilisent l'automobile car le coût de ce transport est plus faible. Le fait d'introduire un péage déplace la courbe de coût de l'automobile. Elle devient plus plate, car, à une extrémité, même lorsqu'il y a peu de circulation, il faut payer un péage. À l'autre extrémité, il n'y a jamais autant de circulation que sans péage, donc le temps passé alourdit proportionnellement moins le coût. Le groupe  $G_2$  est perdant, car l'écart entre la droite de coût de la route

(avant et après péage) et celle des transports publics, diminue avec l'introduction du péage. Pour ce groupe, la valeur du temps n'est pas suffisante. Le péage coûte plus cher qu'il ne permet d'économiser du temps. La voiture reste plus avantageuse que le transport public, mais moins qu'avant le péage. Le groupe G3 est gagnant car il valorise suffisamment le temps pour que le gain de vitesse fasse plus que compenser l'augmentation du prix.

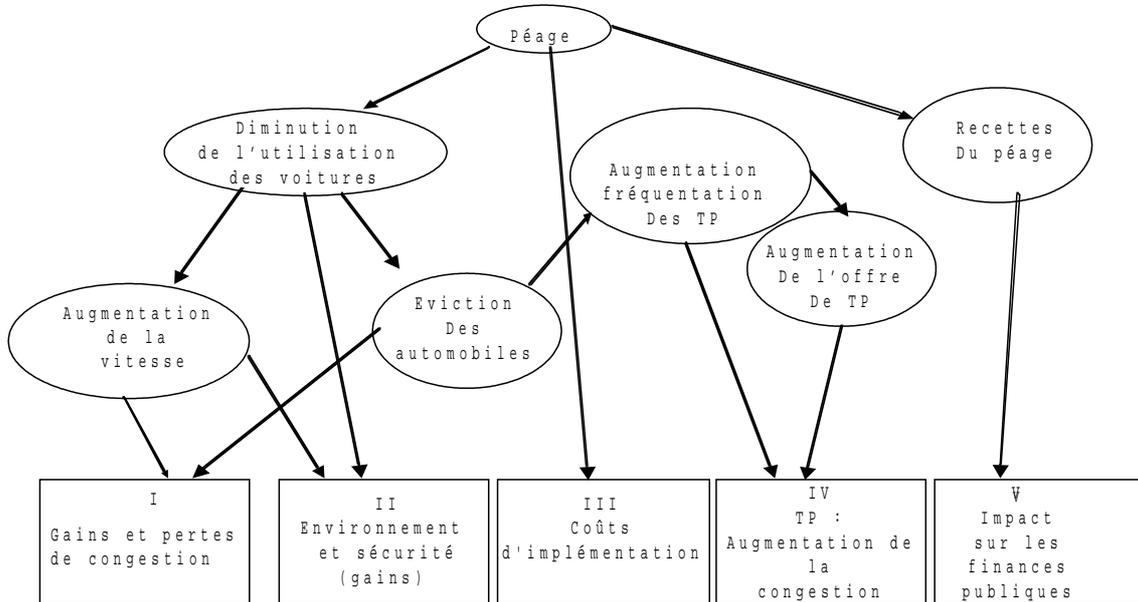
La réalité est sans doute un peu plus complexe que le modèle car une partie importante des déplacements en automobile, en centre ville, a une motivation professionnelle. Par exemple, un employé qui se déplace pour son entreprise et se fait rembourser par cette dernière n'arbitre pas ses choix de mode de transport, en fonction de sa valeur du temps. Si le montant du péage est remboursé par les entreprises aux conducteurs, alors la redistribution s'opérera au profit des entreprises et non des « riches ». Souvent, les dispositifs de péage exigent des conducteurs dont la contribution au péage est remboursée par l'entreprise qu'ils signalent ces sommes lors de leur déclaration fiscale. L'effet final entre les groupes sociaux restant alors indéterminé.

### 3. Les coûts de mise en œuvre

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 pourtant 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 une évaluation d'un projet. Nous montrons dans notre étude que les gains de réduction de la congestion automobile ne dépassent pas 15% du coût d'implémentation du péage ; de même près de 90% des recettes du péage viennent couvrir ce coût.

Le graphique ci-dessous présente les liste des conséquences de l'implantation d'un péage.

Graphique 3. 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 reportent vers les transports en commun, l'autorité en charge a 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, ce qui vient diminuer le coût social ; effet rarement mis en exergue.

### III - LE CAS DE STOCKHOLM

Le comté de Stockholm occupe la 25e place dans le

classement des 66 zones métropolitaines de l'OCDE et la 6eme parmi les 28 de l'union européenne. Cette bonne performance s'explique essentiellement par un faible chômage et une croissance forte et régulière de la productivité. Durant la période 1994-2005, la productivité du travail a cru a 2,5% soit le second meilleur résultat de l'OCDE.

## 1. Population et géographie

La ville de Stockholm (*Stockholms stad*) ou plus officiellement, la commune de Stockholm (*Stockholms Kommun*) à proprement parler compte 780 000 habitants (sept 2006) . Néanmoins, le nom de Stockholm est généralement donné à l'ensemble du [comté de Stockholm](#), qui regroupe 1,9 million d'habitants (30 septembre 2006). 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.

QuickTime™ et un  
décompresseur TIFF (non compressé)  
sont requis pour visionner cette image.

### Carte 1 - Stockholm et la zone à péage

## 2. Description des transports à Stockholm

Les flux de transports sont résumés dans 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 un proxy de l'agglomération de Stockholm) et pour les voyages affectés directement et indirectement par le péage : trajets dans la zone du péage et trajets effectués entre la périphérie et la zone du péage.

**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 300.000 personnes qui effectuent leurs déplacements en voiture sont potentiellement affectées par le péage (à ne pas confondre avec le nombre de déplacement de voitures) et représentent 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 sont effectués en voiture. Inversement, dans le centre ville, la majorité des déplacements est faite en transport public. Troisièmement, les trajets en voiture sont, (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 des transports.

### 3. Description du système de péage

Au passage de la barrière du péage, les véhicules sont enregistrés automatiquement par des caméras qui photographient leurs plaques d'immatriculation. Certains véhicules sont dotés d'un appareil électronique embarqué qui permet le débit automatique du compte de l'utilisateur. Les autres sont enregistrés par les caméras. Le flux du trafic n'est pas affecté puisque les conducteurs n'ont, ni besoin de ralentir, ni de s'arrêter. Les véhicules sont enregistrés qu'ils entrent ou qu'ils sortent de la zone de péage.

Le coût de passer via un point de péage est de 10, 15 ou 20 SEK selon l'horaire du passage. Le montant maximal est prélevé durant les heures de pointe entre 7h30 et 8h29 puis entre 17h et 17h29. Le montant quotidien maximum payable est 60 SEK. Tous les soirs, les sommes dues sont calculées par véhicule et le montant applicable à chaque véhicule décidé. Cette « décision de taxe » est publiée sur le site Internet dédié au péage, ce dès le lendemain matin du passage du véhicule. Il est impossible de payer au point de passage. Les paiements doivent être réglés au SRA (Administration suédoise des routes) dans un délai de 14 jours. Aucune facture n'est adressée au propriétaire du véhicule. Le fait de payer la taxe est de la responsabilité du propriétaire de la voiture et non du conducteur.

L'architecture technique du système est composée de quatre éléments. Premièrement, les équipements de contrôle au point de passage qui collectent l'information. Deuxièmement, les pré-processeurs qui compilent l'information et la transmettent depuis le point de passage vers le central et éditent la « décision de taxe ». Ils sont situés sur le côté de la chaussée. Troisièmement, le SAP (*Business Process Platform*) qui envoie la « décision de taxe » vers le compte du propriétaire du véhicule et gère les paiements et les rappels. Quatrièmement, le portail Web qui comprend deux parties : un site public où les propriétaires de véhicules peuvent obtenir des informations relatives à leur « décision de taxe » et un intranet dédié au service client.

Le système est synchronisé avec les données des administrations qui gèrent, respectivement, les certificats d'immatriculation des véhicules et la collecte des impôts. Le pré-processeurs et le système comptable sont mis à jour chaque matin en fonction des données nouvelles. Ces administrations gèrent les contestations et prennent les décisions d'exemptions et de remboursements.

Le service postal suédois imprime et achemine les différents documents destinés aux propriétaires de véhicules. Il s'agit, par exemple, des contrats, des rappels de paiement et des informations diverses. Il assure aussi la distribution des unités électroniques embarquées. Un sous traitant régule le site web. Le *Reitan Servicehandel Sverige AB* (*Pressbyra Kioks* et *7-Eleven*) gèrent les paiements comme les commandes des unités embarquées et les retours. Un système de paiement par Internet est disponible. Nordea, une banque suédoise, gère le compte du SRA et la *Swedish Bank Giro Center*, les débits directs. Les paiements par *Plusgiro* et *Bankgiro* sont effectués par les succursales des banques. Des banques Internet et des services de dépôt par enveloppes sont également proposés par certaines banques.

L'équipement technique, au point de contrôle, est installé sur un portique, situé au-dessus de la chaussée et sur le côté de la voie. Le premier portique est équipé d'un signal qui s'interrompt lors du passage du véhicule et prend une empreinte digitale qui fixe le montant de la taxe selon les horaires. Les appareils photographiques installés sur ce portique prennent un cliché de la plaque arrière. Les appareils destinés à photographier la plaque avant sont situés sur le troisième portique. Des détecteurs lasers et des transmetteurs sans fils sont placés sur le portique intermédiaire et enregistrent les signaux envoyés par les unités embarquées.

La détection laser exige deux appareils par voie de trafic et couvre tous les véhicules. Une fois la détection réalisée, deux clichés des plaques (avant et arrière) sont prises. Les appareils photographiques enregistrant les numéros des plaques sont à haute résolution et sont équipés d'un infrarouge. La photo est prise lorsque l'appareil reçoit un signal laser indiquant le passage du véhicule. Le numéro de la plaque est identifié grâce à un système de reconnaissance optique (OCR). L'image est alors compressée en JPEG et envoyée au MLC (*Multi Lane Controller*) où elle est stockée.

Les transmetteurs aériens sont situés sur les portiques et sont activés par le signal laser des unités embarquées. Chaque unité correspond à un « *ID user* » et ce dernier est envoyé au MLC (*Multi Lane Controler*). Le MLC reçoit les informations tirées des photos et des unités embarquées qui sont envoyées depuis la boîte de contrôle sur le côté de la chaussée. Le MLC est un ordinateur qui compile les informations dans un fichier transmis au pré processeurs. Le fichier comprend les informations suivantes : au moins deux photos, le numéro de plaque, lu par OCR, le numéro ID de l'unité embarquée (lorsque c'est la cas), la date et l'heure du passage et le lieu.

Le pré-processeur enregistre les fichiers au point de contrôle et émet une décision de taxe pour chaque véhicule. Toutes les photos sont examinées à nouveau pour vérifier qu'elles sont fiables et que leur interprétation n'est pas ambiguë. Si le pré-processeur est incapable d'identifier le numéro de la plaque, la photo est envoyée au Service Client pour une indentification manuelle. Chaque photo est examinée par deux opérateurs différents. Si leur avis divergent, une troisième personne est consultée. En cas de doute, la décision de taxe est annulée.

Pour les véhicules qui doivent être soumis à la taxation, les différentes sommes correspondant aux différents passages dans une même journée sont additionnés et une décision de taxe est éditée. La somme est ajustée afin de respecter le plafond de 60 SEK puis envoyée au SAP system (*Business Process Platform*). Les informations sont stockées dans une base de données afin de pouvoir être consultées via le service client.

Sur le portail Web « My tax decision » auquel on peut accéder via [www.stockholmsforsoket.se](http://www.stockholmsforsoket.se) ou via [www.transgselskatt.vv.se](http://www.transgselskatt.vv.se), on trouve les informations relative aux décisions de taxe publiées dans les sept derniers jours après un passage. Ce portail indique le montant de la taxe et si elle a été payée, ou non. Les propriétaires de véhicules s'identifient en utilisant leur numéro de plaque et un code à cinq unités.

Normalement la décision de taxe apparaît comme payée un jour après que l'argent est arrivé sur le compte du SRA. Durant les week-ends et les fêtes, le délai peut être plus long. La taxe est considérée comme payée lorsque l'argent arrive sur compte SRA.

Plusieurs possibilités de paiement de la taxe sont proposées.

Le paiement direct exige que le véhicule soit équipé d'une unité embarquée. À condition que les fonds soient disponibles sur le compte bancaire, la taxe est transmise au SRA en temps nécessaire. Chaque compte de débit direct est connecté à une unité embarquée qui garantit un enregistrement fiable des passages du véhicule. Une unité embarquée peut être obtenue gratuitement auprès du SRA et fixée sur la face intérieure du pare brise. Chaque jour, le système vérifie quels sont les véhicules qui sont connectés à un compte de débit direct. Si la taxe a été prélevée sur un de ces véhicules un fichier de paiement est créé et envoyé au *Bank Giro Centre*. Le montant est débité du compte 10 ou 12 jours après le passage. Les unités embarquées doivent être restituées en cas de changement de propriétaire du véhicule ce qui peut être fait dans les kiosques de presse ou les supermarchés *Seven Eleven*.

Les paiements peuvent également être effectués en liquide ou par carte de crédit, dans les kiosques et les *Seven Eleven*, dans toute la Suède. Afin de payer, il faut présenter le numéro de sa plaque d'immatriculation. Le caissier peut alors effectuer une vérification dans le système et repérer les décisions de taxes impayées pour un véhicule donné. La personne effectuant un paiement peut décider de payer celles des taxes en cours qu'il désire régler.

Les paiements peuvent être faits via *Plusgiro* ou *Bankgiro* ou encore par les banques Internet ou dans les succursales des banques et enfin déposés dans des boîtes destinées à recueillir des enveloppes ad hoc. Afin de payer, la personne doit présenter un document précisant son numéro de plaque. Une commission est prélevée pour chaque opération.

Les paiements via Internet, par carte ou par banque Internet peuvent être réalisés en se connectant au site [www.stockholmsforsoket.se](http://www.stockholmsforsoket.se) ou sur les sites des kiosques de presse et des *Seven Eleven*.

Les entreprises, les associations et les administrations peuvent régler leur taxe par transfert direct de compte à compte. Elles peuvent également disposer d'unités embarquées qui peuvent être commandées sur un site Web spécifique. Une liste des décisions de taxe est envoyée

---

chaque jour à ces entités.

Dans le cas des véhicules utilisés en leasing, toute personne disposant d'un véhicule durant au moins un an devient le destinataire de la taxe.

Enfin, si les employeurs remboursent les taxes payées par les employés, ces derniers doivent les considérer comme des salaires et déclarées comme tels.

Si la taxe n'est pas payée dans les 14 jours, le propriétaire du véhicule recevra un rappel et une amende de 70 SEK. Le propriétaire dispose alors de quatre semaines pour payer, sinon il encoure une amende de 500 SEK et dispose alors d'un mois pour payer.

Une fois décrit le contexte général et les modalités de fonctionnement du péage de Stockholm, reste à appliquer le modèle de congestion aux données locales afin de comparer les coûts et les bénéfices.

#### IV – ESTIMATION DU MODELE

L'estimation du modèle consiste à calculer les courbes et les agrégats significatifs.

Il est possible d'estimer la courbe de demande  $D(q)$ . Nous connaissons un point de cette courbe, le point A (graphique 1), la situation d'équilibre avant la mise en place du péage. Nous pouvons connaître un deuxième point de la courbe, la situation d'équilibre créée par le péage. Le nombre de véhicules qui entrent dans la ville, est aussi enregistré. En ayant deux points de la courbe  $D(q)$ , il est facile de déterminer l'équation de la courbe de demande.

Connaissant  $I(q)$ ,  $S(q)$  et  $D(q)$ , nous pouvons facilement calculer les paramètres qui nous intéressent.

##### 1. Nombre de trajets $Q$ et $q$

Nous connaissons les données relatives au nombre de véhicules entrant et sortant du centre ville, pour le « printemps » 2005, et pour mai et avril 2006, par jour et par période de 15 min. Ces données sont reportées dans le tableau 2.

**Tableau 2 - Véhicules entrants et sortants du centre ville, printemps 2005 & 2006**

	Radiales	Centre
2005 (en milliers)	410	131
2006 observé (en milliers)	328	431
2006 contrefactuel (en milliers)	390	493
Engendré par le péage (en milliers)	-62	-62
Longueur (en km)	6,7	3,7

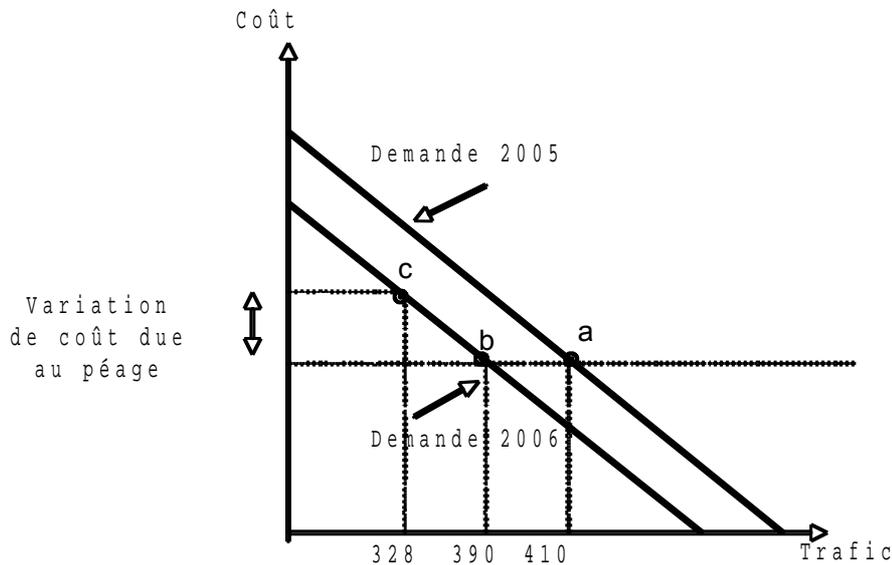
Source: Calculées à partir des fichiers "mi\_tidpunct\_medeldygn\_betalstation\_05\_06\_Rin.xls" et "mi\_tidpunct\_medeldygn\_betalstation\_05\_06\_Rut.xls" produits par la municipalité de Stockholm.

### *Trajets centre périphérie*

Nous nous sommes intéressés aux véhicules qui ont été affectés par le péage. Le nombre de véhicules circulant depuis l'instauration du péage a diminué de 82 000, soit une baisse de 20%. Cependant, la totalité de cette baisse ne peut pas être attribuée au péage. Pendant la période considérée, le nombre de véhicules circulant et non affectés par le péage a chuté de 5,3%, reflétant l'existence de facteurs exogènes. Toutefois, la totalité de cette baisse ne peut pas être attribuée au péage, pour trois raisons. Premièrement, durant les heures où le péage ne fonctionne pas, la circulation n'est pas affectée par le péage, or elle a diminué de 5,3% ce qui s'explique par des facteurs exogènes. Deuxièmement, l'un de ces facteurs exogènes, le prix des carburants a augmenté entre le printemps 2005 et le printemps 2006, de 1,4 SEK par litre, soit une augmentation de 13%. L'élasticité de court terme des déplacements au prix des carburants est connue pour être proche de -0,4. Le prix des carburants aurait donc provoqué une baisse de 5,2% de la circulation, ce qui correspond au déclin observé durant les heures sans péage. Troisièmement, en octobre 2006, sans péage, la circulation était 6,6% plus basse qu'en octobre 2005. Ces trois éléments convergent. Par prudence, nous retiendrons, pour nos calculs, le chiffre de 5%. Nous considérerons que la circulation a été réduite par des éléments exogènes, durant les périodes de péage, de 410 000 à 390 000 déplacements par jour, et par le péage jusqu'aux 328 000 déplacements effectivement observés. Cette réduction de la circulation, engendrée par le péage, de 61 000 déplacements représente - une baisse de 17,7% par rapport au scénario contrefactuel, et -15,0% par rapport à la situation initiale. Ce résultat est significativement moins important que les 20%-25% qui sont apparemment retenus par l'étude de Transek, le bureau

d'étude consulté par la municipalité.

Graphique 4 : Déplacements de la courbe et sur la courbe



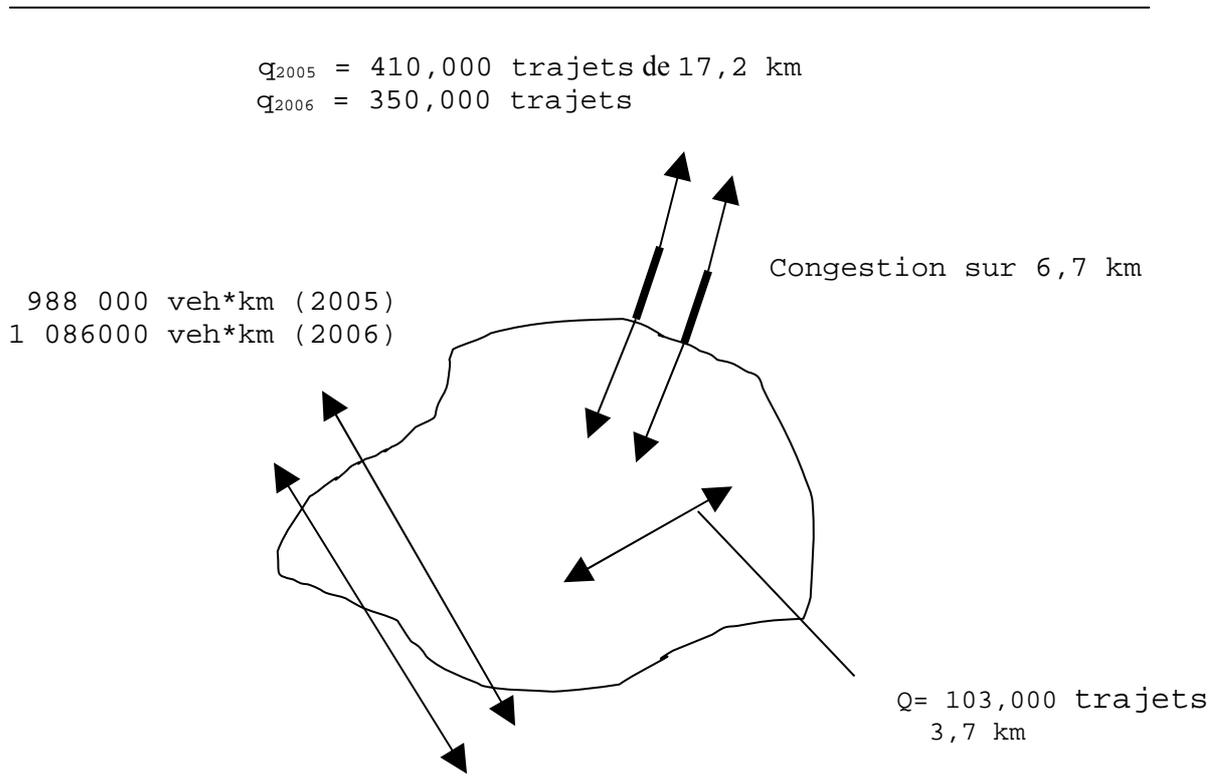
Analytiquement, il convient de distinguer les deux mécanismes qui provoquent une baisse de la demande. Le premier, doit être analysé comme un déplacement de la droite de demande. Ce sont, en effet, les paramètres du calcul d'optimisations du consommateur qui sont modifiés. La demande de trafic passe du point a vers le point b. La courbe de demande se déplace donc vers la gauche. Le second effet est celui d'une hausse de prix, due au péage. Cette fois ci c'est l'une des variables (prix ou quantité), en l'occurrence le prix, qui change. Il s'agit donc d'un déplacement sur la courbe de demande, entre b et c. Le graphique ci-dessus représente ces deux mouvements successifs.

#### Trajet au centre

Les trajets effectués dans le centre sont composés des  $q$  véhicules qui entrent ou sortent de la ville, plus des  $Q$  véhicules dont les trajets ont leur origine et leur destination dans la ville (et qui sont exempts de péage). Notre estimation est basée sur le *survey* transport de 2004. Le nombre de trajets du centre ville vers le centre ville représente 25,2% des trajets de la périphérie au centre (et du centre a la périphérie). Si  $Q=0,252*q$ , alors  $Q$  est égal a 133 000 véhicules sur une période de 24 heures et à 103 000 véhicules pendant la période du péage. Comme il a été

mentionné plus haut, nous allons supposer que  $Q$  demeure constant. La carte 2 représente de manière synthétique, le trafic affecté par le péage. Durant les horaires soumis à péage, il y avait 513 000 déplacements, en 2005 et 453000 en 2006. Il faut observer que la charge du péage est supportée par les véhicules qui entrent et qui sortent.

**Carte 2 - Trafic concerné par le péage**



## 2. Longueur des trajets $L$ .

### *Trajets dans le centre.*

Le *Transport Survey* indique la longueur des déplacements en voitures centre/centre : 3,7 km. Cette longueur est légèrement plus importante que les 3,3 km de rayon de la zone payante. Nous allons supposer que 3,7 km est aussi la longueur moyenne des trajets faits dans le centre par les véhicules venant de l'extérieur du centre.

### *Trajets périphérie-centre.*

Il est plus difficile d'estimer la longueur des

trajets effectués sur la partie des radiales qui est effectivement affectée par le péage c'est-à-dire, la partie sur laquelle le trafic diminue et la vitesse augmente. Selon le *Transport Survey*, la longueur moyenne des trajets entre la périphérie et le centre est 17,2km. En soustrayant les 3,7km effectués à l'intérieur de la ville, nous obtenons 13,5km sur les radiales. Cependant, une part non négligeable de ces kilomètres est faite sur des routes non-congestionnées et qui ne sont pas affectées par le péage. La lecture des photographies aériennes nous conduit à supposer que 50% de ces 13,5km est affecté par le péage, soit 6,7km. Ce chiffre est probablement une surestimation<sup>6</sup>.

Le tableau 3 décrit le volume du trafic affecté par le péage. Les véhicules q entrants et sortant du centre sont affectés en termes de nombre et de vitesse, bien que l'impact du péage sur la vitesse ne soit pas la même sur les radiales que dans le centre. Les Q déplacements de centre à centre, où les automobilistes ne payent pas le péage, sont affectés en termes de vitesse.

---

<sup>6</sup> Les données produites par un modèle suggèrent une distance plus faible. Le volume de trafic (en véhicule\*km) diminue dans le comté de 43500 véhicules\*km. En enlevant la baisse des 266 000 véhicule\*km dans la zone du péage, nous obtenons une baisse de 169 000 véhicule\*km dans le reste du comté. La majeure partie de cette baisse se situe sur les radiales. Car le trafic sur ces radiales a diminué de 38 000 véhicules, ce qui suggère une longueur moyenne de 4,4km ou 2,2km par trajet. Mais ce nombre est probablement sous-estimé. La baisse du trafic sur les radiales doit avoir été compensée en partie par l'augmentation dans d'autres zones du comté. La baisse du volume du trafic sur les radiales va ainsi être plus important ainsi que la longueur moyenne.

---

**Tableau 3 - Trafic concerné par le péage, 2005**

	Radiales	Centre
2005 (en milliers)	410	531
2006 observé (en milliers)	328	431
2006 contrefactuel (en milliers)	390	493
Variation due au péage (en milliers)	-62	-62
Longueur (en km)	6,7	3,7

Sources : voir texte

### 3. Relation entre vitesse et densité, coefficients $\alpha$ et $\beta$

La relation entre vitesse (S) et densité (D), qui reflète les caractéristiques physiques de la route, est généralement supposée linéaire :  $S = \alpha + \beta * D$ . Il est facile de vérifier qu'il en est ainsi sur les routes de Stockholm. Nous disposons des données relatives au flux et à la vitesse, mesurées pour les radiales (9 points de mesure) et pour le centre (62 points de mesure), pour chaque période de 15 minutes (96 périodes), pour un nombre de jours (5 à 10 jours) et sur les radiales dans les deux directions (entrants et sortants), ce pour 2005 et 2006. Nous disposons aussi d'environ 10 000 couples d'observations pour les radiales et de 5 952 couples pour le centre. Cela rend possible d'estimer  $\alpha$  et  $\beta$  pour les radiales ( $\alpha_r$  et  $\beta_r$ ) et pour le centre ( $\alpha_c$  et  $\beta_c$ ).

*Coefficients  $\alpha_r$  et  $\beta_r$  pour les radiales.*

$\alpha$  est la vitesse de libre circulation, la vitesse enregistrée lorsqu'il y a seulement une seule voiture ou seulement quelques voitures sur la route.

$\beta$  est le coefficient de la circulation sur la route (l'utilisation de la route) dans la relation vitesse/densité :  $S = \alpha + \beta D$ .

Nous connaissons la circulation sur la route pendant la période du péage en 2005 :  $q=410.000$ . Nous pouvons calculer la vitesse moyenne pendant la période du péage en divisant le flux cumulé des 24 points (6 points de mesure sur 4 jours) par la densité cumulée pour les mêmes 24 points. Le résultat est 49,48km/h. On calcule de même en 2006 et on obtient 51,05 km/h avec  $q=328.000$  Ce qui donne  $\beta_r = -0,0191$ .

$S_r$ , la vitesse sur les radiales (en km/h) est définie comme une fonction de la circulation sur la route  $q$  (en milliers de véhicules pendant la période du péage) soit :

$$S_r = 57,33 - 0,0191 * q$$

*Coefficients pour les routes du centre  $\alpha_c$  et  $\beta_c$ .*

La vitesse des déplacements dans le centre est mesurée à l'aide de *floating cars* sur environ 800 déplacements en 2005 et 1200 en 2006, ce qui constitue un échantillon représentatif. Nous calculons les vitesses moyennes (pas la moyenne des vitesses), soit 22,89 km/h, en 2005, avec 410+103 milliers déplacements, et 26,19 km/h in 2006 avec 328+10, milliers de déplacements. Ainsi,  $\alpha_c = 43,51$ , et  $\beta_c = 0,0402$ . La vitesse au centre est donnée par :

$$S_c = 43,3 - 0,00402 * q$$

#### 4. Autres paramètres et variables

*Valeur du temps  $t$ .*

La valeur officielle du temps en Suède est de 42 SEK par heure pour un déplacement personnel (incluant les déplacements pour aller travailler), ce qui correspond à 80% des trajets et 190 SEK pour des trajets d'affaire. Cependant, ces chiffres doivent être ajustés. Premièrement, ils décrivent le pays en entier et non pas la seule ville de Stockholm. Les valeurs du temps ne sont pas issues de choix politiques : elles rendent compte de la disponibilité à payer des usagers pour gagner du temps. La productivité (rendement par travailleur) est 35% plus élevée à Stockholm que dans le reste du pays, la valeur du temps pour les trajets d'affaire doit donc être augmentée de 35%. De la même manière, le revenu disponible est supérieur de 12% à Stockholm, la valeur du temps des déplacements personnels doit être augmentée de 12%. Deuxièmement, les valeurs du temps mentionnées précédemment portent sur l'année 2001. Ces valeurs doivent être augmentées en proportion de la croissance du PIB, laquelle a été de 10% entre 2001 et 2006. En prenant tous ces paramètres en compte, on aboutit à des valeurs du temps de 52 SEK pour les trajets personnels et de 282 SEK pour les trajets d'affaire, la valeur moyenne de la valeur du temps étant de 100 SEK par heure. Ces valeurs sont presque égales à celles retenues en France.

*Taux d'occupation des véhicules w.*

Il est généralement accepté que la moyenne est de 1,25 personne par véhicule à Stockholm :  $w = 1,25$ .

*Péage moyen T.*

Le montant du péage est bien connu. Mais toutes les voitures entrant dans la ville n'acquittent pas le péage. Certains véhicules sont exemptés (les taxis, les trajets depuis le nord-est et traversant le centre...). Pour déterminer le tarif effectif du péage, nous devons diviser les recettes du péage par le nombre de trajets. Pour un jour moyen du printemps 2006, avec 329 000 de véhicules, les recettes du péage s'élèvent à 3,18 millions de SEK par jour. Le prix payé par trajet s'élève alors, en moyenne, à 9,7 SEK<sup>7</sup>. Le tableau 4 résume nos estimations.

**Tableau 4- 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
$\alpha_r$ =constante dans la relation vitesse/q sur les radiales	57.33	57.33
$\beta_r$ =Coefficient dans la même relation	-0.0192	-0.0192
$\alpha_c$ =constante dans la relation vitesse/q dans le centre	43.51	43.51
$\beta_c$ =Coefficient dans la même relation	-0.0402	-0.0402
tp=Valeur du temps des trajets personnels (SEK/h)		52
tb=Valeur du temps des trajets d'affaire (SEK/h)		282
t=Valeur moyenne du temps (SEK/h)		98
T=péage moyen par trajet (SEK)	-	9,7
w=taux d'occupation d'une voiture (personne/voiture)	1,25	1,25

*Gains pour les conducteurs non évincés par la mise en place du péage et pertes pour les conducteurs évincés.*

Avec les valeurs des différents paramètres ainsi calculés ou estimées, nous pouvons maintenant mettre en œuvre notre modèle théorique. En premier lieu, nous calculons les trois

---

<sup>7</sup> C'est moins que les 10, 15 ou 20 SEK du prix réel parce que c'est une moyenne qui prend en compte que les véhicules exemptés ne paient pas le péage.

---

courbes de coûts et la courbe de demande du modèle. Puis, nous les utilisons afin de vérifier si le péage actuel et la réduction de la congestion engendrée sont optimaux ou non, et enfin nous estimons les gains associés et les bénéfiques.

*Équations des courbes de demande et de coûts.*

Les équations de coût et de demande sont les suivantes :

La courbe individuelle de coût marginal  $I(q)$ .

$$I(q) = 821/(60-0.0333*q) + 453/(39.4-0.0402*q)$$

La courbe du coût social est  $S(q)$ .

$S(q)$  est donnée par l'addition de la courbe des coûts individuels et la dérivée de la courbe des coûts individuels multipliée par le nombre de trajets. Il faut cependant noter que la part de l'équation qui mesure le coût social dans le centre, le « nombre de trajets » pertinent (qui multiplie la dérivée) n'est pas  $q$  mais  $q+Q$ . Un trajet additionnel dans le centre ne ralentit pas seulement les  $q$  véhicules qui vont ou qui viennent du centre mais aussi les  $Q$  véhicules qui effectuent des trajets du centre vers le centre. Le résultat de l'équation de  $S(q)$  est un peu long mais peut facilement être vérifié avec un tableur :

$$S(q) = 820.75/(57.33-0.0192*q) + 453.25/(43,51-0.0402*q) + (73.28*q-0.0192*q)/(57.33-0.0192*q)^2 + (61.72*q)-0.0402*q^2)/(43.51-0.0402*q)^2$$

$D_1(q)$  la demande en 2005 et  $D_2(q)$  la demande en 2006, après avoir pris en compte le déplacement de la courbe .

$$D_1(q) = 82.9 - 0.133*q$$

$$D_2(q) = 85.6 - 0.133*q$$

## V – IMPACT DU PEAGE SUR LE BIEN-ETRE DES CONSOMMATEURS DE DEPLACEMENTS

L'évaluation du péage exige d'estimer plusieurs coûts et bénéfices : (i) le gain de temps pour les automobilistes qui n'ont pas été évincés par le péage, ce qui est, en toute logique le principal objectif du péage, (ii) la perte

de bien-être pour les automobilistes évincés par le péage, perte atténuée par (iii) le gain de surplus pour les automobilistes évincés par le péage qui ont optés pour les transports en commun, (iv) les gains environnementaux incluant les pertes ou les gains liés aux accidents, (v) les coûts de fonctionnement du péage, (vi) le coût d'augmentation de l'offre de transport public et/ou (vii) le coût de la congestion dans les transports publics et (viii) les impacts économiques des changements de revenus du secteur public (revenus du péage, baisse des revenus de la taxe sur l'essence, ou les prix des billets des transports publics.

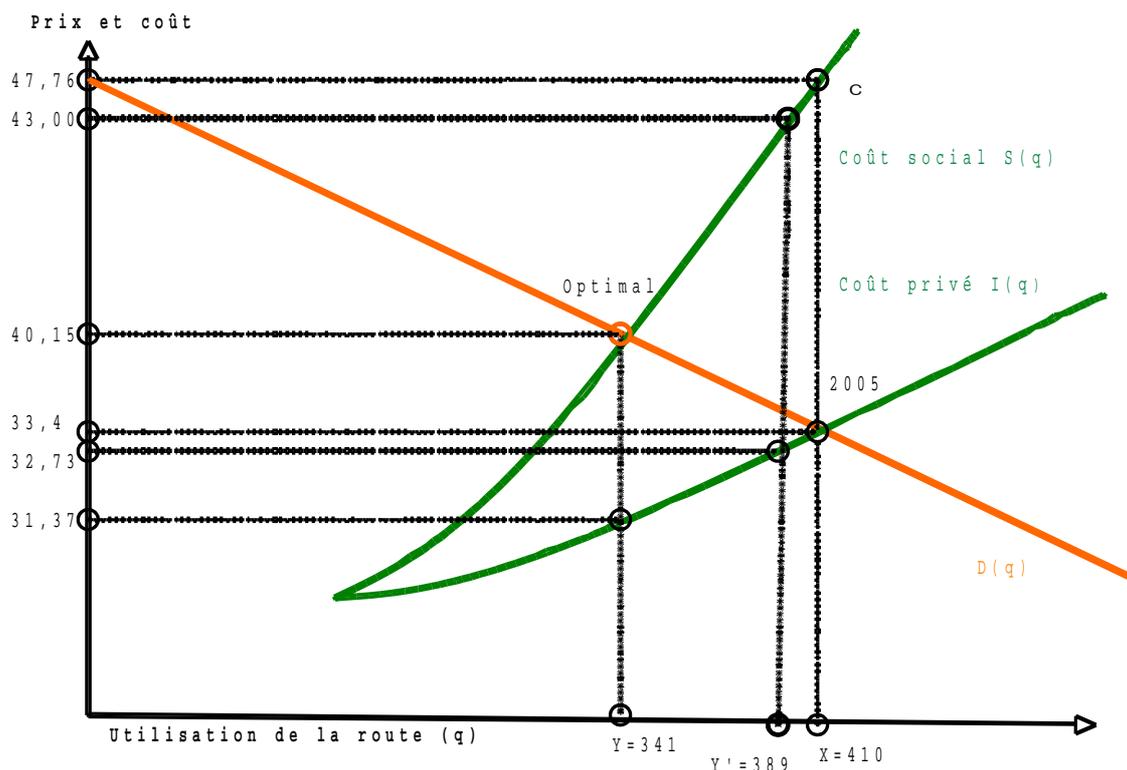
## 1. Principaux résultats

Le tableau 5 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'utilisateur marginal. Le coût social total (coût individuel plus les externalités) est alors réduit, bien que dans un pourcentage moindre.

**Tableau 5 - 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	340	341
Vitesse (km/h)					
Vitesse sur les radiales S <sub>r</sub>	51.05	49.48	46.8	50.8	50.8
Vitesse au centre S <sub>c</sub>	26.2	22.9	23.7	25.7	25.7
Coût & utilité (SEK/déplacements)					
Coût Indiv. I	31.0	33.4	32.73	31.34	31.37
Coût Social S	39.42	47.76	43.00	40.09	40.15
Péage optimal T	-	-	-	8.8	8.7
Gains de temps & pertes de surplus (M SEK/yr)					
Gains de temps (usagers restant)	-	191	140	191	137
Pertes de temps (ex-usagers)	-	-112	-54	-34	-50
Gains net	-	+79	+86	84	106

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 5 - Le péage de Stockholm

Le graphique 5 reprend de manière simplifiée les données du tableau 5. La situation de référence X est la circulation de 2005, la situation en 2006 Y' prend en compte la baisse de trafic exogène et le point Y indique la position de l'optimum, toujours en prenant en compte les facteurs exogènes.

La réduction de la circulation de 16% a engendré des gains de temps pour les automobilistes non évincés par le péage, d'environ 140 M SEK par an. Les automobilistes évincés souffrent d'une perte de 54 M SEK. Le gain net associé au péage est de 86 M SEK. 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 pas très loin de son

niveau optimal (328.000 au lieu de 340.000). Le niveau du péage est légèrement supérieur à ce qu'il devrait être. Les gains de temps ne pourraient toutefois pas être significativement améliorés en réduisant le péage à son niveau optimal.

## 2. Temps perdu lié à la déviation du trafic vers les voies rapides de Essingeleden et Södra Länken.

Pour éviter le péage, certains véhicules qui entraient dans le centre, en 2005, contournent maintenant le centre et utilisent les voies de Essingeleden et de Södra Länken. Ce faisant, le trafic a augmenté et la vitesse de circulation a diminué (relativement à ce qui se serait passé si le péage n'avait pas été mis en place) ce qui cause des pertes de temps pour les automobilistes. Ceci apparaît très clairement sur les cartes qui décrivent les changements des temps de trajets présentés dans Stockholmsföröket 2006 (p.7).

Entre 2005 et 2006, le trafic a augmenté sur la périphérie de Stockholm. Cette augmentation varie d'une section de route à l'autre. Le meilleur estimateur disponible, en termes de véhicule par kilomètre, estime cette augmentation à 9,9%, soit un flux passant de 988 000 à 1 086 000. Dans un contexte où le trafic dans le comté décroît, il est raisonnable de supposer cette augmentation est le résultat du trafic découragé par le péage. Nous pouvons aussi considérer que le trafic provoqué par le péage est plus important à cause des facteurs exogènes (augmentation du prix de l'essence) qui font décroître le trafic dans le comté. Nous allons donc retenir une augmentation de 9,9%.

Pour déterminer la relation qui lie le temps passé et le coût du temps en fonction du trafic, nous avons besoin de la relation entre vitesse et densité sur la périphérie. Nous avons des données sur le flux de trafic (et donc la densité) par périodes de 15 minutes pour 6 points de mesure différents sur la périphérie. De ces données, nous pouvons estimer la vitesse de libre circulation (en regardant les vitesses des véhicules pendant 20 nuits pour les 6 points de mesure). Cette vitesse est de 81,6 km/h. Nous pouvons aussi estimer la vitesse moyenne (en divisant la somme des flux par la somme des densités pour toutes les données). La vitesse moyenne est de 68,4 km/h. En supposant que la relation est

linéaire, nous obtenons, avec le trafic sur le périphérique QQ exprimée en 1000 véhicules\*km :

$$\text{Vitesse} = 81,6 - 0,01336 * \text{QQ}$$

Et le coût unitaire du temps (par véhicule) est :

$$\text{Coût unitaire du temps} = 100 * 1.25 / (81,6 - 0,01336 * \text{QQ})$$

Le tableau 6 présente la vitesse et le coût du temps en fonction du trafic sur le périphérique. L'augmentation du trafic engendrée par le péage doit faire diminuer la vitesse (d'un modeste 2%), et ainsi augmenter le coût unitaire du temps (dans les mêmes proportions). Cela a pour résultat un coût de 8 millions de SEK par an pour les automobilistes qui utilisaient le périphérique avant la mise en place du péage. Cet impact n'est pas grand. La raison est que le périphérique n'était pas et n'est toujours pas très congestionné. La vitesse moyenne est élevée (67-68 km/h), et peu inférieure à la vitesse de libre circulation (81,6 km/h). La pente de la courbe vitesse/circulation sur la route est faible, et une augmentation de trafic relativement importante (10%) ne va pas produire une diminution marquée de la vitesse (2%).

**Tableau 6 - Vitesse et coût du temps comme une fonction du trafic sur le périphérique**

	2005	2006	Variation	Variation
				(%)
Trafic (1000 veh*km/jour)	988	1086	+98	+9.9%
Vitesse (km/h)	68,4	67,1	-1.3	-2.0%
Temps (h/km)	0.0146	0.0149	+0.0028	+2.0%
Coût unitaire du temps (SEK/veh*km)	1.827	1.863	+0.036	+2.0%
Coût total du temps (M SEK/year)	451.4	632,3	54.5	+12.1%
Coût du temps usagers 2005 (M SEK/an)	451.4	460,2	<b>+8.8</b>	+2.0%

## VI - AUTRES EFFETS DU PEAGE

### 1. Gains environnementaux

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

## CO2

Les gains associés à la réduction des émissions de CO2 sont 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 la présence de 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. Il existe un marché européen sur lequel des droits d'émission de CO2 sont échangés. Le prix du marché actuel (voir [www.point.carbon.com](http://www.point.carbon.com)) est de 16,6 euros ou 150 SEK par tonne. La valeur de la réduction de CO2 est de 9 millions de SEK par an<sup>8</sup>.

### *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<sup>9</sup> » à 0,029 euro ou 0,26 SEK. Le péage a provoqué une réduction de 1,03 millions de voiture\*km qui est ainsi associé à un gain de 67 SEK par an<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> The Evaluation report (Stockholmsforsöket 2006 p.119) évalue les réductions d'émissions de CO2 à 64 millions de SEK par an. Cela vient probablement du fait de l'utilisation d'une valeur plus grande du prix de la tonne de CO2.

<sup>9</sup> 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 zones urbaines denses sont définies comme une zone ayant une densité supérieure à 420 habitants par km<sup>2</sup>. La densité de « la zone métropolitaine » de Stockholm est de 498 hab/km<sup>2</sup>.

<sup>10</sup> The Evaluation report (Stockholmsforsöket 2006 p.119) évalue

---

## 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 augmente sérieusement la probabilité d'accidents par voiture\*km. La relation généralement 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  $\left(\frac{s_2}{s_1}\right)^\lambda$ , 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 la 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 17,5 millions de SEK par victime d'accident mortel, 3,1 millions

---

la réduction des émissions de la pollution de l'air à 22 millions de SEK par an.

---

de SEK par victime d'accident grave et 0,175 million pour les victimes d'accidents mineurs. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

**Tableau 7 - 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 SEK)	17,5	3,1	0,175
Réduction des coûts dus au péage (M SEK)	+4,1	-9.8	-9,9

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 15,6 millions de SEK par an<sup>11</sup>. 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 à un nombre supérieur d'accidents.

## 2. Coûts de mise en œuvre du péage

Le coût de mise en œuvre du péage est important. La théorie des péages 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 possible que dans le future de tels coûts diminuent notablement, mais pour l'instant ils demeurent très élevés et doivent être pris en compte dans l'évaluation.

Le coût du péage doit, 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.

<sup>11</sup> Stockholmsforsöket 2006 p.119 estime ce gain à 125 millions de SEK par an, sans indiquer les détails du calcul de ce chiffre.

### Coûts divers

Seules quelques composantes du coût ont été payées directement par la *National Road Administration* (certains investissements d'infrastructure, pour 94 millions de SEK, les coûts de mise en œuvre pour 15 millions de SEK, les dépenses en taxes administratives pour 24 millions de SEK). D'autres ont été réglés par la municipalité de Stockholm (coûts d'informations pour 80 millions de SEK). Cependant, il existe plusieurs difficultés. Le contrat avec IBM, d'un montant de 1.880 millions de SEK, 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 qui étaient estimés à 25 millions de SEK par an 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 17,5 millions de SEK 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 20 millions de SEK par mois. 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 :  $1880 - 7 \cdot 20 = 1740$  millions de SEK. À ce montant doivent être ajoutées les dépenses des routes additionnelles relatives au péage (de 94 millions de SEK).

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 1.830 millions de SEK<sup>12</sup> et d'un coût d'exploitation annuel de 240 millions de SEK ( $12 \cdot 20$ ). Le coût annuel, celui qui nous intéresse le plus,

---

<sup>12</sup> 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 300 millions de SEK, pour la municipalité de Stockholm à 300 millions de SEK et pour Q-Free, l'entreprise qui fournit les transpondeurs à 140 millions de SEK.

---

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 passée à 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. 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'amortissements est la source principale de différence entre les chiffres de Transek et les nôtres en ce qui concerne le coût de mise en oeuvre.

#### *Coût d'opportunité du capital.*

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

#### *Coût marginal des fonds publics.*

Pour finir, il y faut prendre 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  $\lambda$ , qui dans un pays où les impôts sont importants peut être pris comme se situant aux alentours de 30%. Ce facteur  $\lambda$  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 dans cet article. Les calculs sont présentés dans le tableau 11. Ils génèrent un coût socio-économique du système du péage de 701 millions de SEK 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 deux fois plus élevé que celui de Stockholm, pour un rendement similaire (d'environ 100 000 opérations par jour).

**Tableau 8 - Coûts socio-économiques du système du péage**

	(M SEK)
<i>Coûts d'investissement:</i>	
by IBM	1740
by NRA	94
Total	1830
<i>Coûts annuels:</i>	
Amortissement	229
Coût d'opportunité du capital	91
Coût marginal des fonds publics	141
Coûts d'opération	240
Total	701

Sources et notes : voir le texte.

## VII - COUTS INDUITS POUR LE SYSTEME 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 dans les transports publics.

1. Faut-il prendre en compte les changements advenus sur le marché des transports publics (TP) ?

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 autre marché, dit « secondaire ». On pourrait considérer que les *modal shifters* 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 montant du billet qu'ils payent). La théorie de l'analyse coût-bénéfice (voir par exemple Boardman et al. 2001, p. 116) considère que ce qu'il 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 pour les déplacements automobiles, c'est-à-dire sur le marché primaire. Il existe une importante exception à cette règle : la présence d'imperfections de marché (comme les externalités, où le coût marginal décroissant). Nous devons donc vérifier si nous nous trouvons dans de tels cas.

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 augmentation de l'inconfort. En conséquence, nous pouvons reprendre notre précédente analyse de la congestion routière et remplacer « perte de temps » par « perte de confort », afin de définir, pour les transports publics une courbe de coût individuel et une courbe de coût social (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, l'article de Armelius et Hultkrantz (2006) –consacré au cas de Stockholm– 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.

#### *Le surplus du producteur ?*

Devrait-on, symétriquement, du côté des bénéficiaires, 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'encourait pas de coûts additionnels, c'est-à-dire si le coût marginal de production des transports publics à Stockholm était nul. Cette hypothèse est totalement irréaliste. Durant les cinq dernières années, 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 que l'entreprise dont les coûts augmentent lorsque sa fréquentation stagne n'a pas augmenté ses coûts (ou du moins pas plus que d'habitude) lorsque la fréquentation augmente. En conséquence, inclure les recettes additionnelles du côté des bénéficiaires, dans notre analyse, ne nous semble pas justifié. Dans la mesure où ce point peut être théoriquement contesté, nous les incluons cependant afin de mettre notre évaluation finale à l'abri de la critique.

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 et en réduit le coût. Si la nouvelle offre de bus était suffisamment importante, elle pourrait neutraliser complètement la croissance de la congestion. 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.

## 2. Le coût de l'augmentation de la congestion dans les transports publics

En conséquence, il semble que du fait de l'augmentation de la fréquentation des transports publics, les conditions de transport se sont détériorées. La ponctualité a 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 augmenté (+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 à 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, à 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*

Une première estimation de la congestion dans les TP 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 déplacements dans les TP, et N = nombre total de déplacement. Une augmentation de 45.000 déplacements dans les TP engendre une augmentation du coût de congestion de 333 M SEK par an. En affectant  $\frac{3}{4}$  de ce coût au péage l'augmentation du coût de la congestion des TP est estimée à **250 M SEK/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. En suivant, le *Transport Survey*, il s'avère que le temps moyen de déplacement 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 98 SEK par heure comme valeur du temps, ce fait un montant de 218 M SEK par an. Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, seul trois quart de ce coût, c'est-à-dire, **168 M SEK** doit être attribué au péage.

Ces deux estimations sont très fragiles, mais il est rassurant de voir qu'elles convergent. La première mesure la congestion engendrée par le péage ; la seconde, le coût de la congestion résiduelle, après qu'elle est 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.

#### *Coût de l'augmentation de l'offre de transport public*

Il est difficile d'augmenter à Stockholm l'offre de transports publics, 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 580 M SEK, et que les coûts annuels de mise en œuvre sont proches de 341 M SEK. Presque la moitié des coûts des opérations sont couverts par les subventions (provenant également du gouvernement central). Le tableau 9 liste ces coûts sur une base annuelle. Le coût de l'offre supplémentaire de bus est estimé à **559 M SEK** par an.

**Tableau 9 - Coût de l'augmentation de l'offre de transport public**

	M SEK
<i>Coût de l'investissement</i>	580
Coûts annuels :	
Amortissement <sup>a</sup>	106
Coût d'opportunité du capital <sup>b</sup>	29
Coût de fonctionnement	341
Coût marginal des fonds publics	83
Total	559

Notes: <sup>a</sup>après 5 ans. <sup>b</sup>5% si c'est un coût d'investissement. <sup>c</sup>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 leurs 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<sup>13</sup>. 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 92 SEK par heure, la valeur de l'ensemble des déplacements est de 62,6 M SEK/an. A 52 SEK par heure, une valeur plus réaliste du temps durant les déplacements non professionnels, ce montant est égal à 35,4 M SEK/an. Pour simplifier les calculs nous prendrons la moyenne de ces deux estimations soit : **49 M SEK**.

#### *Recettes supplémentaires des transports publics*

Comme mentionné précédemment, bien que nous ne sommes pas convaincus que les recettes supplémentaires doivent être comptées comme un bénéfice socio-économique, nous les incluons dans notre analyse. Avec un tarif moyen de 10 SEK par déplacement, le montant total est égal à **84 M SEK** par an.

Transek ne prend pas en compte la perte de confort associée à la dégradation du fonctionnement des transports publics. En revanche, il ajoute les gains de temps à son évaluation coût-bénéfice, soit 181 M SEK. De tels gains apparaissent comme plus potentiels que réels. Potentiellement un utilisateur du bus (ce qui n'est pas le cas pour les usagers du métro ou du train, qui sont plus nombreux que les usagers du bus) pourrait bénéficier de la réduction de la congestion et de l'accroissement des vitesses de circulation, comme cela fut le cas à Londres.

Mais un tel phénomène ne semble pas s'être produit à Stockholm. Stockholmsforsöket (2006, p. 49-50) indique que "*average [bus] speeds throughout most of the trunk road network during the peak morning hour from 7.30-8.30 is unchanged or has improved/deteriorated by a maximum of one km/hour*", et propose une carte de ces effets..

---

<sup>13</sup> 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.

## VIII - IMPACTS ECONOMIQUES DES CHANGEMENTS 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.

### 1. Recettes du péage

Les sommes collectées lors du péage, soit 792 M SEK 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, dans la même proportion, 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 (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 soit compter les deux soit les ignorer, ce qui est plus simple.

Il peut toutefois être avancée 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 des fonds publics aux recettes du péage, et de compter la somme de 234 M SEK comme un bénéfice social.

### 2. 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 7 SEK par litre, cela représente une perte de 70 millions de SEK 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 21 millions de SEK par an comme un coût social.

## IX - ANALYSE COUT BENEFICE

Le tableau 11 résume nos résultats. Il montre que les coûts sont plus importants que les bénéfices d'environ 800 millions de SEK par an. Ces chiffres sont estimés à partir des gains et des coûts socio-économiques annuels associés au péage. Ces chiffres montrent les conséquences économiques annuelles que le péage aurait à Stockholm<sup>14</sup>.

### 1. Un péage économiquement non rentable

Le péage génère deux types de bénéfices : des gains de temps pour ceux qui restent sur les routes, gains d'environ 110 millions de SEK par an ; et des bénéfices environnementaux, gains d'environ 90 millions de SEK 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 même ampleur avait généré des gains de temps (estimés avec la même méthodologie) environ dix fois supérieurs. Cela reflète tout simplement le fait que la valeur du temps et la congestion des routes était beaucoup plus élevée à Londres qu'à Stockholm. Les bénéfices totaux du péage sont réels : leur montant s'élève à plus de 200 millions de SEK par an.

---

<sup>14</sup> Notre analyse ne s'intéresse 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.

---

**Tableau 10 - Le péage crée des coûts et des bénéfices socio-économiques**

	En M SEK par an
Gains et pertes liées à la congestion :	
Gain de temps pour les automobilistes	+170
Perte de surplus pour les automobilistes évincés	-63
<i>Congestion : total des impacts</i>	<i>+107</i>
Gain environnementaux :	
Gains liés à la réduction de CO2	+14
Gains liés à la pollution de l'air	+67
Gains liés à la réduction des accidents	+16
Gain environnementaux : gain total	+97
Coût d'implémentation du péage	-701
coût de congestion des TP induit par le péage :	
Coût de l'augmentation de l'offre de TP	-559
coût de l'augmentation de la congestion des TP	-168 <sup>a</sup>
Gains de bien-être pour les nouveaux utilisateurs de bus	+49
Augmentation des recettes des TP	+84
<i>Coût de congestion TP : total</i>	<i>-594</i>
Gains et coût pour les finances publiques:	
MCPF sur les recettes de péage	+234
MCPF sur les recettes de TIPP perdues	-21
Finance publique : total des gains et coûts	+213
<b>Total</b>	<b>-878</b>

Source: Voir texte. Notes : <sup>a</sup>discutable.

La structure des gains et des coûts est intéressante. 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. Comme le montre le tableau 12, ces gains et ces coûts sont faibles (100 millions de SEK). Quatre autres éléments souvent ignorés pèsent plus lourd et déterminent la viabilité économique du péage. Un de ces éléments concerne les gains environnementaux, environ 100 millions de SEK. Un deuxième élément concerne les coûts de mise en œuvre du système du péage, coûts s'élevant à plus de 700 millions de SEK. 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 : 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 600 MSEK à Stockholm. Ces recettes ne sont ni des gains ni des coûts, mais le coût marginal des fonds publics que leur existence évite est de 200 M SEK.

En conclusion, il n'y a pas de taux d'actualisation interne associé au péage. Le flux des gains nets annuels ou de coûts annuels est constamment négatif, même pour les années sans investissement.

## 2. 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 d'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. A 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 n'est pas assez 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 bénéfices du péage, les coûts totaux

restent au moins trois fois plus grands que les bénéfiques. La ville de Stockholm aurait été dans une meilleure situation, d'environ un milliard de SEK par an, sans la mise en place du péage.

### *Elasticités 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 11. Dans quelle mesure, 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 11 - Gains de temps et de surplus, estimations Transek versus P-K**

	Transek (M SEK/an)	P-K
Gain de temps pour les automobilistes	+523	+140
Amélioration de l'incertitude sur les horaires	+78	-
Perte de surplus pour les automobilistes évincés	-13	-54
Total, gains nets	+600	86
Recettes du péage	792	792

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 (100 SEK/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 compte, 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 à 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 (2003, p. 124) l'indique à juste titre "*Tax revenues in the optimal situation exceed external congestion costs by 4 to 9 times. This means that to remove a small welfare loss a large flow of tax revenues has to be generated*". 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% et celui de Transek a un niveau encore plus invraisemblable.

**Table 12 - Ratio entre les gains nets et les recettes du péage**

gains nets / recettes du péage	
Rothengatter	11% to 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 de temps 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 donne 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 1, la perte de bien-être des véhicules évincés est  $B'AC = (HB' * HA) / 2$ , et l'élasticité est  $(AH/AL) / (HB'/HY')$ . Le tableau 13 indique les élasticités implicites dans le scénario de base avec une valeur du temps de 98 SEK/h 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 to -1.2<sup>15</sup>.

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 déplacements 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 (17,2 km). 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 enclins à abandonner leurs voitures que ceux qui habitent loin. La plupart des estimations des élasticités ont 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 cohérentes avec la littérature internationale. Ce n'est pas le cas avec les élasticités implicites de l'étude Transek. Non seulement les valeurs engendrées par les gains de temps (-14) et les pertes de bien-être (-7) sont incohérentes entre elles, mais elles sont peu plausibles

---

<sup>15</sup> Dans un article de survey, Litman (2006) indique : « A typical value is -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 13 - 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 <sup>a</sup> (SEK/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: <sup>a</sup> 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. <sup>b</sup> 1.5 SEK/km\*17.2 km + 1.25 personnes/voiture\*31min\*98/60 SEK/min. P-K pour Prud'homme & Kopp.

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. Nous avons exploré cette piste. Une augmentation de 30% de la demande, engendrée par une croissance de 3% par an durant dix ans ou 2% de croissance durant 15 ans, produirait, avec un péage optimal de 10,3 SEK par déplacement, un gain net de 145 MSEK (230 M SEK en gains de temps moins 85 MSEK en perte de surplus). La valeur du temps pourrait aussi augmenter, augmentant les gains de congestion. Les gains environnementaux seraient aussi tirés vers le haut. Ainsi, le péage et le coût marginal des fonds publics épargnés seraient plus importants. En 2020, 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.

## X - LES ENSEIGNEMENTS DE L'EXPERIENCE DE STOCKHOLM

L'analyse que nous avons menée à Stockholm, mais également les leçons de nos travaux précédents consacrés à Londres et à Paris (2005) nous conduisent à formuler quelques remarques de portées générales qui précisent les

conditions qui doivent être réunies pour qu'un péage urbain soit un succès économique.

## 1. Économie politique du vote

Le référendum de septembre 2006 s'est conclu par une majorité favorable à la poursuite de l'expérience du péage. Toutefois l'interprétation du vote est discutable. 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 clair que l'offre supplémentaire de bus mis en service en 2006 serait supprimée en cas de victoire du non. 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 14 - 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 <sup>a</sup>	128,000	134,000	262,000	48.9
Total	495,000	540,000	1,035,000	47.8

Note : <sup>a</sup>Estimé par une analyse économétrique où le oui dans une municipalité  $i$  des votes de gauche dans la municipalité  $i$  :

$$\text{Oui}_i = 3065 + 0.742 \text{ Gauche}_i \quad (R^2=0.75)$$

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

$$\text{Non}_i = -436 + 0.823 \text{ Droite}_i \quad (R^2=0.92)$$

Sources : <http://val.cscs.se> pour les résultats du référendum dans 14 municipalités, et [www.scb.se](http://www.scb.se) pour les résultats des élections, avec  $\text{gauche}=\text{s}+\text{v}+\text{mp}$  et  $\text{droite}=\text{c}+\text{fp}+\text{m}+\text{kd}$

Enfin, seuls les électeurs de la municipalité de Stockholm étaient consultés, bien qu'ils ne représentent qu'une minorité des usagers du péage (4414 autres municipalités dans le comté de Stockholm ont organisé des votes. En les prenant en compte, le vote est défavorable au péage.

## 2. Conditions du succès

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 bénéfiques, une fois la congestion ramenée à son niveau optimal, seront être très 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 créé mais la municipalité a mené une politique de réaménagement des voies de circulation destinée à réduire la circulation automobile. L'objectif n'étant pas d'améliorer la circulation automobile (vouée à perdre de l'importance) mais la pollution de l'air. Il s'en suit une augmentation de la congestion de 735 M€ qui s'accompagne également d'une augmentation du coût environnemental de 89 M€.

**Tableau : 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 (-3%)		
Radiale (Km/h)	48,1 (+4%)		
Variation de trafic induite *	-14,6	-20%	-9%
Valeur de la réduction de congestion (M€)	+5,39	+69	-735

Note : \* les chiffres indiquent les résultats induits par le péage, les autres 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 le faible coût de mise en œuvre. Or, collecter le paiement 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 est très coûteuse. Sans aucun doute, les progrès techniques ainsi que l'expérience va 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 importants. Le bénéfice économique de la réduction de la congestion exprimé en

pourcentage des recettes est compris entre 6% et 19% à Stockholm et 10% et 16% à Londres, selon que l'on prend en compte les bénéfices environnementaux ou seulement les bénéfices de la réduction de la congestion. Ainsi, les automobilistes ne récupèrent que peu de ce qu'ils payent pour le péage, ce qui est normal : sinon, la circulation ne diminuerait pas.

**Tableau : 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 économique de la réduction de la congestion/Recettes	6%	10%
Bénéfices économiques totaux/recettes	19%	16%

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, le *design* des rames de métro ou de bus est fortement *path dependant*. 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 peindra 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 qu'actuellement à Stockholm.

### 3. Enseignements

Les expériences Londres et Stockholm, parfois présentée à la lumière contradictoire de la politique parisienne nous permettent de tirer quelques enseignements théoriques.

Premièrement, du point de vue théorique, on ne connaît que trois moyens de réduire l'accès à un bien : la réglementation par les prix (augmenter le prix), par les quantités (diminuer les quantités) et la discrimination (interdire à certains). La réglementation par les prix (péage) a l'avantage de forcer les agents économiques à effectuer des choix qui prennent en compte le coût qu'il impose aux autres (lorsque le prix est correctement modifié). La réglementation par les prix est très efficace car elle ne fait disparaître que les déplacements dont la valeur, pour l'individu est inférieur à leur coût pour la société. Les déplacements économiquement peu valorisés diminuent. En termes d'équité, les plus pauvres peuvent être perdants, car ce sont eux qui valorisent le moins le temps (plus ou moins égal à leur revenu) et donc leurs déplacements. En revanche, la régulation par les quantités est très inefficace car elle renchérit le coût de l'ensemble des déplacements automobiles, quel que soit leur utilité sociale. Elle est d'autant plus inefficace lorsque, comme à Paris, elle ne s'accompagne pas d'un transfert intermodal, soit parce que la vitesse des bus n'a pas augmenté, soit que le métro est congestionné, soit que les individus n'apprécient pas assez ces modes de déplacements pour les considérer comme des substituts viables.

Deuxièmement, les péages urbains sont certainement conduits à se généraliser. La croissance de la part de la population vivant dans des villes augmente et de nombreuses métropoles (notamment dans les pays en voie développement)

dépasseront les 15 millions d'habitants. Les difficultés de la plupart de ces villes à construire des infrastructures routières qui suivent la croissance de la circulation accentuent la rareté de l'espace viaire. La tarification de ce dernier est indéniablement une manière efficace d'organiser son allocation. L'augmentation de taxe sur les carburants pourrait constituer une piste alternative ou complémentaire. Elle est cependant moins recommandable. La taxe sur les carburants renchérit le coût de tous les trajets, y compris ceux qui interviennent dans des zones sans congestions (campagnes). Faire payer les usagers de la route au pro-rata de l'externalité qu'ils engendrent est plus efficace que de renchérir le coût global du déplacement automobile. Cette conclusion doit être relativisée si le décideur public souhaite corriger non seulement la congestion mais aussi les rejets de CO2. Enfin, la taxe sur les carburants n'est progressive que lorsque le taux d'équipement en voiture est faible, puisque seuls les plus riches disposent d'un véhicule. Elle devient régressive, lorsque le taux d'équipement tend vers 100%. In fine, la taxe sur les carburants abonde le budget de l'Etat. Son augmentation se traduit mécaniquement par la hausse du taux de prélèvements obligatoires ce qui est politiquement moins indolore que le paiement direct par les usagers.

Troisièmement, un avantage indéniable des péages, bien que peu connu, tient au fait, qu'à budget public constant, diminuer le prélèvement fiscal et le remplacer par un paiement direct des usagers revient à substituer une taxe non distorsive à une taxe distorsive. Rappelons qu'un impôt ou une taxe engendre une distorsion lorsque les agents économiques peuvent modifier leur comportement pour y échapper. Ce faisant, il renonce à utiliser un bien ou à travailler plus (et aux satisfactions qui vont avec) pour une valeur qui est supérieure au transfert permis par l'impôt ou la taxe. Une partie de l'impôt prélevé est donc transféré, mais l'autre est une perte sèche (*deadweight loss*) qui peut être important (ce coût marginal des fonds public est actuellement estimé à 30% en France). Les péages permettent donc d'économiser les fonds publics et d'améliorer l'efficacité de la politique publique puisqu'il n'est plus nécessaire de prélever 1,3 pour transférer 1. Pour autant, le fait que le péage ne soit pas distorsif ne vient pas compenser son inefficacité, si les coûts sont supérieurs au bénéfices.

Quatrièmement, l'acceptabilité politique est une

---

question clef. Il existe un « trade-off » entre l'efficacité et l'acceptabilité. Trois paramètres doivent être considérés : la taille de la zone péagère, les règles d'exemption et le montant du péage. L'efficacité exige que la zone péagère recouvre la partie de la métropole qui est effectivement congestionnée. Les exemptions doivent être limités aux déplacements qui s'accompagnent d'une externalité positive (ex. service d'urgence) évidemment supérieure à l'externalité de congestion. Les exemptions des résidents des centres villes n'ont pas de justifications économiques. Il peut être tentant de limiter le montant du péage en étendant la zone et diminuant le prix. Cette politique n'a pas de sens du point de vue de l'efficacité économique et il n'est pas sûr qu'elle favorise l'acceptabilité politique du péage. En termes de dynamique, elle désincite à augmenter l'attractivité des périphéries ce qui est une des manières de limiter les déplacements vers le centre.

Cinquièmement, toutes les études sont extrêmement sensibles à la valeur du temps retenue pour l'estimation.

**Tableau - Valeurs du temps utilisées**

	Stockholm	Londres	Paris
Valeur du temps (déplacements personnels)	5,12	15,6 €	8,8 €
Valeur du temps (déplacements professionnels*)	31	-	30€

Note : \* A Paris les déplacements professionnels correspondent aux camions. On ne dispose pas d'une ventilation plus fine. A Londres, TFL ne retient qu'une seule valeur du temps. Nous faisons de même. A Stockholm, nous retenons les mêmes valeurs que Transek.

Lorsque les autorités publiques de Londres ou Stockholm indiquent que la circulation a diminué de 15%, par exemple, nous ignorons comment ce chiffre traduit deux mouvements de sens inverses : la diminution de l'usage de la route par ceux qui attribuent une faible valeur au temps (en général, les pauvres) et l'augmentation de son utilisation par ceux qui valorisent fortement l'augmentation de vitesse. La composition respective des deux groupes a une incidence très forte sur la valorisation des gains en temps. Il convient donc de prolonger les études existantes en précisant la taille des groupes en fonction de la valeur qu'ils assignent au temps.

## XI – 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](http://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](http://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 », *Revue Transports*, nov.-déc., n° 434, pp. 346-359.

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

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